


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

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 1 0


EDP
SCIENCES

BUREAU DES LONGITUDES

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

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2010

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2010.

Agenda astronomique pour 2010.

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 2010.

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

Suppléments à la Connaissance des Temps.

Éphémérides des satellites faibles de Jupiter (VI, VII, VIII, IX) et de Saturne (IX) pour 2010.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2010.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2010.

Le Calendrier Républicain (réédition en 1994).

L'astronomie au service de tous (2009).

Publications éditées par l'Observatoire de Paris

Promenade dans le système solaire (CD-ROM).

Les rendez-vous de Vénus (CD-ROM).

Rassemblement de 12000 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. Il s'agit alors comme l'indique son auteur dans la dédicace AU ROY, de publier cet ouvrage « après l'avoir épuré de toutes les choses ridicules dont ces sortes d'Ouvrages ont été remplis jusqu'à présent ». Il s'agit donc bien, et de décennie en décennie cela se confirmera, d'une éphéméride spécifiquement scientifique. L'évolution, au cours du temps, suivra les progrès de la science, fera place aux nouvelles découvertes, introduira des théories et des concepts nouveaux, fournira les éphémérides des corps célestes avec une précision toujours accrue.

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

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

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

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

A. Lebeau

Président du Bureau des longitudes

PRÉFACE

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

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

La première partie de cet ouvrage comprend 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 332^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, 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	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRS	Celestial Intermediate Reference System
CNES	Centre national d'études spatiales
DGRS	Dynamical Geocentric Reference System
DORIS	Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite
EOP	Earth Orientation Parameters
ERA	Earth Rotation Angle
ET	Ephemeris Time (voir aussi TE)
FCN	Free Core Nutation
GAIA	Global 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 2009

- pages II. 93–96, Pluton et astéroïdes. Les coordonnées des astéroïdes sont fausses ;
elles sont disponibles sur :
[http ://www.imcce.fr/fr/publications/publi_officielle/cdt_errata.pdf](http://www.imcce.fr/fr/publications/publi_officielle/cdt_errata.pdf)
- page II. 108, Deimos. Le dernier mois (Avril) doit être supprimé.

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. 96
3.7. Bibliographie	I. 110
4. Rotation de la Terre	I. 117
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 117
4.2. La précession	I. 123
4.3. Modèles de nutation	I. 129
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 139
4.5. Bibliographie	I. 148
5. Changements de coordonnées	I. 151
5.1. Notions préliminaires	I. 151
5.2. Coordonnées usuelles	I. 153
5.3. Formules de changements de coordonnées	I. 158
5.4. Application des résolutions de l'UAI 2001 aux changements de coordonnées	I. 166
5.5. Bibliographie	I. 170
6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 171
6.1. Introduction	I. 171
6.2. Modèle dynamique	I. 172
6.3. Ajustement aux observations	I. 173
6.4. Bibliographie	I. 176
7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 177
7.1. Introduction	I. 177
7.2. Modèle dynamique	I. 177
7.3. Ajustement aux observations	I. 178
7.4. Représentation des solutions	I. 180
7.5. Bibliographie	I. 182
8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 183
8.1. Présentation des éphémérides	I. 183
8.2. Sources des éphémérides	I. 187
8.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 188
8.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 190
8.5. Précision des éphémérides	I. 192
8.6. Bibliographie	I. 196

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2010	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
Cérés	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, 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 :

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

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

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

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

1.2.3. Tables de correspondance

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

Table 1.4. Correspondance entre les unités de temps.

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

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

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

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

1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

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

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

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

1.3.1. Origine des temps

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

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

$$2\,451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75, \text{ soit le 1 janvier 1995 à 6 heures.}$$

1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

La table 1.6 fournit les valeurs des constantes astronomiques dans le système UAI 1976, complété en ce qui concerne les constantes L_B , L_C et L_G , par les valeurs recommandées par 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 et IERS 2003.

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

Table 1.6. (fin).

	UAI 1976, 2000, 2006	IERS 2003
Aplatissement de la Terre, f	0.003 352 81 = 1/298.257	1/298.256 42 ± 1/0.00001
Constante héliocentrique de la gravitation, $GS = A^3 k^2 d^{-2}$	1.327 124 38 × 10 ²⁰ m ³ s ⁻²	1.327 124 420 76 × 10 ²⁰ m ³ s ⁻² ± 5 × 10 ¹⁰ m ³ s ⁻²
Rapport de la masse du Soleil à la masse de la Terre $GS/GM = S/M$	332 946.0	
Rapport de la masse du Soleil à la somme des masses de la Terre et de la Lune, $(S/M)/(1 + \mu)$	328 900.5	
Masse du Soleil, $GS/G = S$	1.9891 × 10 ³⁰ kg	
Valeur moyenne de 1-d(TT)/d(TCB), L_B	1.550 519 768 × 10 ⁻⁸ ⁽⁵⁾	1.550 519 767 72 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷
Valeur moyenne de 1-d(TCG)/d(TCB), L_C	1.480 826 867 41 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷	1.480 826 867 41 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷

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

⁽²⁾ Système UAI 2000 seulement.

⁽³⁾ Bursa, 1992.

⁽⁴⁾ Système UAI 1976 seulement.

⁽⁵⁾ Système UAI 2006 seulement.

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

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

⁽¹⁾ Neptune + Triton

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.4. DONNÉES CONCERNANT LES CORPS DU SYSTÈME SOLAIRE

1.4.1. Éléments orbitaux des planètes, 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
Mercurure	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).

Dans la table 1.14, on donne les paramètres moyens des orbites des satellites des planètes découverts avant 1990 : a (demi-grand axe de l'orbite), e (excentricité de l'orbite), P (période de révolution sidérale) ; I désigne l'inclinaison de l'orbite du corps soit par rapport à l'écliptique J2000 (E), soit par rapport à l'équateur de la planète (e). Dans cette table figurent en outre,

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

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	153.293 904	(²) (³)

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

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

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

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

Pour Saturne, les éléments publiés sont tirés de Esposito et al. (1984) pour les anneaux sauf l'anneau F dont les éléments sont tirés de Synnott et al. (1983). Ils sont tirés de Showalter et al. (1986) et Showalter (1990) pour SXVIII, de Synnott et al. (1981) pour SX, SXI, SXII, SXV, SXVI et SXVII, du *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites de Mars, Jupiter,

Saturne et Uranus (Bureau des longitudes, 1995) pour SXIII et SXIV, de Dourneau (1993) pour les huit principaux satellites. Ils proviennent d'une intégration numérique effectuée par Arlot et al. (2003) pour SIX (Phœbé).

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

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

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

Table 1.14. Éléments orbitaux des satellites découverts avant 1990.

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

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		169				Pioneer 11	1980
Anneau E		180/480 ⁽¹⁾				Feibelman	1967
Pan	XVIII	133.6			0.575	Showalter ⁽²⁾	1990
Atlas ⁽⁴⁾	XV	137.67	0.002	0.3	(<i>e</i>) 0.6019	Voyager 2	1980
Prométhée ⁽⁴⁾	XVI	139.35	0.002	0.0	(<i>e</i>) 0.612 99	Voyager 2	1978
Pandore ⁽⁴⁾	XVII	141.70	0.004	0.0	(<i>e</i>) 0.6285	Voyager 2	1980
Épiméthée ⁽⁴⁾	XI	151.42	0.009	0.34	(<i>e</i>) 0.694 32	Fountain/Larson	1978
Janus ⁽⁴⁾	X	151.47	0.007	0.14	(<i>e</i>) 0.694 66	Dollfus	1966
Mimas	I	185.54	0.019 05	1.56	(<i>e</i>) 0.942 422	Herschel	1789
Encelade	II	238.20	0.0049	0.03	(<i>e</i>) 1.370 218	Herschel	1789
Téthys	III	294.992	0.0	1.10	(<i>e</i>) 1.887 803	Cassini	1684
Télésto	XIII	294.66			1.8878	Voyager 2	1980
Calypso	XIV	294.66			1.8878	Voyager 2	1980
Dioné	IV	377.654	0.0022	0.01	(<i>e</i>) 2.736 916	Cassini	1684
Hélène ⁽⁴⁾	XII	378.06	0.005	0.15	(<i>e</i>) 2.7391	Lecacheux/Laques	1980
Rhéa	V	527.367	0.0003	0.35	(<i>e</i>) 4.517 503	Cassini	1672
Titan	VI	1 221.803	0.0291	0.30	(<i>e</i>) 15.945 446	Huygens	1655
Hypériorion	VII	1 481.1	0.1035	0.64	(<i>e</i>) 21.276 673	Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.85	0.0283	18.5	(<i>e</i>) 79.330 954	Cassini	1671
Phœbé	IX	12 905.95	0.175 18	173.70	(⁵) 547.4	Pickering	1898
Uranus							
Anneaux		42/51	0.0001/0.0008	0.06/0.0002	(<i>e</i>)	Elliot et al.	1977
Cordélia	VI	49.752	0.000 47	0.14	(<i>e</i>) 0.335 03	Voyager 2	1986
Ophélie	VII	53.764	0.0101	0.09	(<i>e</i>) 0.376 40	Voyager 2	1986
Bianca	VIII	59.165	0.000 88	0.16	(<i>e</i>) 0.434 58	Voyager 2	1986
Cressida	IX	61.767	0.000 23	0.04	(<i>e</i>) 0.463 57	Voyager 2	1986
Desdémone	X	62.659	0.000 23	0.16	(<i>e</i>) 0.473 65	Voyager 2	1986
Juliette	XI	64.358	0.000 59	0.06	(<i>e</i>) 0.493 07	Voyager 2	1986
Portia	XII	66.097	0.000 17	0.09	(<i>e</i>) 0.513 20	Voyager 2	1986
Rosalinde	XIII	69.927	0.000 09	0.28	(<i>e</i>) 0.558 46	Voyager 2	1986
Belinda	XIV	75.255	0.000 11	0.03	(<i>e</i>) 0.623 52	Voyager 2	1986
Puck	XV	86.004	0.000 05	0.31	(<i>e</i>) 0.761 83	Voyager 2	1985
Miranda	V	129.872	0.0013 ⁽⁷⁾	4.34	(<i>e</i>) 1.413 479	Kuiper	1948
Ariel	I	190.945	0.0012 ⁽⁷⁾	0.04	(⁷) (<i>e</i>) 2.520 379	Lassel	1851
Umbriel	II	265.998	0.0040 ⁽⁷⁾	0.13	(⁷) (<i>e</i>) 4.144 176	Lassel	1851
Titania	III	436.298	0.0014 ⁽⁷⁾	0.08	(⁷) (<i>e</i>) 8.705 867	Herschel	1787
Obéron	IV	583.519	0.0016 ⁽⁷⁾	0.07	(⁷) (<i>e</i>) 13.463 234	Herschel	1787
Neptune							
Anneaux		55.1/62.9				Hubbard et al.	1986
Naiade	III	48.227	0.000 33	4.74	(⁸) 0.294 40	Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.075	0.000 16	0.21	(⁸) 0.311 48	Voyager 2	1989
Despina	V	52.526	0.000 139	0.07	(⁸) 0.334 66	Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.953	0.000 12	0.05	(⁸) 0.428 75	Voyager 2	1989

Table 1.14. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte		
Neptune								
Larissa	VII	73.548	0.001 39	0.20	⁽⁸⁾	0.554 65	Voyager 2	1989
Protée	VIII	117.647	0.000 44	0.04	⁽⁸⁾	1.122 32	Voyager 2	1981–1989
Triton	I	354.759	0.000 02	156.3	^(e)	5.876 85	Lassell	1846
Néréïde	II	5 513.41	0.751	6.68	^(e)	360.135	Kuiper	1949
Pluton								
Charon	I	19.636(8)	0.0076(5)	96.163(32)	⁽⁶⁾	6.387 223(17)	Christy/Harrington	1978

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

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

⁽³⁾ Équateur céleste J2000.

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

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

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

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

⁽⁸⁾ Plan de Laplace du satellite.

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

1.4.2. Éléments osculateurs des satellites découverts après 1990

On donne dans la table 1.15, 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	XXXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Thelxinoé	XLII	21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
Aetna	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Calé	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Callichoré	XLIV	22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	2003	10/06/03	M2003-E29
Taygète	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldéné	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Calycé	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Mégaclyté	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
Callirrhoe	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
Psithée	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isonoe	XXVI	23 795	0.296	165.88	145.64	149.81	749.88	2000	18/10/01	M2002-A12
Eurydomé	XXXII	23 831	0.326	150.43	254.92	306.71	751.57	2001	22/11/02	M2003-A21
Aoidé	XLI	24 010	0.519	160.66	104.71	200.60	760.08	2003	27/12/03	M2004-B43
Erinomé	XXV	24 062	0.192	162.95	355.99	321.69	762.55	2000	18/10/01	M2001-W33
Spondé	XXXVI	24 356	0.483	155.09	81.02	128.13	776.52	2001	10/06/03	M2003-E05
Autonoé	XXVIII	24 413	0.459	152.06	57.62	273.23	779.27	2001	22/11/02	M2002-V03
Hégémoné	XXXIX	24 448	0.264	152.62	235.38	327.61	780.96	2003	10/06/03	M2003-E24
Eukéladé	XLVII	24 491	0.345	163.38	344.76	218.73	783.03	2003	10/06/03	M2003-E29
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 17		22 511	0.187	163.74	333.48	306.80	689.98	2003	10/06/03	M2003-G19
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
Saturne										
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	1 142.37	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
Uranus										
Cupidon	XXVII	74.8					0.618	2003		IAUC 8209
Perdita	XXV	76.4					0.638	1999		IAUC 7171
Mab	XXVI	97.7					0.923	2003		IAUC 8209
Francisco	XXII	4 270	0.143	147.61	123.19	103.06	266.57	2001	27/12/03	M2003-T29
Caliban	XVI	7 169	0.082	139.68	339.46	174.99	579.44	1997	6/07/98	IAUC 6870
Stéphano	XX	7 942	0.146	141.54	29.84	189.50	675.71	1999	13/09/00	IAUC 7473
Trinculo	XXI	8 571	0.208	166.33	160.60	199.06	758.06	2001	22/11/02	M2002-S64
Sycorax	XVII	12 214	0.509	152.67	18.01	255.81	1 288.55	1997	6/07/98	IAUC 6869
Marguerite	XXIII	14 649	0.783	50.65	77.97	18.01	1 693.88	2003	27/12/03	M2003-T58
Prospéro	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Sétébos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
Ferdinand	XXIV	20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
Neptune										
Halimède	IX	16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
Sao	XI	22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
Laomédie	XII	22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
Néso	XIII	47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
Psamathée	X	49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19
Pluton										
Nix	II	49.4					25.3	2005		IAUC 8625
Hydre	III	64.7					38.2	2005		IAUC 8625

1.4.3. Paramètres physiques

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

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			

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), rapportée au méridien origine du corps (Fukushima, 1990). Pour la sphère on donne le rayon

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

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

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

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, Hypérioron, 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}
Hypériorion	VII	8.6×10^{-12}	3×10^{-8}	1.1×10^9

Table 1.18. (suite).

Nom	N°	<i>m</i>		<i>Gm</i> (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
Naïade	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
Télésto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6
Calypso	XIV	9.5±4	15.0 - 8.0 - 8.0			18.5	0.8
Dioné	IV	560±5	560 - 560 - 560	1.052	1.4	10.4	0.55
Hélène	XII	16	17.5 - - -			17	0.5

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							
Rhée	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
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 :

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

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 101325 Pa. L'usage de cette unité est fortement déconseillé ; elle n'est donnée ici qu'à titre d'information.

L'inch

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

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

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

Le jansky

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

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

1.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E., Bec-Borsenberger, A., et al. : 2003, Improvement of the ephemerides of Phoebe, 9th satellite of Saturn, from new observations made from 1995 to 2000, *Astron. Astrophys.* **411**, 309.
- Aksnes, K. : 1978, The motion of Jupiter XIII (Leda), 1974-2000, *Astron. J.* **83**, 1249.
- Banfield, D., Murray, N. : 1992, A dynamical history of the inner Neptunian satellites, *Icarus* **99**, 390.
- Bec-Borsenberger, A. : 2004, Communication privée.
- BIPM : 1998, *Le Système International d'unités (SI)*, Pavillon de Breteuil, Sèvres.
- Blaauw, A., Gum, C.S., et al : 1960, The new IAU system of galactic coordinates (1958 revision), *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **121**, 123.
- Bond, W.C. : 1851, On the new ring of Saturn, *Astron. J.* **2**, 5.
- Bretagnon, P. : 2002, Communication privée.
- Buratti, B., Veverka, J. : 1984, Voyager photometry of Rhea, Dione, Tethys, Enceladus and Mimas, *Icarus* **58**, 254.
- Bureau des longitudes : 1981, La physique, *Encyclopédie scientifique de l'univers IV*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : 1986, Les étoiles, le système solaire, *Encyclopédie scientifique de l'univers II*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1995, Éphémérides des satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1996, Éphémérides des satellites faibles de Jupiter et de Saturne, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bursa, M. : 1992, Parameters of common relevance of astronomy, geodesy and geodynamics, *Bull. Géod.* **66**, 193.
- Campbell, J.K., Anderson, J.D. : 1989, Gravity field of the Saturnian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **97**, 1485.
- Campbell, J.K., Synnot, S.P. : 1985, Gravity field of the Jovian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **90**, 364.
- Chapront-Touzé, M. : 1988, ESAPHO : a semi-analytical theory for the orbital motion of Phobos, *Astron. Astrophys.* **200**, 255.
- Chapront-Touzé, M. : 1990, Orbits of the Martian satellites from ESAPHO and ESADE theories, *Astron. Astrophys.* **240**, 159.
- Christy, J.W., Harrington, R.S. : 1978, The satellite of Pluto, *Astron. J.* **83**, 1005.
- Cohen, E.R., Taylor, B.N. : 1986, The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, *Codata Bulletin* **63**.
- Dickey, J.O. : 1989, Intercomparisons between kinematic and dynamical systems, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht, 305.

- Dourneau, G. : 1993, Orbital elements of the eight major satellites of Saturn determined from a fit of their theories of motion to observations from 1886 to 1985, *Astron. Astrophys.* **267**, 292.
- Elliot, J.L., Dunham, E., Millis, R.L. : 1977, Discovering the rings of Uranus, *Sky and Telescope* **53**, 412.
- 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.
- Jacobson, R.A. : 1990, The orbits of the satellites of Neptune, *Astron. Astrophys.* **231**, 241.
- Jacobson, R.A., Campbell, J.K., et al. : 1992, The masses of Uranus and its major satellites from Voyager tracking data and Earth-based Uranian satellite data, *Astron. J.* **103**, 2068.
- Jacobson, R.A., Riedel, J.E., Taylor, A.H. : 1991, The orbits of Triton and Nereid from spacecraft and Earth-based observations, *Astron. Astrophys.* **247**, 565.
- Johnson, T., Becklin, E.E., et al. : 1979, Jupiter, *Circ. UAI* **3338**.
- Kerr, F.J., Lynden-Bell, D. : 1986, Review of galactic constants, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **221**, 1023.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.

- Lieske, J.H. : 1980, Improved ephemerides of the Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **82**, 340.
- Lieske, J.H. : 1987, Galilean satellites evolution : observational evidence for secular changes in mean motions, *Astron. Astrophys.* **176**, 146.
- Melbourne, W., Anderle, R., et al. : 1983, Project MERIT standards, *U.S. Naval Observatory, Circ.* **167**.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **80**, 205.
- Murray, C.A. : 1989, The transformation of coordinates between the systems of B1950.0 and J2000.0 and the principal galactic axes referred to J2000.0, *Astron. Astrophys.* **218**, 325.
- Nicholson, P.D., Cooke, M.L., et al. : 1990, Five stellar occultations by Neptune : further observations of ring arcs, *Icarus* **87**, 1.
- Nicholson, P.D., Matthews, K. : 1991, Near-infrared observations of the Jovian ring and small satellites, *Icarus* **93**, 331.
- Null, G.W., Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1993, Masses and densities of Pluto and Charon, *Astron. J.* **105**, 2319.
- Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1987, Orbits of the ten small satellites of Uranus, *Astron. J.* **93**, 1268.
- Owen, W.M., Vaughan, R.M., Synnott, S.P. : 1991, Orbits of the six new satellites of Neptune, *Astron. J.* **101**, 1511.
- Pascu, D., Panossian, S.P., et al. : 1992, B, V photometry of Thebe (JXIV), *Icarus* **98**, 38.
- Rocher, P. : 1996, Communication privée.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales ?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Seidelmann, P.K., Abalakin, V.K., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2002, *Celest. Mech.* **82**, 83.
- Showalter, M.R., Cuzzi, J.N., et al. : 1986, Satellite “wakes” and the orbit of the Encke gap moonlet, *Icarus* **66**, 297.
- Showalter, M.R. : 1990, Saturn, *Circ. UAI* **5052**.
- Simon, J.-L. : 2004, Communication privée.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Smith, B.A., Soderblom, L., et al. : 1981, A new look at the Saturn system : the Voyager 2 images, *Science* **212**, 163.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, *JPL IOM* **312.F**, 98.
- Stone, E.C., Miner, E.D. : 1982, Voyager 2 encounter with the Saturnian system, *Science* **215**, 499.
- Synnott, S.P. : 1984, Orbits of the small inner satellites of Jupiter, *Icarus* **58**, 178.
- Synnott, S.P., Peters, et al. : 1981, Orbits of the small satellites of Saturn, *Science* **212**, 191.
- Synnott, S.P., Terrile, R.J., et al. : 1983, Orbits of Saturn’s F ring and its shepherding satellites, *Icarus* **53**, 156.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1990, Further analysis of Pluto-Charon mutual event observations - 1990, *BAAS* **22**, 1129.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1997, The orbit of Charon.I. New Hubble Space telescope observations,

Icarus **125**, 245.

- Tholen, D.J., Zellner, B. : 1983, Eight-color photometry of Hyperion, Iapetus and Phoebe, *Icarus* **53**, 341.
- Thomas, P., Weitz, C., Veverka, J. : 1989, Small satellites of Uranus : disk integrated photometry and estimated radii, *Icarus* **81**, 92.
- Thuillot, W., Vu, D.T. : 1986, Excentricités et inclinaisons moyennes des orbites des satellites galiléens de Jupiter, *Notes scientifiques et techniques du Bureau des longitudes* **S009**.
- Tyler, G.L., Eshleman, V.R., et al. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- 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**.
- 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 $T_1 = a T_2 + b$. Les échelles liées par ce type de relation sont dites équivalentes. En restreignant la question de l'uniformité du TAI à cet aspect on peut fournir une réponse basée sur l'observation. Les comparaisons du TAI et du Temps des éphémérides effectuées depuis près de quarante ans indiquent que l'écart entre les deux échelles est demeuré constant

$$TE = TAI + 32,184 \text{ s} = TAI + 0,000\,3725 \text{ jour}$$

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

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

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

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

Finalement la réalisation du Temps atomique à partir des étalons au césium repose sur l'hypothèse, non démentie par l'expérience, de l'invariabilité dans l'espace et dans le temps de

la fréquence associée à la transition entre deux niveaux déterminés d'un atome de césium 133 non perturbé.

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

2.5.1. Définition et propriétés

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

En premier lieu son origine arbitraire impliquait que la datation d'un événement bien identifié dans cette échelle ne coïncidait pas avec la datation donnée dans une autre échelle, temps solaire ou Temps des éphémérides. Ce n'est pas un défaut bien gênant et il était toujours possible d'y remédier par un choix adapté de l'origine.

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

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

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

$$|\text{UT1} - \text{UTC}| \leq 0,9 \text{ seconde.}$$

Selon le degré d'urgence, le saut de seconde est placé en priorité à la fin de décembre ou de juin, l'annonce étant faite au moins six mois à l'avance. La relation exacte entre UT1 et UTC ne peut être connue qu'avec retard lorsque les mesures de la rotation de la Terre sont publiées. Ceci n'est plus lié à la métrologie du temps, mais bien à l'étude de l'orientation de la Terre dans l'espace,

dont la connaissance est tout à fait essentielle à la préparation et au traitement des observations. La table 2.2 donne la différence TAI – UTC selon l'IERS.

2.5.2. Le futur de l'UTC

L'avenir de UTC comme échelle largement diffusée et accessible pour les besoins civils est en discussion au sein des instances internationales incluant les communautés astronomique, géodésique et géophysique ainsi que les organismes de télécommunications et de navigation. Le reproche principal que l'on peut faire à cette échelle est son absence de continuité matérialisée par 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 2010 (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			

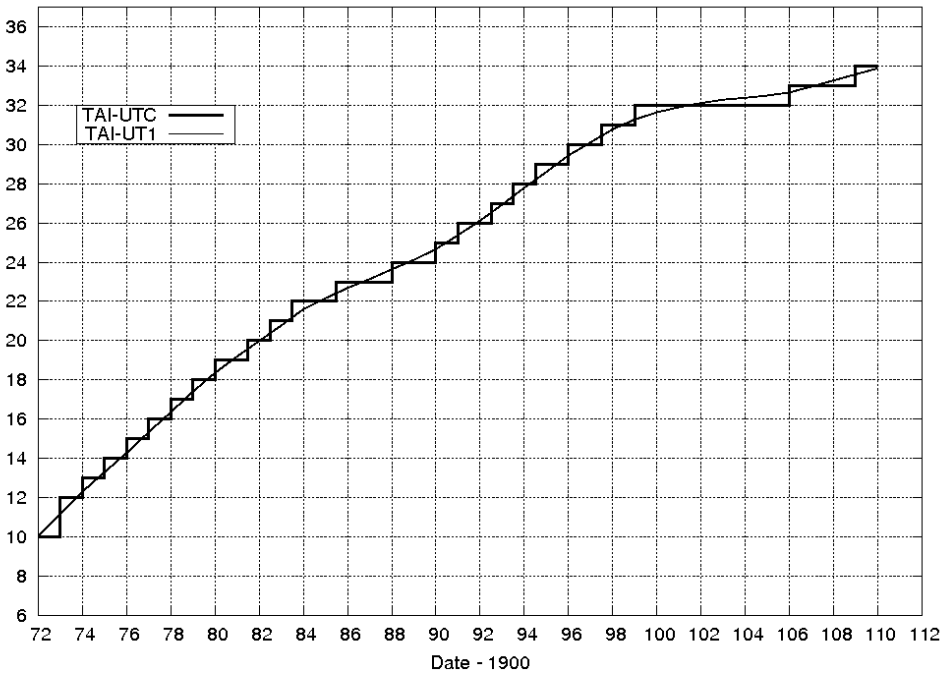


Fig. 2.1. Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1972 à 2010.

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, $U/c^2 \sim GM_{\odot}/ac^2 \sim 9,872 \times 10^{-9}$ 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,

$$\left\langle \frac{d\text{TCG}}{d\text{TCB}} \right\rangle = 1 - L_C,$$

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.

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

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	1656.674564	628.3075850	6.2400542	1.00	49	0	0.040184	-0.7113547	3.5659756	883.27
2	0	22.417471	575.3384885	4.2969774	1.09	50	0	0.036955	315.4687085	5.0718014	1.99
3	0	13.839792	1256.6151700	6.1969044	0.50	51	0	0.036564	508.8628840	3.3246790	1.23
4	0	4.770086	52.9690965	0.4444016	11.86	52	0	0.036507	80.1820931	6.2488660	7.84
5	0	4.676740	606.9776755	4.0211951	1.04	53	0	0.034867	52.2577418	5.2100641	12.02
6	0	2.256707	21.3299095	5.5431133	29.46	54	0	0.033529	943.7762935	2.4047142	0.67
7	0	1.694205	-0.3523118	5.0251327	1783.42	55	0	0.033477	606.2663208	4.1449873	1.04
8	0	1.554905	7771.3771468	5.1984666	0.08	56	0	0.032438	607.6890302	0.7493174	1.03
9	0	1.276839	786.0419392	5.9888223	0.80	57	0	0.032423	882.7390270	5.5414736	0.71
10	0	1.193379	522.3693920	3.6498237	1.20	58	0	0.030215	708.4896781	3.3896103	0.89
11	0	1.115322	393.0209696	1.4227451	1.60	59	0	0.029862	1213.9553509	1.7701810	0.52
12	0	0.794185	1150.6769770	2.3223131	0.55	60	0	0.029247	-7143.0695618	4.1831792	0.09
13	0	0.600309	157.7343542	2.6782719	3.98	61	0	0.028244	-628.6598968	5.0696635	1.00
14	0	0.496817	620.8294251	5.6967018	1.01	62	0	0.027567	627.9552732	5.0408460	1.00
15	0	0.486306	588.4926847	0.5200072	1.07	63	0	0.025196	174.8016413	2.9018833	3.59
16	0	0.468597	624.4942814	5.8663988	1.01	64	0	0.024816	-119.4447010	1.0871369	5.26
17	0	0.447061	2.6298320	3.6157965	238.92	65	0	0.022567	613.3512653	3.3079848	1.02
18	0	0.435206	-39.8149003	4.3493383	15.78	66	0	0.022509	1044.7387840	1.4607262	0.60
19	0	0.432392	7.4781599	2.4358983	84.02	67	0	0.021691	1414.3495242	5.9526580	0.44
20	0	0.375510	550.7553239	4.1034768	1.14	68	0	0.020937	842.9241266	0.6523034	0.75
21	0	0.243085	-77.5522611	3.6518379	8.10	69	0	0.020322	41.9484644	3.7354306	14.98
22	0	0.230685	585.6477659	4.7738526	1.07	70	0	0.017806	7.3297126	3.4759751	85.72
23	0	0.203747	1203.6460735	4.3339878	0.52	71	0	0.017673	681.2766815	3.1861298	0.92
24	0	0.173435	1884.9227550	6.1537435	0.33	72	0	0.016155	1021.3285546	1.3311032	0.62
25	0	0.159080	1097.7078805	1.8900752	0.57	73	0	0.015974	-235.2866154	6.1453094	2.67
26	0	0.143935	-79.6298007	5.9575178	7.89	74	0	0.015949	-22.0412642	4.0052983	28.51
27	0	0.137927	1179.0629089	1.1359347	0.53	75	0	0.015078	1965.1048481	3.9694808	0.32
28	0	0.119979	3.8133036	4.5515858	164.77	76	0	0.014751	134.9867410	4.3089333	4.65
29	0	0.118971	548.6777843	1.9145472	1.15	77	0	0.014318	1673.0463690	5.0160581	0.38
30	0	0.116120	105.9381930	0.8735041	5.93	78	0	0.014223	1778.9845620	2.1045513	0.35
31	0	0.101868	-557.3142802	5.9845034	1.13	79	0	0.013671	-53.6804512	5.9716726	11.70
32	0	0.098358	254.4314420	0.0927939	2.47	80	0	0.012462	10.3092774	1.7374388	60.95
33	0	0.080164	20.6185548	2.0953777	30.47	81	0	0.012420	469.0479836	4.7340904	1.34
34	0	0.079645	469.4002955	2.9492336	1.34	82	0	0.011942	803.1092263	2.0534147	0.78
35	0	0.075019	294.2463423	4.9809318	2.14	83	0	0.011847	564.3178564	5.4890054	1.11
36	0	0.064397	574.6271338	1.2803087	1.09	84	0	0.011707	-470.5732308	2.6541256	1.34
37	0	0.063814	576.0498432	4.1679017	1.09	85	0	0.011622	512.0601146	4.8639319	1.23
38	0	0.062617	2.0775395	2.6543948	302.43	86	0	0.010962	0.3590429	2.1965677	1749.98
39	0	0.058844	42.6598191	4.8396501	14.73	87	0	0.010825	55.3569403	0.8427150	11.35
40	0	0.054139	1726.0154655	3.4110911	0.36	88	0	0.010453	586.3591206	1.9137046	1.07
41	0	0.048373	15.5420399	2.2515737	40.43	89	0	0.010396	95.1718406	5.7177996	6.60
42	0	0.048042	214.6165416	1.4958460	2.93	90	0	0.010099	28.3859319	1.9421770	22.13
43	0	0.046551	-0.0980321	0.9215735	6409.31	91	0	0.009963	14.9563197	4.8706906	42.01
44	0	0.042732	63.2783739	5.7206222	9.93	92	0	0.009858	630.9374170	1.0618164	1.00
45	0	0.042560	16100.0685737	1.2708372	0.04	93	0	0.009370	14985.4400134	0.6738790	0.04
46	0	0.042411	627.5962303	2.8695670	1.00	94	0	0.008666	-13.5065080	3.2934065	46.52
47	0	0.040759	1235.2852605	3.9814970	0.51	95	0	0.008610	334.0612427	3.6616989	1.88
48	0	0.040480	1572.0838785	2.5466101	0.40	96	0	0.008323	1176.9853693	1.2293920	0.53

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
97	0	0.008107	1336.7972631	3.7932353	0.47	145	0	0.002954	-628.3008540	4.5334712	1.00
98	0	0.007959	31.6391870	2.4650426	19.86	146	0	0.002954	628.3143160	4.4472038	1.00
99	0	0.007857	1216.8002697	0.5257335	0.52	147	0	0.002881	73.5876514	0.3492503	8.54
100	0	0.007505	523.0807467	4.9209370	1.20	148	0	0.002872	2.8449187	1.1586930	220.86
101	0	0.007490	-625.6777530	3.6584447	1.00	149	0	0.002863	1729.8182327	5.2409638	0.36
102	0	0.007332	3.6648563	0.1148587	171.44	150	0	0.002775	991.7696875	1.0300263	0.63
103	0	0.007147	-24.2728604	3.6614870	25.89	151	0	0.002740	1831.9536585	4.3205195	0.34
104	0	0.007117	3.8027673	5.2942495	165.23	152	0	0.002646	1097.3555686	3.9182592	0.57
105	0	0.007019	620.6809779	0.8376888	1.01	153	0	0.002575	2513.2303400	6.1096590	0.25
106	0	0.006919	668.1224853	6.0185015	0.94	154	0	0.002493	638.6168624	0.6450265	0.98
107	0	0.006858	521.6580373	0.6420633	1.20	155	0	0.002464	20.2253395	4.6982031	31.07
108	0	0.006826	763.2943260	3.4586541	0.82	156	0	0.002409	0.2542797	5.3250093	2470.97
109	0	0.006731	565.0292111	5.6399066	1.11	157	0	0.002401	1620.0772725	2.6055471	0.39
110	0	0.006603	2358.1258177	5.3931369	0.27	158	0	0.002397	624.3458342	3.8092900	1.01
111	0	0.006366	416.4311990	2.2620818	1.51	159	0	0.002381	6.3735898	0.7591882	98.58
112	0	0.006304	1192.6254414	2.5129292	0.53	160	0	0.002366	0.3932153	6.2158854	1597.90
113	0	0.006056	95.5599742	4.1945351	6.58	161	0	0.002353	63.9897286	3.7345481	9.82
114	0	0.005680	2301.3539540	4.5578148	0.27	162	0	0.002353	624.6427287	4.7817198	1.01
115	0	0.005582	596.6683980	2.2461743	1.05	163	0	0.002303	1807.3704939	1.0891004	0.35
116	0	0.005488	-0.3455808	0.0906754	1818.15	164	0	0.002303	8399.6847318	2.0136864	0.07
117	0	0.005308	-159.2596014	2.5003824	3.95	165	0	0.002296	649.6374945	5.0618107	0.97
118	0	0.005123	-0.1484473	2.9996410	4232.60	166	0	0.002229	49.1557929	1.5710071	12.78
119	0	0.005119	643.8496249	1.4865392	0.98	167	0	0.002199	-24.5831646	5.9561523	25.56
120	0	0.005096	1137.1704690	2.5471078	0.55	168	0	0.002186	45.4909367	1.4021015	13.81
121	0	0.004892	543.6993015	1.4754156	1.16	169	0	0.002183	116.2474704	6.1709117	5.41
122	0	0.004841	533.3900241	0.4370781	1.18	170	0	0.002169	1101.5106477	4.8452977	0.57
123	0	0.004648	158.9072895	1.2758471	3.95	171	0	0.002103	-707.9373857	5.7566416	0.89
124	0	0.004553	1149.9656223	5.5549983	0.55	172	0	0.002085	3.5164090	1.4051585	178.68
125	0	0.004521	429.2330833	6.1406358	1.46	173	0	0.002024	1471.2317116	2.7520359	0.43
126	0	0.004349	1151.3883317	2.1817454	0.55	174	0	0.001897	2248.3848574	4.1679325	0.28
127	0	0.004193	723.4794256	4.8690914	0.87	175	0	0.001896	-312.8388765	4.9142316	2.01
128	0	0.004164	1249.1370101	5.6509319	0.50	176	0	0.001894	105.2268383	5.8171674	5.97
129	0	0.004148	-11.0206321	3.0161734	57.01	177	0	0.001847	1087.3986030	2.9034779	0.58
130	0	0.004080	-705.8598461	3.6903601	0.89	178	0	0.001825	-373.8761430	0.5458288	1.68
131	0	0.004044	473.2030627	1.3987848	1.33	179	0	0.001810	-8886.0057071	0.4873548	0.07
132	0	0.003919	1252.8018664	5.8233197	0.50	180	0	0.001745	24428.7600007	3.6263952	0.03
133	0	0.003742	723.8675592	4.6919762	0.87	181	0	0.001737	629.0189397	5.2808201	1.00
134	0	0.003625	620.9778724	1.4737606	1.01	182	0	0.001729	389.4181830	1.2649766	1.61
135	0	0.003500	26.3083923	1.8921007	23.88	183	0	0.001649	3144.1677570	1.9520493	0.20
136	0	0.003354	-9095.5551695	1.9426562	0.07	184	0	0.001602	1431.4168113	4.2036648	0.44
137	0	0.003279	584.9364112	4.8933844	1.07	185	0	0.001472	459.0910180	4.1649133	1.37
138	0	0.003270	7.6266071	1.5171899	82.39	186	0	0.001421	2.0355319	2.4198866	308.68
139	0	0.003202	2751.1467874	0.5316731	0.23	187	0	0.001416	922.5539273	4.9964084	0.68
140	0	0.003129	683.6645253	0.0038441	0.92	188	0	0.001408	1098.4192352	2.7320848	0.57
141	0	0.003074	94.9175609	5.1858787	6.62	189	0	0.001391	-863.5942004	0.5938915	0.73
142	0	0.003053	23314.1314403	3.0290293	0.03	190	0	0.001388	-0.7046237	1.1661459	891.71
143	0	0.003024	8328.6914270	2.3555561	0.08	191	0	0.001376	1096.9965258	5.1529143	0.57
144	0	0.003002	617.2869529	2.7978228	1.02	192	0	0.001335	-26.6607042	3.9957640	23.57

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
193	0	0.001321	1820.9330264	2.6248664	0.35	241	0	0.000674	1494.5316174	6.2705105	0.42
194	0	0.001297	2122.8392024	0.3826035	0.30	242	0	0.000673	106.6495477	3.8765124	5.89
195	0	0.001297	2354.3230505	3.0638052	0.27	243	0	0.000662	2515.8601720	1.7940584	0.25
196	0	0.001288	-199.0745017	3.9130229	3.16	244	0	0.000660	62.5670192	5.8640919	10.04
197	0	0.001284	1057.5406683	5.3065382	0.59	245	0	0.000647	1185.6218652	3.3971331	0.53
198	0	0.001278	7.1812653	4.7134865	87.49	246	0	0.000646	1140.3676996	3.8529595	0.55
199	0	0.001238	480.4209276	5.5033797	1.31	247	0	0.000641	8346.7156353	3.2107273	0.08
200	0	0.001176	27.7034994	3.3355190	22.68	248	0	0.000631	576.7611979	4.0265323	1.09
201	0	0.001169	604.0347246	5.8417190	1.04	249	0	0.000630	3.6027867	0.1563685	174.40
202	0	0.001155	-1.4227094	3.0427008	441.64	250	0	0.000618	2200.3914635	2.4664270	0.29
203	0	0.001145	605.8731054	1.1694839	1.04	251	0	0.000611	-14357.1324284	2.4249797	0.04
204	0	0.001077	17.5166060	1.8449131	35.87	252	0	0.000609	1017.7257680	0.4371223	0.62
205	0	0.001070	-15471.7609887	1.8276245	0.04	253	0	0.000607	-3.9617508	2.8390216	158.60
206	0	0.001039	554.0085789	2.7697535	1.13	254	0	0.000603	-6514.7619768	4.140836	0.10
207	0	0.001004	-17.0672871	0.7550081	36.81	255	0	0.000601	41.2371097	3.9842254	15.24
208	0	0.000991	470.1116502	4.3870018	1.34	256	0	0.000576	1108.7285126	4.7602931	0.57
209	0	0.000987	-626.2300454	2.6564870	1.00	257	0	0.000575	1204.3574282	4.2164924	0.52
210	0	0.000979	554.7199336	5.4483760	1.13	258	0	0.000574	7214.0628666	1.7581909	0.09
211	0	0.000954	628.2095529	0.8822135	1.00	259	0	0.000567	363.4621025	1.6492647	1.73
212	0	0.000954	-628.4056171	0.9684809	1.00	260	0	0.000559	1119.0377900	5.7832364	0.56
213	0	0.000940	603.7244204	6.1974281	1.04	261	0	0.000553	1241.6588503	4.7721580	0.51
214	0	0.000908	13.1541962	2.5212575	47.77	262	0	0.000550	490.7302050	0.8640243	1.28
215	0	0.000907	3537.1887266	3.3701960	0.18	263	0	0.000531	648.9261398	1.6818888	0.97
216	0	0.000890	1391.6019110	5.6014983	0.45	264	0	0.000520	3930.2096962	4.7880029	0.16
217	0	0.000885	1171.2955318	3.2804149	0.54	265	0	0.000520	1034.4295065	2.4455978	0.61
218	0	0.000884	-155.1045223	1.0888317	4.05	266	0	0.000515	1863.5928455	3.9453459	0.34
219	0	0.000876	501.7508371	3.9699026	1.25	267	0	0.000509	84.6082835	3.0538746	7.43
220	0	0.000852	19.9072001	2.1896050	31.56	268	0	0.000495	734.2457780	3.8172858	0.86
221	0	0.000845	-43.3711738	4.7492452	14.49	269	0	0.000494	962.3688277	3.0226451	0.65
222	0	0.000819	866.2240324	5.9912478	0.73	270	0	0.000493	1842.2629359	1.6769393	0.34
223	0	0.000814	1765.4780540	4.6271226	0.36	271	0	0.000491	22.4344796	0.6783728	28.01
224	0	0.000806	1511.0466120	5.1428767	0.42	272	0	0.000486	-32.3505417	4.0616739	19.42
225	0	0.000806	30.9278323	6.0540644	20.32	273	0	0.000485	670.2560494	0.2105809	0.94
226	0	0.000798	14.8078724	5.9092251	42.43	274	0	0.000484	1726.7268202	3.2905891	0.36
227	0	0.000798	51.5463871	5.1519625	12.19	275	0	0.000481	574.9452732	4.3095920	1.09
228	0	0.000773	-413.6910434	0.0220678	1.52	276	0	0.000480	595.9570433	5.0313510	1.05
229	0	0.000764	-612.7655451	2.2363463	1.03	277	0	0.000480	575.7317038	1.1423486	1.09
230	0	0.000738	613.4997126	2.2426689	1.02	278	0	0.000478	126.5567479	5.4873146	4.96
231	0	0.000737	532.6786694	4.9238316	1.18	279	0	0.000472	-1256.9674818	5.1121333	0.50
232	0	0.000732	237.9164474	2.5018134	2.64	280	0	0.000472	-1.8159247	1.9997076	346.00
233	0	0.000726	542.9879468	6.0396069	1.16	281	0	0.000470	1202.9347188	1.4056112	0.52
234	0	0.000723	1725.6631536	6.0687196	0.36	282	0	0.000466	1256.2628582	4.9595816	0.50
235	0	0.000710	2876.6924424	5.6726177	0.22	283	0	0.000465	1725.3041108	0.3534963	0.36
236	0	0.000706	1255.9038153	2.8248489	0.50	284	0	0.000463	573.9157791	1.4112230	1.09
237	0	0.000704	1352.1751442	2.3009913	0.46	285	0	0.000461	617.9983076	0.5136693	1.02
238	0	0.000694	349.6032826	2.6683091	1.80	286	0	0.000458	1213.2439962	1.8801038	0.52
239	0	0.000689	468.6889408	6.2242711	1.34	287	0	0.000449	1160.9862544	4.1799896	0.54
240	0	0.000678	-548.1254919	6.2496667	1.15	288	0	0.000432	1685.8482533	1.1792564	0.37

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (fin).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	1	10.215672	628.3075850	4.2490320	1.00	46	1	0.000305	564.3178564	1.3626344	1.11
2	1	0.170681	1256.6151700	4.2059042	0.50	47	1	0.000303	41.9484644	5.2864738	14.98
3	1	0.026967	21.3299095	3.4002905	29.46	48	1	0.000299	469.0479836	6.2358721	1.34
4	1	0.026592	52.9690965	5.8360474	11.86	49	1	0.000297	681.2766815	1.5830127	0.92
5	1	0.021057	-0.3523118	6.2627383	1783.42	50	1	0.000293	521.6580373	2.3199513	1.20
6	1	0.007800	522.3693920	4.6703442	1.20	51	1	0.000289	586.3591206	0.0951976	1.07
7	1	0.005915	2.6298320	1.0830447	238.92	52	1	0.000266	315.4687085	2.4874479	1.99
8	1	0.005476	157.7343542	4.5348002	3.98	53	1	0.000259	1235.2852605	1.9919358	0.51
9	1	0.003442	-39.8149003	5.9800774	15.78	54	1	0.000257	80.1820931	3.4256115	7.84
10	1	0.003359	550.7553239	5.9801623	1.14	55	1	0.000250	643.8496249	2.9947798	0.98
11	1	0.003209	1884.9227550	4.1629135	0.33	56	1	0.000244	1044.7387840	2.3471392	0.60
12	1	0.002920	585.6477659	0.6238119	1.07	57	1	0.000243	523.0807467	3.0847528	1.20
13	1	0.002776	15.5420399	3.7453181	40.43	58	1	0.000205	708.4896781	0.5263239	0.89
14	1	0.002519	574.6271338	2.9803305	1.09	59	1	0.000189	803.1092263	3.5690037	0.78
15	1	0.002498	576.0498432	2.4679137	1.09	60	1	0.000180	-7143.0695618	2.1922960	0.09
16	1	0.002300	-79.6298007	1.1744118	7.89	61	1	0.000178	0.3932153	5.1804337	1597.90
17	1	0.002177	20.6185548	3.8547875	30.47	62	1	0.000174	627.9552732	0.0874840	1.00
18	1	0.001792	-77.5522611	1.0920660	8.10	63	1	0.000174	584.9364112	0.4175584	1.07
19	1	0.001379	42.6598191	2.6998320	14.73	64	1	0.000170	-159.2596014	3.9970977	3.95
20	1	0.001328	606.2663208	5.8458019	1.04	65	1	0.000169	-470.5732308	4.6417792	1.34
21	1	0.001287	607.6890302	5.3334257	1.03	66	1	0.000168	3.8133036	4.1645294	164.77
22	1	0.001215	105.9381930	6.2228745	5.93	67	1	0.000164	842.9241266	2.1806196	0.75
23	1	0.001177	1203.6460735	2.2928321	0.52	68	1	0.000163	763.2943260	4.9684457	0.82
24	1	0.001108	-0.7113547	5.1547250	883.27	69	1	0.000146	429.2330833	1.3560981	1.46
25	1	0.001014	469.4002955	4.0440138	1.34	70	1	0.000144	1149.9656223	0.9743879	0.55
26	1	0.001008	52.2577418	0.7493203	12.02	71	1	0.000144	2.0355319	3.8954394	308.68
27	1	0.000936	548.6777843	3.4160814	1.15	72	1	0.000137	1414.3495242	3.9875766	0.44
28	1	0.000863	627.5962303	4.5620602	1.00	73	1	0.000136	1151.3883317	0.4955723	0.55
29	1	0.000859	1097.7078805	2.7771526	0.57	74	1	0.000134	723.4794256	0.0904543	0.87
30	1	0.000816	-22.0412642	5.8068915	28.51	75	1	0.000126	683.6645253	1.5090694	0.92
31	1	0.000775	254.4314420	1.6031971	2.47	76	1	0.000117	10.3092774	2.8384968	60.95
32	1	0.000767	214.6165416	3.0002004	2.93	77	1	0.000116	416.4311990	3.4083878	1.51
33	1	0.000710	7.4781599	0.4437258	84.02	78	1	0.000109	606.9776755	3.6179427	1.04
34	1	0.000618	-53.6804512	1.3026428	11.70	79	1	0.000101	-625.6777530	0.6618265	1.00
35	1	0.000609	174.8016413	4.4037652	3.59	80	1	0.000101	1778.9845620	0.2863502	0.35
36	1	0.000598	-119.4447010	2.5834726	5.26	81	1	0.000101	63.9897286	1.6107621	9.82
37	1	0.000582	508.8628840	4.8277235	1.23						
38	1	0.000526	55.3569403	2.3361073	11.35						
39	1	0.000494	-628.6598968	0.2683052	1.00	1	2	0.043230	628.3075850	2.6428937	1.00
40	1	0.000477	134.9867410	5.8086367	4.65	2	2	0.004065	0.0000000	4.7123890	
41	1	0.000469	-24.2728604	5.1548906	25.89	3	2	0.001226	1256.6151700	2.4381406	0.50
42	1	0.000423	95.1718406	0.9311722	6.60	4	2	0.000195	21.3299095	1.6421870	29.46
						5	2	0.000169	52.9690965	4.5109593	11.86
						6	2	0.000134	-0.3523118	1.5022103	1783.42
43	1	0.000340	-235.2866154	2.5521899	2.67						
44	1	0.000321	-0.7046237	1.8637965	891.71						
45	1	0.000306	943.7762935	4.2264206	0.67	1	3	0.000143	628.3075850	1.1314536	1.00

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. CAPITAINE (3.6)

3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

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

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

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

3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

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

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

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

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

respectivement. Cependant les transformations relativistes reliant le TDB au TT d'une part, et les coordonnées spatiales barycentriques aux coordonnées géocentriques d'autre part, sont utilisées dans des observations de haute précision (VLBI, LLR (Lunar Laser Ranging), etc). Dans la dernière décennie du vingtième siècle, les résolutions de l'UAI adoptées en 1991 furent complétées à chaque assemblée générale de l'UAI. La résolution C7 (UAI, 1994), définissant l'époque J2000 et la durée du siècle julien en TT, recommandait aussi le développement de nouvelles éphémérides en TCB et TCG. La résolution B6 (UAI, 1997) recommandait encore une fois l'usage de systèmes de référence barycentrique et géocentrique en accord avec la résolution A4 (UAI, 1992), c'est-à-dire sans introduire les facteurs d'échelle de longueur et de masse qu'entraîne l'utilisation du TDB et du TT à la place du TCB et du TCG, respectivement. 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^i avec $q = 1$ pour le système D et $q = 0$ pour le système K. Le GCRS tel qu’il est défini par la résolution B1.3 (UAI, 2001) correspond avec ces notations à KGRS. Les théories planétaires VSOP sont construites dans le BRSC (Bretagnon et Francou, 1988). La théorie de la rotation de la Terre SMART est considérée comme étant dans le DGRSC (Bretagnon et al., 1997, 1998). Le système le plus adéquat pour la représentation du mouvement d’un satellite proche de la Terre est évidemment le DGRSQ. Puisque l’écliptique ne peut être défini raisonnablement qu’au niveau barycentrique, le GRSC (quelle que soit sa version dynamiquement ou cinématiquement non-tournant) doit être considéré uniquement comme un autre système intermédiaire entre l’ICRS et l’ITRS. De la même façon, puisque l’équateur ne peut être défini raisonnablement qu’au niveau géocentrique, le BRSQ doit être considéré comme un intermédiaire supplémentaire entre l’ICRS et l’ITRS.

3.2.3. Description mathématique

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

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

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

où P_C et P_Q sont des matrices de rotation constante. Cette rotation constante est aussi présente au niveau géocentrique dans les transformations entre systèmes du même type (D ou K). En comparant les solutions planétaires VSOP construites dans le BRSC et les éphémérides numériques DE403 dans l'ICRS on a

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

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

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

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

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

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 \hat{F}^i et F^i ; Brumberg et Simon (2003) donnent les séries pour F_C^i . Puisque la théorie SMART de rotation de la Terre (Bretagnon et al., 1997, 1998) est supposée construite dans le DGRSC, les trois angles d'Euler de la matrice $\hat{P}_1(u)$ peuvent être considérés comme des EOP dynamiques. Les angles d'Euler analogues de la matrice $\hat{P}_0(u)$ liés au KGRSC et à l'ITRS peuvent être considérés comme des EOP cinématiques (quantités observables). Les différences entre ces angles d'Euler dynamiques et cinématiques, fonctions de F_C , sont aussi données par Brumberg et Simon (2003).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec l'équation du temps relativiste

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

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

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

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

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

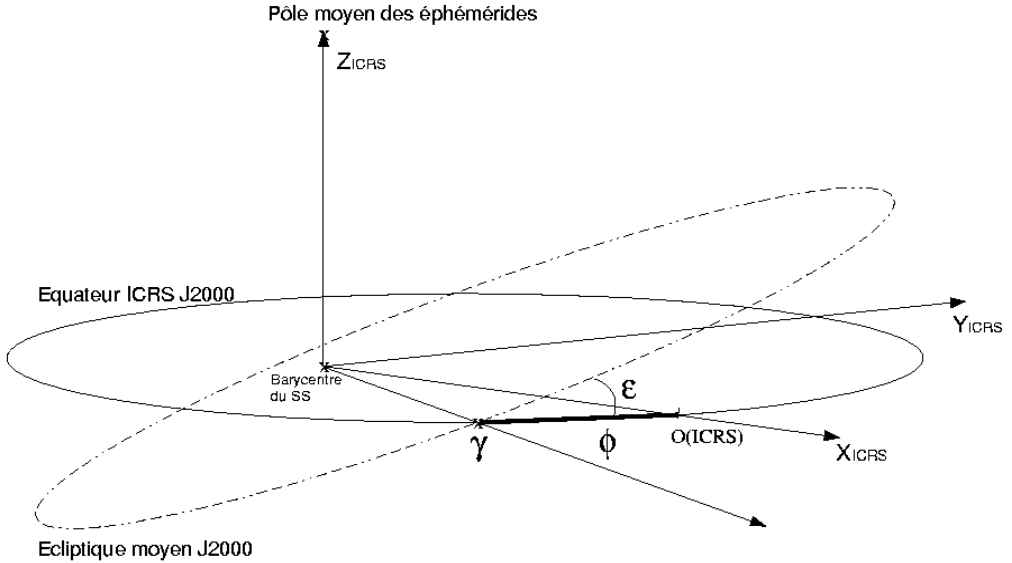


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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

3.3.2. Définitions

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

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

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

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

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

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

3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3.2. *Éphémérides semi-analytiques de la Lune*

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

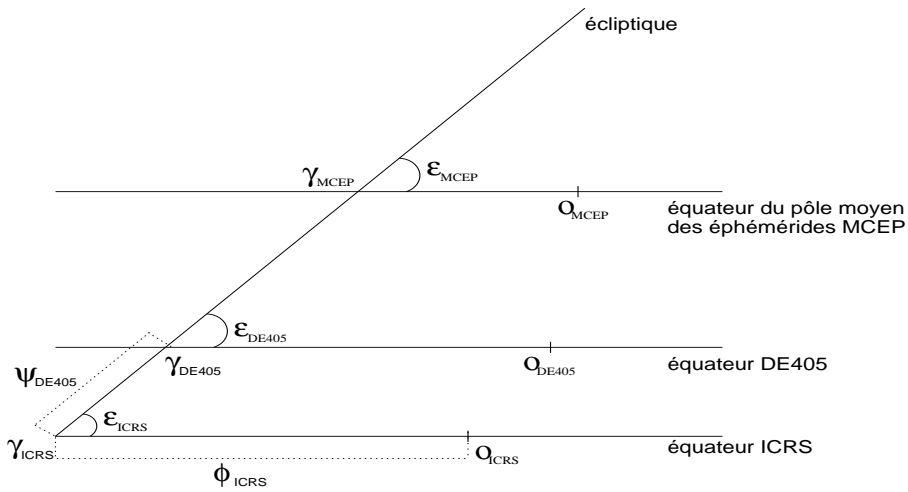


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d'après Chapront et al., 2002).

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 à un système d'axes équatorial fixe à J2000 (précession et nutation). Selon que l'on choisisse différentes rotations pour faire cette transformation de repère terrestre en repère céleste, on reliera le système dynamique déduit de la solution lunaire à différents systèmes de référence. Ainsi, si l'on choisit comme matrices de précession-nutation des matrices calculées à partir des

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

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

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

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

3.3.3.3. *Éphémérides planétaires analytiques VSOP*

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

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

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

3.3.4. Conclusion

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

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

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

3.4.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique

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

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

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

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

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

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

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

3.4.2. Les recommandations de l'UAI

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

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

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

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

3.4.3. Définition de l'ICRS

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

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

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

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

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

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

3.4.4. Maintenance de l'ICRS

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

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

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

3.4.5. Accessibilité à l'ICRS

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

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

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

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

3.4.6. Le repère de référence céleste international ICRF

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.4.7. Extensions de l'ICRF

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

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

3.4.8. Futur de l'ICRS

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

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

3.5. LE SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE TERRESTRE ITRS

3.5.1. Introduction

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

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

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

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

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

3.5.2. Concepts et définitions des systèmes de référence terrestres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec :

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

où I est la matrice unité.

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

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

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

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

3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.5.3.2. Réalisation par combinaison de repères de référence individuels

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

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

La combinaison consiste en l'estimation :

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

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

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

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

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

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

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

3.5.4. Le Système International de Référence Terrestre ITRS

3.5.4.1. Historique

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

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

3.5.4.2. Définition de l'ITRF

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

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

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

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

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

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

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

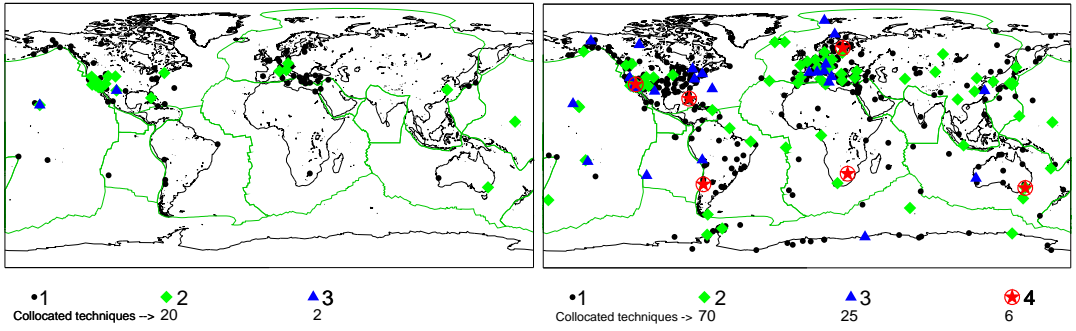


Fig. 3.5.1. Les sites et colocalisations ITRF88 (gauche) et ITRF2000 (droite).

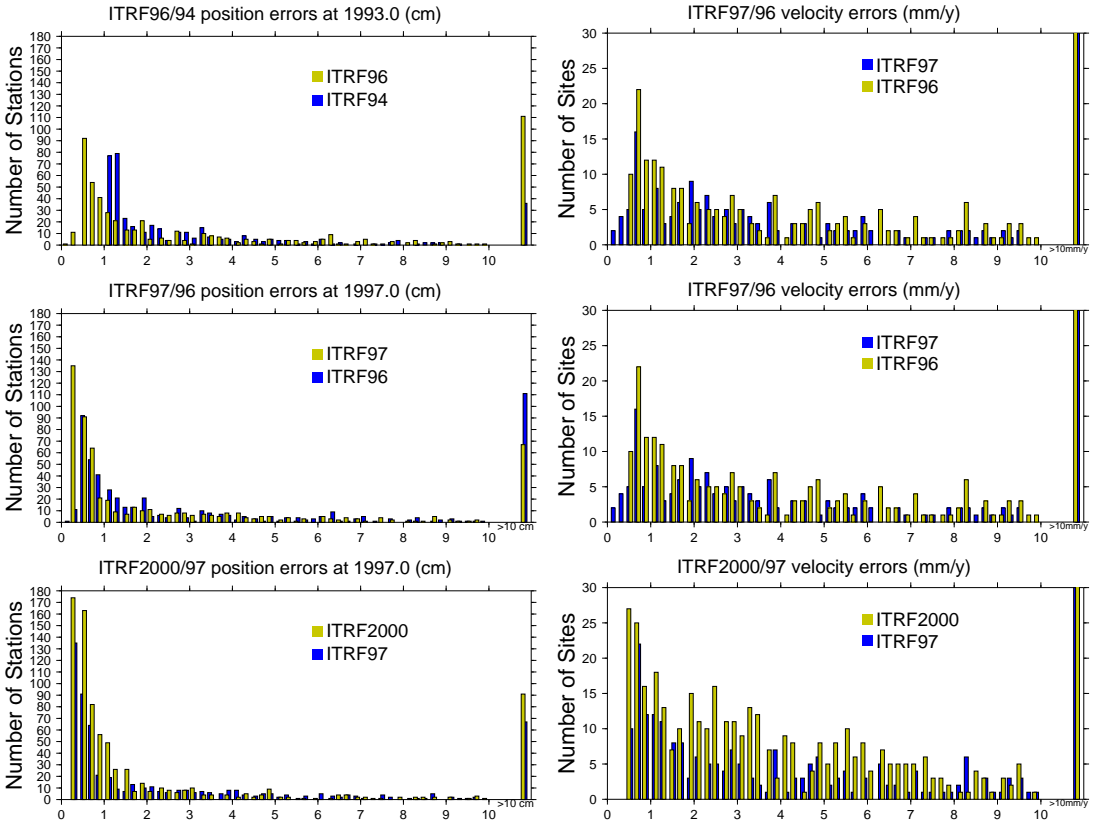


Fig. 3.5.2. Évolution des erreurs formelles selon les versions ITRF en positions (gauche) et en vitesses (droite)

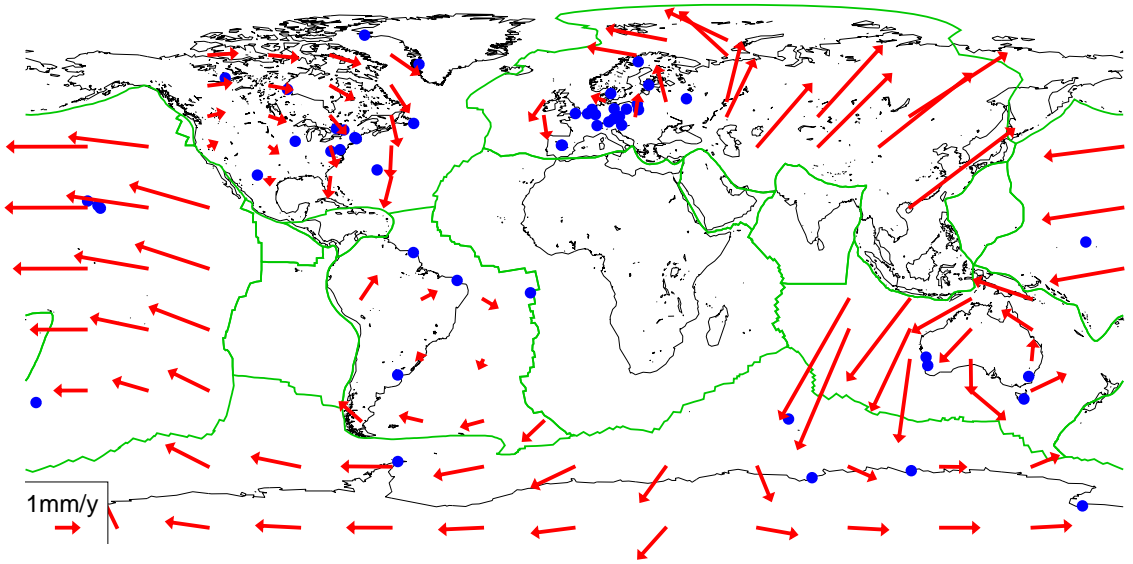


Fig. 3.5.3. Différences des vitesses entre l'ITRF2000 et le modèle NNR-NUVEL-1A

3.5.5. L'ITRF2000

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

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

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

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

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

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

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

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

3.6.1. Introduction

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

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

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

3.6.2. Expression générale de la transformation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.6.3. Les résolutions 2000 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) :

$$\theta(UT1) = 2\pi (0.779\,057\,273\,264\,0 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 \times (t - 2\,451\,545.0)), \quad (3.6.3)$$

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

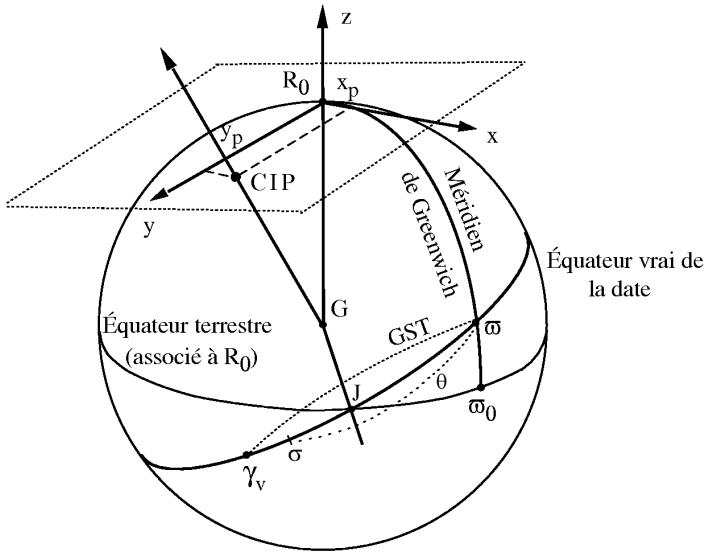


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

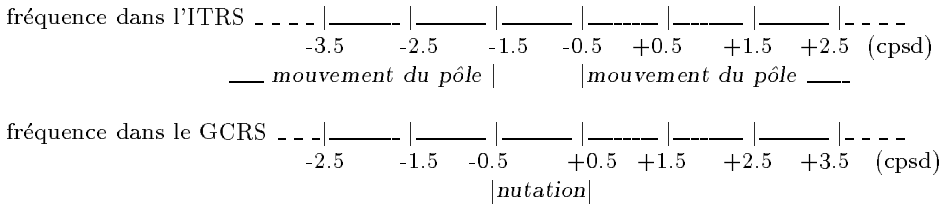
La figure 3.6.1 illustre la définition des paramètres qui décrivent l'orientation de la Terre à utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en R_0 . 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 que -0.5 cpsd).

Cette définition est résumée par le schéma suivant :



La résolution B1.8 de l'UAI (2000) recommande que la transformation entre le GCRS et l'ITRS soit spécifiée par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l'ITRS et l'ERA. Cela amène à utiliser, à la place des quantités classiques de précession-nutation, les cosinus directeurs, notés X et Y , du CIP dans le GCRS qui expriment directement la direction de l'axe du pôle intermédiaire sur la sphère céleste sous une forme très similaire à celle exprimant usuellement la direction de cet axe dans le système de référence terrestre.

3.6.4.3. Bases de la nouvelle définition du Temps universel UT1

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

La nouvelle définition de UT1 adoptée par la résolution B1.8 de l'UAI (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).

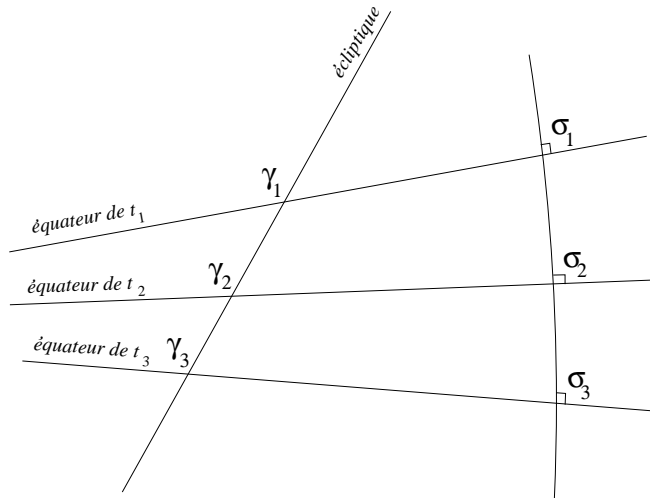


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

Soient d et E les coordonnées sphériques du CIP dans le système de référence céleste GCRS et

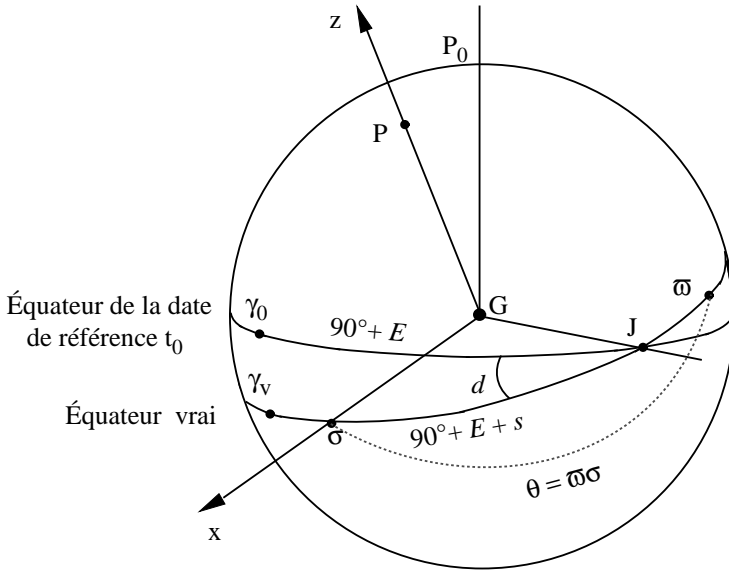


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

$X = \sin d \cos E$, $Y = \sin d \sin E$, $Z = \cos d$ les coordonnées cartésiennes du vecteur unitaire dans la direction du CIP. Avec les notations de la figure 3.6.3, la quantité $s = \sigma \mathbf{J} - \gamma_0 \mathbf{J}$ qui permet de positionner le CIO à tout instant à partir de l'origine fixe sur l'équateur fixe de l'époque t_0 , s'écrit sous la forme :

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

Ou bien, à des termes en d^4 près :

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

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

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

3.6.5.1). On obtient :

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

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

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

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

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

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

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

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

La définition conventionnelle de UT1 recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI (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) :

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

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.

$\theta - \text{GST}$ 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_o . 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) :

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

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

La valeur des quantités X et Y à utiliser dans la matrice $C'(t)$ s'obtient à partir des développements UAI 2000/2006 des coordonnées X et Y du CIP à la date t dans le GCRS, qui ont été donnés sous la forme suivante par Capitaine et al. (2003a) et Capitaine et al. (2005, table 5) pour la partie polynomiale :

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

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

où t est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay l, l', F, D, Ω), des longitudes des planètes $L_{Me}, L_{Ve}, L_E, L_{Ma}, L_J, L_{Sa}, L_U, L_{Ne}$ et de la précession p_A . Ces développements ont été déduits des expressions de X et Y (Capitaine, 1990) en fonction des quantités classiques de précession-nutation ; ils sont compatibles avec le modèle de nutation UAI 2000A et incluent les décalages à J2000 par rapport aux axes du GCRS (ξ_0, η_0 pour le CIP et $d\alpha_0$ pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 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 $10 \mu\text{s}$ (Capitaine et al., 2003a ; Wallace & Capitaine, 2006) :

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

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.

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
.....																

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 :

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

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

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

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

3.6.6.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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

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

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

3.6.6.3. Comparaison avec l'expression 1982 de GMST

L'expression de GMST (Greenwich Mean Sidereal Time) compatible avec le modèle UAI 2000/2006 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 $0.1 \mu\text{s}$:

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

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 :

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

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

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

3.7. BIBLIOGRAPHIE

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

- Arias, E.F., Charlot, P., et al. : 1995, The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRF, *Astron. Astrophys.* **303**, 604.
- Arias, F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, Comparison of VLBI celestial reference frames, *Astron. Astrophys.* **199**, 357.
- Arias, E.F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, An extragalactic celestial reference frame consistency with the BIH terrestrial system (1987), BIH Annual Report for 1988, D-113, observatoire de Paris.
- Boucher, C. : 1989, Current intercomparisons between CTS's in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolacek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 324.
- Boucher, C. : 2001, Terrestrial coordinate systems and frames, in *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, MacMillan.
- Boucher, C., Altamimi, Z. : 1985, Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame, *The MERIT/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames Vol. 2*, Mueller, I.I ed., OSU/DGS, Columbus, Ohio, USA.
- Bretagnon, P. : 1982, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. Solution VSOP82, *Astron. Astrophys.* **114**, 278.
- Bretagnon, P., Brumberg, V.A. : 2003, On transformation between international celestial and terrestrial reference systems, *Astron. Astrophys.* **408**, 387.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions for precession consistent with the IAU 2000A model. Considerations about the ecliptic and the Earth Orientation Parameters, *Astron. Astrophys.* **400**, 485.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1998, SMART97 : A new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Guinot, B. : 1996, Astronomical Units and Constants in the General Relativity Framework, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **64**, 231.
- Brumberg, V.A., Groten, E. : 2001, IAU Resolutions on Reference Systems and Time Scales in Practice, *Astron. Astrophys.* **367**, 1070.
- Brumberg, V.A., Simon J.-L. : 2004, Relativistic indirect third-body perturbations in the SMART Earth's rotation theory, in *Journées 2003, Systèmes de référence spatio-temporels*, Saint-Pétersbourg, (sous presse).
- Brzeziński, A., Capitaine N. : 2003, Lunisolar perturbations in Earth rotation due to the triaxial figure of the Earth : geophysical aspects, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2001*, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 51.
- Capitaine, N. : 1990, The Celestial Pole Coordinates," *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **48**, 127.
- Capitaine, N. : 2000a, Overview and proposition for a modern definition of the CEP in "Polar

- motion : Historical and scientific problems”, *ASP Conference series*, Vol 208, S. Dick, D.D. McCarthy and B. Luzum eds, 573.
- Capitaine, N. : 2000b, Definition of the Celestial Ephemeris Pole and the Celestial Ephemeris Origin, in “Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond astrometry”, K.J. Johnston, D.D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan eds, USNO, 153.
- Capitaine, N., Gontier A.-M. : 1993, Accurate procedure for deriving UT1 at a submilliarcsecond accuracy from Greenwich sidereal time or from stellar angle, *Astron. Astrophys.* **275**, 645.
- Capitaine, N., Guinot, B., McCarthy, D.D. : 2000, Definition of the Celestial Ephemeris origin and of UT1 in the international Reference Frame, *Astron. Astrophys.* **335**, 398.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T : 2003a, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Capitaine, N., Wallace, P.T, McCarthy, D.D. : 2003b, Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1, *Astron. Astrophys.* **406**, 1135.
- 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.
- Fricke, W. : 1982, Determination of the Equinox and Equator of the FK5, *Astron. Astrophys.* **107**, L13.
- Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T. et al. : 1988, Fifth Fundamental Catalogue (FK5), Veröff. Astron. Rechen-Institut Heidelberg 32, Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Guinot B. : 1979, Basic problems in the kinematics of the rotation of the Earth, in Time and the Earth's Rotation, IAU Symposium N 82, McCarthy D.D, Pilkington D.H. eds, D. Reidel, pp. 7-18.
- Guinot, B. : 2000, Time systems and time frames, the epochs, in *J2000, a fundamental epoch for origins of reference systems and astronomical models* (Journées 2000), Capitaine, N. ed., observatoire de Paris, 209.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al. : 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* 13, McCarthy ed., observatoire de Paris, 148.
- IERS : 1996, IERS Conventions (1996), *IERS technical note* 21, McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 1999, : First extension of the ICRF, ICRF-Ext.1, *1998 IERS Annual Report*, Gambis, D. ed., observatoire de Paris, 87.
- IERS : 2002, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, *IERS technical note* 29, Capitaine, N., Gambis, D., McCarthy, D.D., Petit, G., Ray, J., Richter, B., Rothacher, M., Standish, E.M., Vondrak, J. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am mai
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS technical note* 32, McCarthy, D.D., Petit, G. eds, Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- Kinoshita, H., Aoki, S. : 1983, The definition of the ecliptic, *Celest. Mech.* **31**, 329.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1981, in *Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics*, Gaposchkin E.M., Kolaczek, B. eds., Reidel, 375.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1989, in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolaczek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 1.
- Kovalevsky, J., Lindegren, L., et al. : 1997, The Hipparcos catalogue as a realisation of the extragalactic reference system, *Astron. Astrophys.* **323**, 620.
- Lambert, S., Bizouard, C. : 2002, Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Frame, *Astron. Astrophys.* **394**, 317.
- Lieske, J.H., Lederle, T., Fricke, W., Morando, B. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame based on VLBI

- Observations of Extragalactic Radio Sources, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon P. : 2002, High frequency nutation, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels* 2001, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 28.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation-precession : New nutation series for non-rigid Earth, and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res. (Solid Earth)* **107 (B4)**.
- McCarthy, D. D. and Luzum, B. J. : 2003, An Abridged Model of the Precession-Nutation of the Celestial Pole, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **85**, 35.
- Minster, J.B., Jordan, T.H. : 1978, Present-day plate motions, *J. Geophys. Res.*.
- Moons, M. : 1984, Planetary perturbations of the libration of the Moon, *Celest. Mech.* **34**, 263
- Moisson, X. : 1999, Solar system planetary motion to third order of the masses, *Astron. Astrophys.* **341**, 318.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Morrison, L.V., Argyle, R.W., et al. : 1990, Comparison of FK5 with Bordeaux and Carlsberg Meridian Circle Observations, *Astron. Astrophys.* **240**, 173.
- Morrison, L.V., Buontempo, M.E., Fabricius, C., Helmer, L. : 1992, First meridian circle observations of Pluto, *Astron. Astrophys.* **262**, 347.
- Newhall, XX, Standish, E.M., Williams, J.G. : 1983, DE102 : a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries, *Astron. Astrophys.* **125**, 150.
- Petit, G. : 2000, Report of the BIPM/IAU Joint Committee on relativity for space-time references systems and metrology, in *Proceedings of the IAU Colloquium* 180, Johnston, K.J., McCarthy, D.D., Luzum, B.J. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington, 275.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.
- Schwann, H. : 1988, Precession and Galactic Rotation in the System of the FK5, *Astron. Astrophys.* **198**, 116.
- Sillard, P., Boucher, C. : 2001, Review of Algebraic Constraints in Terrestrial Reference Frame Datum Definition, *Journal of Geodesy* **75**, 63.
- Soffel, M., Klioner, S.A., et al. : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Souchay, J., Feissel, et al. : 1995, Precession and Nutation for a Non-rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **299**, 277.
- Standish, E.M. : 1981, Two differing definitions of the dynamical equinox and the mean obliquity, *Astron. Astrophys.* **101**, L17.
- Standish, E.M. : 1982, DE200, magnetic tape.
- Standish, E.M., Newhall, X.X., Williams, J.G., Folkner, W.F. : 1995, JPL planetary and lunar ephemerides, DE403/LE403, JPLIOM **314.10**.

- Standish, E.M. : 1998a, Times scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- Standish, E.M. : 1998b, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312**, **F-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**.
- Schwan, H. : 1983, *Veröffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg* **30**, 47.
- Wallace, P., Capitaine, N. : 2006, Precession-nutation procedures consistent with IAU 2006 resolutions, *Astron. Astrophys.* **459**, 981.
- 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.

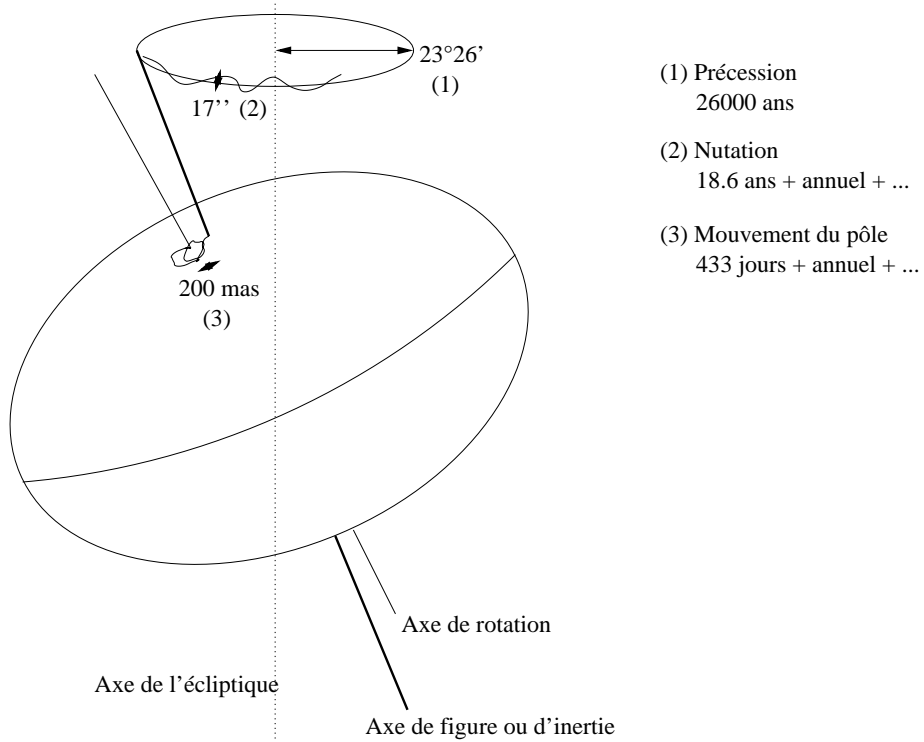


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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 :

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

où $\epsilon = (C - A)/A$ est l'aplatissement dynamique de la Terre, et $\epsilon\Omega_0$ 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.

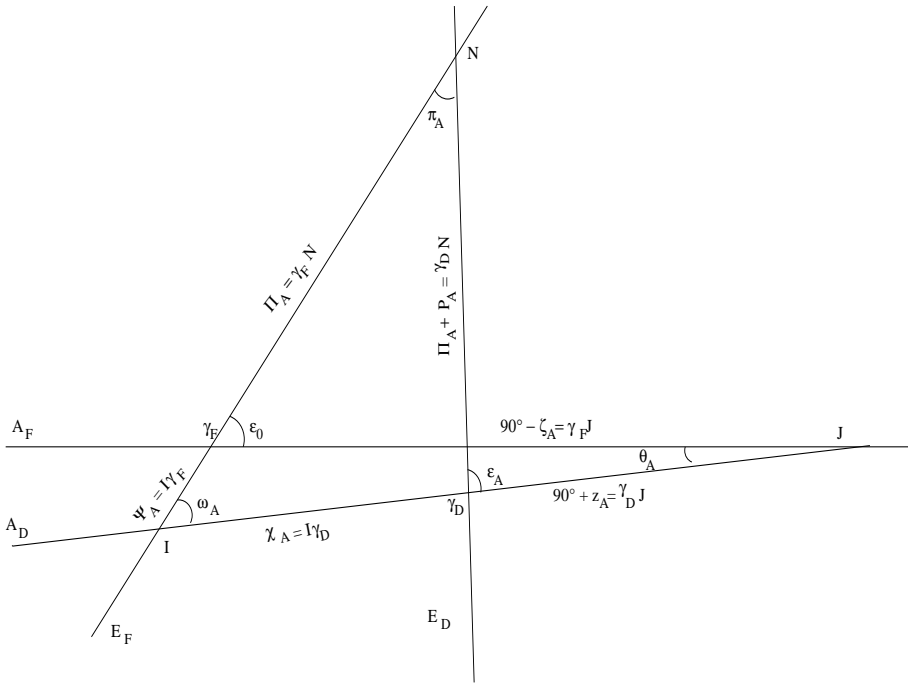


Fig. 4.2. Écliptiques \$E_F\$, \$E_D\$ et équateurs moyens \$A_F\$, \$A_D\$ aux époques \$\sigma_F\$, \$\sigma_D\$.

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 \$\Pi_A\$ et \$\omega_A\$ et avec la valeur UAI 1976 de l'obliquité \$\epsilon_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 Francou, 1988) pour le mouvement du Soleil et des planètes et ELP2000-82B issue des travaux de Chapront-Touzé et Chapront (1983, 1988) pour le mouvement de la Lune.

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

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

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

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

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

4.2.2.3. Le modèle UAI 2006

Le modèle de précession adopté par l'UAI en 2006 (résolution B1) est présenté dans Hilton et al. (2006). Il est issu des travaux de Capitaine, Wallace et Chapront (2003) et était désigné par P03 dans les éditions antérieures à 2009. Pour calculer les quantités liées à la précession de l'écliptique les auteurs partent de VSOP87. Cette théorie analytique étant ajustée à l'intégration numérique du JPL DE200 (Standish et al., 1981), ils corrigent son écliptique par comparaison avec l'intégration numérique DE406 du JPL, prolongement sur l'intervalle de temps $[-3000, +3000]$ de DE405 (Standish, 1998), intégration numérique ajustée à des observations récentes.

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

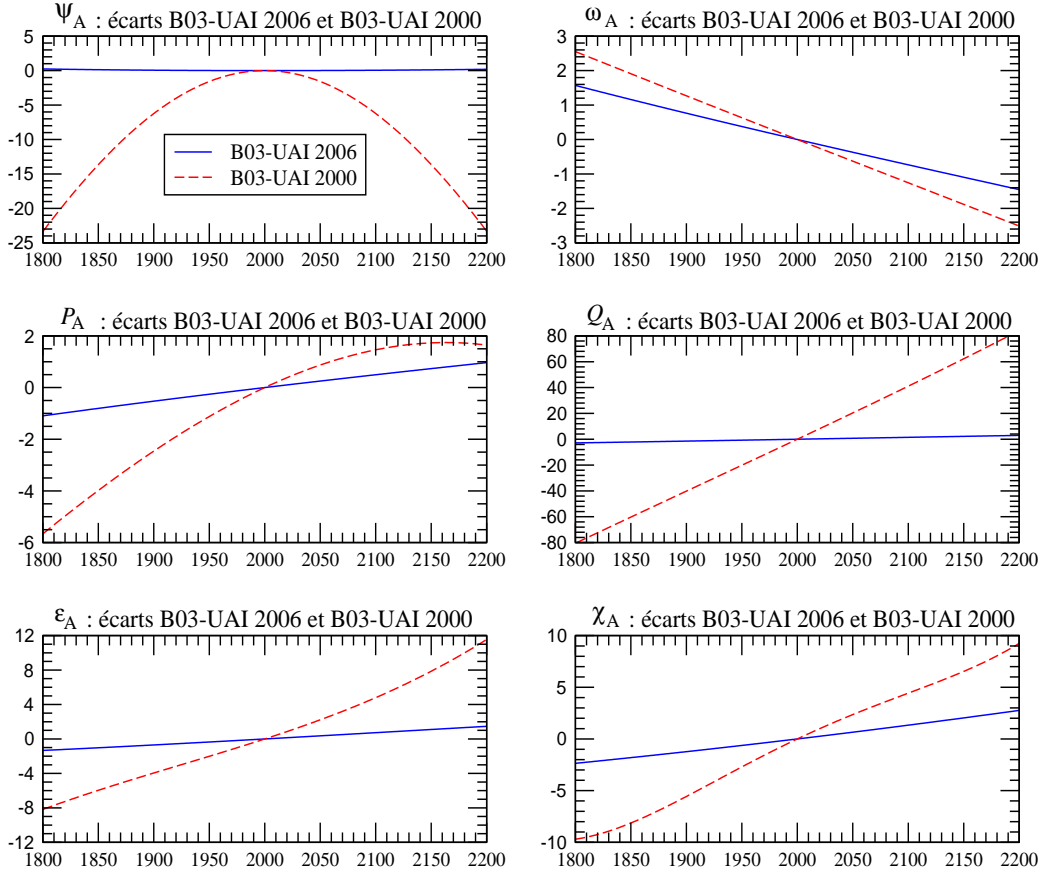


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001'').

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

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

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

4.2.2.4. Expressions de la précession et comparaisons entre les modèles

La table 4.2.1. donne les coefficients des polynômes du temps représentant la précession pour les douze variables définies par (4.2.1) et (4.2.2) et pour les trois modèles UAI 2000, B03 et UAI 2006. Ces polynômes peuvent aller jusqu'en t^3 pour UAI 2000, t^7 pour B03 et t^5 pour UAI 2006. Les coefficients sont exprimés en secondes de degré et le temps est compté en millier d'années juliennes à partir de J2000.

On peut constater que les modèles B03 et UAI 2006 sont voisins et assez différents du modèle UAI 2000. Ces différences sont illustrées par la figure 4.3. Les courbes de cette figure représentent les écarts sur l'intervalle de temps [1800, 2200] entre les modèles B03 et UAI 2006 d'une part et B03 et UAI 2000 d'autre part, pour les six variables principales ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . Elles ont été tracées en supposant que le terme en t de ψ_A et le terme constant de ε_A étaient les mêmes pour les trois modèles. Les différences sont exprimées en mas (0.001"). On voit que les écarts entre B03 et UAI 2006 sont petits. Ils sont inférieurs à 0.25 mas pour ψ_A sur l'ensemble de l'intervalle ; pour les autres variables ils sont inférieurs à 2 mas et sont essentiellement des dérivées linéaires. Les écarts avec UAI 2000 sont beaucoup plus importants et peuvent atteindre, par exemple, 25 mas pour ψ_A et 80 mas pour Q_A .

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

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

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

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

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

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

Table 4.2.1. Coefficients des polynômes de la précession issus des formulaires UAI 2000, B03 (Bretagnon et al., 2003) et UAI 2006 (Hilton et al., 2003). Les coefficients sont exprimés en secondes de degré ; le temps est compté en milliers d'années juliennes à partir de J2000.

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000 B03 UAI 2006	P_A		41.976 41.99604 41.99094	19.447 19.39715 19.39873	- 0.179 - 0.22350 - 0.22466	- 0.01035 - 0.00912	0.00019 0.0012		
UAI 2000 B03 UAI 2006	Q_A		- 468.150 - 468.09550 - 468.11015	5.059 5.10421 5.10283	0.344 0.52228 0.52413	- 0.00569 - 0.00646	- 0.00014 - 0.00172	0.00001	
UAI 2000 B03 UAI 2006	π_A		470.029 469.97560 469.98973	- 3.302 - 3.35050 - 3.34926	0.060 - 0.12370 - 0.12559	0.00030 0.00113	- 0.00022		
UAI 2000 B03 UAI 2006	Π_A	629 554.982 629 543.988 629 546.7936	- 8698.089 - 8679.218 - 8679.5758	3.536 15.342 15.7992	0.005 - 0.5371	- 0.037 - 0.4797	- 0.001 0.0072		
UAI 2000 B03 UAI 2006	\mathcal{P}_A		50287.92262 50287.92262 50287.96195	111.113 111.24406 110.54348	- 0.006 0.07699 0.07964	- 0.23479 - 0.23857	- 0.00178 - 0.00383	0.00018	0.00001
UAI 2000 B03 UAI 2006	ε_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 468.150 - 468.36051 - 468.36769	- 0.059 - 0.01667 - 0.01831	1.813 1.99911 2.00340	- 0.00523 - 0.00576	- 0.00248 - 0.00434	- 0.00003	
UAI 2000 B03 UAI 2006	ω_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 0.25240 - 0.26501 - 0.25754	5.127 5.12769 5.12623	- 7.726 - 7.72723 - 7.72503	- 0.00492 - 0.00467	0.03329 0.0337	- 0.00031	- 0.00006
UAI 2000 B03 ⁽¹⁾ UAI 2006	ψ_A		50384.78750 50384.78750 50384.81507	- 107.259 - 107.89530 - 107.90069	- 1.147 - 1.14366 - 1.14045	1.32832 1.32851	- 0.00940 - 0.00951	- 0.00350	0.00017
UAI 2000 B03 UAI 2006	χ_A		105.526 105.57686 105.56403	- 238.064 - 238.13769 - 238.14292	- 1.125 - 1.21258 - 1.21197	1.70238 1.70663	- 0.00770 - 0.00560	- 0.00399	0.00016

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

Table 4.2.1. (fin).

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000	θ_A		20043.109	- 42.665	- 41.883				
B03			20041.90936	- 42.66980	- 41.82364	- 0.07291	- 0.01127	0.00036	0.00009
UAI 2006			20041.91903	- 42.94934	- 41.82264	- 0.07089	- 0.01274		
UAI 2000	ζ_A		23062.181	30.188	17.998				
B03		2.72767	23060.80472	30.23262	18.01752	- 0.05708	- 0.03040	- 0.00013	
UAI 2006		2.650545	23060.83227	29.88499	18.01828	- 0.05971	- 0.03173		
UAI 2000	z_A		23062.181	109.468	18.203				
B03		- 2.72767	23060.76070	109.56768	18.26676	- 0.28276	- 0.02486	- 0.00005	
UAI 2006		- 2.650545	23060.77181	109.27348	18.26837	- 0.28596	- 0.02904		

4.3. MODÈLES DE NUTATION

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

4.3.1. Introduction

Les planètes et les satellites de notre système solaire sont tous animés d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes. Si ces corps étaient sphériques, rigides et isolés, leur rotation resterait uniforme au cours du temps. Mais l'interaction gravitationnelle entre les corps célestes proches ou très massifs perturbe leur rotation en créant des variations de la durée d'une rotation (longueur du jour) et en modifiant l'orientation de l'axe de rotation par rapport à la surface de la planète (mouvement du pôle) et dans l'espace (précession-nutation). La définition précise de ces mouvements et leur séparation sont établies à partir de leurs fréquences. Dans la pratique, le mouvement du pôle est défini par le mouvement dans le repère terrestre d'un pôle fictif, le CIP. Dans cette définition on exclut le mouvement diurne rétrograde dans le repère terrestre qui est pris en compte, dans le repère céleste, par la nutation (*cf.* 4.1.1).

À cause de leur élasticité, de leur rotation et de leur dynamique interne, les corps du système solaire ne sont pas sphériques. Ils présentent notamment un renflement à l'équateur. De plus, l'axe associé à leur rotation n'est pas toujours perpendiculaire au plan de l'orbite. Par conséquent, l'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil et les autres corps massifs ou proches ne s'exerce pas symétriquement sur le bourrelet équatorial. Ceci crée un couple de forces tendant à aligner l'axe de rotation sur le plan de l'orbite. À cause de ces effets, ces corps réagissent comme un gyroscope :

leur axe de rotation décrit un cône d'ouverture constante. Ce mouvement est appelé précession astronomique.

Comme les positions relatives des corps du système solaire varient de façon périodique, le moment du couple de forces qui agit sur le bourrelet équatorial n'est pas constant. Ceci entraîne des oscillations de l'axe de rotation autour du cône de précession, ce sont les nutations astronomiques. Enfin, la présence sur notre planète de couches fluides superficielles (atmosphère, hydrosphère, océan) et celle d'une couche fluide interne (noyau liquide) entraînent des variations additionnelles de la rotation.

Le calcul du moment des forces astronomiques et des nutations pour une Terre rigide qui y sont associées, s'effectue dans un cadre de mécanique céleste en utilisant des éphémérides de position des planètes et de la Lune. En outre, la Terre ne peut être considérée comme un corps rigide et doit donc être traitée comme un système complexe : sa réponse au moment de force astronomique est altérée par les interactions internes au système Terre. Ce système est constitué de trois couches principales :

- un manteau viscoélastique en convection ;
- un noyau liquide, composé principalement de fer liquide et qui est le lieu d'intenses mouvements hydromagnétiques associés à la création et à l'entretien du champ magnétique terrestre ;
- une graine solide, composée également principalement de fer.

Dans le cadre des nutations, la convection et la viscosité dans le manteau, les interactions fluides-solides (pression et friction essentiellement) entre le noyau et le manteau et entre le noyau et la graine, ont un effet observable sur la réaction de la Terre à l'excitation astronomique. Pour tenir compte de ces facteurs, on définit une *fonction de transfert*, c'est-à-dire une fonction qui donne la réponse de la Terre à une force d'excitation unitaire. Les développements théoriques et les observations nous ont montré que cette fonction est différente pour des fréquences différentes. Elle est donc donnée en fonction de la fréquence de l'excitation.

Les nutations sont observées très précisément par les techniques de pointe de la géodésie spatiale (essentiellement le VLBI). On peut donc calculer une fonction de transfert empirique, comme le rapport entre la réponse de la Terre à chaque fréquence et la réponse au moment de force astronomique qu'aurait une Terre rigide. On peut aussi, à partir des connaissances actuelles de l'intérieur de la Terre, calculer une fonction de transfert théorique par intégration numérique d'équations aux déformations. La comparaison entre les deux approches permet d'évaluer et d'améliorer la fonction de transfert théorique. Ceci a conduit les scientifiques à converger vers un modèle adopté par les unions internationales, en 2000 par l'UAI et en 2003 par l'Union de Géodésie et Géophysique Internationale (UGGI). Le modèle de précession-nutation adopté est un modèle semi-analytique, c'est-à-dire basé sur une fonction de transfert pour un modèle simple de Terre dont quelques paramètres physiques sont estimés de manière à minimiser les résidus entre les nutations observées et les nutations modélisées. Ce type de modèle est un bon compromis entre un modèle numérique basé sur les observations, plus précis, mais n'apportant aucune information sur la physique, et un modèle purement théorique, qui est une mine d'informations sur la physique, mais n'est pas encore assez précis pour l'utilisation dans la réduction des observations. Toutefois, le développement de tels modèles théoriques est un passage obligé pour une meilleure compréhension et une meilleure modélisation des interactions qui se produisent dans le système Terre.

Le modèle actuellement adopté est construit sur une théorie simplifiée, mais déjà très complexe, qui utilise les équations de bilan du moment cinétique dans un repère lié à la Terre. Elles consistent à exprimer d'une part, les couples de force qui agissent sur la Terre et aux différentes interfaces à l'intérieur de la Terre, et d'autre part, les variations temporelles du moment cinétique des différentes couches à l'intérieur de la Terre. Celui-ci fait intervenir, pour chaque couche, les répartitions des masses à l'intérieur de la couche dans des surfaces déformées et la rotation propre de cette couche. Ces équations appelées *équations de Liouville* (cf. 4.1.3.1) permettent d'obtenir la position de l'axe de rotation instantané dans le repère terrestre (le mouvement du CIP est déduit par des relations simples pour chacune des fréquences en jeu). Les théoriciens utilisent des approximations linéaires en de petites quantités dans les équations pour résoudre le système.

Un ensemble d'améliorations a été considéré dans le dernier modèle adopté MHB2000 :

- Le modèle intègre la présence d'une graine penchée à l'intérieur du noyau liquide (on considère que l'axe principal d'inertie de la graine et celui du noyau peuvent être non alignés) dans un champ magnétique et considère l'ensemble des couplages gravitationnels entre les différentes couches ellipsoïdales à l'intérieur de la Terre, ainsi que les couplages électromagnétiques aux deux interfaces du noyau.
- Les déformations sont traitées par l'intermédiaire des changements dans la matrice d'inertie (représentant la répartition des masses à l'intérieur de la Terre ou des différentes couches) et des changements de forme des interfaces et de la surface de la Terre.
- Les effets des marées des océans à la surface de la Terre engendrées par les forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil sont également pris en considération.
- Les effets diurnes de l'atmosphère ne sont pris en compte que pour une fréquence (la fréquence correspondant à exactement un jour solaire est la fréquence principale de ce phénomène), et l'amplitude est évaluée à partir des observations.

Il est à noter que le modèle contient des résonances à cause de la forme ellipsoïdale de la graine et du noyau. Les modes de vibration propre d'un système sont liés à sa forme, sa composition et sa structure. Ces résonances induisent des amplifications dans des fréquences proches de $(1+1/430)$ cycle/jour, fréquence de la nutation libre du noyau et de $11/1000$ cycle/jour, fréquence de la nutation libre de la graine.

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

Les théories géophysiques de nutation pour une Terre non rigide supposent, en première approximation, que la Terre est un ellipsoïde de symétrie axiale. A désigne les moments d'inertie par rapport aux axes équatoriaux et C le moment d'inertie par rapport à l'axe polaire. On a $C = (1 + \epsilon)A$ où ϵ est l'*ellipticité dynamique* qui vaut environ $1/300$. (En astronomie, on note $H_d \equiv \epsilon/(1 + \epsilon)$, l'ellipticité dynamique). Le mouvement de nutation est engendré par le moment des forces agissant sur la Terre autour d'un axe équatorial. Ce moment de force est produit par l'attraction gravitationnelle des objets du système solaire (principalement la Lune et le Soleil) sur la structure ellipsoïdale de la Terre caractérisée par le paramètre ϵ ; le moment de force est donc proportionnel à ϵ . La majeure partie du travail mis en place pour obtenir une modélisation précise de la nutation

porte sur cette partie dynamique dominante, présentant un spectre de basses fréquences avec des fréquences de moins de 1/2 cycle par jour sidéral (cpsd, cycle per sidereal day) en amplitude, 1 cpsd étant équivalent à la fréquence angulaire moyenne Ω_0 de la rotation de la Terre. On présentera ici les principaux aspects de ces modèles. D'autres composantes à basses fréquences de la nutation sont produites par de petites déviations *axisymétriques* par rapport à une structure strictement ellipsoïdale. Des composantes de la nutation de fréquence supérieures à 1/2 cpsd sont générées par de petites déviations de la distribution de densité de la Terre par rapport à la symétrie axiale. Elles doivent être considérées, d'après les résolutions adoptées par l'UAI en 2000 (UAI, 2001), comme mouvement du pôle. Des expressions relativement simples suffisent à décrire l'ensemble de ces composantes. La précession et la nutation sont, respectivement, la partie séculaire et la partie oscillatoire (avec un spectre en fréquences complet) des variations par rapport à des "étoiles fixes" de l'*axe de figure*, ou de façon équivalente, du mouvement du pôle céleste de cet axe. Dans la suite, le terme "axe de figure" se réfère à l'axe de symétrie de la Terre *sans aucune déformation*. Les nutations de l'axe de rotation ou de l'axe du moment d'inertie sont étroitement liées à celles de l'axe de figure et ne seront pas traitées ici. Ensemble, précession et nutation sont nécessairement liées au mouvement du pôle, c'est-à-dire au mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre par rapport à un repère de référence terrestre. Une rotation autour d'un axe autre qu'un axe de symétrie fait apparaître un mouvement de "chancellement".

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

La précession-nutation est liée au mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau par des *relations cinématiques* qui rendent possible la détermination de l'un par l'autre. Ces relations nécessitent que la fréquence du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau associé à une nutation circulaire de fréquence ν cpsd soit $\sigma = \nu - 1$ cpsd, et que son amplitude $\tilde{m}(\sigma)$ et l'amplitude $\tilde{\eta}(\nu)$ de la nutation soient liées par

$$\tilde{m}(\sigma) = -(1 + \sigma)\tilde{\eta}(\nu), \quad \sigma = \nu - 1, \quad (4.3.1)$$

et cela, indépendamment du choix de la modélisation rigide ou non rigide de la Terre. La fonction de transfert, définie comme le rapport (sous forme d'une fonction de la fréquence) entre l'amplitude d'un modèle de Terre réaliste (non rigide) et celle obtenue à partir d'un modèle de Terre rigide, est alors la même pour les nutations et les mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau associés :

$$\frac{\tilde{\eta}(\nu)}{\tilde{\eta}_R(\nu)} = \frac{\tilde{m}(\sigma)}{\tilde{m}_R(\sigma)}, \quad (4.3.2)$$

où l'indice R indique les amplitudes pour une Terre rigide. Les amplitudes de la nutation sont celles de nutations circulaires progrades et rétrogrades, qui apparaissent par paires avec les fréquences $\nu_p > 0$ et $\nu_r = -\nu_p < 0$. La contribution de chacune d'entre elles à $\Delta\psi(t)$ et $\Delta\epsilon(t)$ est :

$$(\Delta\psi(t) \sin \epsilon_0 + i\Delta\epsilon(t))_\nu = -i\tilde{\eta}(\nu)e^{i\Xi_\nu(t)}, \quad (4.3.3)$$

où $\Xi_\nu = \pm(\arg)$ pour la composante prograde ($\nu = \nu_p$), (\arg) étant l'argument du terme des séries de la nutation considéré ; \pm est le signe de $d(\arg)/dt$ ou de la période de ce terme de nutation (par

exemple, $-$ pour le terme de 18.6 ans et $+$ pour le terme annuel) ; et $d\Xi_\nu/dt = \nu_p \Omega_0$. Pour le terme rétrograde, \pm doit être remplacé par \mp . L'équation (4.3.3) conduit aux relations reliant $\tilde{\eta}(\nu_p)$ et $\tilde{\eta}(\nu_r)$ aux coefficients de $\cos(\arg)$ et $\sin(\arg)$ dans $\Delta\psi$ et $\Delta\epsilon$ (voir, par exemple, Defraigne et al., 1995).

Les *équations dynamiques* de la théorie MHB2000 sont les équations de bilan du moment cinétique décrites dans un repère de référence terrestre (équations de moments de force). On trouvera dans Mathews et al. (1991) une description générale de ces équations, qu'il faut encore compléter par des termes représentant les nouveaux aspects géophysiques du modèle.

Ces équations décrivent les variations des vecteurs vitesse angulaire Ω , Ω_f , Ω_s du manteau, du noyau externe fluide et du noyau interne solide, sous la forme

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

où $\Omega_0 \mathbf{i}_3 \equiv \Omega_0$ est le vecteur vitesse angulaire moyenne du manteau, \mathbf{i}_3 étant son axe de moment d'inertie maximum, que l'on choisit confondu avec l'axe polaire du repère terrestre de référence (TRF, Terrestrial Reference Frame). Les deux premières composantes (équatoriales) de \mathbf{m} sont les variables du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau. Celles de \mathbf{m}_f et \mathbf{m}_s représentent des mouvements des axes instantanés de rotation différentielle du noyau externe fluide et de la graine solide par rapport au manteau. Les troisièmes composantes de ces vecteurs décrivent les variations des vitesses de rotation de chacune des régions. Un autre paramètre à introduire dans la dynamique du problème est la déviation \mathbf{n}_s de la direction de l'axe de symétrie de la graine par rapport à \mathbf{i}_3 . Les trois équations de bilan du moment cinétique ainsi que l'équation cinématique reliant \mathbf{n}_s à \mathbf{m}_s , constituent un système de quatre équations vectorielles couplées pour les variables dynamiques \mathbf{m} , \mathbf{m}_f , \mathbf{m}_s , et \mathbf{n}_s (toutes très faibles en amplitude, typiquement d'environ 10^{-8} radian). Les propriétés de la Terre importantes pour la nutation sont prises en considération dans ces équations par l'intermédiaire de paramètres que nous appellerons dans la suite les BEP (Basic Earth Parameters). Par exemple, les ellipticités dynamiques de la Terre globale e , du noyau fluide e_f et de la graine solide e_s font partie des BEP, de même que les paramètres représentant les déformations des différentes régions. Dans les équations de bilan du moment cinétique, les termes non linéaires par rapport aux variables dynamiques ne contribuent que marginalement aux solutions. Il faut donc, en premier lieu, linéariser les équations, ce qui transforme le système des quatre équations en deux systèmes d'équations indépendants, l'un pour les mouvements de l'axe instantané de rotation, impliquant seulement les deux premières composantes de chacun des quatre vecteurs, et l'autre pour les variations des vitesses de rotation. Les solutions du système homogène des équations des mouvements de l'axe instantané de rotation donnent les fréquences des modes normaux de rotation de la Terre (on considère les moments de force extérieurs nuls). La solution du système non-homogène donne les mouvements forcés pour les trois régions en réponse à un potentiel extérieur connu. Une fois les amplitudes des mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau calculées pour une Terre non rigide, la fonction de transfert est obtenue directement, puisque l'amplitude de ces mouvements pour une Terre rigide est une fonction très simple de la fréquence. Les amplitudes des nutations pour une Terre non rigide peuvent alors être déterminées en multipliant les amplitudes correspondantes pour une Terre rigide par la fonction de transfert. Des tables regroupant les amplitudes des nutations pour une Terre rigide sont disponibles avec des précisions inférieures à 1 microseconde de degré (μas). Sur la base d'études théoriques poussées,

des groupes de scientifiques tels que Bretagnon et al. (1998), Roosbeek et Dehant (1998), Souchay et al. (1999), ont calculé ces tables.

Après avoir effectué les calculs basés sur l'approximation linéaire, on peut prendre en considération, par des méthodes de perturbation, les corrections dues aux termes non linéaires négligés.

4.3.4. Modèle géophysique

Les résultats obtenus dépendent du modèle géophysique utilisé. La théorie de Wahr (1981), base de la série de nutation IAU 1980 (Seidelmann, 1982), suppose que la Terre est un ellipsoïde à symétrie axiale en rotation, élastique et sans océan ni atmosphère, avec un noyau fluide et un noyau interne solide. La distribution de densité et les propriétés d'élasticité sont celles d'une Terre en équilibre hydrostatique basée sur le modèle de Terre 1066A. Pour obtenir le modèle IAU 1980, la seule modification apportée au modèle de Wahr a été la valeur de l'ellipticité e permettant de retrouver la valeur observée de la constante de la précession. Par la suite, des corrections aux valeurs de la série IAU1980 ont été calculées par Sasao et Wahr (1981) pour des effets induits par les marées océaniques et par Wahr et Bergen (1986) pour des effets induits par l'inélasticité du manteau. Ces effets entraînent un déphasage entre la réponse de la Terre et le potentiel d'excitation.

Un nombre important d'avancées dans la modélisation géophysique a été introduit dans la théorie MHB2000.

- On a tenu compte de la présence du champ magnétique qui traverse la frontière noyau-manteau et la frontière noyau-graine. Il en résulte un couplage électromagnétique qui modifie les mouvements de l'axe instantané de rotation du noyau fluide par rapport au manteau et à la graine.
- Une autre amélioration a été d'introduire l'interaction entre les différents types de réponses de la Terre à l'action des marées (mouvement de l'axe instantané de rotation, déformation de la Terre solide, marées océaniques) par une intégration globale des trois phénomènes. La contribution totale de l'inélasticité du manteau (par sa contribution sur les déformations), des marées océaniques et des couplages électromagnétiques, sur les nutations, calculée à partir d'une théorie intégrée globalement donne des différences allant jusqu'à $30 \mu\text{as}$ 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

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

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 ϵ : $\tilde{\Gamma}(\sigma) = -i\epsilon A\tilde{\phi}(\sigma)$.

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

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

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

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

Le dernier terme représente le couplage électromagnétique entre le noyau et le manteau, K^{CMB} étant la constante complexe de couplage.

Les déformations du noyau et de la Terre globale sont représentées par \tilde{c}_3^f et \tilde{c}_3 , respectivement. Elles proviennent,

- (a) de l'action directe du potentiel de marées $\tilde{\phi}$,
- (b) de l'action des potentiels supplémentaires centrifuges produits par les rotations des différentes régions,

(c) de la surcharge sur la croûte des marées océaniques.

Les deux premiers points conduisent à l'expression

$$\tilde{c}_3 = A[\kappa(\tilde{m} - \tilde{\phi}) + \xi \tilde{m}_f], \quad \tilde{c}_3^f = A_f[\tilde{\gamma}(\tilde{\phi} - \tilde{m}) + \beta \tilde{m}_f], \quad (4.3.9)$$

où κ, γ, ξ , et β sont les paramètres de réponse de la Terre (appelé "compliance" dans les articles de Mathews et al.). Les deux premiers caractérisent les déformations de la Terre globale et du noyau fluide en réponse à l'action d'un potentiel extérieur ou du mouvement du pôle de rotation d'amplitude \tilde{m} ; ξ et β caractérisent les déformations en réponse au mouvement différentiel du pôle de rotation du noyau. Si on substitue (4.3.9) dans (4.3.6) et (4.3.8), ces équations dynamiques forment une équation matricielle dont l'inconnue est le vecteur colonne formé des composantes équatoriales \tilde{m}, \tilde{m}_f . Les valeurs propres de la matrice dynamique sont les fréquences des deux modes d'oscillations libres.

En absence d'inélasticité et de marées océaniques, les valeurs des paramètres de réponse de la Terre peuvent être calculées par intégration des équations de déformation pour un modèle de Terre donné, tel PREM de Dziewonski et Anderson (1981) utilisé dans MHB2000.

L'inélasticité du manteau produit des incréments complexes de ces valeurs; l'effet des marées océaniques peut aussi être pris en considération par l'introduction de termes supplémentaires, non seulement complexes mais aussi dépendant fortement de la fréquence σ du potentiel de marées.

Les incréments sont évalués en utilisant un modèle approprié d'inélasticité du manteau et un modèle pour les marées océaniques diurnes prises en compte pour les nutations, comme décrit dans Mathews et al. (2002). L'introduction de la solution des deux équations précédentes dans les représentations des déformations et des marées océaniques permet de prendre en considération les interactions entre les trois phénomènes.

L'introduction de la graine donne des termes additionnels dans les deux équations précédentes, (qui impliquent, maintenant, les variables \tilde{m}_s et \tilde{n}_s liées à la graine définies en 4.3.2) et deux équations supplémentaires, l'équation de bilan du moment cinétique pour la graine et l'équation cinématique reliant \tilde{n}_s à \tilde{m}_s . Les principes généraux décrits précédemment peuvent s'appliquer, en gardant à l'esprit que la matrice dynamique utilisée est maintenant une matrice 4×4 . Un point important est l'apparition du terme K^{ICB} représentant le couplage (électromagnétique) entre la graine et le noyau fluide dans les équations de moments de force pour les deux régions du noyau. L'impact de ce couplage sur les amplitudes d'un terme de nutation donné est complexe.

Comme il a été vu plus haut, les valeurs de ϵ et ϵ_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 ϵ 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 ϵ obtenue pour une Terre non rigide n'est pas égale à la valeur ϵ_R utilisée pour une Terre rigide. La différence entre ces valeurs nécessite la multiplication de la fonction de transfert déterminée précédemment par $[(\epsilon_r - \sigma)/(\epsilon + 1)] (\epsilon/\epsilon_R)$. 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 ϵ_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 :

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

où les s_α sont des compromis entre les fréquences propres des quatre oscillations libres. On trouvera des valeurs numériques et des résultats détaillés dans Mathews et al. (2002), ainsi que des discussions approfondies concernant les implications géophysiques des valeurs obtenues par ajustement aux observations de nombreux paramètres de la Terre. Les résonances associées à la nutation libre du noyau (FCN, Free Core Nutation et PFCN, Prograde Free Core Nutation) influencent fortement un grand nombre de termes de nutation forcés pour les fréquences proches

de leurs fréquences propres (en particulier la nutation annuelle rétrograde et la nutation en 18.6 ans). Grâce à l'impact de ces résonances, il a été possible de déduire de nombreuses propriétés physiques de la Terre jouant un rôle significatif dans la détermination et la caractérisation de ces modes.

Une question ouverte concerne l'effet des variations de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même sur la nutation de période 18.6 ans (Bretagnon et al., 2000). De cet effet pourraient résulter de petits termes non linéaires négligés dans les relations cinématiques (4.3.1) et (4.3.2). Depuis, il a été montré (Lambert et Capitaine, 2004) que cet effet pouvait être annulé si l'incrément du vecteur de moment de force induit par la variation de la vitesse de rotation était pris en considération. 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 $\tilde{p} \equiv x_p - iy_p = \mp i \tilde{p}(\sigma) e^{\pm i\Theta_\omega(t)}$, avec $\sigma = \pm(\omega/\Omega_0)$, \pm désignant les mouvements progrades (+) et rétrogrades (-). $\Theta_\omega(t)$ est l'argument de la composante spectrale du potentiel, $\omega = d\Theta_\omega(t)/dt > 0$. Pour les mouvements dus à la triaxialité, tous progrades, l'expression précédente avec un signe + est valable. Dans les deux cas, $\tilde{p}(\sigma) = \tilde{m}(\sigma)/(1 + \sigma)$. Les amplitudes $\tilde{m}(\sigma)$ sont obtenues à partir d'équations de moments de force très simplifiées. Pour de plus amples détails, voir Mathews et Bretagnon (2003).

4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

4.4.1. Introduction

La connaissance de la non-uniformité de la rotation de la Terre permet d'appréhender les phénomènes qui en sont la cause, essentiellement les phénomènes géophysiques externes (mouvements atmosphériques, océaniques, glaciaires ...) et internes (interaction entre les noyaux solide et fluide de la Terre et le manteau). De plus les activités dans les domaines de la navigation, l'astronomie et la géodésie spatiale exigent la connaissance précise des mouvements d'un système de référence terrestre lié à la Terre, et réalisé par le repère de référence terrestre international (ITRF, International Terrestrial Reference Frame ; Altamimi et al., 2002) par rapport à un système de référence non-tournant réalisé par le repère de référence céleste international (International Celestial Reference Frame, ICRF ; Ma et al., 1998). Ainsi, pour la navigation spatiale, on a besoin de connaître l'orientation de la Terre par rapport à un repère céleste et une erreur dans l'orientation terrestre se propage sur la position calculée du satellite.

La rotation de la Terre comprend différentes composantes appelées *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) qui permettent de décrire la rotation de l'ITRF par rapport à l'ICRF.

4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

Les EOP comprennent le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe (représenté par le Temps universel UT1 ou la vitesse de rotation), le mouvement de l'axe par rapport à l'axe de figure (le mouvement du pôle ou polhodie) et la précession-nutation donnée par un modèle conventionnel. On se reportera au chapitre 3.6 pour les nouvelles définitions et procédures issues des résolutions adoptées à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI en 2000 et qui concernent en particulier l'adoption d'un nouveau modèle de nutation (IAU2000), une nouvelle définition du pôle céleste, la définition du CIP ainsi que l'adoption d'une nouvelle transformation entre les systèmes céleste et terrestre définissant UT1 comme étant directement proportionnel à l'angle de rotation de la Terre.

Les variations atmosphériques jouent un rôle important dans les variations du mouvement du pôle et de la rotation de la Terre proprement dite. Le moment angulaire atmosphérique calculé à partir d'un modèle de circulation comprenant notamment des données globales de température et pression sur plusieurs niveaux d'altitude est composé d'un terme dit *de pression*, relatif à des variations de masse et exprimé sous forme de variations du tenseur d'inertie ainsi que d'un terme dit *de vent*, lié aux mouvements des masses atmosphériques et s'exprimant sous la forme de moment cinétique relatif (Barnes et al, 1983). Les termes de pression affectent plus particulièrement le mouvement du pôle alors que les termes de vent ont un effet sur la rotation de la Terre proprement dite comme l'excès de la durée du jour sur la durée du jour moyen (86400 secondes).

4.4.2.1. *Mouvement du pôle ou polhodie*

Les coordonnées du CIP par rapport au pôle international de référence (International Reference Pole, IRP) sont définies dans un système d'axes contenu dans le plan tangent au pôle dont l'origine est l'IRP (figure 4.4). Ces axes O_x et O_y sont dirigés respectivement vers le méridien de référence, l'International Reference Meridian (IRM), proche du méridien de Greenwich et perpendiculairement vers l'ouest. Le CIP diffère du pôle instantané de rotation par des termes quasi-diurnes dont l'amplitude est inférieure à $0.01''$ notamment dus aux marées océaniques. Le mouvement de l'axe de rotation de la Terre par rapport à la croûte comporte trois composantes majeures : une oscillation libre de période d'environ 435 jours (oscillation de Chandler, ou Chandler wobble), une oscillation annuelle forcée par le déplacement saisonnier des masses atmosphériques et océaniques ainsi qu'une dérive séculaire décrite par le pôle moyen.

Le terme de Chandler

C'est un terme libre de période environ 14 mois, réponse résonnante de la Terre au couplage équatorial. L'amplitude atteint $0.15''$ (4.5 m sur la Terre). L'amortissement de cette résonance peut être calculé empiriquement par l'introduction du facteur de qualité Q qui dépend des paramètres rhéologiques de la Terre. L'amortissement du terme de Chandler fournit des informations sur la dissipation à long terme dans la Terre. L'origine de l'excitation du terme de Chandler est restée mal connue pendant très longtemps. On l'a attribuée à divers phénomènes géophysiques comme les excitations atmosphériques, les variations des masses des réserves hydrologiques, les tremblements de terre ou les couplages électromagnétique, topographique ou gravitationnel entre le noyau liquide et le manteau (Eubanks, 1985). On sait maintenant qu'elle est due à une combinaison de phénomènes atmosphériques et océaniques. Gross (2000) a montré en particulier que les variations de pression atmosphérique dans les fonds des océans et la pression atmosphérique sur les continents expliquaient, respectivement, les deux tiers et un tiers du mouvement total.

Les variations saisonnières

Les variations du moment d'inertie liées aux mouvements des masses atmosphériques sont principalement responsables des variations saisonnières, essentiellement annuelles et semi-annuelles. Ces variations saisonnières sont stables avec une amplitude de l'ordre de $0.1''$ (3m sur la Terre). Cependant les excitations atmosphérique et océanique n'expliquent pas complètement les variations du mouvement du pôle. L'introduction de données relatives à l'excitation océanique nouvellement disponibles, à partir notamment des analyses des données du satellite altimétrique Topex-Poseidon, permet d'améliorer la compréhension des causes de ces variations. Il existe également dans le mouvement du pôle des termes à plus courtes périodes, notamment les termes diurnes et subdiurnes que l'on attribue aux variations océaniques.

Mouvement séculaire

L'étude des variations à long terme du mouvement du pôle montre l'existence d'un terme séculaire d'environ 4 mas par an (12 cm par an sur la Terre) dans la direction 70.7° ouest. Ce terme n'a pu être déterminé avec précision que grâce à l'accumulation de données sur le mouvement

du pôle, notamment depuis la contribution des données spatiales depuis plusieurs décades ainsi que par l'utilisation de modèles précis de mouvements locaux des stations d'observation dus aux plaques tectoniques. Ces variations séculaires qui apparaissent dans le mouvement du pôle sont généralement attribuées aux effets du rebond postglaciaire, réponse lente et anélastique de la Terre à la fonte des glaces des calottes polaires depuis le dernier âge glaciaire il y a environ 10 000 ans. Ce phénomène est responsable des variations du terme zonal d'ordre deux, noté 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.

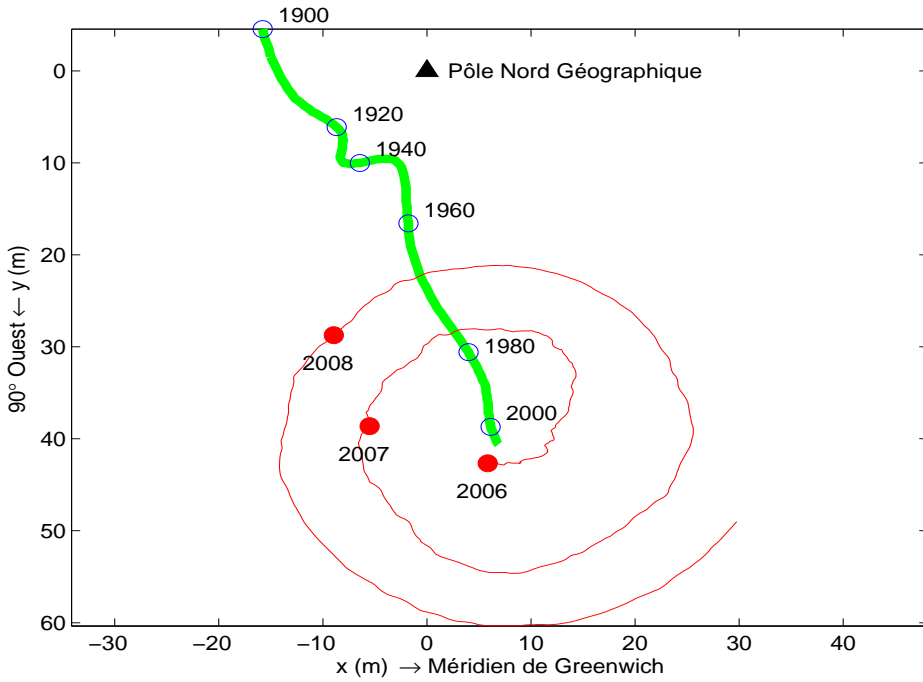


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré.

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).

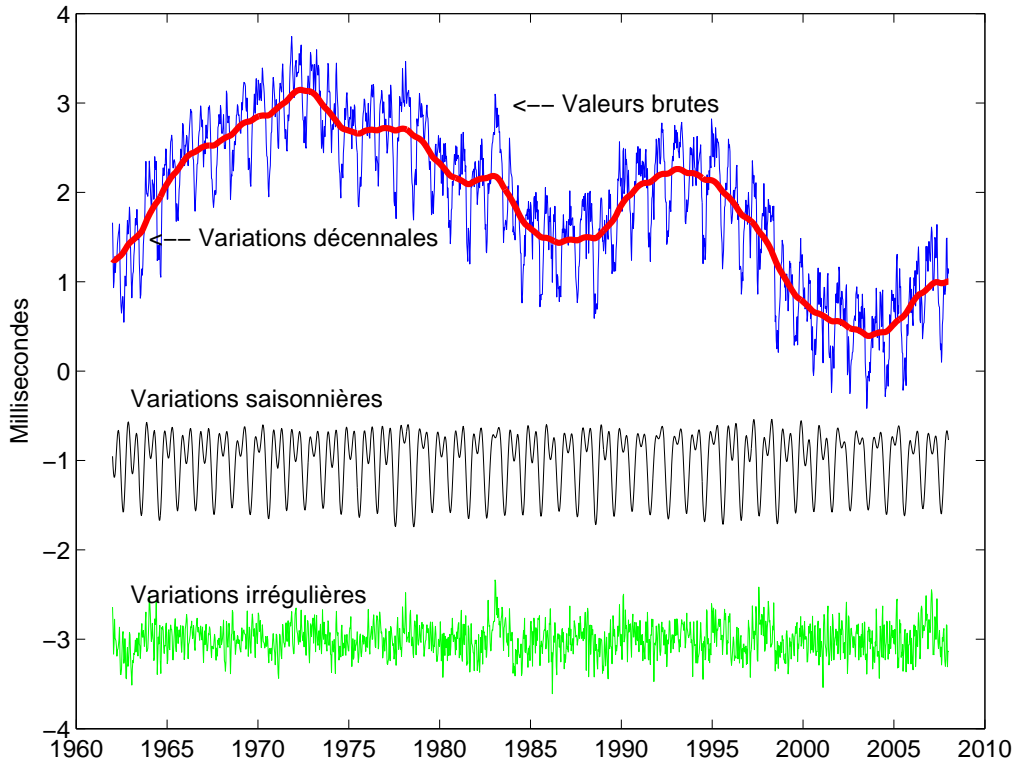


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières. L'unité est la milliseconde.

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

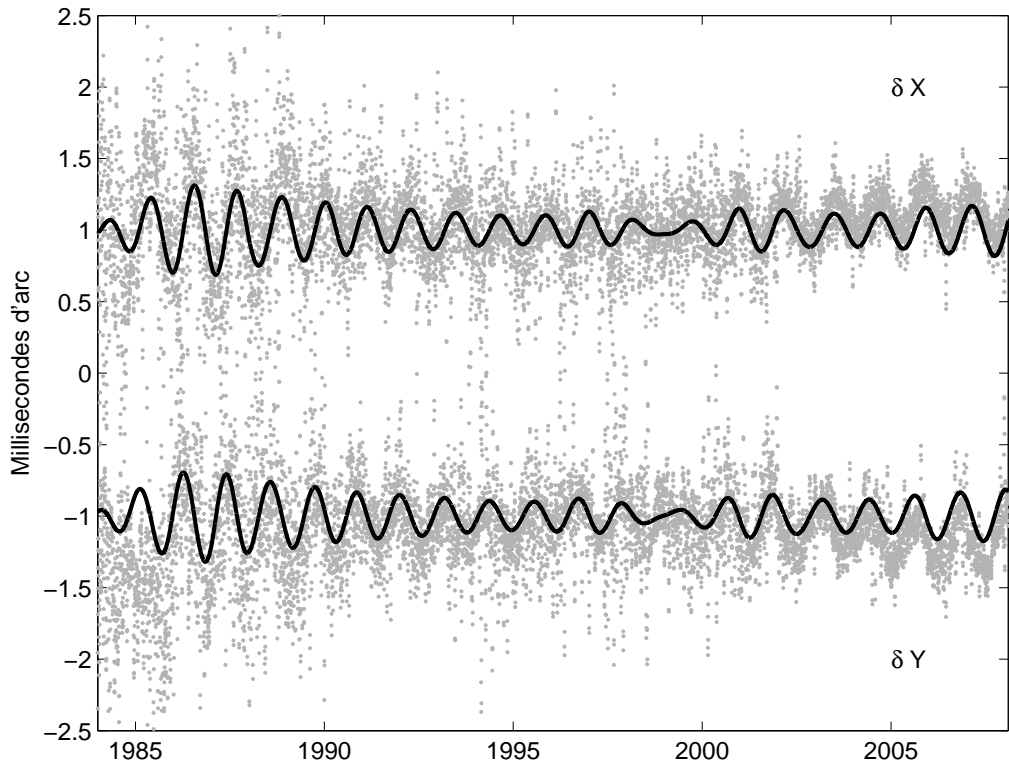


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

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 (Bougeard et al, 2000 ; Gambis, 2002 ; Vondrák et Cepek, 2000 ; Vondrák et Gambis, 2000).

L'exactitude actuelle est de l'ordre de 200 mas pour les composants du pôle et 20 microsecondes de temps (μs) pour UT1, ce qui correspond à moins d'un centimètre sur la Terre. Cependant l'exactitude n'égale pas la précision interne des solutions individuelles qui sont respectivement de 100 mas et $5 \mu s$, 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.

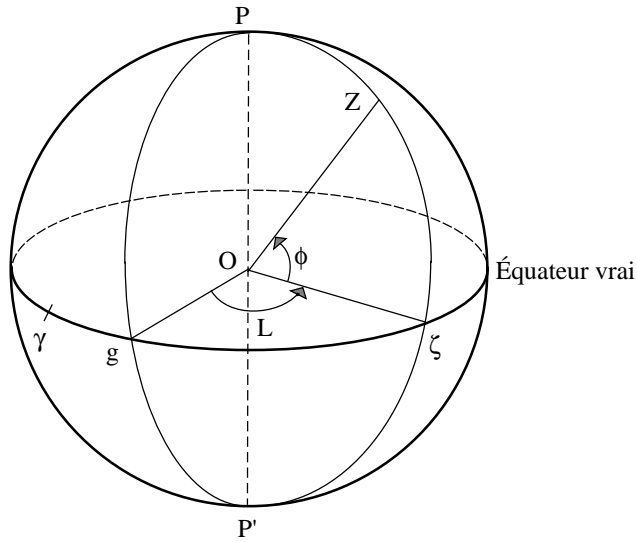


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

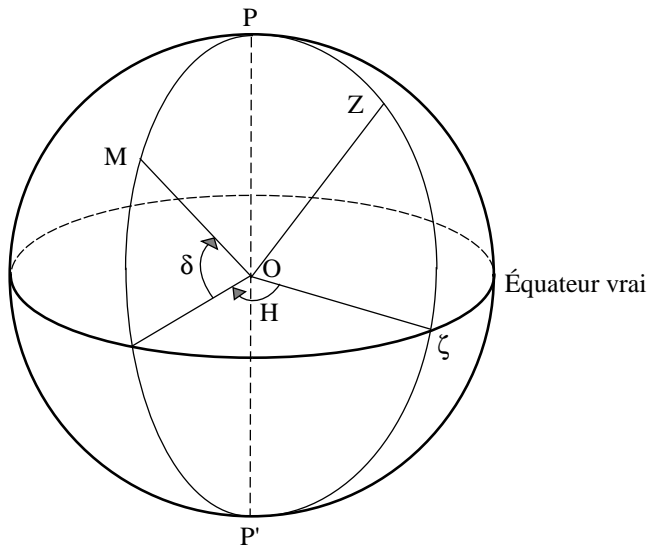


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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).

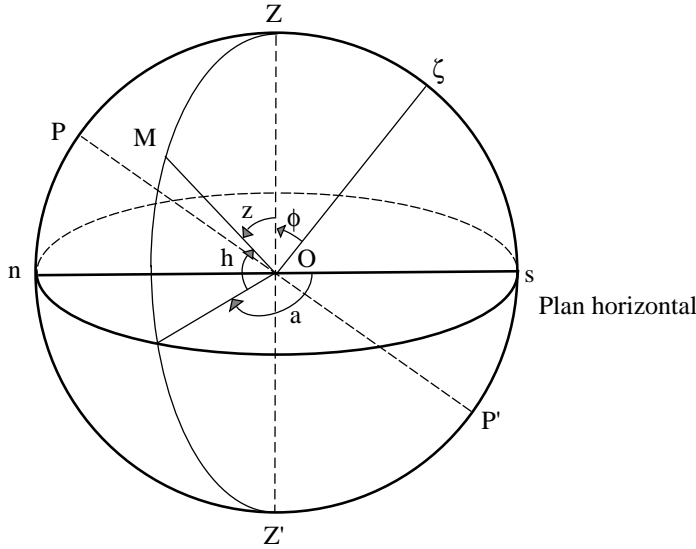


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

• 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	écliptique ou équateur à σ_F	pas d'aberration
astrométriques à σ_F	écliptique ou équateur à σ_F	calcul du temps de lumière
moyennes à la date t	écliptique ou équateur moyen à t	astrométriques à σ_F + précession de σ_F à t
apparentes à la date t	écliptique ou équateur moyen à t	moyennes à la date t + nutation + déflexion des rayons lumineux + aberration annuelle + aberration diurne

dans le système d'axes ainsi défini ne diffèrent des coordonnées horaires célestes rapportées au méridien de Greenwich que par l'effet du mouvement du pôle (*cf.* 4.4).

On peut également définir la longitude et la latitude astronomiques d'un lieu rapportées à un repère terrestre. Ces quantités ne dépendent plus du mouvement du pôle mais peuvent encore subir de légères variations dues aux mouvements de l'écorce terrestre.

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

Les formules de ce paragraphe utilisent les matrices de rotation élémentaires $R_i(\theta_i)$ définies par les équations (5.3), (5.4) et (5.5).

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques

On désigne par (x^A, y^A, z^A) les coordonnées cartésiennes équatoriales d'un point M et par (x^E, y^E, z^E) ses coordonnées cartésiennes écliptiques dans le même repère de référence. On pourra être dans l'un des cas suivants :

- coordonnées équatoriales vraies et écliptiques vraies,
- coordonnées équatoriales moyennes pour l'époque σ_F et écliptiques moyennes pour l'époque σ_F rapportées aux plans et à l'équinoxe d'une même date de référence σ_F (dans la pratique J2000),
- coordonnées équatoriales moyennes de la date σ_D et écliptiques moyennes de la date σ_D .

En désignant par ε l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur, on passe des axes équatoriaux aux axes écliptiques par une rotation $R_1(\varepsilon)$. Donc :

$$\begin{pmatrix} x^E \\ y^E \\ z^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon) \begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \end{pmatrix} = R_1(-\varepsilon) \begin{pmatrix} x^E \\ y^E \\ z^E \end{pmatrix}. \quad (5.11)$$

En coordonnées polaires :

$$\begin{aligned} x^A &= r \cos \alpha \cos \delta, & x^E &= r \cos \lambda \cos \beta, \\ y^A &= r \sin \alpha \cos \delta, & y^E &= r \sin \lambda \cos \beta, \\ z^A &= r \sin \delta, & z^E &= r \sin \beta, \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} \cos \lambda \cos \beta &= \cos \alpha \cos \delta, \\ \sin \lambda \cos \beta &= \sin \alpha \cos \delta \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon, \\ \sin \beta &= -\sin \alpha \cos \delta \sin \varepsilon + \sin \delta \cos \varepsilon, \end{aligned} \quad (5.12)$$

et

$$\begin{aligned} \cos \alpha \cos \delta &= \cos \lambda \cos \beta, \\ \sin \alpha \cos \delta &= \sin \lambda \cos \beta \cos \varepsilon - \sin \beta \sin \varepsilon, \\ \sin \delta &= \sin \lambda \cos \beta \sin \varepsilon + \sin \beta \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Pour passer des coordonnées équatoriales vraies aux coordonnées écliptiques vraies, on prendra $\varepsilon = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon$, ε_A étant calculé, pour la date σ_D , à l'aide de l'un des polynômes de la table 4.2.1 qui lui correspondent, et $\Delta\varepsilon$ étant calculé à partir des tables de la nutation.

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes J2000 aux coordonnées écliptiques moyennes J2000, on prendra $\varepsilon = \varepsilon_0$, ε_0 , obliquité de l'écliptique en J2000, étant la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour ε_A .

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes de la date aux coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_D , on prendra $\varepsilon = \varepsilon_A$, ε_A étant calculé comme pour les coordonnées vraies.

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F (dans la pratique J2000) aux coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le pèrè 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 , 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 Oç et l'axe Oz avec OP (Fig. 5.2). Désignons par x^h , y^h , z^h les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horizontal, au sens des astronomes. L'axe Oz de ce système se confond avec OZ (Fig. 5.3).

Par suite des conventions de sens utilisées pour l'angle horaire et l'azimut, on a :

$$\begin{aligned} x^H &= r \cos H \cos \delta, & x^h &= r \cos a \cos h, \\ y^H &= -r \sin H \cos \delta, & y^h &= -r \sin a \cos h, \\ z^H &= r \sin \delta, & z^h &= r \sin h. \end{aligned}$$

On passe du système d'axes horaire au système d'axes horizontal par la rotation $R_2(90^\circ - \phi)$, où ϕ est la latitude du lieu. Donc :

$$\begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix} = R_2(90^\circ - \phi) \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} = R_2(\phi - 90^\circ) \begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix}. \quad (5.27)$$

D'où :

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

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

Dans ces formules, la hauteur peut être remplacée par la distance zénithale à l'aide de (5.10).

L étant la longitude du lieu, on obtiendra les relations entre les coordonnées horizontales et les coordonnées équatoriales vraies α_V et δ_V en remplaçant H par le second membre de (5.7) et δ par δ_V .

5.3.7. Variations des éléments d'une orbite sous l'effet d'un changement de date de référence

Il s'agit du passage des éléments d'une orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_F aux éléments de la même orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D . Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Le demi-grand axe et l'excentricité de l'orbite, ainsi que l'anomalie moyenne d'un point quelconque, ne changent pas. On désigne par i_F et Ω_F , respectivement, l'inclinaison et la longitude du nœud ascendant de l'orbite sur l'écliptique moyen de l'époque σ_F , et par ϖ_F la longitude du périastre P. Les quantités rapportées au système d'axes de l'époque σ_D sont i_D , Ω_D et ϖ_D .

Sur la figure 5.4, on a entre les arcs les égalités suivantes :

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

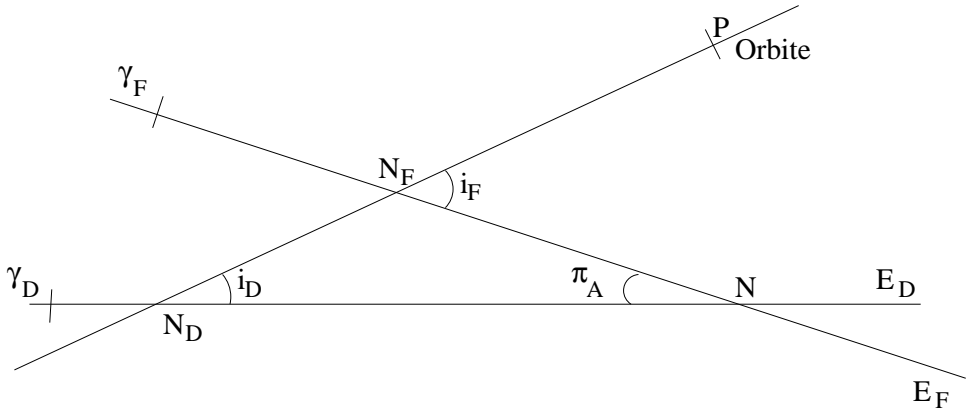


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

En désignant par $\Delta\omega$ l'arc $N_D N_F$, on a :

$$\varpi_D - \varpi_F = \Omega_D - \Omega_F + \Delta\omega.$$

En comparant les figures 4.2 et 5.4, on voit que :

$$\begin{aligned} N_F N &= \Pi_A - \Omega_F, \\ N_D N &= \mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D. \end{aligned}$$

Dans le triangle sphérique $N_D N N_F$, les relations suivantes permettent de calculer i_D , Ω_D , ϖ_D en fonction de i_F , Ω_F , ϖ_F :

$$\begin{aligned} \cos i_D &= \cos i_F \cos \pi_A + \sin i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= \sin i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= -\cos i_F \sin \pi_A + \sin i_F \cos \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin \Delta\omega &= \sin \pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos \Delta\omega &= \sin i_F \cos \pi_A - \cos i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \end{aligned} \quad (5.30)$$

où π_A et Π_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 qui leur correspondent.

Si le temps t écoulé entre σ_D et σ_F est suffisamment court pour que les quantités π_A , $\Delta\omega$ et $i_D - i_F$ soient suffisamment petites et si i_F n'est pas trop voisin de zéro, on pourra utiliser les relations approchées suivantes :

$$\begin{aligned} i_D &= i_F - \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \Omega_D &= \Omega_F + \mathcal{P}_A - \pi_A \cot i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \Delta\omega &= \frac{\pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F)}{\sin i_F}. \end{aligned} \quad (5.31)$$

5.3.8. Changement de repère de référence

On considère deux repères de référence notés 1 et 2 pour lesquels la date de référence σ_F et l'équateur de référence (équateur moyen de la date σ_F) sont les mêmes. On désigne par γ_1 et γ_2 les équinoxes des deux repères (équinoxes moyens de la date σ_F), par ε_1 et ε_2 les inclinaisons de l'écliptique (moyen de la date σ_F) sur l'équateur (moyen de la date σ_F) pour les deux repères (Fig. 5.5) et par $\Delta\phi$ l'arc $\gamma_1\gamma_2$.

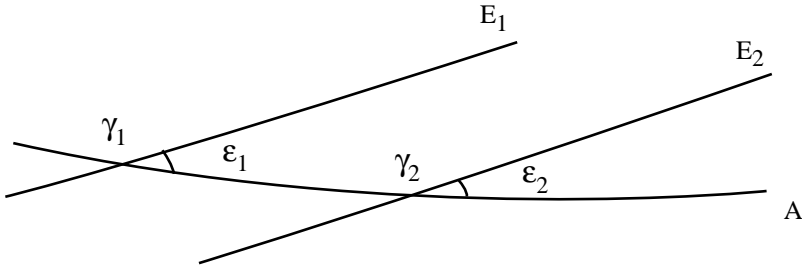


Fig. 5.5. Changement de repère.

On note :

$x_{F,i}^A, y_{F,i}^A, z_{F,i}^A$, les coordonnées équatoriales moyennes de la date σ_F dans le repère i ($i = 1$ ou 2) ;
 $x_{F,i}^E, y_{F,i}^E, z_{F,i}^E$, les coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_F dans le même repère.

On passe du système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le deuxième repère par une rotation $R_3(\Delta\phi)$. On passe du système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le deuxième repère en effectuant successivement les rotations $R_1(-\varepsilon_1)$ et $R_3(\Delta\phi)$. On passe du système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le deuxième repère en effectuant successivement les rotations $R_1(-\varepsilon_1)$, $R_3(\Delta\phi)$, $R_1(\varepsilon_2)$. Donc :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \tag{5.32}$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \tag{5.33}$$

et :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon_2) R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}. \tag{5.34}$$

$\Delta\phi$ et $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ étant en général très petits, on pourra le plus souvent utiliser les formules approchées suivantes, déduites des formules (5.32), (5.33) et (5.34) :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi & 0 \\ -\Delta\phi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \quad (5.35)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi & \cos \varepsilon_1 & -\sin \varepsilon_1 \\ 0 & \sin \varepsilon_1 & \cos \varepsilon_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.36)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi \cos \varepsilon_1 & 1 & \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \\ \Delta\phi \sin \varepsilon_1 & -(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.37)$$

où $\Delta\phi$, ε_1 et ε_2 sont exprimés en radians.

5.4. APPLICATION DES RÉOLUTIONS DE L'UAI 2001 AUX CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

Lors de la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI 2001), ont été adoptées plusieurs résolutions liées aux transformations entre systèmes de référence céleste et terrestre. Une présentation détaillée de ces résolutions est faite en 3.6. Dans ce paragraphe, nous donnons deux algorithmes permettant le passage entre systèmes de référence céleste et terrestre : l'une utilisant la procédure UAI en usage jusqu'en 2001, l'autre se basant sur le concept d'origine non-tournante.

5.4.1. Algorithme classique

Lorsque des observations faites au sol doivent être préparées ou analysées pour une comparaison à un modèle, il est nécessaire d'effectuer des changements de coordonnées exprimées d'une part dans le repère terrestre, lié à la physique et à la rotation de la Terre, et d'autre part dans le repère céleste, lié au mouvement de l'objet observé et de la Terre autour du Soleil. Ainsi, supposons que l'on souhaite calculer les coordonnées locales, 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 :

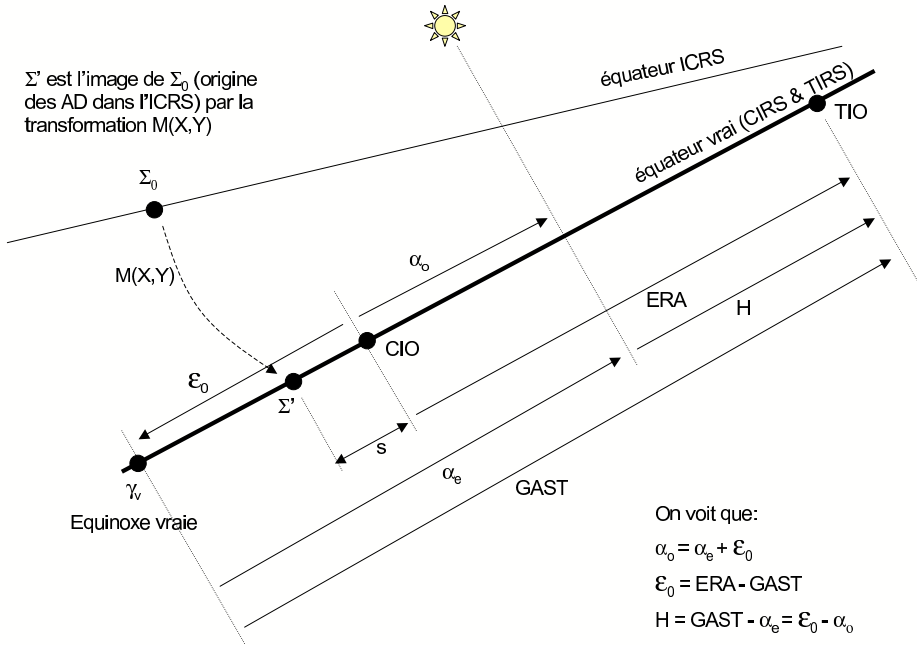


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- 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 :

$$\sum_i \mu_i^* r_i = 0 \text{ et } \sum_i \mu_i^* \dot{r}_i + \mu_i^* \ddot{r}_i = 0, \quad (6.1)$$

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 (notées transit dans la table 6.1) et plaques photographiques ont aussi été incluses, en particulier dans l'ajustement des planètes extérieures. Les périodes orbitales importantes de celles-ci nécessitent de conserver des observations anciennes permettant de couvrir au moins une orbite. Pour Jupiter et Saturne,

Table 6.1. Observations utilisées pour l'ajustement d'INPOP.

Planète	Type des données	Intervalle de temps	Nombre d'observations	INPOP06
Mercure	Radar	1971-1998	444	1 km
Vénus	Radar	1964-1990	511	5 km
	Sonde spatiale VLBI	1990-1994	18	5 mas
Mars	Viking lander radar	1976-1983	1256	20 m
	MGs/MO radar	1999-2005.45	10474	5 m
	Viking lander Doppler	1976-1979	1501	5 mm/s
	Pathfinder lander Doppler	1997	1519	1 mm/s
	Sonde spatiale VLBI	1989-2003	44	0.5 mas
Jupiter	Sonde spatiale VLBI	1996-1998	24	10 mas
	CCD ou transit (α, δ)	1973-2004	3189	200 mas
Saturne	CCD ou transit (α, δ)	1973-2004	3863	200 mas
Uranus	CCD ou transit (α, δ)	1914-2004	3848	350 mas
Neptune	CCD ou transit (α, δ)	1914-2004	3898	350 mas
Pluton	CCD ou transit (α, δ)	1989-2004	1024	200 mas

des observations des satellites sont utilisées afin de limiter l'utilisation d'observations directes du photocentre de la planète. La description complète des méthodes d'analyses des observations et d'ajustement peuvent être retrouvées dans Fienga et al. (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.

	Unité	DE405	EPM 04	DE414	INPOP06
Masse de Cérès	$10^{-10} M_{\odot}$	4.64	4.753 ± 0.007	4.699	4.746 ± 0.006
Masse de Vesta	$10^{-10} M_{\odot}$	1.34	1.344 ± 0.001	1.358	1.338 ± 0.002
Masse de Pallas	$10^{-10} M_{\odot}$	1.05	1.027 ± 0.003	1.026	0.995 ± 0.003
Masse d'Iris	$10^{-10} M_{\odot}$		0.063 ± 0.001	0.060	0.089 ± 0.002
Masse de Bamberga	$10^{-10} M_{\odot}$		0.055 ± 0.001	0.047	0.060 ± 0.002
Masse de l'anneau	$10^{-10} M_{\odot}$		3.35 ± 0.35	0.329	0.34 ± 0.15
Distance de l'anneau	UA		3.13 ± 0.05	2.8	2.8
Densité de la classe C		1.8	1.4	1.6 ± 0.22	1.93 ± 0.12
Densité de la classe S		2.4	3.5	2.07	2.13 ± 0.11
Densité de la classe M		5.0	4.5	4.3 ± 0.43	4.47 ± 0.012
J2 du Soleil	10^{-7}	2	1.9 ± 0.3	2.3 ± 2.5	1.95 ± 0.55

Soleil a aussi été réalisé. L'ensemble des paramètres ajustés ainsi que les valeurs obtenues ont été rassemblés dans la table 6.2 et la table 6.3. La table 6.2 permet, de plus, la comparaison avec les valeurs provenant de DE405 (Standish, 1998), EPM 04 (Pitjeva, 2005) et DE414 (Konopliv et al., 2006).

Table 6.3. Paramètres physiques liés aux calculs de marées terrestres et lunaires. τ_{E21} et τ_{E22} sont respectivement le temps de retard de la Terre pour les harmoniques (2,1) et (2,2). τ_M est le temps de retard dans la réponse de la Lune aux marées terrestres. Ces quantités sont exprimées en jours.

τ_{E21} :	$1.296\ 450\ 346\ 419\ 947\ 8082 \times 10^{-2}$
τ_{E22} :	$6.936\ 812\ 466\ 537\ 533\ 1321 \times 10^{-3}$
τ_M :	$1.667\ 744\ 540\ 482\ 935\ 7669 \times 10^{-1}$

6.4. BIBLIOGRAPHIE

- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 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 éd, John Wiley & Sons.
- Pitjeva, E.V. : 2005, High-Precision Ephemerides of Planets—EPM and Determination of Some Astronomical Constants, *Solar System Research* **39**, 176.
- Soffel, M., Klioner, S.A., Petit, G., Wolf, P., Kopeikin, S.M., Bretagnon, P., Brumberg, V.A. et 13 co-auteurs : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28–40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).

CHAPITRE 7

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 les valeurs des paramètres physiques, en se servant des observations astrométriques. Principalement, la méthode

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
Rhée	(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

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 même temps que les équations du mouvement. Dans le cas où le modèle repose sur une intégration

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				

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'identifie à l'échelle TT. Les éphémérides de ces corps sont donc tabulées pour des dates en TT.

Le temps sidéral est une fonction à la fois du Temps universel TU et de TT. Nous l'avons calculé par la formule (3.6.25), en prenant $t - t_u = 66$ 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 Cérès, Pallas, Junon et Vesta, *tous les quatre jours* à 0h TT (p. II. 92 – II. 96) :
 - les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées astrométriques rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens J2000. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration.
- Les coordonnées tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est* pour les satellites de Mars (p. II. 98 – II. 107) et *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est et ouest* pour les satellites galiléens de Jupiter (p. II. 110 – II. 116), les huit premiers satellites de Saturne (p. II. 118 – II. 135) et les cinq premiers satellites d'Uranus (p. II. 138 – II. 148).

Les coordonnées 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. 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 Hypérion ;
- 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, ... ; elles valent :

$$\begin{aligned} \Delta_k^{(1)} &= f_{k+1} - f_k \\ \Delta_k^{(2)} &= \Delta_{k+1}^{(1)} - \Delta_k^{(1)} \\ \Delta_k^{(3)} &= \Delta_{k+1}^{(2)} - \Delta_k^{(2)} \\ \dots & \dots \dots \end{aligned} \quad \{k = 0, 1, 2, \dots\}$$

Formons le tableau des différences :

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			

(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 2010 à 8h 28m TT.

Formons les tableaux des différences, à partir des valeurs données page II. 36. Nous obtenons, pour les ascensions droites α et les déclinaisons δ :

20/01	α	$\Delta^1(\text{s})$	$\Delta^2(\text{s})$	$\Delta^3(\text{s})$	δ	$\Delta^1(\text{''})$	$\Delta^2(\text{''})$	$\Delta^3(\text{''})$
0h	23h 18m 28.810s				$0^\circ 29' 37.65''$			
		647.16				4683.69		
6h	23h 29m 15.970s		2.79		$1^\circ 47' 41.34''$		-0.92	
		649.95		0.92		4682.77		-9.13
12h	23h 40m 05.920s		3.71		$3^\circ 05' 44.11''$		-10.05	
		653.66				4672.72		
18h	23h 50m 59.580s				$4^\circ 23' 36.83''$			

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

$$\alpha(t) = 23\text{h } 29\text{m } 15.97\text{s} + 267.20\text{s} - 0.39\text{s} + 0.003\text{s} = 23\text{h } 33\text{m } 42.78\text{s}$$

$$\delta(t) = 1^\circ 47' 41.34'' + 1925.14'' + 0.66'' - 0.033'' = 2^\circ 19' 47.11''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 23\text{h } 33\text{m } 42.78\text{s}$$

$$\delta(t) = 2^\circ 19' 47.10''$$

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.

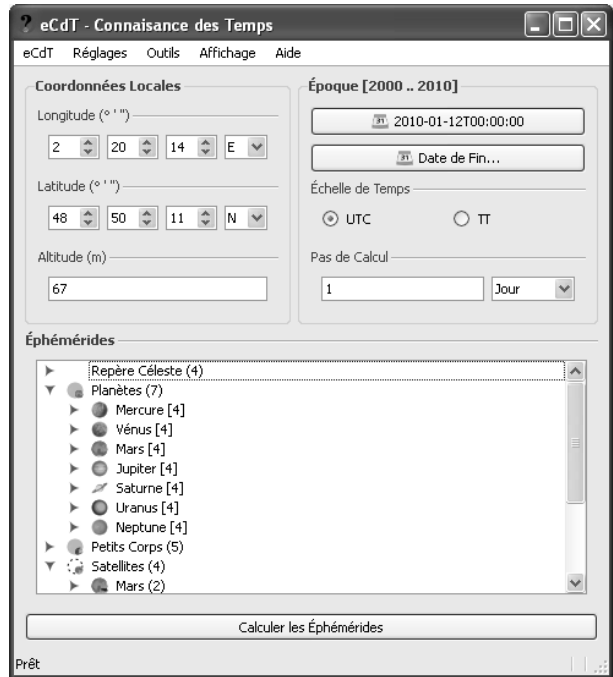


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

• 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.

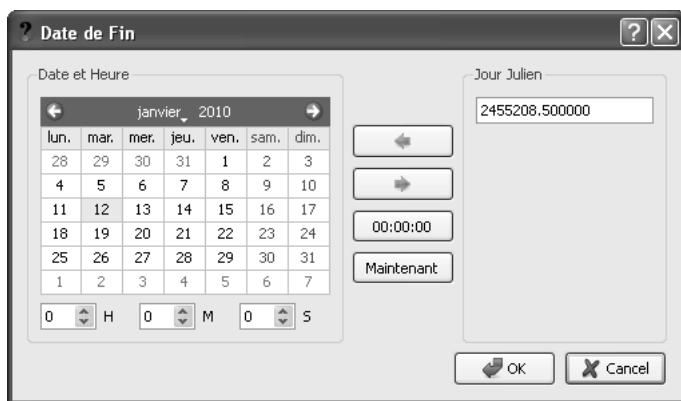


Fig. 8.2. Fenêtre pour choisir la date.

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 : $T_0(x) = 1$; $T_1(x) = x$.

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} "
	s	10	5	2×10^{-10} "
Soleil	Longitude	15	16	6×10^{-10} degré
	Latitude	15	16	4×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	16	4×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Temps de passage	15	16	1×10^{-3} "
	Coordonnées rectangulaires	15	16	1×10^{-11} ua
Lune	Ascension droite	9	2	2×10^{-6} s
	Déclinaison	9	2	2×10^{-5} "
	Distance à la Terre	9	2	2×10^{-5} km
Mercure	Longitude	15	16	3×10^{-9} degré
	Latitude	15	16	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	16	2×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	6×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	5×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua

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 éd., Paris.
- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W. éd., EDP Sciences, Les Ulis.
- 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 2010

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

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

TEMPS SIDÉRAL 2010 à 0h TU, NUTATION 2010 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	38	13.46775	16.24278	2.80492	Févr.	15	9	39	35.09670	17.58404	3.40208
	1	6	42	10.03571	16.44866	2.82403		16	9	43	31.64526	17.47283	3.43254
	2	6	46	6.60131	16.61599	2.86955		17	9	47	28.19304	17.34869	3.44580
	3	6	50	3.16278	16.71588	2.92823		18	9	51	24.74105	17.22839	3.44080
	4	6	53	59.71971	16.74131	2.98296		19	9	55	21.29036	17.12933	3.41932
	5	6	57	56.27302	16.70787	3.01928		20	9	59	17.84192	17.06705	3.38605
	6	7	1	52.82455	16.64503	3.02983		21	10	3	14.39640	17.05261	3.34825
	7	7	5	49.37622	16.58457	3.01514		22	10	7	10.95405	17.08977	3.31503
	8	7	9	45.92957	16.55162	2.98172		23	10	11	7.51448	17.17246	3.29600
	9	7	13	42.48549	16.56053	2.93917		24	10	15	4.07661	17.28316	3.29922
	10	7	17	39.04416	16.61453	2.89754		25	10	19	0.63876	17.39392	3.32846
	11	7	21	35.60522	16.70756	2.86545		26	10	22	57.19888	17.47171	3.38058
	12	7	25	32.16789	16.82698	2.84901		27	10	26	53.75528	17.48855	3.44458
	13	7	29	28.73118	16.95650	2.85124		28	10	30	50.30726	17.43325	3.50402
14	7	33	25.29404	17.07901	2.87207	Mars	1	10	34	46.85557	17.31789	3.54276	
15	7	37	21.85554	17.17915	2.90857	2	10	38	43.40212	17.17376	3.55134		
16	7	41	18.41496	17.24549	2.95563	3	10	42	39.94920	17.03821	3.53025		
17	7	45	14.97194	17.27191	3.00678	4	10	46	36.49859	16.94042	3.48847		
18	7	49	11.52647	17.25827	3.05518	5	10	50	33.05110	16.89367	3.43891		
19	7	53	8.07890	17.21027	3.09451	6	10	54	29.60658	16.89558	3.39385		
20	7	57	4.62989	17.13868	3.11979	7	10	58	26.16425	16.93315	3.36213		
21	8	1	1.18034	17.05820	3.12794	8	11	2	22.72300	16.98848	3.34837		
22	8	4	57.73129	16.98599	3.11834	9	11	6	19.28172	17.04326	3.35333		
23	8	8	54.28384	16.93992	3.09316	10	11	10	15.83942	17.08142	3.37478		
24	8	12	50.83898	16.93621	3.05762	11	11	14	12.39535	17.09059	3.40832		
25	8	16	47.39741	16.98621	3.01996	12	11	18	8.94902	17.06296	3.44814		
26	8	20	43.95927	17.09231	2.99075	13	11	22	5.50028	16.99575	3.48770		
27	8	24	40.52391	17.24387	2.98093	14	11	26	2.04928	16.89161	3.52039		
28	8	28	37.08977	17.41541	2.99857	15	11	29	58.59651	16.75865	3.54037		
29	8	32	33.65462	17.57036	3.04489	16	11	33	55.14278	16.60984	3.54342		
30	8	36	30.21621	17.67216	3.11178	17	11	37	51.68908	16.46169	3.52770		
31	8	40	26.77321	17.69889	3.18335	18	11	41	48.23652	16.33203	3.49435		
Févr.	1	8	44	23.32578	17.65318	3.24170	19	11	45	44.78609	16.23714	3.44767	
	2	8	48	19.87547	17.56035	3.27409	20	11	49	41.33849	16.18868	3.39469	
	3	8	52	16.42447	17.45627	3.27706	21	11	53	37.89400	16.19091	3.34428	
	4	8	56	12.97476	17.37327	3.25591	22	11	57	34.45230	16.23875	3.30559	
	5	9	0	9.52757	17.33136	3.22110	23	12	1	31.01246	16.31722	3.28628	
	6	9	4	6.08325	17.33640	3.18421	24	12	5	27.57307	16.40288	3.29042	
	7	9	8	2.64146	17.38287	3.15509	25	12	9	24.13240	16.46773	3.31674	
	8	9	11	59.20142	17.45794	3.14054	26	12	13	20.68887	16.48581	3.35770	
9	9	15	55.76213	17.54534	3.14398	27	12	17	17.24153	16.44148	3.40040		
10	9	19	52.32257	17.62825	3.16566	28	12	21	13.79047	16.33651	3.42982		
11	9	23	48.88181	17.69149	3.20315	29	12	25	10.33698	16.19169	3.43376		
12	9	27	45.43911	17.72317	3.25186	30	12	29	6.88310	16.04051	3.40745		
13	9	31	41.99404	17.71603	3.30573	31	12	33	3.43091	15.91690	3.35524		
14	9	35	38.54649	17.66830	3.35799	Avril	1	12	36	59.98179	15.84346	3.28841	

TEMPS SIDÉRAL 2010 à 0h TU, NUTATION 2010 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	40	56.53608	15.82579	3.22057	Mai	18	15	42	18.07114	15.63174	2.06441
	3	12	44	53.09320	15.85440	3.16329		19	15	46	14.63247	15.72931	2.08423
	4	12	48	49.65202	15.91080	3.12368		20	15	50	11.19039	15.77103	2.11177
	5	12	52	46.21126	15.97407	3.10404		21	15	54	7.74471	15.75386	2.13394
	6	12	56	42.76976	16.02544	3.10274		22	15	58	4.29618	15.69019	2.13903
	7	13	0	39.32667	16.05061	3.11547		23	16	2	0.84629	15.60427	2.11990
	8	13	4	35.88143	16.04063	3.13636		24	16	5	57.39683	15.52541	2.07568
	9	13	8	32.43381	15.99190	3.15888		25	16	9	53.94943	15.48005	2.01186
	10	13	12	28.98393	15.90612	3.17645		26	16	13	50.50510	15.48499	1.93851
	11	13	16	25.53220	15.79008	3.18307		27	16	17	47.06406	15.54366	1.86741
	12	13	20	22.07933	15.65537	3.17401		28	16	21	43.62573	15.64658	1.80892
13	13	24	18.62627	15.51763	3.14656	29	16	25	40.18897	15.77527	1.76970		
14	13	28	15.17413	15.39483	3.10083	30	16	29	36.75244	15.90785	1.75177		
15	13	32	11.72398	15.30463	3.04018	31	16	33	33.31493	16.02422	1.75291		
16	13	36	8.27667	15.26084	2.97126	Juin	1	16	37	29.87552	16.10958	1.76790	
17	13	40	4.83259	15.26979	2.90306		2	16	41	26.43371	16.15588	1.78994	
18	13	44	1.39150	15.32771	2.84528		3	16	45	22.98944	16.16177	1.81195	
19	13	47	57.95253	15.42014	2.80615		4	16	49	19.54297	16.13179	1.82741	
20	13	51	54.51425	15.52400	2.79021		5	16	53	16.09488	16.07526	1.83103	
21	13	55	51.07501	15.61224	2.79673		6	16	57	12.64597	16.00536	1.81909	
22	13	59	47.63331	15.66014	2.81928		7	17	1	9.19723	15.93806	1.78998	
23	14	3	44.18817	15.65198	2.84677		8	17	5	5.74971	15.89089	1.74459	
24	14	7	40.73952	15.58625	2.86594		9	17	9	2.30447	15.88084	1.68683	
25	14	11	37.28822	15.47731	2.86493		10	17	12	58.86230	15.92116	1.62376	
26	14	15	33.83594	15.35227	2.83694	11	17	16	55.42355	16.01723	1.56507		
27	14	19	30.38462	15.24297	2.78255	12	17	20	51.98781	16.16262	1.52132		
28	14	23	26.93590	15.17604	2.70949	13	17	24	48.55388	16.33752	1.50107		
29	14	27	23.49059	15.16493	2.62995	14	17	28	45.11991	16.51181	1.50761		
30	14	31	20.04856	15.20737	2.55655	15	17	32	41.68392	16.65318	1.53696		
Mai	1	14	35	16.60888	15.28837	2.49888	16	17	36	38.24445	16.73758	1.57838	
	2	14	39	13.17025	15.38651	2.46168	17	17	40	34.80101	16.75725	1.61767	
	3	14	43	9.73135	15.48014	2.44493	18	17	44	31.35426	16.72268	1.64168	
	4	14	47	6.29109	15.55169	2.44497	19	17	48	27.90568	16.65806	1.64214	
	5	14	51	2.84877	15.58958	2.45595	20	17	52	24.45708	16.59319	1.61749	
	6	14	54	59.40408	15.58856	2.47113	21	17	56	21.01012	16.55504	1.57249	
	7	14	58	55.95704	15.54922	2.48372	22	18	0	17.56589	16.56158	1.51635	
	8	15	2	52.50801	15.47734	2.48755	23	18	4	14.12476	16.61877	1.45999	
	9	15	6	49.05762	15.38328	2.47763	24	18	8	10.68636	16.72074	1.41359	
	10	15	10	45.60676	15.28138	2.45062	25	18	12	7.24979	16.85251	1.38444	
11	15	14	42.15646	15.18882	2.40559	26	18	16	3.81382	16.99419	1.37590		
12	15	18	38.70786	15.12383	2.34459	27	18	20	0.37722	17.12552	1.38726		
13	15	22	35.26193	15.10256	2.27304	28	18	23	56.93897	17.22977	1.41439		
14	15	26	31.81929	15.13510	2.19946	29	18	27	53.49839	17.29613	1.45100		
15	15	30	28.37994	15.22150	2.13412	30	18	31	50.05526	17.32070	1.48992		
16	15	34	24.94315	15.34957	2.08665	Juill.	1	18	35	46.60974	17.30611	1.52429	
17	15	38	21.50747	15.49605	2.06325		2	18	39	43.16231	17.26045	1.54834	

TEMPS SIDÉRAL 2010 à 0h TU, NUTATION 2010 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	43	39.71373	17.19593	1.55799	Août	18	21	45	1.30805	17.97073	1.69278
	4	18	47	36.26492	17.12757	1.55118		19	21	48	57.86833	18.05103	1.69002
	5	18	51	32.81688	17.07186	1.52812		20	21	52	54.42841	18.12804	1.70668
	6	18	55	29.37062	17.04522	1.49158		21	21	56	50.98725	18.18477	1.74005
	7	18	59	25.92700	17.06183	1.44709		22	22	0	47.54407	18.20856	1.78510
	8	19	3	22.48658	17.13063	1.40279		23	22	4	44.09844	18.19230	1.83537
	9	19	7	19.04935	17.25152	1.36859		24	22	8	40.65030	18.13492	1.88398
	10	19	11	15.61454	17.41204	1.35421		25	22	12	37.19993	18.04123	1.92455
	11	19	15	12.18059	17.58680	1.36610		26	22	16	33.74795	17.92112	1.95201
	12	19	19	8.74546	17.74213	1.40414		27	22	20	30.29519	17.78821	1.96325
	13	19	23	5.30720	17.84635	1.46013		28	22	24	26.84260	17.65810	1.95752
	14	19	27	1.86473	17.88183	1.51960		29	22	28	23.39114	17.54643	1.93658
	15	19	30	58.41828	17.85212	1.56682		30	22	32	19.94164	17.46690	1.90453
	16	19	34	54.96924	17.77998	1.59041		31	22	36	16.49472	17.42938	1.86754
	17	19	38	51.51958	17.69782	1.58678		Sept. 1	22	40	13.05062	17.43799	1.83322
	18	19	42	48.07119	17.63631	1.56007		2	22	44	9.60912	17.48931	1.80972
	19	19	46	44.62533	17.61618	1.51966		3	22	48	6.16949	17.57097	1.80438
20	19	50	41.18246	17.64510	1.47685	4	22	52	2.73040	17.66159	1.82177		
21	19	54	37.74233	17.71867	1.44204	5	22	55	59.29015	17.73325	1.86148		
22	19	58	34.30412	17.82354	1.42279	6	22	59	55.84703	17.75805	1.91644		
23	20	2	30.86670	17.94144	1.42303	7	23	3	52.39995	17.71801	1.97323		
24	20	6	27.42889	18.05308	1.44290	8	23	7	48.94898	17.61448	2.01572		
25	20	10	23.98967	18.14146	1.47924	9	23	11	45.49554	17.47058	2.03103		
26	20	14	20.54827	18.19435	1.52650	10	23	15	42.04189	17.32298	2.01503		
27	20	18	17.10433	18.20571	1.57783	11	23	19	38.59016	17.20696	1.97365		
28	20	22	13.65788	18.17604	1.62622	12	23	23	35.14165	17.14353	1.91964		
29	20	26	10.20932	18.11180	1.66550	13	23	27	31.69651	17.13517	1.86711		
30	20	30	6.75932	18.02415	1.69108	14	23	31	28.25398	17.16948	1.82722		
31	20	34	3.30877	17.92742	1.70042	15	23	35	24.81282	17.22636	1.80615		
Août 1	20	37	59.85864	17.83747	1.69331	16	23	39	21.37174	17.28440	1.80523		
2	20	41	56.40988	17.77003	1.67190	17	23	43	17.92960	17.32511	1.82199		
3	20	45	52.96335	17.73895	1.64078	18	23	47	14.48557	17.33503	1.85144		
4	20	49	49.51965	17.75408	1.60672	19	23	51	11.03919	17.30644	1.88727		
5	20	53	46.07897	17.81869	1.57827	20	23	55	7.59034	17.23745	1.92270		
6	20	57	42.64094	17.92663	1.56454	21	23	59	4.13924	17.13175	1.95128		
7	21	1	39.20449	18.06036	1.57324	22	0	3	0.68642	16.99801	1.96765		
8	21	5	35.76789	18.19168	1.60773	23	0	6	57.23267	16.84896	1.96816		
9	21	9	32.32913	18.28765	1.66433	24	0	10	53.77892	16.69987	1.95138		
10	21	13	28.88656	18.32142	1.73156	25	0	14	50.32615	16.56669	1.91849		
11	21	17	25.43964	18.28410	1.79300	26	0	18	46.87522	16.46378	1.87319		
12	21	21	21.98925	18.19001	1.83336	27	0	22	43.42679	16.40160	1.82141		
13	21	25	18.53734	18.07111	1.84442	28	0	26	39.98113	16.38477	1.77057		
14	21	29	15.08614	17.96357	1.82761	29	0	30	36.53808	16.41059	1.72850		
15	21	33	11.63730	17.89475	1.79207	30	0	34	33.09698	16.46844	1.70214		
16	21	37	8.19156	17.87666	1.75038	Oct. 1	0	38	29.65674	16.54021	1.69608		
17	21	41	4.74875	17.90643	1.71440	2	0	42	26.21592	16.60247	1.71097		

TEMPS SIDÉRAL 2010 à 0h TU, NUTATION 2010 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

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	46	22.773 01	16.630 68	1.742 32	Nov.	18	3	47	44.258 02	15.618 53	0.707 03
	4	0	50	19.326 84	16.605 64	1.780 22		19	3	51	40.809 91	15.561 56	0.649 78
	5	0	54	15.877 04	16.521 12	1.810 96		20	3	55	37.364 11	15.542 50	0.583 01
	6	0	58	12.424 33	16.389 05	1.820 83		21	3	59	33.921 18	15.570 35	0.513 68
	7	1	2	8.970 48	16.238 40	1.801 21		22	4	3	30.481 22	15.646 57	0.450 22
	8	1	6	5.517 73	16.105 59	1.752 45		23	4	7	27.043 72	15.763 18	0.400 94
	9	1	10	2.067 90	16.020 58	1.683 93		24	4	11	23.607 63	15.902 91	0.372 00
	10	1	13	58.621 77	15.996 15	1.610 13		25	4	15	20.171 51	16.041 96	0.365 47
	11	1	17	55.178 97	16.025 96	1.545 03		26	4	19	16.733 81	16.155 37	0.378 25
	12	1	21	51.738 27	16.090 30	1.498 02		27	4	23	13.293 33	16.223 37	0.402 31
	13	1	25	48.298 19	16.164 77	1.472 57		28	4	27	9.849 53	16.237 01	0.426 35
	14	1	29	44.857 38	16.227 14	1.467 07		29	4	31	6.402 71	16.201 17	0.438 55
15	1	33	41.414 82	16.261 12	1.476 58	30	4	35	2.953 97	16.134 04	0.429 67		
16	1	37	37.969 96	16.257 41	1.494 49	Déc.	1	4	38	59.504 98	16.062 85	0.395 65	
17	1	41	34.522 63	16.213 28	1.513 79		2	4	42	56.057 53	16.016 75	0.338 93	
18	1	45	31.073 01	16.131 76	1.527 90	3	4	46	52.613 02	16.018 66	0.268 03		
19	1	49	27.621 58	16.020 75	1.531 22	4	4	50	49.172 06	16.078 56	0.195 17		
20	1	53	24.169 08	15.892 06	1.519 71	5	4	54	45.734 30	16.190 93	0.132 69		
21	1	57	20.716 39	15.760 40	1.491 32	6	4	58	42.298 62	16.337 31	0.089 63		
22	2	1	17.264 51	15.641 81	1.446 40	7	5	2	38.863 49	16.492 66	0.069 67		
23	2	5	13.814 36	15.551 62	1.387 96	8	5	6	35.427 42	16.632 70	0.071 05		
24	2	9	10.366 69	15.501 89	1.321 55	9	5	10	31.989 32	16.739 41	0.088 00		
25	2	13	6.921 87	15.498 85	1.254 59	10	5	14	28.548 60	16.803 48	0.112 80		
26	2	17	3.479 82	15.540 94	1.195 25	11	5	18	25.105 23	16.824 07	0.137 61		
27	2	21	0.039 91	15.618 07	1.150 88	12	5	22	21.659 56	16.807 12	0.155 68		
28	2	24	56.601 05	15.712 53	1.126 36	13	5	26	18.212 25	16.763 35	0.162 01		
29	2	28	53.161 88	15.801 81	1.122 70	14	5	30	14.764 13	16.706 41	0.153 59		
30	2	32	49.720 98	15.862 90	1.136 19	15	5	34	11.316 14	16.651 51	0.129 50		
31	2	36	46.277 25	15.877 66	1.158 52	16	5	38	7.869 23	16.614 16	0.091 00		
Nov.	1	2	40	42.830 21	15.838 27	1.178 07	17	5	42	4.424 26	16.608 67	0.041 66	
2	2	44	39.380 25	15.751 20	1.182 52	18	5	46	0.981 92	16.646 18	-0.012 68		
3	2	48	35.928 67	15.637 60	1.162 36	19	5	49	57.542 55	16.732 03	-0.064 23		
4	2	52	32.477 37	15.528 61	1.114 41	20	5	53	54.105 92	16.862 97	-0.104 31		
5	2	56	29.028 28	15.455 78	1.043 45	21	5	57	50.671 23	17.025 40	-0.125 19		
6	3	0	25.582 70	15.440 16	0.960 99	22	6	1	47.237 05	17.196 26	-0.122 49		
7	3	4	22.140 84	15.485 35	0.881 27	23	6	5	43.801 67	17.347 58	-0.097 28		
8	3	8	18.701 86	15.577 88	0.816 47	24	6	9	40.363 56	17.454 32	-0.056 78		
9	3	12	15.264 32	15.693 77	0.773 42	25	6	13	36.921 87	17.502 46	-0.012 82		
10	3	16	11.826 63	15.807 18	0.752 91	26	6	17	33.476 72	17.493 99	0.021 56		
11	3	20	8.387 49	15.897 01	0.750 91	27	6	21	30.029 17	17.446 30	0.036 00		
12	3	24	4.946 10	15.950 07	0.760 71	28	6	25	26.580 89	17.386 69	0.025 72		
13	3	28	1.502 15	15.961 35	0.774 73	29	6	29	23.133 67	17.344 23	-0.007 44		
14	3	31	58.055 77	15.932 80	0.785 84	30	6	33	19.688 90	17.342 06	-0.055 97		
15	3	35	54.607 40	15.871 69	0.788 08	31	6	37	16.247 33	17.391 98	-0.108 94		
16	3	39	51.157 73	15.789 31	0.777 02	32	6	41	12.808 85	17.492 51	-0.154 89		
17	3	43	47.707 62	15.699 70	0.750 13	33	6	45	9.372 64	17.630 26	-0.184 57		

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 2010 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	25	25.99798	-7	56.01828	Févr.	15	144	45	43.39288	-8	3.05758
	1	100	24	34.20221	-7	56.33344		16	145	44	51.59712	-8	3.08181
	2	101	23	42.40645	-7	56.61321		17	146	43	59.80136	-8	3.09419
	3	102	22	50.61069	-7	56.83108		18	147	43	8.00560	-8	3.11011
	4	103	21	58.81493	-7	56.98065		19	148	42	16.20983	-8	3.14553
	5	104	21	7.01916	-7	57.07621		20	149	41	24.41407	-8	3.21470
	6	105	20	15.22340	-7	57.14483		21	150	40	32.61831	-8	3.32776
	7	106	19	23.42764	-7	57.21565		22	151	39	40.82254	-8	3.48818
	8	107	18	31.63187	-7	57.31173		23	152	38	49.02678	-8	3.69035
	9	108	17	39.83611	-7	57.44622		24	153	37	57.23102	-8	3.91820
	10	109	16	48.04035	-7	57.62207		25	154	37	5.43526	-8	4.14609
	11	110	15	56.24459	-7	57.83373		26	155	36	13.63949	-8	4.34371
	12	111	15	4.44882	-7	58.06959		27	156	35	21.84373	-8	4.48540
	13	112	14	12.65306	-7	58.31471		28	157	34	30.04797	-8	4.56089
14	113	13	20.85730	-7	58.55337	Mars	1	158	33	38.25220	-8	4.58130	
15	114	12	29.06153	-7	58.77152	2	159	32	46.45644	-8	4.57534		
16	115	11	37.26577	-7	58.95864	3	160	31	54.66068	-8	4.57727		
17	116	10	45.47001	-7	59.10913	4	161	31	2.86492	-8	4.61386		
18	117	9	53.67425	-7	59.22287	5	162	30	11.06915	-8	4.69729		
19	118	9	1.87848	-7	59.30509	6	163	29	19.27339	-8	4.82535		
20	119	8	10.08272	-7	59.36568	7	164	28	27.47763	-8	4.98612		
21	120	7	18.28696	-7	59.41812	8	165	27	35.68186	-8	5.16318		
22	121	6	26.49119	-7	59.47816	9	166	26	43.88610	-8	5.33971		
23	122	5	34.69543	-7	59.56220	10	167	25	52.09034	-8	5.50098		
24	123	4	42.89967	-7	59.68510	11	168	25	0.29458	-8	5.63566		
25	124	3	51.10390	-7	59.85730	12	169	24	8.49881	-8	5.73655		
26	125	2	59.30814	-8	0.08096	13	170	23	16.70305	-8	5.80114		
27	126	2	7.51238	-8	0.34632	14	171	22	24.90729	-8	5.83186		
28	127	1	15.71662	-8	0.62999	15	172	21	33.11152	-8	5.83614		
29	128	0	23.92085	-8	0.89841	16	173	20	41.31576	-8	5.82588		
30	128	59	32.12509	-8	1.11804	17	174	19	49.52000	-8	5.81624		
31	129	58	40.32933	-8	1.26879	18	175	18	57.72423	-8	5.82358		
Févr.	1	130	57	48.53356	-8	1.35310	19	176	18	5.92847	-8	5.86283	
	2	131	56	56.73780	-8	1.39418	20	177	17	14.13271	-8	5.94469	
	3	132	56	4.94204	-8	1.42498	21	178	16	22.33695	-8	6.07305	
	4	133	55	13.14628	-8	1.47514	22	179	15	30.54118	-8	6.24324	
	5	134	54	21.35051	-8	1.56299	23	180	14	38.74542	-8	6.44153	
	6	135	53	29.55475	-8	1.69393	24	181	13	46.94966	-8	6.64641	
	7	136	52	37.75899	-8	1.86287	25	182	12	55.15389	-8	6.83216	
	8	137	51	45.96322	-8	2.05805	26	183	12	3.35813	-8	6.97499	
	9	138	50	54.16746	-8	2.26452	27	184	11	11.56237	-8	7.06056	
	10	139	50	2.37170	-8	2.46686	28	185	10	19.76661	-8	7.09049	
	11	140	49	10.57594	-8	2.65114	29	186	9	27.97084	-8	7.08389	
	12	141	48	18.78017	-8	2.80647	30	187	8	36.17508	-8	7.07146	
	13	142	47	26.98441	-8	2.92617	31	188	7	44.37932	-8	7.08437	
	14	143	46	35.18865	-8	3.00863	Avril	1	189	6	52.58355	-8	7.14330

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2010 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	190	6	0.787 79	-8	7.253 42	Mai	18	235	26	18.182 70	-8	12.884 39	
	3	191	5	8.992 03	-8	7.405 97		19	236	25	26.386 94	-8	13.100 16	
	4	192	4	17.196 27	-8	7.584 01		20	237	24	34.591 17	-8	13.264 67	
	5	193	3	25.400 50	-8	7.768 34		21	238	23	42.795 41	-8	13.375 17	
	6	194	2	33.604 74	-8	7.941 73		22	239	22	50.999 65	-8	13.443 01	
	7	195	1	41.808 98	-8	8.091 09		23	240	21	59.203 88	-8	13.490 46	
	8	196	0	50.013 21	-8	8.208 19		24	241	21	7.408 12	-8	13.544 39	
	9	196	59	58.217 45	-8	8.289 74		25	242	20	15.612 36	-8	13.629 10	
	10	197	59	6.421 69	-8	8.337 29		26	243	19	23.816 60	-8	13.759 95	
	11	198	58	14.625 93	-8	8.357 08		27	244	18	32.020 83	-8	13.940 09	
	12	199	57	22.830 16	-8	8.359 77		28	245	17	40.225 07	-8	14.160 82	
	13	200	56	31.034 40	-8	8.359 67		29	246	16	48.429 31	-8	14.405 19	
	14	201	55	39.238 64	-8	8.373 30		30	247	15	56.633 54	-8	14.653 10	
	15	202	54	47.442 87	-8	8.416 86		31	248	15	4.837 78	-8	14.886 14	
	16	203	53	55.647 11	-8	8.503 00		Juin	1	249	14	13.042 02	-8	15.090 71
	17	204	53	3.851 35	-8	8.637 53			2	250	13	21.246 26	-8	15.259 44
18	205	52	12.055 59	-8	8.816 98	3	251		12	29.450 49	-8	15.391 10		
19	206	51	20.259 82	-8	9.028 08	4	252		11	37.654 73	-8	15.489 85		
20	207	50	28.464 06	-8	9.249 65	5	253		10	45.858 97	-8	15.564 26		
21	208	49	36.668 30	-8	9.456 87	6	254		9	54.063 20	-8	15.626 40		
22	209	48	44.872 53	-8	9.627 07	7	255		9	2.267 44	-8	15.690 94		
23	210	47	53.076 77	-8	9.745 82	8	256		8	10.471 68	-8	15.773 97		
24	211	47	1.281 01	-8	9.811 75	9	257		7	18.675 92	-8	15.891 06		
25	212	46	9.485 25	-8	9.838 07	10	258		6	26.880 15	-8	16.054 38		
26	213	45	17.689 48	-8	9.849 62	11	259		5	35.084 39	-8	16.268 84		
27	214	44	25.893 72	-8	9.875 65	12	260	4	43.288 63	-8	16.528 54			
28	215	43	34.097 96	-8	9.940 56	13	261	3	51.492 86	-8	16.815 30			
29	216	42	42.302 19	-8	10.056 69	14	262	2	59.697 10	-8	17.101 48			
30	217	41	50.506 43	-8	10.221 93	15	263	2	7.901 34	-8	17.357 43			
Mai	1	218	40	58.710 67	-8	10.422 55	16	264	1	16.105 58	-8	17.561 11		
	2	219	40	6.914 91	-8	10.638 88	17	265	0	24.309 81	-8	17.705 40		
	3	220	39	15.119 14	-8	10.851 06	18	265	59	32.514 05	-8	17.799 92		
	4	221	38	23.323 38	-8	11.042 97	19	266	58	40.718 29	-8	17.866 91		
	5	222	37	31.527 62	-8	11.203 99	20	267	57	48.922 52	-8	17.933 68		
	6	223	36	39.731 85	-8	11.329 30	21	268	56	57.126 76	-8	18.024 99		
	7	224	35	47.936 09	-8	11.419 46	22	269	56	5.331 00	-8	18.157 31		
	8	225	34	56.140 33	-8	11.479 77	23	270	55	13.535 24	-8	18.336 09		
	9	226	34	4.344 56	-8	11.519 75	24	271	54	21.739 47	-8	18.555 96		
	10	227	33	12.548 80	-8	11.552 54	25	272	53	29.943 71	-8	18.803 16		
	11	228	32	20.753 04	-8	11.593 91	26	273	52	38.147 95	-8	19.059 42		
12	229	31	28.957 28	-8	11.660 59	27	274	51	46.352 18	-8	19.306 19			
13	230	30	37.161 51	-8	11.767 39	28	275	50	54.556 42	-8	19.528 09			
14	231	29	45.365 75	-8	11.923 56	29	276	50	2.760 66	-8	19.715 23			
15	232	28	53.569 99	-8	12.129 15	30	277	49	10.964 89	-8	19.864 03			
16	233	28	1.774 22	-8	12.372 96	Juill.	1	278	48	19.169 13	-8	19.976 90		
17	234	27	9.978 46	-8	12.633 63		2	279	47	27.373 37	-8	20.061 27		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2010 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	46	35.57761	-8	20.12834	Août	18	326	6	52.97251	-8	26.64828
	4	281	45	43.78184	-8	20.19191		19	327	6	1.17675	-8	26.84824
	5	282	44	51.98608	-8	20.26710		20	328	5	9.38099	-8	27.04517
	6	283	44	0.19032	-8	20.36896		21	329	4	17.58522	-8	27.22348
	7	284	43	8.39455	-8	20.51052		22	330	3	25.78946	-8	27.37156
	8	285	42	16.59879	-8	20.69996		23	331	2	33.99370	-8	27.48289
	9	286	41	24.80303	-8	20.93719		24	332	1	42.19794	-8	27.55650
	10	287	40	33.00727	-8	21.21076		25	333	0	50.40217	-8	27.59680
	11	288	39	41.21150	-8	21.49738		26	333	59	58.60641	-8	27.61287
	12	289	38	49.41574	-8	21.76615		27	334	59	6.81065	-8	27.61721
	13	290	37	57.61998	-8	21.98802		28	335	58	15.01488	-8	27.62413
	14	291	37	5.82421	-8	22.14680		29	336	57	23.21912	-8	27.64797
15	292	36	14.02845	-8	22.24578	30	337	56	31.42336	-8	27.70131		
16	293	35	22.23269	-8	22.30586	31	338	55	39.62760	-8	27.79320		
17	294	34	30.43693	-8	22.35677	Sept.	1	339	54	47.83183	-8	27.92741	
18	295	33	38.64116	-8	22.42664	2	340	53	56.03607	-8	28.10080		
19	296	32	46.84540	-8	22.53448	3	341	53	4.24031	-8	28.30203		
20	297	31	55.04964	-8	22.68733	4	342	52	12.44454	-8	28.51144		
21	298	31	3.25387	-8	22.88114	5	343	51	20.64878	-8	28.70345		
22	299	30	11.45811	-8	23.10365	6	344	50	28.85302	-8	28.85244		
23	300	29	19.66235	-8	23.33811	7	345	49	37.05726	-8	28.94194		
24	301	28	27.86659	-8	23.56681	8	346	48	45.26149	-8	28.97320		
25	302	27	36.07082	-8	23.77415	9	347	47	53.46573	-8	28.96744		
26	303	26	44.27506	-8	23.94893	10	348	47	1.66997	-8	28.95831		
27	304	25	52.47930	-8	24.08561	11	349	46	9.87420	-8	28.97818		
28	305	25	0.68353	-8	24.18465	12	350	45	18.07844	-8	29.04630		
29	306	24	8.88777	-8	24.25197	13	351	44	26.28268	-8	29.16495		
30	307	23	17.09201	-8	24.29782	14	352	43	34.48692	-8	29.32274		
31	308	22	25.29625	-8	24.33535	15	353	42	42.69115	-8	29.50121		
Août	1	309	21	33.50048	-8	24.37911	16	354	41	50.89539	-8	29.68073	
2	310	20	41.70472	-8	24.44354	17	355	40	59.09963	-8	29.84435		
3	311	19	49.90896	-8	24.54134	18	356	40	7.30386	-8	29.97971		
4	312	18	58.11319	-8	24.68153	19	357	39	15.50810	-8	30.07973		
5	313	18	6.31743	-8	24.86713	20	358	38	23.71234	-8	30.14269		
6	314	17	14.52167	-8	25.09247	21	359	37	31.91658	-8	30.17197		
7	315	16	22.72591	-8	25.34145	22	0	36	40.12081	-8	30.17554		
8	316	15	30.93014	-8	25.58821	23	1	35	48.32505	-8	30.16505		
9	317	14	39.13438	-8	25.80251	24	2	34	56.52929	-8	30.15455		
10	318	13	47.33862	-8	25.95973	25	3	34	4.73352	-8	30.15866		
11	319	12	55.54285	-8	26.05172	26	4	33	12.93776	-8	30.19055		
12	320	12	3.74709	-8	26.09165	27	5	32	21.14200	-8	30.25981		
13	321	11	11.95133	-8	26.10883	28	6	31	29.34624	-8	30.37068		
14	322	10	20.15557	-8	26.13647	29	7	30	37.55047	-8	30.52069		
15	323	9	28.35980	-8	26.19964	30	8	29	45.75471	-8	30.70006		
16	324	8	36.56404	-8	26.30936	Oct.	1	9	28	53.95895	-8	30.89219	
17	325	7	44.76828	-8	26.46298	2	10	28	2.16318	-8	31.07558		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2010 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	27	10.36742	-8	31.22771	Nov.	18	56	47	27.76233	-8	36.10800	
	4	12	26	18.57166	-8	31.33099		19	57	46	35.96657	-8	36.18203	
	5	13	25	26.77590	-8	31.37968		20	58	45	44.17080	-8	36.29086	
	6	14	24	34.98013	-8	31.38476		21	59	44	52.37504	-8	36.44273	
	7	15	23	43.18437	-8	31.37282		22	60	44	0.57928	-8	36.63897	
	8	16	22	51.38861	-8	31.37728		23	61	43	8.78351	-8	36.87227	
	9	17	21	59.59284	-8	31.42560		24	62	42	16.98775	-8	37.12676	
	10	18	21	7.79708	-8	31.52952		25	63	41	25.19199	-8	37.38061	
	11	19	20	16.00132	-8	31.68318		26	64	40	33.39623	-8	37.61092	
	12	20	19	24.20555	-8	31.86851		27	65	39	41.60046	-8	37.79955	
	13	21	18	32.40979	-8	32.06311		28	66	38	49.80470	-8	37.93831	
	14	22	17	40.61403	-8	32.24660		29	67	37	58.00894	-8	38.03169	
	15	23	16	48.81827	-8	32.40404		30	68	37	6.21317	-8	38.09636	
	16	24	15	57.02250	-8	32.52688		Déc.	1	69	36	14.41741	-8	38.15733
	17	25	15	5.22674	-8	32.61265			2	70	35	22.62165	-8	38.24135
	18	26	14	13.43098	-8	32.66412			3	71	34	30.82588	-8	38.36943
	19	27	13	21.63521	-8	32.68853			4	72	33	39.03012	-8	38.55071
20	28	12	29.83945	-8	32.69674	5	73		32	47.23436	-8	38.78012		
21	29	11	38.04369	-8	32.70223	6	74		31	55.43860	-8	39.04072		
22	30	10	46.24793	-8	32.71972	7	75		31	3.64283	-8	39.30952		
23	31	9	54.45216	-8	32.76328	8	76	30	11.84707	-8	39.56427			
24	32	9	2.65640	-8	32.84396	9	77	29	20.05131	-8	39.78844			
25	33	8	10.86064	-8	32.96748	10	78	28	28.25554	-8	39.97347			
26	34	7	19.06487	-8	33.13242	11	79	27	36.45978	-8	40.11862			
27	35	6	27.26911	-8	33.32948	12	80	26	44.66402	-8	40.22933			
28	36	5	35.47335	-8	33.54243	13	81	25	52.86826	-8	40.31544			
29	37	4	43.67759	-8	33.75062	14	82	25	1.07249	-8	40.38947			
30	38	3	51.88182	-8	33.93292	15	83	24	9.27673	-8	40.46540			
31	39	3	0.08606	-8	34.07271	16	84	23	17.48097	-8	40.55742			
Nov.	1	40	2	8.29030	-8	34.16282	17	85	22	25.68520	-8	40.67870		
	2	41	1	16.49453	-8	34.20918	18	86	21	33.88944	-8	40.83943		
	3	42	0	24.69877	-8	34.23123	19	87	20	42.09368	-8	41.04451		
	4	42	59	32.90301	-8	34.25753	20	88	19	50.29792	-8	41.29095		
	5	43	58	41.10725	-8	34.31703	21	89	18	58.50215	-8	41.56628		
	6	44	57	49.31148	-8	34.42902	22	90	18	6.70639	-8	41.84932		
	7	45	56	57.51572	-8	34.59681	23	91	17	14.91063	-8	42.11442		
	8	46	56	5.71996	-8	34.80801	24	92	16	23.11486	-8	42.33859		
	9	47	55	13.92419	-8	35.04062	25	93	15	31.31910	-8	42.50901		
	10	48	54	22.12843	-8	35.27095	26	94	14	39.52334	-8	42.62748		
	11	49	53	30.33267	-8	35.47962	27	95	13	47.72758	-8	42.70999		
	12	50	52	38.53691	-8	35.65456	28	96	12	55.93181	-8	42.78158		
	13	51	51	46.74114	-8	35.79117	29	97	12	4.13605	-8	42.86893		
	14	52	50	54.94538	-8	35.89123	30	98	11	12.34029	-8	42.99325		
	15	53	50	3.14962	-8	35.96143	31	99	10	20.54452	-8	43.16538		
	16	54	49	11.35385	-8	36.01211	32	100	9	28.74876	-8	43.38393		
	17	55	48	19.55809	-8	36.05618	33	101	8	36.95300	-8	43.63661		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2010 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Janv.	0	206.81034	2.55693	0.00161	Févr.	15	209.86931	3.14695	0.00133
	1	206.94715	2.57573	0.00160		16	209.88001	3.17739	0.00132
	2	207.06868	2.62097	0.00158		17	209.88554	3.19063	0.00131
	3	207.16342	2.67942	0.00155		18	209.89255	3.18561	0.00131
	4	207.22854	2.73400	0.00152		19	209.90796	3.16410	0.00132
	5	207.27019	2.77023	0.00151		20	209.93798	3.13076	0.00134
	6	207.30009	2.78071	0.00150		21	209.98702	3.09284	0.00136
	7	207.33087	2.76594	0.00151		22	210.05660	3.05945	0.00138
	8	207.37256	2.73243	0.00153		23	210.14432	3.04022	0.00139
	9	207.43088	2.68975	0.00155		24	210.24323	3.04321	0.00139
	10	207.50713	2.64794	0.00157		25	210.34222	3.07222	0.00137
	11	207.59893	2.61563	0.00159		26	210.42816	3.12413	0.00135
	12	207.70127	2.59895	0.00160		27	210.48988	3.18798	0.00132
	13	207.80766	2.60094	0.00160		28	210.52289	3.24735	0.00129
14	207.91131	2.62153	0.00159	Mars	1	210.53197	3.28607	0.00127	
15	208.00610	2.65781	0.00157	2	210.52953	3.29465	0.00126		
16	208.08747	2.70468	0.00154	3	210.53043	3.27356	0.00127		
17	208.15297	2.75567	0.00152	4	210.54631	3.23174	0.00129		
18	208.20253	2.80396	0.00150	5	210.58247	3.18210	0.00132		
19	208.23840	2.84321	0.00148	6	210.63799	3.13690	0.00134		
20	208.26485	2.86842	0.00146	7	210.70773	3.10502	0.00136		
21	208.28773	2.87652	0.00146	8	210.78458	3.09107	0.00137		
22	208.31385	2.86686	0.00146	9	210.86125	3.09586	0.00137		
23	208.35034	2.84159	0.00148	10	210.93135	3.11714	0.00136		
24	208.40365	2.80592	0.00150	11	210.98995	3.15054	0.00134		
25	208.47832	2.76809	0.00152	12	211.03392	3.19026	0.00132		
26	208.57533	2.73865	0.00153	13	211.06215	3.22975	0.00130		
27	208.69046	2.72857	0.00154	14	211.07568	3.26240	0.00128		
28	208.81361	2.74592	0.00153	15	211.07771	3.28239	0.00127		
29	208.93022	2.79197	0.00151	16	211.07340	3.28544	0.00127		
30	209.02574	2.85864	0.00147	17	211.06930	3.26973	0.00128		
31	209.09141	2.93004	0.00144	18	211.07252	3.23638	0.00130		
Févr.	1	209.12824	2.98831	0.00141	19	211.08954	3.18965	0.00132	
	2	209.14626	3.02066	0.00139	20	211.12501	3.13659	0.00135	
	3	209.15974	3.02360	0.00139	21	211.18065	3.08604	0.00137	
	4	209.18155	3.00239	0.00140	22	211.25446	3.04718	0.00139	
	5	209.21966	2.96750	0.00142	23	211.34049	3.02766	0.00140	
	6	209.27645	2.93047	0.00144	24	211.42945	3.03160	0.00140	
	7	209.34974	2.90118	0.00145	25	211.51018	3.05773	0.00139	
	8	209.43444	2.88643	0.00146	26	211.57234	3.09854	0.00137	
	9	209.52408	2.88966	0.00146	27	211.60968	3.14115	0.00135	
	10	209.61198	2.91114	0.00145	28	211.62286	3.17054	0.00133	
	11	209.69210	2.94844	0.00143	29	211.62014	3.17448	0.00133	
	12	209.75969	2.99699	0.00141	30	211.61481	3.14818	0.00134	
	13	209.81184	3.05073	0.00138	31	211.62039	3.09597	0.00137	
	14	209.84785	3.10291	0.00135	Avril	1	211.64589	3.02908	0.00141

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2010 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Avril	2	211.69358	2.96112	0.00144	Mai	18	214.13769	1.79911	0.00206
	3	211.75969	2.90368	0.00147		19	214.23142	1.81872	0.00205
	4	211.83690	2.86389	0.00149		20	214.30295	1.84608	0.00203
	5	211.91690	2.84406	0.00150		21	214.35105	1.86813	0.00202
	6	211.99219	2.84258	0.00150		22	214.38061	1.87315	0.00202
	7	212.05711	2.85515	0.00150		23	214.40125	1.85397	0.00203
	8	212.10806	2.87592	0.00149		24	214.42465	1.80969	0.00205
	9	212.14360	2.89836	0.00148		25	214.46133	1.74578	0.00208
	10	212.16439	2.91588	0.00147		26	214.51798	1.67230	0.00212
	11	212.17312	2.92248	0.00146		27	214.59602	1.60101	0.00216
	12	212.17439	2.91341	0.00147		28	214.69169	1.54229	0.00219
	13	212.17440	2.88596	0.00148		29	214.79765	1.50282	0.00221
	14	212.18032	2.84021	0.00151		30	214.90522	1.48463	0.00222
	15	212.19917	2.77953	0.00154		31	215.00638	1.48553	0.00222
	16	212.23646	2.71052	0.00157	Juin	1	215.09523	1.50030	0.00221
	17	212.29473	2.64217	0.00161		2	215.16857	1.52217	0.00220
	18	212.37250	2.58421	0.00164		3	215.22584	1.54403	0.00219
	19	212.46404	2.54487	0.00166		4	215.26882	1.55940	0.00218
	20	212.56019	2.52869	0.00167		5	215.30122	1.56293	0.00218
	21	212.65018	2.53499	0.00167		6	215.32825	1.55093	0.00219
	22	212.72415	2.55737	0.00166		7	215.35628	1.52175	0.00220
	23	212.77585	2.58474	0.00164		8	215.39228	1.47628	0.00223
	24	212.80461	2.60384	0.00163		9	215.44302	1.41839	0.00226
	25	212.81615	2.60280	0.00163		10	215.51377	1.35515	0.00229
	26	212.82122	2.57480	0.00165		11	215.60672	1.29623	0.00232
	27	212.83248	2.52038	0.00168		12	215.71931	1.25221	0.00235
	28	212.86056	2.44725	0.00171		13	215.84370	1.23166	0.00236
	29	212.91082	2.36759	0.00175		14	215.96791	1.23790	0.00235
	30	212.98240	2.29403	0.00179		15	216.07908	1.26698	0.00234
Mai	1	213.06935	2.23614	0.00182		16	216.16762	1.30819	0.00232
	2	213.16317	2.19872	0.00184		17	216.23041	1.34733	0.00230
	3	213.25525	2.18175	0.00185		18	216.27159	1.37124	0.00229
	4	213.33858	2.18159	0.00185		19	216.30076	1.37162	0.00229
	5	213.40854	2.19241	0.00185		20	216.32976	1.34690	0.00230
	6	213.46304	2.20745	0.00184		21	216.36935	1.30181	0.00232
	7	213.50230	2.21995	0.00183		22	216.42669	1.24553	0.00235
	8	213.52858	2.22372	0.00183		23	216.50417	1.18899	0.00238
	9	213.54602	2.21375	0.00184		24	216.59949	1.14235	0.00241
	10	213.56029	2.18671	0.00185		25	216.70670	1.11294	0.00242
	11	213.57824	2.14164	0.00188		26	216.81790	1.10414	0.00243
	12	213.60711	2.08056	0.00191		27	216.92504	1.11523	0.00242
	13	213.65335	2.00890	0.00194		28	217.02144	1.14213	0.00241
	14	213.72099	1.93517	0.00198		29	217.10280	1.17854	0.00239
	15	213.81007	1.86961	0.00202		30	217.16753	1.21731	0.00237
	16	213.91577	1.82189	0.00204	Juill.	1	217.21668	1.25155	0.00235
	17	214.02885	1.79822	0.00206		2	217.25345	1.27551	0.00234

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2010 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Juill.	3	217.28268	1.28509	0.00233	Août	18	220.11521	1.41294	0.00227
	4	217.31034	1.27821	0.00234		19	220.20202	1.40996	0.00228
	5	217.34300	1.25507	0.00235		20	220.28756	1.42641	0.00227
	6	217.38718	1.21843	0.00237		21	220.36508	1.45960	0.00225
	7	217.44855	1.17379	0.00239		22	220.42952	1.50449	0.00223
	8	217.53068	1.12929	0.00242		23	220.47804	1.55464	0.00220
	9	217.63355	1.09483	0.00243		24	220.51021	1.60317	0.00217
	10	217.75223	1.08017	0.00244		25	220.52791	1.64369	0.00215
	11	217.87664	1.09175	0.00244		26	220.53508	1.67113	0.00214
	12	217.99339	1.12951	0.00242		27	220.53711	1.68236	0.00213
	13	218.08985	1.18526	0.00239		28	220.54021	1.67663	0.00213
	14	218.15898	1.24457	0.00236		29	220.55061	1.65566	0.00215
	15	218.20215	1.29168	0.00233		30	220.57377	1.62355	0.00216
	16	218.22838	1.31521	0.00232		31	220.61363	1.58646	0.00218
	17	218.25056	1.31152	0.00232		Sept. 1	220.67184	1.55200	0.00220
	18	218.28090	1.28473	0.00234		2	220.74706	1.52831	0.00221
	19	218.32766	1.24421	0.00236		3	220.83440	1.52276	0.00222
20	218.39393	1.20124	0.00238	4	220.92536	1.53992	0.00221		
21	218.47798	1.16622	0.00240	5	221.00883	1.57943	0.00219		
22	218.57452	1.14674	0.00241	6	221.07370	1.63422	0.00216		
23	218.67628	1.14673	0.00241	7	221.11278	1.69092	0.00213		
24	218.77561	1.16635	0.00240	8	221.12658	1.73337	0.00211		
25	218.86572	1.20247	0.00238	9	221.12425	1.74869	0.00210		
26	218.94174	1.24955	0.00236	10	221.12037	1.73270	0.00211		
27	219.00126	1.30073	0.00233	11	221.12899	1.69130	0.00213		
28	219.04445	1.34902	0.00230	12	221.15850	1.63721	0.00216		
29	219.07386	1.38822	0.00228	13	221.20991	1.58456	0.00219		
30	219.09393	1.41375	0.00227	14	221.27833	1.54450	0.00221		
31	219.11034	1.42306	0.00227	15	221.35577	1.52323	0.00222		
Août 1	219.12942	1.41589	0.00227	16	221.43372	1.52212	0.00222		
2	219.15741	1.39442	0.00228	17	221.50483	1.53870	0.00221		
3	219.19984	1.36319	0.00230	18	221.56372	1.56801	0.00220		
4	219.26065	1.32899	0.00232	19	221.60731	1.60373	0.00218		
5	219.34115	1.30033	0.00233	20	221.63482	1.63909	0.00216		
6	219.43892	1.28637	0.00234	21	221.64772	1.66764	0.00214		
7	219.54700	1.29480	0.00233	22	221.64944	1.68400	0.00213		
8	219.65419	1.32903	0.00232	23	221.64502	1.68452	0.00213		
9	219.74737	1.38540	0.00229	24	221.64054	1.66776	0.00214		
10	219.81584	1.45246	0.00225	25	221.64236	1.63486	0.00216		
11	219.85602	1.51380	0.00222	26	221.65618	1.58952	0.00218		
12	219.87356	1.55411	0.00220	27	221.68619	1.53767	0.00221		
13	219.88116	1.56516	0.00219	28	221.73424	1.48671	0.00224		
14	219.89322	1.54832	0.00220	29	221.79928	1.44447	0.00226		
15	219.92063	1.51271	0.00222	30	221.87709	1.41793	0.00228		
16	219.96820	1.47090	0.00224	Oct. 1	221.96050	1.41166	0.00228		
17	220.03482	1.43476	0.00226	2	222.04017	1.42635	0.00227		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2010 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Oct.	3	222.10634	1.45753	0.00226	Nov.	18	224.22518	0.41694	0.00282
	4	222.15134	1.49532	0.00224		19	224.25724	0.35960	0.00286
	5	222.17267	1.52601	0.00222		20	224.30436	0.29271	0.00289
	6	222.17503	1.53587	0.00222		21	224.37013	0.22322	0.00293
	7	222.16993	1.51626	0.00223		22	224.45516	0.15955	0.00296
	8	222.17185	1.46749	0.00225		23	224.55629	0.11001	0.00299
	9	222.19274	1.39893	0.00229		24	224.66666	0.08079	0.00301
	10	222.23771	1.32502	0.00233		25	224.77683	0.07398	0.00301
	11	222.30427	1.25975	0.00236		26	224.87688	0.08652	0.00300
	12	222.38462	1.21254	0.00239		27	224.95881	0.11037	0.00299
	13	222.46905	1.18687	0.00240		28	225.01917	0.13426	0.00298
	14	222.54871	1.18118	0.00241		29	225.05981	0.14636	0.00297
	15	222.61712	1.19052	0.00240		30	225.08796	0.13741	0.00298
	16	222.67056	1.20830	0.00239	Déc.	1	225.11442	0.10331	0.00300
	17	222.70792	1.22751	0.00238		2	225.15082	0.04650	0.00303
	18	222.73041	1.24155	0.00238		3	225.20627	-0.02454	0.00307
	19	222.74113	1.24485	0.00237		4	225.28478	-0.09760	0.00310
	20	222.74478	1.23333	0.00238		5	225.38419	-0.16033	0.00314
	21	222.74721	1.20493	0.00240		6	225.49717	-0.20367	0.00316
	22	222.75480	1.15999	0.00242		7	225.61378	-0.22393	0.00317
	23	222.77365	1.10150	0.00245		8	225.72435	-0.22283	0.00317
	24	222.80857	1.03500	0.00249		9	225.82171	-0.20613	0.00316
	25	222.86207	0.96791	0.00252		10	225.90212	-0.18153	0.00315
	26	222.93353	0.90839	0.00256		11	225.96524	-0.15688	0.00314
	27	223.01897	0.86381	0.00258		12	226.01342	-0.13893	0.00313
	28	223.11135	0.83906	0.00259		13	226.05089	-0.13269	0.00312
	29	223.20172	0.83517	0.00260		14	226.08309	-0.14119	0.00313
	30	223.28092	0.84847	0.00259		15	226.11607	-0.16537	0.00314
	31	223.34172	0.87064	0.00258		16	226.15598	-0.20397	0.00316
Nov.	1	223.38097	0.89010	0.00257		17	226.20854	-0.25344	0.00319
	2	223.40122	0.89449	0.00256		18	226.27819	-0.30796	0.00322
	3	223.41085	0.87431	0.00258		19	226.36708	-0.35973	0.00325
	4	223.42225	0.82633	0.00260		20	226.47393	-0.40009	0.00327
	5	223.44798	0.75530	0.00264		21	226.59335	-0.42127	0.00328
	6	223.49643	0.67272	0.00268		22	226.71619	-0.41888	0.00328
	7	223.56907	0.59282	0.00273		23	226.83131	-0.39396	0.00327
	8	223.66058	0.52779	0.00276		24	226.92873	-0.35371	0.00324
	9	223.76144	0.48449	0.00279		25	227.00286	-0.30994	0.00322
	10	223.86137	0.46373	0.00280		26	227.05445	-0.27569	0.00320
	11	223.95196	0.46150	0.00280		27	227.09039	-0.26134	0.00319
	12	224.02796	0.47111	0.00279		28	227.12152	-0.27170	0.00320
	13	224.08736	0.48498	0.00279		29	227.15942	-0.30496	0.00322
	14	224.13089	0.49599	0.00278		30	227.21330	-0.35363	0.00324
	15	224.16147	0.49814	0.00278		31	227.28789	-0.40678	0.00327
	16	224.18354	0.48703	0.00279		32	227.38263	-0.45298	0.00330
	17	224.20270	0.46009	0.00280		33	227.49221	-0.48294	0.00331

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 2010 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 17 35.45	+4.76	0.983 319 61	Févr.	15	326 2 49.40	+2.54	0.987 697 67
	1	280 18 42.86	+4.59	0.983 302 95		16	327 3 26.79	+2.54	0.987 893 54
	2	281 19 50.40	+4.42	0.983 292 99		17	328 4 2.62	+2.52	0.988 091 90
	3	282 20 58.11	+4.24	0.983 289 67		18	329 4 36.81	+2.47	0.988 292 76
	4	283 22 6.01	+4.08	0.983 292 82		19	330 5 9.31	+2.39	0.988 496 19
	5	284 23 14.14	+3.95	0.983 302 19		20	331 5 40.04	+2.28	0.988 702 30
	6	285 24 22.51	+3.83	0.983 317 46		21	332 6 8.94	+2.14	0.988 911 24
	7	286 25 31.09	+3.75	0.983 338 29		22	333 6 35.97	+1.98	0.989 123 18
	8	287 26 39.85	+3.70	0.983 364 35		23	334 7 1.08	+1.79	0.989 338 34
	9	288 27 48.74	+3.68	0.983 395 31		24	335 7 24.25	+1.58	0.989 556 98
	10	289 28 57.71	+3.69	0.983 430 90		25	336 7 45.47	+1.36	0.989 779 35
	11	290 30 6.68	+3.72	0.983 470 88		26	337 8 4.76	+1.14	0.990 005 71
	12	291 31 15.58	+3.78	0.983 515 03		27	338 8 22.13	+0.92	0.990 236 27
	13	292 32 24.33	+3.85	0.983 563 19		28	339 8 37.64	+0.72	0.990 471 20
	14	293 33 32.84	+3.93	0.983 615 24	Mars	1	340 8 51.36	+0.54	0.990 710 54
	15	294 34 41.03	+4.02	0.983 671 11		2	341 9 3.35	+0.39	0.990 954 21
	16	295 35 48.80	+4.11	0.983 730 74		3	342 9 13.66	+0.27	0.991 202 04
	17	296 36 56.07	+4.19	0.983 794 13		4	343 9 22.35	+0.18	0.991 453 75
	18	297 38 2.77	+4.25	0.983 861 32		5	344 9 29.46	+0.12	0.991 709 00
	19	298 39 8.79	+4.30	0.983 932 38		6	345 9 35.00	+0.10	0.991 967 43
	20	299 40 14.07	+4.32	0.984 007 40		7	346 9 38.97	+0.10	0.992 228 65
	21	300 41 18.54	+4.32	0.984 086 51		8	347 9 41.37	+0.11	0.992 492 31
	22	301 42 22.12	+4.29	0.984 169 88		9	348 9 42.17	+0.15	0.992 758 07
	23	302 43 24.75	+4.23	0.984 257 70		10	349 9 41.33	+0.19	0.993 025 59
24	303 44 26.38	+4.13	0.984 350 18	11	350 9 38.84	+0.23	0.993 294 59		
25	304 45 26.96	+4.01	0.984 447 57	12	351 9 34.64	+0.26	0.993 564 80		
26	305 46 26.47	+3.86	0.984 550 14	13	352 9 28.69	+0.29	0.993 835 96		
27	306 47 24.88	+3.68	0.984 658 17	14	353 9 20.93	+0.31	0.994 107 86		
28	307 48 22.20	+3.48	0.984 771 94	15	354 9 11.32	+0.30	0.994 380 30		
29	308 49 18.45	+3.27	0.984 891 66	16	355 8 59.79	+0.27	0.994 653 15		
30	309 50 13.67	+3.06	0.985 017 51	17	356 8 46.28	+0.22	0.994 926 26		
Févr.	31	310 51 7.90	+2.86	0.985 149 53	18	357 8 30.74	+0.14	0.995 199 59	
	1	311 52 1.21	+2.68	0.985 287 64	19	358 8 13.09	+0.03	0.995 473 10	
	2	312 52 53.63	+2.53	0.985 431 68	20	359 7 53.28	+0.11	0.995 746 81	
	3	313 53 45.21	+2.40	0.985 581 34	21	0 7 31.26	+0.27	0.996 020 80	
	4	314 54 35.95	+2.30	0.985 736 29	22	1 7 6.98	+0.46	0.996 295 20	
	5	315 55 25.85	+2.24	0.985 896 16	23	2 6 40.40	+0.66	0.996 570 18	
	6	316 56 14.90	+2.21	0.986 060 58	24	3 6 11.49	+0.87	0.996 845 95	
	7	317 57 3.06	+2.21	0.986 229 21	25	4 5 40.24	+1.09	0.997 122 75	
	8	318 57 50.28	+2.23	0.986 401 72	26	5 5 6.65	+1.31	0.997 400 84	
	9	319 58 36.51	+2.26	0.986 577 82	27	6 4 30.76	+1.51	0.997 680 48	
	10	320 59 21.68	+2.31	0.986 757 25	28	7 3 52.61	+1.69	0.997 961 86	
	11	322 0 5.74	+2.37	0.986 939 79	29	8 3 12.25	+1.84	0.998 245 16	
	12	323 0 48.62	+2.42	0.987 125 24	30	9 2 29.77	+1.97	0.998 530 40	
	13	324 1 30.24	+2.47	0.987 313 45	31	10 1 45.23	+2.06	0.998 817 55	
14	325 2 10.52	+2.51	0.987 504 29	Avril	1	11 0 58.73	+2.11	0.999 106 46	

SOLEIL 2010 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	12	0	10.32	-2.14	0.99939687	Mai	18	56	49	25.81	+4.48	0.01142922
	3	12	59	20.05	-2.14	0.99968851		19	57	47	13.94	+4.65	0.01162910
	4	13	58	27.98	-2.12	0.99998101		20	58	45	0.38	+4.81	0.01182489
	5	14	57	34.13	-2.08	1.00027405		21	59	42	45.14	+4.94	0.01201689
	6	15	56	38.50	-2.04	1.00056728		22	60	40	28.24	+5.05	0.01220537
	7	16	55	41.12	-1.99	1.00086034		23	61	38	9.70	+5.13	0.01239063
	8	17	54	41.97	-1.95	1.00115292		24	62	35	49.59	+5.18	0.01257294
	9	18	53	41.05	-1.91	1.00144471		25	63	33	27.97	+5.19	0.01275254
	10	19	52	38.33	-1.89	1.00173541		26	64	31	4.92	+5.18	0.01292958
	11	20	51	33.81	-1.88	1.00202474		27	65	28	40.53	+5.13	0.01310416
	12	21	50	27.45	-1.90	1.00231244		28	66	26	14.88	+5.06	0.01327632
	13	22	49	19.22	-1.94	1.00259829		29	67	23	48.07	+4.97	0.01344600
	14	23	48	9.08	-2.01	1.00288207		30	68	21	20.18	+4.86	0.01361310
	15	24	46	56.98	-2.10	1.00316364		31	69	18	51.29	+4.75	0.01377745
	16	25	45	42.88	-2.22	1.00344288		1	70	16	21.48	+4.64	0.01393885
	17	26	44	26.72	-2.37	1.00371973		2	71	13	50.81	+4.54	0.01409708
18	27	43	8.46	-2.54	1.00399421	3	72	11	19.33	+4.45	0.01425189		
19	28	41	48.05	-2.72	1.00426639	4	73	8	47.10	+4.37	0.01440301		
20	29	40	25.46	-2.92	1.00453639	5	74	6	14.15	+4.32	0.01455020		
21	30	39	0.65	-3.12	1.00480443	6	75	3	40.52	+4.29	0.01469316		
22	31	37	33.62	-3.31	1.00507071	7	76	1	6.23	+4.28	0.01483162		
23	32	36	4.37	-3.49	1.00533551	8	76	58	31.31	+4.30	0.01496530		
24	33	34	32.93	-3.66	1.00559910	9	77	55	55.75	+4.35	0.01509392		
25	34	32	59.33	-3.79	1.00586173	10	78	53	19.57	+4.43	0.01521721		
26	35	31	23.63	-3.90	1.00612362	11	79	50	42.75	+4.53	0.01533492		
27	36	29	45.90	-3.97	1.00638492	12	80	48	5.26	+4.65	0.01544686		
28	37	28	6.24	-4.01	1.00664571	13	81	45	27.07	+4.78	0.01555287		
29	38	26	24.72	-4.02	1.00690595	14	82	42	48.13	+4.92	0.01565290		
30	39	24	41.43	-4.01	1.00716556	15	83	40	8.41	+5.06	0.01574698		
Mai	1	40	22	56.45	-3.96	1.00742434	16	84	37	27.87	+5.18	0.01583525	
2	41	21	9.86	-3.91	1.00768206	17	85	34	46.48	+5.29	0.01591790		
3	42	19	21.70	-3.84	1.00793846	18	86	32	4.23	+5.37	0.01599524		
4	43	17	32.04	-3.76	1.00819322	19	87	29	21.12	+5.42	0.01606756		
5	44	15	40.90	-3.69	1.00844605	20	88	26	37.18	+5.44	0.01613521		
6	45	13	48.33	-3.63	1.00869663	21	89	23	52.46	+5.43	0.01619850		
7	46	11	54.34	-3.58	1.00894467	22	90	21	7.00	+5.38	0.01625773		
8	47	9	58.94	-3.54	1.00918985	23	91	18	20.88	+5.30	0.01631313		
9	48	8	2.15	-3.53	1.00943189	24	92	15	34.17	+5.20	0.01636491		
10	49	6	3.96	-3.54	1.00967049	25	93	12	46.97	+5.07	0.01641319		
11	50	4	4.37	-3.58	1.00990538	26	94	9	59.35	+4.93	0.01645805		
12	51	2	3.37	-3.64	1.01013630	27	95	7	11.42	+4.79	0.01649951		
13	52	0	0.93	-3.73	1.01036302	28	96	4	23.24	+4.64	0.01653752		
14	52	57	57.01	-3.85	1.01058535	29	97	1	34.92	+4.49	0.01657202		
15	53	55	51.58	-3.99	1.01080316	30	97	58	46.51	+4.36	0.01660287		
16	54	53	44.60	-4.14	1.01101638	1	98	55	58.11	+4.24	0.01662993		
17	55	51	36.03	-4.31	1.01122504	2	99	53	9.77	+4.14	0.01665301		
						3	100	50	1.00	+4.00	0.01667609		

SOLEIL 2010 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 50 21.55	-4.06	1.016 671 92	Août	18	144 49 14.25	+2.51	0.012 302 90	
	4	101 47 33.51	-4.01	1.016 686 44		19	145 46 56.48	+2.32	0.012 103 38	
	5	102 44 45.69	-3.99	1.016 696 34		20	146 44 39.80	+2.12	0.011 900 93	
	6	103 41 58.13	-3.99	1.016 701 36		21	147 42 24.27	+1.92	0.011 695 82	
	7	104 39 10.86	-4.02	1.016 701 24		22	148 40 9.95	+1.72	0.011 488 27	
	8	105 36 23.90	-4.07	1.016 695 71		23	149 37 56.91	+1.52	0.011 278 45	
	9	106 33 37.26	-4.15	1.016 684 51		24	150 35 45.22	+1.34	0.011 066 51	
	10	107 30 50.93	-4.24	1.016 667 37		25	151 33 34.95	+1.18	0.010 852 55	
	11	108 28 4.88	-4.35	1.016 644 08		26	152 31 26.18	+1.04	0.010 636 64	
	12	109 25 19.09	-4.45	1.016 614 51		27	153 29 18.96	+0.93	0.010 418 79	
	13	110 22 33.50	-4.55	1.016 578 59		28	154 27 13.39	+0.83	0.010 199 00	
	14	111 19 48.07	-4.63	1.016 536 40		29	155 25 9.51	+0.77	0.009 977 22	
	15	112 17 2.75	-4.68	1.016 488 09		30	156 23 7.39	+0.73	0.009 753 36	
	16	113 14 17.52	-4.71	1.016 433 93		31	157 21 7.08	+0.72	0.009 527 32	
	17	114 11 32.37	-4.70	1.016 374 23		Sept.	1	158 19 8.65	+0.73	0.009 298 93
	18	115 8 47.29	-4.66	1.016 309 37			2	159 17 12.12	+0.76	0.009 068 01
	19	116 6 2.33	-4.59	1.016 239 70			3	160 15 17.54	+0.80	0.008 834 33
20	117 3 17.50	-4.48	1.016 165 56	4	161 13 24.92		+0.85	0.008 597 66		
21	118 0 32.88	-4.35	1.016 087 27	5	162 11 34.27		+0.90	0.008 357 74		
22	118 57 48.52	-4.20	1.016 005 09	6	163 9 45.57		+0.94	0.008 114 30		
23	119 55 4.49	-4.03	1.015 919 26	7	164 7 58.78		+0.97	0.007 867 16		
24	120 52 20.88	-3.85	1.015 829 94	8	165 6 13.86		+0.97	0.007 616 16		
25	121 49 37.76	-3.67	1.015 737 27	9	166 4 30.73		+0.94	0.007 361 27		
26	122 46 55.21	-3.49	1.015 641 32	10	167 2 49.33		+0.87	0.007 102 58		
27	123 44 13.33	-3.32	1.015 542 13	11	168 1 9.60		+0.78	0.006 840 30		
28	124 41 32.18	-3.17	1.015 439 70	12	168 59 31.48	+0.65	0.006 574 71			
29	125 38 51.84	-3.03	1.015 333 98	13	169 57 54.95	+0.49	0.006 306 18			
30	126 36 12.40	-2.91	1.015 224 88	14	170 56 19.98	+0.31	0.006 035 09			
31	127 33 33.91	-2.82	1.015 112 31	15	171 54 46.58	+0.11	0.005 761 83			
Août	1	128 30 56.44	-2.76	1.014 996 13	16	172 53 14.77	+0.09	0.005 486 77		
	2	129 28 20.05	-2.72	1.014 876 16	17	173 51 44.55	+0.30	0.005 210 25		
	3	130 25 44.80	-2.71	1.014 752 22	18	174 50 15.98	+0.51	0.004 932 60		
	4	131 23 10.71	-2.72	1.014 624 08	19	175 48 49.08	+0.71	0.004 654 10		
	5	132 20 37.84	-2.76	1.014 491 53	20	176 47 23.91	+0.90	0.004 375 01		
	6	133 18 6.20	-2.81	1.014 354 28	21	177 46 0.50	+1.07	0.004 095 55		
	7	134 15 35.81	-2.88	1.014 212 08	22	178 44 38.92	+1.22	0.003 815 92		
	8	135 13 6.64	-2.95	1.014 064 68	23	179 43 19.23	+1.34	0.003 536 29		
	9	136 10 38.69	-3.02	1.013 911 86	24	180 42 1.47	+1.44	0.003 256 78		
	10	137 8 11.90	-3.08	1.013 753 48	25	181 40 45.71	+1.51	0.002 977 46		
	11	138 5 46.21	-3.11	1.013 589 50	26	182 39 32.01	+1.56	0.002 698 40		
	12	139 3 21.59	-3.12	1.013 420 00	27	183 38 20.42	+1.58	0.002 419 58		
	13	140 0 57.97	-3.10	1.013 245 18	28	184 37 11.00	+1.57	0.002 140 97		
	14	140 58 35.32	-3.04	1.013 065 32	29	185 36 3.80	+1.55	0.001 862 47		
	15	141 56 13.61	-2.95	1.012 880 78	30	186 34 58.86	+1.51	0.001 583 97		
	16	142 53 52.85	-2.83	1.012 691 95	Oct.	1	187 33 56.22	+1.47	0.001 305 28	
	17	143 51 33.05	-2.68	1.012 499 20		2	188 32 55.90	+1.42	0.001 026 18	

SOLEIL 2010 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 31 57.90	+1.38	1.000 746 46	Nov.	18	235 22 56.49	+5.49	0.988 589 23	
	4	190 31 2.23	+1.36	1.000 465 83		19	236 23 26.08	+5.50	0.988 375 14	
	5	191 30 8.85	+1.36	1.000 184 06		20	237 23 57.06	+5.48	0.988 165 61	
	6	192 29 17.71	+1.38	0.999 900 95		21	238 24 29.44	+5.43	0.987 960 82	
	7	193 28 28.76	+1.44	0.999 616 34		22	239 25 3.27	+5.37	0.987 760 94	
	8	194 27 41.90	+1.52	0.999 330 21		23	240 25 38.56	+5.28	0.987 566 08	
	9	195 26 57.06	+1.65	0.999 042 62		24	241 26 15.37	+5.18	0.987 376 28	
	10	196 26 14.17	+1.80	0.998 753 75		25	242 26 53.71	+5.08	0.987 191 52	
	11	197 25 33.15	+1.97	0.998 463 89		26	243 27 33.64	+4.99	0.987 011 70	
	12	198 24 53.95	+2.17	0.998 173 35		27	244 28 15.16	+4.90	0.986 836 67	
	13	199 24 16.54	+2.37	0.997 882 49		28	245 28 58.28	+4.84	0.986 666 21	
	14	200 23 40.89	+2.58	0.997 591 69		29	246 29 43.02	+4.80	0.986 500 05	
	15	201 23 7.00	+2.79	0.997 301 31		30	247 30 29.33	+4.79	0.986 337 92	
	16	202 22 34.86	+2.98	0.997 011 68		Déc.	1	248 31 17.19	+4.81	0.986 179 52
	17	203 22 4.48	+3.17	0.996 723 13			2	249 32 6.53	+4.86	0.986 024 58
	18	204 21 35.88	+3.33	0.996 435 98			3	250 32 57.29	+4.94	0.985 872 87
	19	205 21 9.08	+3.47	0.996 150 49			4	251 33 49.37	+5.06	0.985 724 21
20	206 20 44.10	+3.59	0.995 866 94	5	252 34 42.68		+5.19	0.985 578 52		
21	207 20 20.97	+3.68	0.995 585 55	6	253 35 37.12		+5.33	0.985 435 76		
22	208 19 59.74	+3.74	0.995 306 53	7	254 36 32.59		+5.49	0.985 296 01		
23	209 19 40.44	+3.78	0.995 030 06	8	255 37 28.99		+5.64	0.985 159 38		
24	210 19 23.11	+3.79	0.994 756 27	9	256 38 26.23		+5.79	0.985 026 08		
25	211 19 7.81	+3.77	0.994 485 23	10	257 39 24.25		+5.92	0.984 896 31		
26	212 18 54.57	+3.73	0.994 216 99	11	258 40 22.96	+6.03	0.984 770 32			
27	213 18 43.45	+3.68	0.993 951 51	12	259 41 22.32	+6.12	0.984 648 37			
28	214 18 34.48	+3.62	0.993 688 73	13	260 42 22.27	+6.18	0.984 530 72			
29	215 18 27.69	+3.56	0.993 428 51	14	261 43 22.77	+6.22	0.984 417 64			
30	216 18 23.11	+3.51	0.993 170 67	15	262 44 23.78	+6.22	0.984 309 40			
31	217 18 20.74	+3.47	0.992 914 98	16	263 45 25.27	+6.19	0.984 206 26			
Nov.	1	218 18 20.59	+3.44	0.992 661 19	17	264 46 27.22	+6.13	0.984 108 47		
	2	219 18 22.62	+3.45	0.992 409 03	18	265 47 29.63	+6.05	0.984 016 31		
	3	220 18 26.79	+3.48	0.992 158 26	19	266 48 32.49	+5.94	0.983 930 01		
	4	221 18 33.04	+3.55	0.991 908 66	20	267 49 35.80	+5.81	0.983 849 78		
	5	222 18 41.29	+3.64	0.991 660 08	21	268 50 39.58	+5.66	0.983 775 81		
	6	223 18 51.46	+3.77	0.991 412 46	22	269 51 43.87	+5.51	0.983 708 21		
	7	224 19 3.44	+3.93	0.991 165 83	23	270 52 48.69	+5.36	0.983 647 02		
	8	225 19 17.15	+4.10	0.990 920 35	24	271 53 54.07	+5.22	0.983 592 21		
	9	226 19 32.50	+4.29	0.990 676 21	25	272 55 0.06	+5.10	0.983 543 65		
	10	227 19 49.43	+4.48	0.990 433 68	26	273 56 6.66	+5.00	0.983 501 12		
	11	228 20 7.86	+4.67	0.990 193 08	27	274 57 13.88	+4.94	0.983 464 36		
	12	229 20 27.77	+4.85	0.989 954 72	28	275 58 21.72	+4.90	0.983 433 05		
	13	230 20 49.10	+5.02	0.989 718 92	29	276 59 30.14	+4.90	0.983 406 86		
	14	231 21 11.83	+5.16	0.989 486 01	30	278 0 39.10	+4.92	0.983 385 46		
	15	232 21 35.94	+5.29	0.989 256 29	31	279 1 48.54	+4.98	0.983 368 56		
	16	233 22 1.43	+5.38	0.989 030 07	32	280 2 58.38	+5.06	0.983 355 87		
	17	234 22 28.28	+5.45	0.988 807 62	33	281 4 8.53	+5.15	0.983 347 20		

SOLEIL 2010 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	41	2.995	-23	6	12.05	12	3	3.85	Févr.	15	21	53	43.117	-12	47	17.78	12	14	6.62
	1	18	45	28.018	-23	1	38.48	12	3	32.17		16	21	57	36.748	-12	26	38.62	12	14	3.34
	2	18	49	52.734	-22	56	37.38	12	4	0.16		17	22	1	29.657	-12	5	47.53	12	13	59.33
	3	18	54	17.115	-22	51	8.87	12	4	27.82		18	22	5	21.855	-11	44	44.92	12	13	54.63
	4	18	58	41.136	-22	45	13.09	12	4	55.10		19	22	9	13.353	-11	23	31.23	12	13	49.22
	5	19	3	4.772	-22	38	50.17	12	5	21.99		20	22	13	4.164	-11	2	6.89	12	13	43.14
	6	19	7	27.999	-22	32	0.27	12	5	48.46		21	22	16	54.301	-10	40	32.32	12	13	36.38
	7	19	11	50.794	-22	24	43.58	12	6	14.48		22	22	20	43.778	-10	18	47.95	12	13	28.97
	8	19	16	13.131	-22	17	0.31	12	6	40.03		23	22	24	32.607	-9	56	54.19	12	13	20.91
	9	19	20	34.985	-22	8	50.69	12	7	5.08		24	22	28	20.805	-9	34	51.46	12	13	12.23
	10	19	24	56.327	-22	0	14.95	12	7	29.60		25	22	32	8.385	-9	12	40.16	12	13	2.94
	11	19	29	17.132	-21	51	13.37	12	7	53.57		26	22	35	55.365	-8	50	20.70	12	12	53.07
	12	19	33	37.371	-21	41	46.20	12	8	16.95		27	22	39	41.762	-8	27	53.46	12	12	42.62
	13	19	37	57.020	-21	31	53.74	12	8	39.74		28	22	43	27.597	-8	5	18.81	12	12	31.63
14	19	42	16.050	-21	21	36.28	12	9	1.89	Mars	1	22	47	12.894	-7	42	37.09	12	12	20.12	
15	19	46	34.439	-21	10	54.12	12	9	23.39	2	22	50	57.676	-7	19	48.65	12	12	8.10		
16	19	50	52.162	-20	59	47.57	12	9	44.21	3	22	54	41.969	-6	56	53.85	12	11	55.61		
17	19	55	9.197	-20	48	16.96	12	10	4.34	4	22	58	25.799	-6	33	53.04	12	11	42.67		
18	19	59	25.525	-20	36	22.62	12	10	23.75	5	23	2	9.187	-6	10	46.60	12	11	29.29		
19	20	3	41.126	-20	24	4.87	12	10	42.43	6	23	5	52.156	-5	47	34.90	12	11	15.49		
20	20	7	55.984	-20	11	24.08	12	11	0.36	7	23	9	34.723	-5	24	18.34	12	11	1.31		
21	20	12	10.085	-19	58	20.59	12	11	17.52	8	23	13	16.909	-5	0	57.31	12	10	46.75		
22	20	16	23.415	-19	44	54.76	12	11	33.91	9	23	16	58.730	-4	37	32.21	12	10	31.84		
23	20	20	35.962	-19	31	6.95	12	11	49.50	10	23	20	40.206	-4	14	3.45	12	10	16.59		
24	20	24	47.717	-19	16	57.55	12	12	4.30	11	23	24	21.353	-3	50	31.41	12	10	1.03		
25	20	28	58.671	-19	2	26.92	12	12	18.28	12	23	28	2.191	-3	26	56.50	12	9	45.16		
26	20	33	8.817	-18	47	35.46	12	12	31.45	13	23	31	42.735	-3	3	19.11	12	9	29.02		
27	20	37	18.149	-18	32	23.55	12	12	43.81	14	23	35	23.006	-2	39	39.64	12	9	12.61		
28	20	41	26.662	-18	16	51.57	12	12	55.34	15	23	39	3.020	-2	15	58.48	12	8	55.96		
29	20	45	34.354	-18	0	59.90	12	13	6.05	16	23	42	42.796	-1	52	16.02	12	8	39.08		
30	20	49	41.223	-17	44	48.91	12	13	15.94	17	23	46	22.354	-1	28	32.64	12	8	21.99		
Févr.	31	20	53	47.271	-17	28	18.96	12	13	25.02	18	23	50	1.710	-1	4	48.75	12	8	4.71	
	1	20	57	52.501	-17	11	30.41	12	13	33.29	19	23	53	40.883	-0	41	4.71	12	7	47.25	
	2	21	1	56.921	-16	54	23.61	12	13	40.75	20	23	57	19.892	-0	17	20.91	12	7	29.63	
3	21	6	0.538	-16	36	58.94	12	13	47.41	21	0	0	58.754	0	6	22.27	12	7	11.87		
4	21	10	3.358	-16	19	16.76	12	13	53.27	22	0	4	37.487	0	30	4.45	12	6	53.99		
5	21	14	5.388	-16	1	17.49	12	13	58.35	23	0	8	16.108	0	53	45.25	12	6	36.01		
6	21	18	6.632	-15	43	1.54	12	14	2.64	24	0	11	54.634	1	17	24.30	12	6	17.93		
7	21	22	7.093	-15	24	29.32	12	14	6.14	25	0	15	33.083	1	41	1.25	12	5	59.80		
8	21	26	6.776	-15	5	41.26	12	14	8.87	26	0	19	11.474	2	4	35.72	12	5	41.62		
9	21	30	5.684	-14	46	37.80	12	14	10.82	27	0	22	49.829	2	28	7.39	12	5	23.41		
10	21	34	3.820	-14	27	19.36	12	14	12.01	28	0	26	28.169	2	51	35.91	12	5	5.21		
11	21	38	1.190	-14	7	46.39	12	14	12.43	29	0	30	6.520	3	15	0.98	12	4	47.04		
12	21	41	57.798	-13	47	59.30	12	14	12.09	30	0	33	44.908	3	38	22.28	12	4	28.91		
13	21	45	53.650	-13	27	58.55	12	14	11.01	31	0	37	23.360	4	1	39.52	12	4	10.86		
14	21	49	48.754	-13	7	44.57	12	14	9.18	Avril	1	0	41	1.900	4	24	52.39	12	3	52.90	

SOLEIL 2010 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	44	40.554	4	48	0.55	12	3	35.07	Mai	18	3	38	42.040	19	28	46.24	11	56	25.12	
	3	0	48	19.343	5	11	3.68	12	3	17.38		19	3	42	41.056	19	41	54.01	11	56	27.84	
	4	0	51	58.287	5	34	1.43	12	2	59.85		20	3	46	40.597	19	54	41.59	11	56	31.09	
	5	0	55	37.405	5	56	53.46	12	2	42.51		21	3	50	40.655	20	7	8.71	11	56	34.85	
	6	0	59	16.716	6	19	39.42	12	2	25.37		22	3	54	41.223	20	19	15.14	11	56	39.12	
	7	1	2	56.238	6	42	18.94	12	2	8.45		23	3	58	42.296	20	31	0.62	11	56	43.89	
	8	1	6	35.988	7	4	51.66	12	1	51.77		24	4	2	43.867	20	42	24.95	11	56	49.15	
	9	1	10	15.982	7	27	17.24	12	1	35.35		25	4	6	45.932	20	53	27.91	11	56	54.91	
	10	1	13	56.238	7	49	35.32	12	1	19.20		26	4	10	48.484	21	4	9.29	11	57	1.14	
	11	1	17	36.772	8	11	45.53	12	1	3.33		27	4	14	51.518	21	14	28.89	11	57	7.85	
	12	1	21	17.600	8	33	47.52	12	0	47.77		28	4	18	55.024	21	24	26.51	11	57	15.03	
	13	1	24	58.736	8	55	40.94	12	0	32.52		29	4	22	58.992	21	34	1.96	11	57	22.66	
	14	1	28	40.195	9	17	25.44	12	0	17.60		30	4	27	3.412	21	43	15.02	11	57	30.74	
	15	1	32	21.992	9	39	0.65	12	0	3.02		31	4	31	8.272	21	52	5.50	11	57	39.25	
	16	1	36	4.138	10	0	26.24	11	59	48.79		Juin	1	4	35	13.560	22	0	33.19	11	57	48.19
	17	1	39	46.646	10	21	41.85	11	59	34.93		2	4	39	19.260	22	8	37.92	11	57	57.54	
18	1	43	29.526	10	42	47.13	11	59	21.44	3	4	43	25.359	22	16	19.49	11	58	7.27			
19	1	47	12.788	11	3	41.73	11	59	8.34	4	4	47	31.842	22	23	37.73	11	58	17.39			
20	1	50	56.441	11	24	25.30	11	58	55.63	5	4	51	38.692	22	30	32.46	11	58	27.87			
21	1	54	40.494	11	44	57.49	11	58	43.33	6	4	55	45.893	22	37	3.54	11	58	38.69			
22	1	58	24.957	12	5	17.97	11	58	31.45	7	4	59	53.426	22	43	10.80	11	58	49.83			
23	2	2	9.841	12	25	26.40	11	58	19.99	8	5	4	1.273	22	48	54.11	11	59	1.27			
24	2	5	55.158	12	45	22.46	11	58	8.98	9	5	8	9.412	22	54	13.34	11	59	13.00			
25	2	9	40.922	13	5	5.84	11	57	58.43	10	5	12	17.822	22	59	8.39	11	59	24.97			
26	2	13	27.149	13	24	36.23	11	57	48.35	11	5	16	26.479	23	3	39.14	11	59	37.18			
27	2	17	13.854	13	43	53.35	11	57	38.75	12	5	20	35.357	23	7	45.51	11	59	49.60			
28	2	21	1.055	14	2	56.91	11	57	29.65	13	5	24	44.428	23	11	27.42	12	0	2.19			
29	2	24	48.766	14	21	46.62	11	57	21.06	14	5	28	53.662	23	14	44.79	12	0	14.93			
30	2	28	37.000	14	40	22.17	11	57	13.00	15	5	33	3.028	23	17	37.56	12	0	27.79			
Mai	1	2	32	25.768	14	58	43.28	11	57	5.48	16	5	37	12.498	23	20	5.65	12	0	40.75		
2	2	36	15.080	15	16	49.63	11	56	58.51	17	5	41	22.044	23	22	9.03	12	0	53.77			
3	2	40	4.945	15	34	40.90	11	56	52.09	18	5	45	31.639	23	23	47.65	12	1	6.83			
4	2	43	55.371	15	52	16.77	11	56	46.24	19	5	49	41.260	23	25	1.48	12	1	19.90			
5	2	47	46.363	16	9	36.92	11	56	40.96	20	5	53	50.884	23	25	50.51	12	1	32.97			
6	2	51	37.929	16	26	41.02	11	56	36.26	21	5	58	0.492	23	26	14.75	12	1	46.01			
7	2	55	30.072	16	43	28.77	11	56	32.14	22	6	2	10.063	23	26	14.21	12	1	59.00			
8	2	59	22.796	16	59	59.84	11	56	28.60	23	6	6	19.575	23	25	48.91	12	2	11.92			
9	3	3	16.105	17	16	13.93	11	56	25.65	24	6	10	29.009	23	24	58.89	12	2	24.74			
10	3	7	10.000	17	32	10.71	11	56	23.29	25	6	14	38.343	23	23	44.17	12	2	37.46			
11	3	11	4.483	17	47	49.88	11	56	21.52	26	6	18	47.557	23	22	4.79	12	2	50.04			
12	3	14	59.552	18	3	11.14	11	56	20.32	27	6	22	56.631	23	20	0.79	12	3	2.48			
13	3	18	55.207	18	18	14.20	11	56	19.71	28	6	27	5.543	23	17	32.22	12	3	14.74			
14	3	22	51.442	18	32	58.76	11	56	19.68	29	6	31	14.275	23	14	39.14	12	3	26.82			
15	3	26	48.251	18	47	24.53	11	56	20.21	30	6	35	22.806	23	11	21.61	12	3	38.69			
16	3	30	45.628	19	1	31.22	11	56	21.30	Juill.	1	6	39	31.118	23	7	39.69	12	3	50.33		
17	3	34	43.561	19	15	18.55	11	56	22.94	2	6	43	39.191	23	3	33.46	12	4	1.73			

SOLEIL 2010 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	47	47.008	22	59	3.02	12	4	12.86	Août	18	9	49	0.350	13	11	54.86	12	3	52.36	
	4	6	51	54.548	22	54	8.47	12	4	23.70		19	9	52	43.492	12	52	30.65	12	3	38.69	
	5	6	56	1.795	22	48	49.92	12	4	34.24		20	9	56	26.126	12	32	54.31	12	3	24.51	
	6	7	0	8.729	22	43	7.50	12	4	44.46		21	10	0	8.266	12	13	6.16	12	3	9.86	
	7	7	4	15.332	22	37	1.34	12	4	54.33		22	10	3	49.924	11	53	6.50	12	2	54.73	
	8	7	8	21.584	22	30	31.61	12	5	3.84		23	10	7	31.117	11	32	55.62	12	2	39.14	
	9	7	12	27.466	22	23	38.46	12	5	12.96		24	10	11	11.861	11	12	33.83	12	2	23.12	
	10	7	16	32.957	22	16	22.07	12	5	21.68		25	10	14	52.172	10	52	1.40	12	2	6.67	
	11	7	20	38.032	22	8	42.65	12	5	29.97		26	10	18	32.069	10	31	18.64	12	1	49.82	
	12	7	24	42.669	22	0	40.37	12	5	37.82		27	10	22	11.569	10	10	25.84	12	1	32.59	
	13	7	28	46.845	21	52	15.46	12	5	45.19		28	10	25	50.691	9	49	23.30	12	1	14.98	
	14	7	32	50.537	21	43	28.11	12	5	52.08		29	10	29	29.455	9	28	11.30	12	0	57.03	
	15	7	36	53.726	21	34	18.54	12	5	58.46		30	10	33	7.880	9	6	50.17	12	0	38.74	
	16	7	40	56.397	21	24	46.95	12	6	4.31		31	10	36	45.984	8	45	20.19	12	0	20.15	
	17	7	44	58.535	21	14	53.57	12	6	9.63		Sept.	1	10	40	23.786	8	23	41.69	12	0	1.25
	18	7	49	0.130	21	4	38.63	12	6	14.39		2	10	44	1.305	8	1	54.98	11	59	42.08	
	19	7	53	1.171	20	54	2.37	12	6	18.60		3	10	47	38.556	7	40	0.39	11	59	22.65	
20	7	57	1.650	20	43	5.03	12	6	22.23	4	10	51	15.557	7	17	58.26	11	59	2.97			
21	8	1	1.558	20	31	46.85	12	6	25.28	5	10	54	52.321	6	55	48.92	11	58	43.07			
22	8	5	0.888	20	20	8.07	12	6	27.76	6	10	58	28.864	6	33	32.74	11	58	22.96			
23	8	8	59.634	20	8	8.95	12	6	29.64	7	11	2	5.199	6	11	10.06	11	58	2.65			
24	8	12	57.790	19	55	49.71	12	6	30.94	8	11	5	41.339	5	48	41.24	11	57	42.15			
25	8	16	55.352	19	43	10.61	12	6	31.64	9	11	9	17.301	5	26	6.63	11	57	21.49			
26	8	20	52.318	19	30	11.89	12	6	31.75	10	11	12	53.100	5	3	26.58	11	57	0.67			
27	8	24	48.685	19	16	53.79	12	6	31.26	11	11	16	28.751	4	40	41.44	11	56	39.71			
28	8	28	44.453	19	3	16.57	12	6	30.17	12	11	20	4.273	4	17	51.56	11	56	18.63			
29	8	32	39.622	18	49	20.47	12	6	28.49	13	11	23	39.680	3	54	57.28	11	55	57.43			
30	8	36	34.193	18	35	5.75	12	6	26.21	14	11	27	14.991	3	31	58.94	11	55	36.15			
31	8	40	28.168	18	20	32.66	12	6	23.33	15	11	30	50.222	3	8	56.89	11	55	14.79			
Août	1	8	44	21.549	18	5	41.48	12	6	19.87	16	11	34	25.391	2	45	51.45	11	54	53.38		
2	8	48	14.340	17	50	32.48	12	6	15.81	17	11	38	0.518	2	22	42.96	11	54	31.95			
3	8	52	6.543	17	35	5.94	12	6	11.16	18	11	41	35.623	1	59	31.74	11	54	10.50			
4	8	55	58.161	17	19	22.14	12	6	5.93	19	11	45	10.727	1	36	18.11	11	53	49.06			
5	8	59	49.198	17	3	21.39	12	6	0.11	20	11	48	45.853	1	13	2.38	11	53	27.66			
6	9	3	39.654	16	47	3.98	12	5	53.72	21	11	52	21.022	0	49	44.88	11	53	6.32			
7	9	7	29.531	16	30	30.24	12	5	46.74	22	11	55	56.258	0	26	25.90	11	52	45.06			
8	9	11	18.830	16	13	40.48	12	5	39.18	23	11	59	31.585	0	3	5.78	11	52	23.90			
9	9	15	7.550	15	56	35.05	12	5	31.05	24	12	3	7.027	-	0	20.15	11	52	2.86			
10	9	18	55.689	15	39	14.27	12	5	22.34	25	12	6	42.610	-	0	43.66	11	51	41.98			
11	9	22	43.247	15	21	38.48	12	5	13.06	26	12	10	18.356	-	1	6.58.37	11	51	21.27			
12	9	26	30.229	15	3	47.99	12	5	3.21	27	12	13	54.291	-	1	30.19.95	11	51	0.76			
13	9	30	16.637	14	45	43.15	12	4	52.78	28	12	17	30.438	-	1	53.41.10	11	50	40.47			
14	9	34	2.479	14	27	24.26	12	4	41.79	29	12	21	6.820	-	2	17.1.47	11	50	20.42			
15	9	37	47.762	14	8	51.67	12	4	30.25	30	12	24	43.459	-	2	40.20.73	11	50	0.64			
16	9	41	32.496	13	50	5.69	12	4	18.15	Oct.	1	12	28	20.377	-	3	3.38.53	11	49	41.15		
17	9	45	16.688	13	31	6.64	12	4	5.52	2	12	31	57.594	-	3	26.54.49	11	49	21.97			

SOLEIL 2010 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 35 35.129	- 3 50 8.27	11 49 3.11	Nov. 18	15 32 47.393	-19 8 34.85	11 45 9.19
4	12 39 13.001	- 4 13 19.47	11 48 44.61	19	15 36 56.518	-19 22 49.20	11 45 22.16
5	12 42 51.227	- 4 36 27.72	11 48 26.47	20	15 41 6.459	-19 36 42.64	11 45 35.95
6	12 46 29.827	- 4 59 32.63	11 48 8.72	21	15 45 17.212	-19 50 14.81	11 45 50.54
7	12 50 8.816	- 5 22 33.83	11 47 51.36	22	15 49 28.771	-20 3 25.37	11 46 5.94
8	12 53 48.214	- 5 45 30.91	11 47 34.42	23	15 53 41.130	-20 16 13.98	11 46 22.12
9	12 57 28.035	- 6 8 23.51	11 47 17.91	24	15 57 54.280	-20 28 40.27	11 46 39.10
10	13 1 8.296	- 6 31 11.23	11 47 1.84	25	16 2 8.213	-20 40 43.92	11 46 56.85
11	13 4 49.010	- 6 53 53.69	11 46 46.23	26	16 6 22.916	-20 52 24.58	11 47 15.37
12	13 8 30.193	- 7 16 30.49	11 46 31.09	27	16 10 38.378	-21 3 41.89	11 47 34.65
13	13 12 11.858	- 7 39 1.26	11 46 16.44	28	16 14 54.584	-21 14 35.53	11 47 54.67
14	13 15 54.022	- 8 1 25.60	11 46 2.29	29	16 19 11.522	-21 25 5.16	11 48 15.41
15	13 19 36.701	- 8 23 43.13	11 45 48.68	30	16 23 29.173	-21 35 10.44	11 48 36.86
16	13 23 19.913	- 8 45 53.49	11 45 35.61	Déc. 1	16 27 47.521	-21 44 51.09	11 48 59.00
17	13 27 3.675	- 9 7 56.30	11 45 23.09	2	16 32 6.545	-21 54 6.79	11 49 21.80
18	13 30 48.007	- 9 29 51.18	11 45 11.16	3	16 36 26.223	-22 2 57.27	11 49 45.24
19	13 34 32.927	- 9 51 37.77	11 44 59.83	4	16 40 46.528	-22 11 22.26	11 50 9.29
20	13 38 18.454	-10 13 15.70	11 44 49.12	5	16 45 7.432	-22 19 21.50	11 50 33.92
21	13 42 4.609	-10 34 44.60	11 44 39.04	6	16 49 28.904	-22 26 54.75	11 50 59.10
22	13 45 51.411	-10 56 4.10	11 44 29.62	7	16 53 50.911	-22 34 1.76	11 51 24.80
23	13 49 38.878	-11 17 13.84	11 44 20.87	8	16 58 13.421	-22 40 42.30	11 51 51.00
24	13 53 27.031	-11 38 13.44	11 44 12.81	9	17 2 36.402	-22 46 56.16	11 52 17.65
25	13 57 15.888	-11 59 2.53	11 44 5.46	10	17 6 59.821	-22 52 43.14	11 52 44.72
26	14 1 5.466	-12 19 40.73	11 43 58.84	11	17 11 23.647	-22 58 3.04	11 53 12.19
27	14 4 55.782	-12 40 7.66	11 43 52.96	12	17 15 47.849	-23 2 55.68	11 53 40.02
28	14 8 46.851	-13 0 22.92	11 43 47.84	13	17 20 12.396	-23 7 20.92	11 54 8.19
29	14 12 38.686	-13 20 26.11	11 43 43.50	14	17 24 37.257	-23 11 18.60	11 54 36.65
30	14 16 31.301	-13 40 16.83	11 43 39.94	15	17 29 2.402	-23 14 48.60	11 55 5.38
31	14 20 24.708	-13 59 54.64	11 43 37.18	16	17 33 27.799	-23 17 50.80	11 55 34.35
Nov. 1	14 24 18.918	-14 19 19.15	11 43 35.24	17	17 37 53.419	-23 20 25.11	11 56 3.52
2	14 28 13.939	-14 38 29.91	11 43 34.11	18	17 42 19.231	-23 22 31.44	11 56 32.87
3	14 32 9.782	-14 57 26.52	11 43 33.81	19	17 46 45.203	-23 24 9.73	11 57 2.36
4	14 36 6.454	-15 16 8.54	11 43 34.34	20	17 51 11.306	-23 25 19.91	11 57 31.96
5	14 40 3.961	-15 34 35.57	11 43 35.70	21	17 55 37.509	-23 26 1.95	11 58 1.64
6	14 44 2.305	-15 52 47.19	11 43 37.90	22	18 0 3.779	-23 26 15.81	11 58 31.38
7	14 48 1.487	-16 10 42.98	11 43 40.93	23	18 4 30.087	-23 26 1.46	11 59 1.14
8	14 52 1.507	-16 28 22.53	11 43 44.80	24	18 8 56.401	-23 25 18.88	11 59 30.90
9	14 56 2.363	-16 45 45.41	11 43 49.50	25	18 13 22.690	-23 24 8.06	12 0 0.62
10	15 0 4.052	-17 2 51.22	11 43 55.03	26	18 17 48.926	-23 22 29.00	12 0 30.27
11	15 4 6.572	-17 19 39.54	11 44 1.40	27	18 22 15.077	-23 20 21.72	12 0 59.83
12	15 8 9.923	-17 36 9.96	11 44 8.60	28	18 26 41.114	-23 17 46.27	12 1 29.25
13	15 12 14.102	-17 52 22.09	11 44 16.63	29	18 31 7.007	-23 14 42.70	12 1 58.52
14	15 16 19.110	-18 8 15.54	11 44 25.49	30	18 35 32.723	-23 11 11.11	12 2 27.59
15	15 20 24.944	-18 23 49.92	11 44 35.18	31	18 39 58.228	-23 7 11.60	12 2 56.42
16	15 24 31.604	-18 39 4.84	11 44 45.69	32	18 44 23.487	-23 2 44.29	12 3 24.99
17	15 28 39.088	-18 53 59.94	11 44 57.03	33	18 48 48.464	-22 57 49.34	12 3 53.26

SOLEIL 2010 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	0.158 792 68	-0.890 345 99	-0.385 987 50	Févr.	15	0.819 291 79	-0.506 125 43	-0.219 418 99
	1	0.176 017 79	-0.887 599 66	-0.384 797 70		16	0.829 056 23	-0.492 889 51	-0.213 680 49
	2	0.193 188 55	-0.884 578 75	-0.383 488 88		17	0.838 564 76	-0.479 501 97	-0.207 876 40
	3	0.210 300 07	-0.881 284 05	-0.382 061 35		18	0.847 814 58	-0.465 967 30	-0.202 008 65
	4	0.227 347 42	-0.877 716 34	-0.380 515 38		19	0.856 803 01	-0.452 290 01	-0.196 079 23
	5	0.244 325 57	-0.873 876 38	-0.378 851 28		20	0.865 527 54	-0.438 474 70	-0.190 090 12
	6	0.261 229 41	-0.869 764 98	-0.377 069 35		21	0.873 985 81	-0.424 525 95	-0.184 043 32
	7	0.278 053 71	-0.865 383 04	-0.375 169 98		22	0.882 175 62	-0.410 448 40	-0.177 940 82
	8	0.294 793 16	-0.860 731 57	-0.373 153 58		23	0.890 094 93	-0.396 246 67	-0.171 784 60
	9	0.311 442 39	-0.855 811 69	-0.371 020 66		24	0.897 741 84	-0.381 925 37	-0.165 576 63
	10	0.327 996 01	-0.850 624 68	-0.368 771 77		25	0.905 114 61	-0.367 489 04	-0.159 318 86
	11	0.344 448 61	-0.845 171 96	-0.366 407 54		26	0.912 211 64	-0.352 942 17	-0.153 013 19
	12	0.360 794 77	-0.839 455 09	-0.363 928 69		27	0.919 031 40	-0.338 289 19	-0.146 661 48
	13	0.377 029 10	-0.833 475 81	-0.361 335 97		28	0.925 572 41	-0.323 534 38	-0.140 265 55
14	0.393 146 26	-0.827 235 96	-0.358 630 23	Mars	1	0.931 833 19	-0.308 681 97	-0.133 827 19	
15	0.409 140 93	-0.820 737 54	-0.355 812 37		2	0.937 812 22	-0.293 736 15	-0.127 348 19	
16	0.425 007 86	-0.813 982 70	-0.352 883 34		3	0.943 507 94	-0.278 701 09	-0.120 830 32	
17	0.440 741 89	-0.806 973 70	-0.349 844 15		4	0.948 918 71	-0.263 581 01	-0.114 275 42	
18	0.456 337 91	-0.799 712 93	-0.346 695 88		5	0.954 042 92	-0.248 380 19	-0.107 685 34	
19	0.471 790 91	-0.792 202 92	-0.343 439 65		6	0.958 878 94	-0.233 103 03	-0.101 062 02	
20	0.487 095 97	-0.784 446 28	-0.340 076 60		7	0.963 425 21	-0.217 754 00	-0.094 407 41	
21	0.502 248 29	-0.776 445 75	-0.336 607 95		8	0.967 680 24	-0.202 337 69	-0.087 723 52	
22	0.517 243 15	-0.768 204 14	-0.333 034 94		9	0.971 642 62	-0.186 858 75	-0.081 012 42	
23	0.532 075 95	-0.759 724 39	-0.329 358 84		10	0.975 311 07	-0.171 321 92	-0.074 276 17	
24	0.546 742 24	-0.751 009 48	-0.325 580 95	11	0.978 684 40	-0.155 732 00	-0.067 516 90		
25	0.561 237 65	-0.742 062 49	-0.321 702 61	12	0.981 761 57	-0.140 093 83	-0.060 736 72		
26	0.575 558 00	-0.732 886 55	-0.317 725 15	13	0.984 541 62	-0.124 412 32	-0.053 937 81		
27	0.589 699 23	-0.723 484 80	-0.313 649 92	14	0.987 023 75	-0.108 692 42	-0.047 122 33		
28	0.603 657 41	-0.713 860 42	-0.309 478 26	15	0.989 207 27	-0.092 939 12	-0.040 292 46		
29	0.617 428 76	-0.704 016 52	-0.305 211 49	16	0.991 091 66	-0.077 157 44	-0.033 450 41		
Févr.	30	0.631 009 54	-0.693 956 19	-0.300 850 88	17	0.992 676 52	-0.061 352 42	-0.026 598 38	
	31	0.644 396 09	-0.683 682 43	-0.296 397 70	18	0.993 961 62	-0.045 529 13	-0.019 738 58	
	1	0.657 584 69	-0.673 198 21	-0.291 853 18	19	0.994 946 89	-0.029 692 63	-0.012 873 19	
	2	0.670 571 60	-0.662 506 47	-0.287 218 56	20	0.995 632 41	-0.013 847 98	-0.006 004 42	
	3	0.683 352 96	-0.651 610 18	-0.282 495 09	21	0.996 018 42	0.001 999 80	0.000 865 58	
	4	0.695 924 90	-0.640 512 38	-0.277 684 10	22	0.996 105 33	0.017 845 72	0.007 734 65	
	5	0.708 283 47	-0.629 216 22	-0.272 786 93	23	0.995 893 71	0.033 684 87	0.014 600 70	
	6	0.720 424 73	-0.617 724 98	-0.267 805 03	24	0.995 384 23	0.049 512 39	0.021 461 64	
	7	0.732 344 76	-0.606 042 05	-0.262 739 88	25	0.994 577 72	0.065 323 56	0.028 315 47	
	8	0.744 039 69	-0.594 170 96	-0.257 593 03	26	0.993 475 09	0.081 113 71	0.035 160 22	
	9	0.755 505 69	-0.582 115 36	-0.252 366 09	27	0.992 077 33	0.096 878 35	0.041 993 96	
	10	0.766 739 04	-0.569 879 03	-0.247 060 74	28	0.990 385 43	0.112 613 07	0.048 814 84	
	11	0.777 736 09	-0.557 465 83	-0.241 678 66	29	0.988 400 38	0.128 313 57	0.055 621 03	
	12	0.788 493 28	-0.544 879 74	-0.236 221 63	30	0.986 123 16	0.143 975 63	0.062 410 71	
13	0.799 007 17	-0.532 124 85	-0.230 691 45	31	0.983 554 66	0.159 595 06	0.069 182 08		
14	0.809 274 41	-0.519 205 33	-0.225 089 94	Avril	1	0.980 695 74	0.175 167 66	0.075 933 32	

SOLEIL 2010 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	0.977 547 26	0.190 689 18	0.082 662 58	Mai	18	0.553 469 29	0.776 710 72	0.336 721 35
	3	0.974 110 09	0.206 155 32	0.089 367 96		19	0.539 264 30	0.785 294 10	0.340 441 80
	4	0.970 385 13	0.221 561 71	0.096 047 56		20	0.524 906 11	0.793 651 62	0.344 064 39
	5	0.966 373 39	0.236 903 95	0.102 699 42		21	0.510 399 24	0.801 781 25	0.347 588 29
	6	0.962 075 96	0.252 177 56	0.109 321 57		22	0.495 748 20	0.809 681 12	0.351 012 70
	7	0.957 494 02	0.267 378 05	0.115 912 04		23	0.480 957 41	0.817 349 45	0.354 336 90
	8	0.952 628 89	0.282 500 90	0.122 468 83		24	0.466 031 21	0.824 784 58	0.357 560 16
	9	0.947 481 98	0.297 541 58	0.128 989 95		25	0.450 973 89	0.831 984 91	0.360 681 80
	10	0.942 054 83	0.312 495 55	0.135 473 41		26	0.435 789 64	0.838 948 86	0.363 701 14
	11	0.936 349 10	0.327 358 27	0.141 917 21		27	0.420 482 62	0.845 674 90	0.366 617 48
	12	0.930 366 56	0.342 125 20	0.148 319 37		28	0.405 056 93	0.852 161 46	0.369 430 13
13	0.924 109 12	0.356 791 81	0.154 677 91	29	0.389 516 68	0.858 407 00	0.372 138 39		
14	0.917 578 83	0.371 353 59	0.160 990 85	30	0.373 865 99	0.864 409 93	0.374 741 52		
15	0.910 777 87	0.385 806 04	0.167 256 25	31	0.358 108 99	0.870 168 68	0.377 238 83		
16	0.903 708 59	0.400 144 72	0.173 472 18	Juin	1	0.342 249 88	0.875 681 67	0.379 629 59	
17	0.896 373 46	0.414 365 24	0.179 636 75		2	0.326 292 92	0.880 947 34	0.381 913 08	
18	0.888 775 12	0.428 463 29	0.185 748 10		3	0.310 242 43	0.885 964 14	0.384 088 62	
19	0.880 916 34	0.442 434 65	0.191 804 45		4	0.294 102 79	0.890 730 57	0.386 155 52	
20	0.872 800 00	0.456 275 23	0.197 804 03		5	0.277 878 45	0.895 245 15	0.388 113 12	
21	0.864 429 09	0.469 981 04	0.203 745 17		6	0.261 573 93	0.899 506 46	0.389 960 79	
22	0.855 806 67	0.483 548 26	0.209 626 25		7	0.245 193 80	0.903 513 12	0.391 697 92	
23	0.846 935 83	0.496 973 19	0.215 445 70		8	0.228 742 75	0.907 263 80	0.393 323 92	
24	0.837 819 69	0.510 252 28	0.221 202 02		9	0.212 225 49	0.910 757 25	0.394 838 24	
25	0.828 461 36	0.523 382 10	0.226 893 75		10	0.195 646 87	0.913 992 26	0.396 240 38	
26	0.818 863 91	0.536 359 33	0.232 519 50		11	0.179 011 80	0.916 967 71	0.397 529 86	
27	0.809 030 34	0.549 180 72	0.238 077 85	12	0.162 325 29	0.919 682 62	0.398 706 28		
28	0.798 963 60	0.561 843 08	0.243 567 43	13	0.145 592 46	0.922 136 10	0.399 769 28		
29	0.788 666 60	0.574 343 22	0.248 986 85	14	0.128 818 45	0.924 327 45	0.400 718 60		
30	0.778 142 23	0.586 677 93	0.254 334 70	15	0.112 008 46	0.926 256 11	0.401 554 04		
Mai	1	0.767 393 36	0.598 843 99	0.259 609 54	16	0.095 167 69	0.927 921 75	0.402 275 50	
	2	0.756 422 91	0.610 838 13	0.264 809 94	17	0.078 301 26	0.929 324 18	0.402 882 95	
	3	0.745 233 87	0.622 657 06	0.269 934 44	18	0.061 414 24	0.930 463 37	0.403 376 41	
	4	0.733 829 29	0.634 297 48	0.274 981 56	19	0.044 511 57	0.931 339 44	0.403 755 95	
	5	0.722 212 30	0.645 756 07	0.279 949 85	20	0.027 598 10	0.931 952 58	0.404 021 67	
	6	0.710 386 16	0.657 029 54	0.284 837 83	21	0.010 678 56	0.932 303 06	0.404 173 70	
	7	0.698 354 17	0.668 114 60	0.289 644 06	22	-0.006 242 41	0.932 391 19	0.404 212 17	
	8	0.686 119 75	0.679 007 99	0.294 367 10	23	-0.023 160 28	0.932 217 31	0.404 137 20	
	9	0.673 686 43	0.689 706 48	0.299 005 53	24	-0.040 070 56	0.931 781 76	0.403 948 92	
	10	0.661 057 83	0.700 206 85	0.303 557 94	25	-0.056 968 80	0.931 084 88	0.403 647 45	
	11	0.648 237 64	0.710 505 95	0.308 022 94	26	-0.073 850 60	0.930 127 02	0.403 232 91	
12	0.635 229 72	0.720 600 65	0.312 399 18	27	-0.090 711 55	0.928 908 50	0.402 705 41		
13	0.622 038 01	0.730 487 88	0.316 685 33	28	-0.107 547 25	0.927 429 68	0.402 065 06		
14	0.608 666 58	0.740 164 65	0.320 880 09	29	-0.124 353 25	0.925 690 90	0.401 311 98		
15	0.595 119 63	0.749 628 04	0.324 982 23	30	-0.141 125 11	0.923 692 52	0.400 446 30		
16	0.581 401 47	0.758 875 27	0.328 990 55	Juill.	1	-0.157 858 31	0.921 434 95	0.399 468 16	
17	0.567 516 53	0.767 903 66	0.332 903 94		2	-0.174 548 34	0.918 918 61	0.398 377 73	

SOLEIL 2010 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	-0.191 190 62	0.916 143 99	0.397 175 20	Août	18	-0.827 408 14	0.535 104 57	0.231 982 82
	4	-0.207 780 55	0.913 111 61	0.395 860 78		19	-0.836 915 81	0.522 184 16	0.226 382 15
	5	-0.224 313 47	0.909 822 05	0.394 434 71		20	-0.846 184 40	0.509 116 12	0.220 717 52
	6	-0.240 784 71	0.906 275 95	0.392 897 28		21	-0.855 211 47	0.495 904 09	0.214 990 49
	7	-0.257 189 52	0.902 474 02	0.391 248 78		22	-0.863 994 60	0.482 551 69	0.209 202 59
	8	-0.273 523 11	0.898 417 03	0.389 489 56		23	-0.872 531 40	0.469 062 53	0.203 355 36
	9	-0.289 780 63	0.894 105 86	0.387 620 03	24	-0.880 819 55	0.455 440 22	0.197 450 32	
	10	-0.305 957 18	0.889 541 48	0.385 640 63	25	-0.888 856 69	0.441 688 37	0.191 489 03	
	11	-0.322 047 78	0.884 725 02	0.383 551 89	26	-0.896 640 53	0.427 810 61	0.185 473 03	
	12	-0.338 047 47	0.879 657 76	0.381 354 41	27	-0.904 168 78	0.413 810 56	0.179 403 90	
	13	-0.353 951 26	0.874 341 17	0.379 048 87	28	-0.911 439 15	0.399 691 91	0.173 283 20	
	14	-0.369 754 25	0.868 776 92	0.376 636 04	29	-0.918 449 38	0.385 458 33	0.167 112 53	
	15	-0.385 451 62	0.862 966 82	0.374 116 76	30	-0.925 197 20	0.371 113 56	0.160 893 51	
	16	-0.401 038 72	0.856 912 86	0.371 491 90	31	-0.931 680 37	0.356 661 38	0.154 627 78	
	17	-0.416 511 01	0.850 617 11	0.368 762 39	Sept.	1	-0.937 896 66	0.342 105 60	0.148 317 03
	18	-0.431 864 16	0.844 081 71	0.365 929 16	2	-0.943 843 83	0.327 450 13	0.141 962 95	
	19	-0.447 093 94	0.837 308 84	0.362 993 17	3	-0.949 519 67	0.312 698 93	0.135 567 30	
20	-0.462 196 24	0.830 300 69	0.359 955 33	4	-0.954 921 97	0.297 856 05	0.129 131 86		
21	-0.477 167 07	0.823 059 45	0.356 816 57	5	-0.960 048 58	0.282 925 68	0.122 658 49		
22	-0.492 002 49	0.815 587 29	0.353 577 82	6	-0.964 897 37	0.267 912 12	0.116 149 10		
23	-0.506 698 63	0.807 886 38	0.350 239 97	7	-0.969 466 32	0.252 819 81	0.109 605 65		
24	-0.521 251 64	0.799 958 89	0.346 803 94	8	-0.973 753 55	0.237 653 36	0.103 030 19		
25	-0.535 657 72	0.791 806 97	0.343 270 63	9	-0.977 757 36	0.222 417 48	0.096 424 79		
26	-0.549 913 07	0.783 432 79	0.339 640 94	10	-0.981 476 26	0.207 116 98	0.089 791 54		
27	-0.564 013 90	0.774 838 52	0.335 915 78	11	-0.984 909 00	0.191 756 68	0.083 132 56		
28	-0.577 956 42	0.766 026 34	0.332 096 07	12	-0.988 054 54	0.176 341 41	0.076 449 91		
29	-0.591 736 83	0.756 998 48	0.328 182 75	13	-0.990 912 01	0.160 875 94	0.069 745 64		
30	-0.605 351 32	0.747 757 16	0.324 176 78	14	-0.993 480 70	0.145 364 96	0.063 021 77		
31	-0.618 796 08	0.738 304 67	0.320 079 11	15	-0.995 759 99	0.129 813 10	0.056 280 26		
Août	1	-0.632 067 28	0.728 643 34	0.315 890 76	16	-0.997 749 36	0.114 224 92	0.049 523 06	
2	-0.645 161 08	0.718 775 54	0.311 612 76	17	-0.999 448 34	0.098 604 93	0.042 752 09		
3	-0.658 073 64	0.708 703 71	0.307 246 14	18	-1.000 856 52	0.082 957 60	0.035 969 24		
4	-0.670 801 07	0.698 430 35	0.302 792 02	19	-1.001 973 56	0.067 287 34	0.029 176 42		
5	-0.683 339 49	0.687 958 02	0.298 251 52	20	-1.002 799 12	0.051 598 55	0.022 375 49		
6	-0.695 684 99	0.677 289 37	0.293 625 80	21	-1.003 332 95	0.035 895 61	0.015 568 33		
7	-0.707 833 62	0.666 427 19	0.288 916 11	22	-1.003 574 80	0.020 182 86	0.008 756 81		
8	-0.719 781 45	0.655 374 35	0.284 123 74	23	-1.003 524 48	0.004 464 64	0.001 942 78		
9	-0.731 524 55	0.644 133 92	0.279 250 05	24	-1.003 181 81	-0.011 254 73	-0.004 871 88		
10	-0.743 059 03	0.632 709 12	0.274 296 49	25	-1.002 546 66	-0.026 970 92	-0.011 685 31		
11	-0.754 381 13	0.621 103 36	0.269 264 58	26	-1.001 618 91	-0.042 679 62	-0.018 495 63		
12	-0.765 487 21	0.609 320 18	0.264 155 91	27	-1.000 398 45	-0.058 376 47	-0.025 300 95		
13	-0.776 373 85	0.597 363 29	0.258 972 08	28	-0.998 885 23	-0.074 057 11	-0.032 099 36		
14	-0.787 037 81	0.585 236 41	0.253 714 75	29	-0.997 079 19	-0.089 717 15	-0.038 888 94		
15	-0.797 476 03	0.572 943 35	0.248 385 54	30	-0.994 980 32	-0.105 352 15	-0.045 667 74		
16	-0.807 685 65	0.560 487 86	0.242 986 09	Oct.	1	-0.992 588 64	-0.120 957 60	-0.052 433 77	
17	-0.817 663 90	0.547 873 70	0.237 517 99	2	-0.989 904 24	-0.136 528 95	-0.059 185 02		

SOLEIL 2010 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	-0.986 927 24	-0.152 061 54	-0.065 919 43	Nov.	18	-0.561 614 72	-0.746 447 15	-0.323 595 76
	4	-0.983 657 89	-0.167 550 63	-0.072 634 90		19	-0.547 093 82	-0.755 234 65	-0.327 405 57
	5	-0.980 096 52	-0.182 991 37	-0.079 329 31		20	-0.532 406 64	-0.763 791 22	-0.331 115 41
	6	-0.976 243 65	-0.198 378 84	-0.086 000 46		21	-0.517 557 43	-0.772 114 38	-0.334 724 18
	7	-0.972 099 99	-0.213 708 02	-0.092 646 18		22	-0.502 550 42	-0.780 201 68	-0.338 230 82
	8	-0.967 666 49	-0.228 973 87	-0.099 264 27		23	-0.487 389 86	-0.788 050 71	-0.341 634 24
	9	-0.962 944 30	-0.244 171 38	-0.105 852 56		24	-0.472 079 96	-0.795 659 09	-0.344 933 38
	10	-0.957 934 81	-0.259 295 59	-0.112 408 91		25	-0.456 624 96	-0.803 024 41	-0.348 127 17
	11	-0.952 639 57	-0.274 341 63	-0.118 931 24		26	-0.441 029 14	-0.810 144 28	-0.351 214 51
	12	-0.947 060 30	-0.289 304 77	-0.125 417 54		27	-0.425 296 83	-0.817 016 28	-0.354 194 33
	13	-0.941 198 80	-0.304 180 36	-0.131 865 82		28	-0.409 432 43	-0.823 637 97	-0.357 065 53
	14	-0.935 056 94	-0.318 963 88	-0.138 274 17		29	-0.393 440 47	-0.830 006 91	-0.359 827 02
15	-0.928 636 66	-0.333 650 89	-0.144 640 69	30	-0.377 325 60	-0.836 120 68	-0.362 477 73		
16	-0.921 939 95	-0.348 237 04	-0.150 963 53	Déc.	1	-0.361 092 61	-0.841 976 87	-0.365 016 60	
17	-0.914 968 82	-0.362 718 04	-0.157 240 85		2	-0.344 746 45	-0.847 573 17	-0.367 442 62	
18	-0.907 725 36	-0.377 089 67	-0.163 470 85	3	-0.328 292 23	-0.852 907 32	-0.369 754 82		
19	-0.900 211 66	-0.391 347 75	-0.169 651 73	4	-0.311 735 19	-0.857 977 20	-0.371 952 31		
20	-0.892 429 88	-0.405 488 17	-0.175 781 74	5	-0.295 080 70	-0.862 780 84	-0.374 034 26		
21	-0.884 382 18	-0.419 506 85	-0.181 859 12	6	-0.278 334 22	-0.867 316 42	-0.375 999 91		
22	-0.876 070 79	-0.433 399 79	-0.187 882 12	7	-0.261 501 30	-0.871 582 31	-0.377 848 61		
23	-0.867 497 92	-0.447 162 99	-0.193 849 02	8	-0.244 587 49	-0.875 577 06	-0.379 579 75		
24	-0.858 665 83	-0.460 792 49	-0.199 758 09	9	-0.227 598 34	-0.879 299 38	-0.381 192 82		
25	-0.849 576 79	-0.474 284 36	-0.205 607 62	10	-0.210 539 41	-0.882 748 14	-0.382 687 35		
26	-0.840 233 08	-0.487 634 66	-0.211 395 88	11	-0.193 416 23	-0.885 922 34	-0.384 062 95		
27	-0.830 637 03	-0.500 839 45	-0.217 121 13	12	-0.176 234 28	-0.888 821 11	-0.385 319 26		
28	-0.820 790 96	-0.513 894 78	-0.222 781 62	13	-0.158 999 03	-0.891 443 68	-0.386 455 96		
29	-0.810 697 29	-0.526 796 65	-0.228 375 59	14	-0.141 715 91	-0.893 789 42	-0.387 472 80		
30	-0.800 358 46	-0.539 541 03	-0.233 901 25	15	-0.124 390 31	-0.895 857 78	-0.388 369 53		
31	-0.789 777 02	-0.552 123 84	-0.239 356 79	16	-0.107 027 60	-0.897 648 30	-0.389 145 97		
Nov.	1	-0.778 955 64	-0.564 540 95	-0.244 740 40	17	-0.089 633 10	-0.899 160 63	-0.389 801 95	
	2	-0.767 897 09	-0.576 788 21	-0.250 050 22	18	-0.072 212 07	-0.900 394 51	-0.390 337 35	
	3	-0.756 604 33	-0.588 861 41	-0.255 284 43	19	-0.054 769 73	-0.901 349 74	-0.390 752 07	
	4	-0.745 080 52	-0.600 756 35	-0.260 441 17	20	-0.037 311 23	-0.902 026 20	-0.391 046 03	
	5	-0.733 329 00	-0.612 468 87	-0.265 518 66	21	-0.019 841 68	-0.902 423 80	-0.391 219 17	
	6	-0.721 353 33	-0.623 994 87	-0.270 515 12	22	-0.002 366 13	-0.902 542 48	-0.391 271 41	
	7	-0.709 157 24	-0.635 330 36	-0.275 428 85	23	0.015 110 41	-0.902 382 18	-0.391 202 69	
	8	-0.696 744 63	-0.646 471 49	-0.280 258 22	24	0.032 582 93	-0.901 942 84	-0.391 012 93	
	9	-0.684 119 50	-0.657 414 57	-0.285 001 65	25	0.050 046 37	-0.901 224 37	-0.390 702 07	
	10	-0.671 285 93	-0.668 156 06	-0.289 657 65	26	0.067 495 63	-0.900 226 69	-0.390 270 03	
	11	-0.658 248 07	-0.678 692 56	-0.294 224 80	27	0.084 925 51	-0.898 949 75	-0.389 716 77	
	12	-0.645 010 06	-0.689 020 80	-0.298 701 70	28	0.102 330 72	-0.897 393 52	-0.389 042 25	
13	-0.631 576 11	-0.699 137 63	-0.303 087 02	29	0.119 705 86	-0.895 558 05	-0.388 246 49		
14	-0.617 950 41	-0.709 040 00	-0.307 379 46	30	0.137 045 42	-0.893 443 52	-0.387 329 59		
15	-0.604 137 19	-0.718 724 96	-0.311 577 77	31	0.154 343 81	-0.891 050 20	-0.386 291 67		
16	-0.590 140 66	-0.728 189 65	-0.315 680 71	32	0.171 595 37	-0.888 378 53	-0.385 132 95		
17	-0.575 965 09	-0.737 431 28	-0.319 687 10	33	0.188 794 41	-0.885 429 11	-0.383 853 73		

LUNE

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

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Janv. 0	0 5 52 23.930	25 28 53.38	361 862.057	Janv. 11	0 16 0 33.736	-24 38 3.99	395 251.176
	6 6 8 50.497	25 9 23.64	361 075.222		6 16 14 8.213	-25 1 25.19	396 134.573
	12 6 25 15.015	24 43 0.25	360 394.826		12 16 27 44.216	-25 20 3.69	396 980.543
	18 6 41 35.180	24 9 50.51	359 824.658		18 16 41 20.914	-25 33 57.49	397 789.206
1	0 6 57 48.857	23 30 5.49	359 367.694	12	0 16 54 57.418	-25 43 5.74	398 560.779
	6 7 13 54.128	22 43 59.74	359 026.062		6 17 8 32.809	-25 47 28.74	399 295.547
	12 7 29 49.331	21 51 50.97	358 801.017		12 17 22 6.150	-25 47 7.97	399 993.837
	18 7 45 33.091	20 53 59.60	358 692.929		18 17 35 36.510	-25 42 6.06	400 655.997
2	0 8 1 4.326	19 50 48.28	358 701.291	13	0 17 49 2.977	-25 32 26.79	401 282.369
	6 8 16 22.254	18 42 41.47	358 824.735		6 18 2 24.685	-25 18 15.05	401 873.268
	12 8 31 26.379	17 30 4.90	359 061.053		12 18 15 40.820	-24 59 36.71	402 428.963
	18 8 46 16.473	16 13 25.16	359 407.244		18 18 28 50.642	-24 36 38.63	402 949.657
3	0 9 0 52.557	14 53 9.28	359 859.568	14	0 18 41 53.495	-24 9 28.51	403 435.471
	6 9 15 14.868	13 29 44.35	360 413.598		6 18 54 48.812	-23 38 14.80	403 886.431
	12 9 29 23.836	12 3 37.22	361 064.296		12 19 7 36.129	-23 3 6.62	404 302.452
	18 9 43 20.048	10 35 14.21	361 806.087		18 19 20 15.080	-22 24 13.63	404 683.336
4	0 9 57 4.225	9 5 0.96	362 632.933	15	0 19 32 45.408	-21 41 45.92	405 028.754
	6 10 10 37.194	7 33 22.20	363 538.424		6 19 45 6.955	-20 55 53.91	405 338.251
	12 10 23 59.864	6 0 41.70	364 515.855		12 19 57 19.666	-20 6 48.29	405 611.236
	18 10 37 13.205	4 27 22.16	365 558.311		18 20 9 23.582	-19 14 39.86	405 846.986
5	0 10 50 18.228	2 53 45.23	366 658.746	16	0 20 21 18.835	-18 19 39.50	406 044.644
	6 11 3 15.972	1 20 11.42	367 810.061		6 20 33 5.641	-17 21 58.10	406 203.229
	12 11 16 7.485	-0 12 59.81	369 005.180		12 20 44 44.295	-16 21 46.47	406 321.636
	18 11 28 53.816	-1 45 30.03	370 237.108		18 20 56 15.164	-15 19 15.32	406 398.652
6	0 11 41 35.999	-3 17 1.80	371 499.005	17	0 21 7 38.679	-14 14 35.18	406 432.960
	6 11 54 15.053	-4 47 18.58	372 784.231		6 21 18 55.332	-13 7 56.42	406 423.158
	12 12 6 51.962	-6 16 4.71	374 086.395		12 21 30 5.665	-11 59 29.19	406 367.768
	18 12 19 27.677	-7 43 5.28	375 399.403		18 21 41 10.267	-10 49 23.45	406 265.259
7	0 12 32 3.102	-9 8 6.09	376 717.482	18	0 21 52 9.770	-9 37 48.92	406 114.059
	6 12 44 39.094	-10 30 53.61	378 035.217		6 22 3 4.842	-8 24 55.10	405 912.581
	12 12 57 16.447	-11 51 14.84	379 347.564		12 22 13 56.187	-7 10 51.33	405 659.239
	18 13 9 55.894	-13 8 57.36	380 649.869		18 22 24 44.537	-5 55 46.74	405 352.472
8	0 13 22 38.096	-14 23 49.18	381 937.875	19	0 22 35 30.652	-4 39 50.30	404 990.770
	6 13 35 23.633	-15 35 38.81	383 207.726		6 22 46 15.318	-3 23 10.89	404 572.695
	12 13 48 13.002	-16 44 15.15	384 455.965		12 22 56 59.343	-2 5 57.28	404 096.907
	18 14 1 6.607	-17 49 27.54	385 679.527		18 23 7 43.556	-0 48 18.20	403 562.191
9	0 14 14 4.752	-18 51 5.76	386 875.729	20	0 23 18 28.808	0 29 37.61	402 967.481
	6 14 27 7.639	-19 49 0.03	388 042.258		6 23 29 15.968	1 47 41.34	402 311.888
	12 14 40 15.357	-20 43 1.05	389 177.152		12 23 40 5.923	3 5 44.11	401 594.727
	18 14 53 27.883	-21 33 0.08	390 278.780		18 23 50 59.576	4 23 36.83	400 815.540
10	0 15 6 45.079	-22 18 48.94	391 345.822	21	0 0 1 57.844	5 41 10.20	399 974.129
	6 15 20 6.688	-23 0 20.13	392 377.242		6 0 13 1.658	6 58 14.61	399 070.573
	12 15 33 32.339	-23 37 26.86	393 372.267		12 0 24 11.958	8 14 40.09	398 105.260
	18 15 47 1.551	-24 10 3.17	394 330.356		18 0 35 29.693	9 30 16.25	397 078.909

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Janv. 22	0	0 46 55.813	10 44 52.16	395 992.592	Févr. 2	0	11 22 0.274	- 0 53 28.85	363 106.646
	6	0 58 31.267	11 58 16.35	394 847.757		6	11 35 14.651	- 2 29 2.60	364 301.599
	12	1 10 16.993	13 10 16.69	393 646.249		12	11 48 25.220	- 4 3 25.38	365 568.125
	18	1 22 13.915	14 20 40.35	392 390.328		18	12 1 32.875	- 5 36 17.55	366 898.094
23	0	1 34 22.926	15 29 13.76	391 082.683	3	0 12 14 38.483	- 7 7 20.57	368 283.239	
	6	1 46 44.881	16 35 42.53	389 726.451	6	12 27 42.871	- 8 36 16.97	369 715.248	
	12	1 59 20.584	17 39 51.45	388 325.222	12	12 40 46.818	-10 2 50.35	371 185.840	
	18	2 12 10.764	18 41 24.46	386 883.048	18	12 53 51.049	-11 26 45.30	372 686.835	
24	0	2 25 16.067	19 40 4.67	385 404.450	4	0 13 6 56.225	-12 47 47.38	374 210.226	
	6	2 38 37.025	20 35 34.42	383 894.415	6	13 20 2.937	-14 5 43.05	375 748.236	
	12	2 52 14.041	21 27 35.29	382 358.390	12	13 33 11.698	-15 20 19.69	377 293.371	
	18	3 6 7.363	22 15 48.32	380 802.273	18	13 46 22.938	-16 31 25.50	378 838.464	
25	0	3 20 17.061	22 59 54.04	379 232.398	5	0 13 59 36.998	-17 38 49.52	380 376.716	
	6	3 34 43.002	23 39 32.77	377 655.513	6	14 12 54.122	-18 42 21.60	381 901.721	
	12	3 49 24.833	24 14 24.85	376 078.751	12	14 26 14.456	-19 41 52.38	383 407.497	
	18	4 4 21.965	24 44 10.91	374 509.595	18	14 39 38.045	-20 37 13.32	384 888.498	
26	0	4 19 33.560	25 8 32.22	372 955.838	6	0 14 53 4.827	-21 28 16.69	386 339.630	
	6	4 34 58.530	25 27 11.12	371 425.531	6	15 6 34.637	-22 14 55.56	387 756.252	
	12	4 50 35.542	25 39 51.35	369 926.930	12	15 20 7.206	-22 57 3.88	389 134.185	
	18	5 6 23.035	25 46 18.53	368 468.430	18	15 33 42.168	-23 34 36.48	390 469.703	
27	0	5 22 19.248	25 46 20.54	367 058.495	7	0 15 47 19.059	-24 7 29.07	391 759.527	
	6	5 38 22.255	25 39 47.87	365 705.585	6	16 0 57.332	-24 35 38.34	393 000.818	
	12	5 54 30.010	25 26 34.02	364 418.070	12	16 14 36.363	-24 59 1.91	394 191.160	
	18	6 10 40.403	25 6 35.72	363 204.140	18	16 28 15.465	-25 17 38.42	395 328.542	
28	0	6 26 51.313	24 39 53.12	362 071.727	8	0 16 41 53.899	-25 31 27.49	396 411.345	
	6	6 43 0.667	24 6 29.89	361 028.403	6	16 55 30.891	-25 40 29.75	397 438.316	
	12	6 59 6.493	23 26 33.25	360 081.288	12	17 9 5.647	-25 44 46.87	398 408.549	
	18	7 15 6.970	22 40 13.84	359 236.966	18	17 22 37.371	-25 44 21.46	399 321.457	
29	0	7 31 0.470	21 47 45.55	358 501.396	9	0 17 36 5.279	-25 39 17.13	400 176.755	
	6	7 46 45.587	20 49 25.27	357 879.823	6	17 49 28.613	-25 29 38.39	400 974.424	
	12	8 2 21.157	19 45 32.57	357 376.717	12	18 2 46.661	-25 15 30.63	401 714.693	
	18	8 17 46.270	18 36 29.36	356 995.703	18	18 15 58.765	-24 57 0.04	402 398.010	
30	0	8 33 0.272	17 22 39.49	356 739.504	10	0 18 29 4.330	-24 34 13.57	403 025.013	
	6	8 48 2.752	16 4 28.34	356 609.906	6	18 42 2.841	-24 7 18.80	403 596.507	
	12	9 2 53.532	14 42 22.48	356 607.736	12	18 54 53.861	-23 36 23.94	404 113.433	
	18	9 17 32.648	13 16 49.24	356 732.838	18	19 7 37.040	-23 1 37.69	404 576.847	
31	0	9 32 0.322	11 48 16.42	356 984.088	11	0 19 20 12.117	-22 23 9.16	404 987.889	
	6	9 46 16.944	10 17 11.91	357 359.409	6	19 32 38.917	-21 41 7.84	405 347.763	
	12	10 0 23.045	8 44 3.47	357 855.802	12	19 44 57.358	-20 55 43.50	405 657.711	
	18	10 14 19.270	7 9 18.44	358 469.390	18	19 57 7.437	-20 7 6.10	405 918.990	
Févr. 1	0	10 28 6.360	5 33 23.58	359 195.486	12	0 20 9 9.237	-19 15 25.77	406 132.851	
	6	10 41 45.126	3 56 44.85	360 028.652	6	20 21 2.916	-18 20 52.73	406 300.519	
	12	10 55 16.431	2 19 47.33	360 962.779	12	20 32 48.702	-17 23 37.24	406 423.174	
	18	11 8 41.175	0 42 55.09	361 991.173	18	20 44 26.891	-16 23 49.57	406 501.932	

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Févr.13	0 20 55 57.840	-15 21 39.98	406 537.835	Févr. 24	0 6 1 18.476	25 11 58.83	370 024.682
	6 21 7 21.960	-14 17 18.65	406 531.832		6 6 16 54.123	24 50 23.78	368 721.036
	12 21 18 39.710	-13 10 55.72	406 484.771		12 6 32 30.429	24 22 33.89	367 457.089
	18 21 29 51.596	-12 2 41.22	406 397.388		18 6 48 5.817	23 48 31.98	366 240.267
14	0 21 40 58.162	-10 52 45.09	406 270.301	25	0 7 3 38.793	23 8 23.52	365 078.043
	6 21 51 59.990	-9 41 17.20	406 104.004		6 7 19 7.979	22 22 16.67	363 977.870
	12 22 2 57.690	-8 28 27.29	405 898.867		12 7 34 32.144	21 30 22.14	362 947.105
	18 22 13 51.904	-7 14 25.04	405 655.130		18 7 49 50.224	20 32 53.11	361 992.921
15	0 22 24 43.296	-5 59 20.05	405 372.913	26	0 8 5 1.341	19 30 5.03	361 122.226
	6 22 35 32.555	-4 43 21.86	405 052.213		6 8 20 4.804	18 22 15.45	360 341.580
	12 22 46 20.389	-3 26 39.98	404 692.913		12 8 35 0.117	17 9 43.80	359 657.106
	18 22 57 7.526	-2 9 23.88	404 294.795		18 8 49 46.973	15 52 51.13	359 074.405
16	0 23 7 54.710	-0 51 43.06	403 857.544	27	0 9 4 25.246	14 31 59.93	358 598.482
	6 23 18 42.700	0 26 12.96	403 380.765		6 9 18 54.975	13 7 33.85	358 233.667
	12 23 29 32.269	1 44 14.58	402 864.001		12 9 33 16.355	11 39 57.46	357 983.548
	18 23 40 24.203	3 2 12.12	402 306.742		18 9 47 29.714	10 9 36.06	357 850.918
17	0 23 51 19.297	4 19 55.74	401 708.454	28	0 10 1 35.499	8 36 55.42	357 837.724
	6 0 2 18.357	5 37 15.44	401 068.590		6 10 15 34.253	7 2 21.60	357 945.031
	12 0 13 22.195	6 54 1.02	400 386.621		12 10 29 26.604	5 26 20.73	358 173.006
	18 0 24 31.626	8 10 2.01	399 662.051		18 10 43 13.240	3 49 18.86	358 520.903
18	0 0 35 47.467	9 25 7.65	398 894.450	Mars	1 0 10 56 54.896	2 11 41.79	358 987.070
	6 0 47 10.534	10 39 6.83	398 083.471		6 11 10 32.341	0 33 54.91	359 568.967
	12 0 58 41.633	11 51 48.10	397 228.884		12 11 24 6.356	-1 3 36.94	360 263.201
	18 1 10 21.559	13 2 59.56	396 330.599		18 11 37 37.727	-2 40 29.56	361 065.565
19	0 1 22 11.086	14 12 28.88	395 388.692	2	0 11 51 7.229	-4 16 19.49	361 971.092
	6 1 34 10.962	15 20 3.24	394 403.439		6 12 4 35.615	-5 50 44.15	362 974.124
	12 1 46 21.897	16 25 29.32	393 375.333		12 12 18 3.603	-7 23 21.85	364 068.377
	18 1 58 44.553	17 28 33.29	392 305.119		18 12 31 31.866	-8 53 51.89	365 247.024
20	0 2 11 19.533	18 29 0.82	391 193.817	3	0 12 45 1.025	-10 21 54.61	366 502.773
	6 2 24 7.367	19 26 37.05	390 042.747		6 12 58 31.634	-11 47 11.39	367 827.950
	12 2 37 8.497	20 21 6.68	388 853.552		12 13 12 4.174	-13 9 24.77	369 214.589
	18 2 50 23.259	21 12 13.98	387 628.221		18 13 25 39.047	-14 28 18.37	370 654.510
21	0 3 3 51.874	21 59 42.90	386 369.105	4	0 13 39 16.563	-15 43 37.00	372 139.405
	6 3 17 34.422	22 43 17.15	385 078.940		6 13 52 56.937	-16 55 6.66	373 660.916
	12 3 31 30.837	23 22 40.36	383 760.857		12 14 6 40.285	-18 2 34.52	375 210.705
	18 3 45 40.884	23 57 36.22	382 418.392		18 14 20 26.617	-19 5 48.99	376 780.527
22	0 4 0 4.154	24 27 48.67	381 055.496	5	0 14 34 15.833	-20 4 39.69	378 362.295
	6 4 14 40.056	24 53 2.17	379 676.537		6 14 48 7.732	-20 58 57.51	379 948.130
	12 4 29 27.811	25 13 1.86	378 286.294		12 15 2 2.000	-21 48 34.60	381 530.419
	18 4 44 26.460	25 27 33.91	376 889.956		18 15 15 58.228	-22 33 24.37	383 101.855
23	0 4 59 34.869	25 36 25.75	375 493.103	6	0 15 29 55.907	-23 13 21.53	384 655.477
	6 5 14 51.748	25 39 26.34	374 101.690		6 15 43 54.445	-23 48 22.04	386 184.703
	12 5 30 15.674	25 36 26.44	372 722.022		12 15 57 53.173	-24 18 23.19	387 683.353
	18 5 45 45.116	25 27 18.91	371 360.720		18 16 11 51.361	-24 43 23.48	389 145.673

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mars 7 0	16 25 48.234	-25 3 22.68	390 566.349	Mars 18 0	1 11 12.927	12 58 55.49	395 740.726
6	16 39 42.983	-25 18 21.76	391 940.517	6	1 23 8.765	14 8 16.79	394 950.851
12	16 53 34.787	-25 28 22.85	393 263.770	12	1 35 14.463	15 15 37.99	394 140.615
18	17 7 22.831	-25 33 29.18	394 532.160	18	1 47 30.584	16 20 45.25	393 310.346
8 0	17 21 6.315	-25 33 45.00	395 742.198	19 0	1 59 57.629	17 23 24.35	392 460.338
6	17 34 44.480	-25 29 15.53	396 890.845	6	2 12 36.033	18 23 20.80	391 590.865
12	17 48 16.616	-25 20 6.87	397 975.508	12	2 25 26.147	19 20 19.84	390 702.210
18	18 1 42.073	-25 6 25.87	398 994.030	18	2 38 28.229	20 14 6.53	389 794.684
9 0	18 15 0.279	-24 48 20.09	399 944.674	20 0	2 51 42.432	21 4 25.80	388 868.656
6	18 28 10.740	-24 25 57.65	400 826.111	6	3 5 8.791	21 51 2.60	387 924.577
12	18 41 13.050	-23 59 27.19	401 637.402	12	3 18 47.211	22 33 41.97	386 963.006
18	18 54 6.894	-23 28 57.73	402 377.981	18	3 32 37.462	23 12 9.21	385 984.634
10 0	19 6 52.048	-22 54 38.61	403 047.636	21 0	3 46 39.165	23 46 10.00	384 990.315
6	19 19 28.379	-22 16 39.42	403 646.487	6	4 0 51.795	24 15 30.62	383 981.089
12	19 31 55.842	-21 35 9.89	404 174.965	12	4 15 14.674	24 39 58.06	382 958.204
18	19 44 14.480	-20 50 19.86	404 633.788	18	4 29 46.982	24 59 20.30	381 923.139
11 0	19 56 24.413	-20 2 19.23	405 023.943	22 0	4 44 27.758	25 13 26.41	380 877.630
6	20 8 25.839	-19 11 17.89	405 346.657	6	4 59 15.919	25 22 6.79	379 823.679
12	20 20 19.023	-18 17 25.71	405 603.373	12	5 14 10.277	25 25 13.36	378 763.579
18	20 32 4.294	-17 20 52.49	405 795.731	18	5 29 9.561	25 22 39.65	377 699.921
12 0	20 43 42.039	-16 21 47.97	405 925.538	23 0	5 44 12.443	25 14 21.03	376 635.602
6	20 55 12.695	-15 20 21.81	405 994.746	6	5 59 17.569	25 0 14.75	375 573.831
12	21 6 36.744	-14 16 43.58	406 005.428	12	6 14 23.590	24 40 20.04	374 518.133
18	21 17 54.710	-13 11 2.75	405 959.750	18	6 29 29.187	24 14 38.15	373 472.337
13 0	21 29 7.152	-12 3 28.75	405 859.954	24 0	6 44 33.111	23 43 12.37	372 440.571
6	21 40 14.659	-10 54 10.92	405 708.329	6	6 59 34.198	23 6 7.99	371 427.246
12	21 51 17.848	-9 43 18.58	405 507.190	12	7 14 31.401	22 23 32.25	370 437.036
18	22 2 17.359	-8 31 1.00	405 258.857	18	7 29 23.805	21 35 34.26	369 474.846
14 0	22 13 13.853	-7 17 27.46	404 965.633	25 0	7 44 10.641	20 42 24.89	368 545.787
6	22 24 8.009	-6 2 47.26	404 629.788	6	7 58 51.296	19 44 16.66	367 655.132
12	22 35 0.522	-4 47 9.75	404 253.532	12	8 13 25.317	18 41 23.62	366 808.273
18	22 45 52.098	-3 30 44.34	403 839.009	18	8 27 52.410	17 34 1.21	366 010.675
15 0	22 56 43.458	-2 13 40.56	403 388.273	26 0	8 42 12.436	16 22 26.11	365 267.815
6	23 7 35.332	-0 56 8.05	402 903.278	6	8 56 25.402	15 6 56.15	364 585.130
12	23 18 28.457	0 21 43.38	402 385.866	12	9 10 31.453	13 47 50.15	363 967.952
18	23 29 23.579	1 39 43.75	401 837.756	18	9 24 30.862	12 25 27.81	363 421.441
16 0	23 40 21.446	2 57 42.85	401 260.538	27 0	9 38 24.008	11 0 9.61	362 950.525
6	23 51 22.812	4 15 30.25	400 655.667	6	9 52 11.373	9 32 16.69	362 559.825
12	0 2 28.430	5 32 55.23	400 024.459	12	10 5 53.520	8 2 10.75	362 253.595
18	0 13 39.051	6 49 46.79	399 368.090	18	10 19 31.082	6 30 13.95	362 035.657
17 0	0 24 55.422	8 5 53.64	398 687.600	28 0	10 33 4.747	4 56 48.83	361 909.337
6	0 36 18.280	9 21 4.11	397 983.897	6	10 46 35.243	3 22 18.21	361 877.415
12	0 47 48.351	10 35 6.22	397 257.759	12	11 0 3.328	1 47 5.10	361 942.072
18	0 59 26.339	11 47 47.59	396 509.850	18	11 13 29.776	0 11 32.58	362 104.848

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars	29 0	11 26 55.361	- 1 23 56.23	362 366.605	Avril	9 0	21 15 41.520	-13 11 32.74	404 994.300
	6	11 40 20.851	- 2 58 58.33	362 727.510		6	21 26 54.958	-12 4 49.94	404 991.343
	12	11 53 46.991	- 4 33 10.88	363 187.011		12	21 38 3.210	-10 56 24.48	404 916.942
	18	12 7 14.495	- 6 6 11.35	363 743.834		18	21 49 6.980	- 9 46 25.11	404 773.256
	30 0	12 20 44.031	- 7 37 37.58	364 395.991	10 0	22 0 6.994	- 8 35 0.48	404 562.689	
	6	12 34 16.213	- 9 7 7.90	365 140.790	6	22 11 3.992	- 7 22 19.20	404 287.866	
	12	12 47 51.588	-10 34 21.24	365 974.861	12	22 21 58.731	- 6 8 29.88	403 951.613	
	18	13 1 30.624	-11 58 57.21	366 894.187	18	22 32 51.976	- 4 53 41.15	403 556.932	
	31 0	13 15 13.703	-13 20 36.25	367 894.150	11 0	22 43 44.505	- 3 38 1.75	403 106.979	
	6	13 29 1.106	-14 38 59.67	368 969.570	6	22 54 37.104	- 2 21 40.53	402 605.040	
	12	13 42 53.010	-15 53 49.82	370 114.766	12	23 5 30.562	- 1 4 46.56	402 054.501	
	18	13 56 49.474	-17 4 50.17	371 323.614	18	23 16 25.676	0 12 30.91	401 458.833	
Avril	1 0	14 10 50.439	-18 11 45.41	372 589.605	12 0	23 27 23.244	1 30 2.32	400 821.556	
	6	14 24 55.717	-19 14 21.54	373 905.912	6	23 38 24.065	2 47 37.80	400 146.225	
	12	14 39 4.998	-20 12 25.96	375 265.455	12	23 49 28.935	4 5 7.15	399 436.396	
	18	14 53 17.842	-21 5 47.60	376 660.967	18	0 0 38.650	5 22 19.75	398 695.608	
	2 0	15 7 33.691	-21 54 16.92	378 085.056	13 0	0 11 53.994	6 39 4.54	397 927.357	
	6	15 21 51.873	-22 37 46.01	379 530.272	6	0 23 15.744	7 55 10.03	397 135.073	
	12	15 36 11.612	-23 16 8.64	380 989.163	12	0 34 44.659	9 10 24.23	396 322.101	
	18	15 50 32.046	-23 49 20.25	382 454.333	18	0 46 21.477	10 24 34.63	395 491.678	
	3 0	16 4 52.240	-24 17 17.97	383 918.498	14 0	0 58 6.911	11 37 28.23	394 646.913	
	6	16 19 11.208	-24 40 0.62	385 374.529	6	1 10 1.637	12 48 51.51	393 790.775	
	12	16 33 27.935	-24 57 28.62	386 815.503	12	1 22 6.290	13 58 30.42	392 926.074	
	18	16 47 41.395	-25 9 43.97	388 234.742	18	1 34 21.449	15 6 10.46	392 055.448	
	4 0	17 1 50.577	-25 16 50.11	389 625.846	15 0	1 46 47.633	16 11 36.66	391 181.356	
	6	17 15 54.507	-25 18 51.88	390 982.726	6	1 59 25.285	17 14 33.65	390 306.066	
	12	17 29 52.262	-25 15 55.32	392 299.636	12	2 12 14.760	18 14 45.73	389 431.653	
	18	17 43 42.993	-25 8 7.60	393 571.187	18	2 25 16.314	19 11 56.96	388 559.995	
	5 0	17 57 25.941	-24 55 36.83	394 792.375	16 0	2 38 30.088	20 5 51.27	387 692.773	
	6	18 11 0.441	-24 38 31.92	395 958.591	6	2 51 56.099	20 56 12.56	386 831.478	
	12	18 24 25.940	-24 17 2.47	397 065.634	12	3 5 34.225	21 42 44.88	385 977.413	
	18	18 37 41.993	-23 51 18.55	398 109.721	18	3 19 24.199	22 25 12.58	385 131.705	
	6 0	18 50 48.273	-23 21 30.65	399 087.491	17 0	3 33 25.598	23 3 20.49	384 295.316	
	6	19 3 44.565	-22 47 49.47	399 996.007	6	3 47 37.840	23 36 54.14	383 469.059	
	12	19 16 30.766	-22 10 25.87	400 832.760	12	4 2 0.187	24 5 39.93	382 653.615	
	18	19 29 6.878	-21 29 30.75	401 595.661	18	4 16 31.744	24 29 25.37	381 849.551	
	7 0	19 41 33.005	-20 45 14.97	402 283.040	18 0	4 31 11.476	24 47 59.26	381 057.344	
	6	19 53 49.340	-19 57 49.27	402 893.640	6	4 45 58.217	25 1 11.90	380 277.402	
	12	20 5 56.162	-19 7 24.23	403 426.608	12	5 0 50.696	25 8 55.26	379 510.089	
	18	20 17 53.827	-18 14 10.22	403 881.482	18	5 15 47.555	25 11 3.14	378 755.751	
	8 0	20 29 42.756	-17 18 17.40	404 258.184	19 0	5 30 47.387	25 7 31.27	378 014.741	
	6	20 41 23.434	-16 19 55.69	404 557.004	6	5 45 48.759	24 58 17.38	377 287.444	
	12	20 52 56.394	-15 19 14.75	404 778.588	12	6 0 50.250	24 43 21.29	376 574.304	
	18	21 4 22.216	-14 16 24.02	404 923.918	18	6 15 50.481	24 22 44.84	375 875.850	

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Avril 20 0	6 30 48.148	23 56 31.89	375 192.712	Mai 1 0	16 39 37.633	-24 52 20.44	385 417.497
6	6 45 42.046	23 24 48.25	374 525.653	6	16 54 1.496	-25 1 55.97	386 666.585
12	7 0 31.099	22 47 41.51	373 875.580	12	17 8 21.051	-25 6 17.35	387 912.505
18	7 15 14.371	22 5 20.98	373 243.562	18	17 22 35.143	-25 5 29.62	389 149.223
21 0	7 29 51.085	21 17 57.48	372 630.846	2 0	17 36 42.686	-24 59 39.31	390 370.763
6	7 44 20.629	20 25 43.20	372 038.866	6	17 50 42.685	-24 48 54.28	391 571.239
12	7 58 42.559	19 28 51.56	371 469.248	12	18 4 34.255	-24 33 23.54	392 744.897
18	8 12 56.598	18 27 36.98	370 923.813	18	18 18 16.630	-24 13 17.05	393 886.151
22 0	8 27 2.632	17 22 14.82	370 404.575	3 0	18 31 49.176	-23 48 45.59	394 989.609
6	8 41 0.697	16 13 1.16	369 913.734	6	18 45 11.394	-23 20 0.48	396 050.106
12	8 54 50.973	15 0 12.73	369 453.664	12	18 58 22.924	-22 47 13.49	397 062.733
18	9 8 33.767	13 44 6.77	369 026.899	18	19 11 23.539	-22 10 36.66	398 022.856
23 0	9 22 9.504	12 25 0.98	368 636.112	4 0	19 24 13.142	-21 30 22.12	398 926.144
6	9 35 38.708	11 3 13.41	368 284.089	6	19 36 51.760	-20 46 41.98	399 768.582
12	9 49 1.993	9 39 2.41	367 973.701	12	19 49 19.533	-19 59 48.25	400 546.494
18	10 2 20.044	8 12 46.60	367 707.871	18	20 1 36.707	-19 9 52.72	401 256.553
24 0	10 15 33.608	6 44 44.85	367 489.538	5 0	20 13 43.621	-18 17 6.90	401 895.794
6	10 28 43.478	5 15 16.21	367 321.616	6	20 25 40.697	-17 21 41.98	402 461.628
12	10 41 50.482	3 44 39.93	367 206.954	12	20 37 28.433	-16 23 48.79	402 951.844
18	10 54 55.473	2 13 15.43	367 148.291	18	20 49 7.390	-15 23 37.79	403 364.621
25 0	11 7 59.318	0 41 22.27	367 148.214	6 0	21 0 38.183	-14 21 19.06	403 698.526
6	11 21 2.881	- 0 50 39.82	367 209.110	6	21 12 1.477	-13 17 2.31	403 952.525
12	11 34 7.023	- 2 22 31.02	367 333.124	12	21 23 17.973	-12 10 56.92	404 125.973
18	11 47 12.582	- 3 53 51.42	367 522.115	18	21 34 28.410	-11 3 11.92	404 218.621
26 0	12 0 20.368	- 5 24 21.03	367 777.619	7 0	21 45 33.553	- 9 53 56.10	404 230.613
6	12 13 31.149	- 6 53 39.87	368 100.805	6	21 56 34.189	- 8 43 17.99	404 162.477
12	12 26 45.645	- 8 21 28.02	368 492.448	12	22 7 31.128	- 7 31 25.93	404 015.121
18	12 40 4.509	- 9 47 25.63	368 952.898	18	22 18 25.194	- 6 18 28.14	403 789.830
27 0	12 53 28.322	-11 11 13.09	369 482.053	8 0	22 29 17.225	- 5 4 32.75	403 488.248
6	13 6 57.579	-12 32 31.03	370 079.346	6	22 40 8.071	- 3 49 47.87	403 112.379
12	13 20 32.677	-13 51 0.50	370 743.728	12	22 50 58.592	- 2 34 21.66	402 664.564
18	13 34 13.904	-15 6 23.03	371 473.666	18	23 1 49.655	- 1 18 22.36	402 147.472
28 0	13 48 1.428	-16 18 20.80	372 267.139	9 0	23 12 42.132	- 0 1 58.39	401 564.088
6	14 1 55.287	-17 26 36.75	373 121.646	6	23 23 36.901	1 14 41.58	400 917.688
12	14 15 55.382	-18 30 54.76	374 034.222	12	23 34 34.844	2 31 28.63	400 211.828
18	14 30 1.470	-19 30 59.75	375 001.450	18	23 45 36.841	3 48 13.45	399 450.318
29 0	14 44 13.165	-20 26 37.87	376 019.488	10 0	23 56 43.773	5 4 46.34	398 637.205
6	14 58 29.931	-21 17 36.65	377 084.098	6	0 7 56.514	6 20 57.10	397 776.743
12	15 12 51.093	-22 3 45.09	378 190.677	12	0 19 15.931	7 36 35.03	396 873.374
18	15 27 15.841	-22 44 53.85	379 334.294	18	0 30 42.877	8 51 28.84	395 931.701
30 0	15 41 43.246	-23 20 55.32	380 509.729	11 0	0 42 18.188	10 5 26.61	394 956.453
6	15 56 12.273	-23 51 43.70	381 711.515	6	0 54 2.674	11 18 15.77	393 952.465
12	16 10 41.805	-24 17 15.05	382 933.978	12	1 5 57.111	12 29 43.09	392 924.640
18	16 25 10.662	-24 37 27.36	384 171.288	18	1 18 2.232	13 39 34.63	391 877.921

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mai 12	0	1 30 18.718	14 47 35.75	390 817.260	Mai 23	0	11 45 53.352	- 3 55 26.94	371 492.846
	6	1 42 47.182	15 53 31.17	389 747.581		6	11 58 42.555	- 5 23 22.77	371 844.264
	12	1 55 28.159	16 57 4.95	388 673.751		12	12 11 34.221	- 6 50 9.36	372 229.290
	18	2 8 22.089	17 58 0.61	387 600.545		18	12 24 29.172	- 8 15 29.47	372 648.488
13	0	2 21 29.299	18 56 1.17	386 532.617	24	0	12 37 28.176	- 9 39 5.89	373 102.397
	6	2 34 49.992	19 50 49.32	385 474.462		6	12 50 31.932	-11 0 41.48	373 591.506
	12	2 48 24.227	20 42 7.51	384 430.394		12	13 3 41.067	-12 19 59.23	374 116.225
	18	3 2 11.904	21 29 38.17	383 404.512		18	13 16 56.118	-13 36 42.26	374 676.853
14	0	3 16 12.750	22 13 3.90	382 400.674	25	0	13 30 17.523	-14 50 33.92	375 273.554
	6	3 30 26.311	22 52 7.68	381 422.478		6	13 43 45.611	-16 1 17.87	375 906.328
	12	3 44 51.941	23 26 33.18	380 473.234		12	13 57 20.588	-17 8 38.16	376 574.984
	18	3 59 28.805	23 56 4.98	379 555.954		18	14 11 2.530	-18 12 19.38	377 279.121
15	0	4 14 15.880	24 20 28.87	378 673.332	26	0	14 24 51.373	-19 12 6.76	378 018.105
	6	4 29 11.966	24 39 32.12	377 827.735		6	14 38 46.907	-20 7 46.34	378 791.051
	12	4 44 15.704	24 53 3.74	377 021.202		12	14 52 48.771	-20 59 5.09	379 596.812
	18	4 59 25.603	25 0 54.76	376 255.436		18	15 6 56.453	-21 45 51.08	380 433.966
16	0	5 14 40.065	25 2 58.36	375 531.808	27	0	15 21 9.292	-22 27 53.65	381 300.807
	6	5 29 57.429	24 59 10.10	374 851.369		6	15 35 26.489	-23 5 3.54	382 195.348
	12	5 45 16.003	24 49 27.97	374 214.853		12	15 49 47.111	-23 37 13.05	383 115.314
	18	6 0 34.110	24 33 52.48	373 622.699		18	16 4 10.115	-24 4 16.09	384 058.152
17	0	6 15 50.125	24 12 26.60	373 075.066	28	0	16 18 34.362	-24 26 8.37	385 021.037
	6	6 31 2.516	23 45 15.71	372 571.856		6	16 32 58.646	-24 42 47.38	386 000.880
	12	6 46 9.876	23 12 27.47	372 112.740		12	16 47 21.713	-24 54 12.44	386 994.348
	18	7 1 10.951	22 34 11.64	371 697.187		18	17 1 42.295	-25 0 24.71	387 997.876
18	0	7 16 4.665	21 50 39.88	371 324.489	29	0	17 15 59.134	-25 1 27.10	389 007.690
	6	7 30 50.130	21 2 5.51	370 993.800		6	17 30 11.015	-24 57 24.24	390 019.829
	12	7 45 26.655	20 8 43.28	370 704.158		12	17 44 16.785	-24 48 22.30	391 030.169
	18	7 59 53.752	19 10 49.10	370 454.529		18	17 58 15.379	-24 34 28.93	392 034.448
19	0	8 14 11.124	18 8 39.85	370 243.828	30	0	18 12 5.842	-24 15 53.00	393 028.293
	6	8 28 18.662	17 2 33.11	370 070.958		6	18 25 47.338	-23 52 44.49	394 007.252
	12	8 42 16.432	15 52 46.96	369 934.835		12	18 39 19.167	-23 25 14.28	394 966.817
	18	8 56 4.656	14 39 39.87	369 834.417		18	18 52 40.767	-22 53 33.95	395 902.459
20	0	9 9 43.700	13 23 30.48	369 768.731	31	0	19 5 51.718	-22 17 55.63	396 809.654
	6	9 23 14.058	12 4 37.50	369 736.889		6	19 18 51.742	-21 38 31.76	397 683.911
	12	9 36 36.327	10 43 19.64	369 738.114		12	19 31 40.696	-20 55 35.02	398 520.804
	18	9 49 51.201	9 19 55.52	369 771.749		18	19 44 18.565	-20 9 18.10	399 316.000
21	0	10 2 59.448	7 54 43.62	369 837.274	Juin 1	0	19 56 45.458	-19 19 53.62	400 065.283
	6	10 16 1.896	6 28 2.26	369 934.307		6	20 9 1.593	-18 27 34.04	400 764.583
	12	10 28 59.422	5 0 9.59	370 062.610		12	20 21 7.286	-17 32 31.53	401 410.002
	18	10 41 52.938	3 31 23.60	370 222.090		18	20 33 2.948	-16 34 57.95	401 997.837
22	0	10 54 43.381	2 2 2.10	370 412.790	2	0	20 44 49.063	-15 35 4.75	402 524.601
	6	11 7 31.697	0 32 22.78	370 634.880		6	20 56 26.189	-14 33 3.01	402 987.050
	12	11 20 18.838	- 0 57 16.80	370 888.649		12	21 7 54.941	-13 29 3.37	403 382.200
	18	11 33 5.747	- 2 26 39.17	371 174.482		18	21 19 15.986	-12 23 16.05	403 707.343

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km
Juin	3 0	21 30	30.034	-11 15	50.86		403960.074	Juin	14 0	6 57	18.859	22 40	12.17		367470.817
	6	21 41	37.833	-10 6	57.22		404138.296		6	7 12	37.269	21 56	27.30		367028.008
	12	21 52	40.163	-8 56	44.19		404240.243		12	7 27	47.468	21 7	20.83		366661.157
	18	22 3	37.829	-7 45	20.52		404264.491		18	7 42	48.473	20 13	8.90		366370.011
4 0	22 14	31.658	-6 32	54.69		404209.970	15 0	7 57	39.527	19 14	9.25		366153.829		
6	22 25	22.498	-5 19	34.93		404075.973	6	8 12	20.094	18 10	40.97		366011.408		
12	22 36	11.213	-4 5	29.34		403862.168	12	8 26	49.861	17 3	4.16		365941.121		
18	22 46	58.681	-2 50	45.88		403568.606	18	8 41	8.716	15 51	39.67		365940.947		
5 0	22 57	45.790	-1 35	32.48		403195.721	16 0	8 55	16.739	14 36	48.77		366008.523		
6	23 8	33.443	-0 19	57.08		402744.343	6	9 9	14.184	13 18	53.02		366141.179		
12	23 19	22.550	0 55	52.28		402215.696	12	9 23	1.453	11 58	13.97		366335.994		
18	23 30	14.028	2 11	47.41		401611.399	18	9 36	39.084	10 35	13.05		366589.838		
6 0	23 41	8.803	3 27	39.90		400933.466	17 0	9 50	7.724	9 10	11.42		366899.423		
6	23 52	7.803	4 43	21.04		400184.307	6	10 3	28.113	7 43	29.88		367261.352		
12	0 3	11.961	5 58	41.75		399366.716	12	10 16	41.069	6 15	28.79		367672.165		
18	0 14	22.207	7 13	32.50		398483.871	18	10 29	47.465	4 46	28.01		368128.382		
7 0	0 25	39.467	8 27	43.27		397539.321	18 0	10 42	48.220	3 16	46.89		368626.548		
6	0 37	4.662	9 41	3.45		396536.978	6	10 55	44.283	1 46	44.28		369163.266		
12	0 48	38.694	10 53	21.81		395481.100	12	11 8	36.619	0 16	38.52		369735.238		
18	1 0	22.447	12 4	26.42		394376.275	18	11 21	26.204	-1 13	12.55		370339.290		
8 0	1 12	16.775	13 14	4.62		393227.403	19 0	11 34	14.005	-2 42	31.53		370972.398		
6	1 24	22.492	14 22	2.98		392039.674	6	11 47	0.981	-4 11	1.43		371631.712		
12	1 36	40.362	15 28	7.26		390818.541	12	11 59	48.064	-5 38	25.67		372314.570		
18	1 49	11.082	16 32	2.47		389569.694	18	12 12	36.159	-7 4	28.01		373018.508		
9 0	2 1	55.271	17 33	32.80		388299.027	20 0	12 25	26.127	-8 28	52.51		373741.270		
6	2 14	53.449	18 32	21.75		387012.606	6	12 38	18.781	-9 51	23.54		374480.808		
12	2 28	6.022	19 28	12.15		385716.632	12	12 51	14.876	-11 11	45.74		375235.279		
18	2 41	33.261	20 20	46.27		384417.399	18	13 4	15.098	-12 29	44.01		376003.044		
10 0	2 55	15.283	21 9	46.01		383121.255	21 0	13 17	20.055	-13 45	3.52		376782.653		
6	3 9	12.032	21 54	53.01		381834.556	6	13 30	30.266	-14 57	29.72		377572.833		
12	3 23	23.259	22 35	48.93		380563.622	12	13 43	46.153	-16 6	48.41		378372.476		
18	3 37	48.515	23 12	15.68		379314.684	18	13 57	8.031	-17 12	45.74		379180.616		
11 0	3 52	27.132	23 43	55.72		378093.842	22 0	14 10	36.096	-18 15	8.28		379996.413		
6	4 7	18.228	24 10	32.36		376907.013	6	14 24	10.419	-19 13	43.16		380819.126		
12	4 22	20.699	24 31	50.13		375759.883	12	14 37	50.940	-20 8	18.07		381648.095		
18	4 37	33.242	24 47	35.08		374657.857	18	14 51	37.459	-20 58	41.46		382482.716		
12 0	4 52	54.361	24 57	35.16		373606.021	23 0	15 5	29.638	-21 44	42.59		383322.413		
6	5 8	22.405	25 1	40.50		372609.090	6	15 19	26.999	-22 26	11.70		384166.618		
12	5 23	55.596	24 59	43.66		371671.373	12	15 33	28.927	-23 3	0.10		385014.748		
18	5 39	32.077	24 51	39.91		370796.737	18	15 47	34.680	-23 35	0.31		385866.177		
13 0	5 55	9.951	24 37	27.35		369988.578	24 0	16 1	43.396	-24 2	6.20		386720.221		
6	6 10	47.335	24 17	6.98		369249.791	6	16 15	54.112	-24 24	13.03		387576.112		
12	6 26	22.404	23 50	42.71		368582.758	12	16 30	5.781	-24 41	17.60		388432.985		
18	6 41	53.437	23 18	21.29		367989.328	18	16 44	17.292	-24 53	18.26		389289.856		

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juin	25 0	16 58 27.493	-25 0 14.96	390 145.613	Juill.	6 0	1 43 15.603	16 5 9.19	392 947.457
	6	17 12 35.221	-25 2 9.24	390 999.001		6	1 55 40.095	17 6 37.27	391 657.285
	12	17 26 39.321	-24 59 4.24	391 848.612		12	2 8 17.943	18 5 37.59	390 322.767
	18	17 40 38.672	-24 51 4.59	392 692.883		18	2 21 9.727	19 1 54.69	388 949.156
	26 0	17 54 32.215	-24 38 16.35	393 530.086	7 0	2 34 15.924	19 55 12.46	387 542.081	
	6	18 8 18.966	-24 20 46.87	394 358.331	6	2 47 36.888	20 45 14.13	386 107.526	
	12	18 21 58.040	-23 58 44.72	395 175.563	12	3 1 12.832	21 31 42.46	384 651.803	
	18	18 35 28.660	-23 32 19.47	395 979.569	18	3 15 3.809	22 14 19.82	383 181.521	
	27 0	18 48 50.171	-23 1 41.58	396 767.982	8 0	3 29 9.691	22 52 48.39	381 703.558	
	6	19 2 2.041	-22 27 2.22	397 538.291	6	3 43 30.157	23 26 50.41	380 225.017	
	12	19 15 3.869	-21 48 33.11	398 287.851	12	3 58 4.675	23 56 8.42	378 753.180	
	18	19 27 55.385	-21 6 26.36	399 013.893	18	4 12 52.501	24 20 25.57	377 295.469	
	28 0	19 40 36.439	-20 20 54.37	399 713.544	9 0	4 27 52.669	24 39 25.93	375 859.384	
	6	19 53 7.004	-19 32 9.63	400 383.836	6	4 43 4.006	24 52 54.84	374 452.449	
	12	20 5 27.164	-18 40 24.65	401 021.731	12	4 58 25.137	25 0 39.28	373 082.154	
	18	20 17 37.107	-17 45 51.84	401 624.135	18	5 13 54.515	25 2 28.17	371 755.888	
	29 0	20 29 37.117	-16 48 43.41	402 187.920	10 0	5 29 30.447	24 58 12.73	370 480.876	
	6	20 41 27.561	-15 49 11.36	402 709.943	6	5 45 11.133	24 47 46.74	369 264.109	
	12	20 53 8.884	-14 47 27.35	403 187.074	12	6 0 54.709	24 31 6.77	368 112.277	
	18	21 4 41.596	-13 43 42.69	403 616.208	18	6 16 39.295	24 8 12.32	367 031.702	
	30 0	21 16 6.269	-12 38 8.37	403 994.298	11 0	6 32 23.044	23 39 5.94	366 028.273	
	6	21 27 23.521	-11 30 54.94	404 318.373	6	6 48 4.185	23 3 53.19	365 107.384	
	12	21 38 34.020	-10 22 12.60	404 585.561	12	7 3 41.070	22 22 42.63	364 273.874	
	18	21 49 38.465	-9 12 11.19	404 793.113	18	7 19 12.205	21 35 45.60	363 531.976	
Juill.	1 0	22 0 37.594	-8 1 0.17	404 938.427	12 0	7 34 36.286	20 43 16.09	362 885.275	
	6	22 11 32.168	-6 48 48.69	405 019.069	6	7 49 52.213	19 45 30.43	362 336.668	
	12	22 22 22.976	-5 35 45.60	405 032.798	12	8 4 59.108	18 42 47.04	361 888.332	
	18	22 33 10.824	-4 21 59.50	404 977.583	18	8 19 56.313	17 35 26.06	361 541.715	
	2 0	22 43 56.539	-3 7 38.78	404 851.632	13 0	8 34 43.394	16 23 49.09	361 297.518	
	6	22 54 40.964	-1 52 51.67	404 653.404	6	8 49 20.125	15 8 18.81	361 155.706	
	12	23 5 24.955	-0 37 46.29	404 381.635	12	9 3 46.478	13 49 18.71	361 115.512	
	18	23 16 9.382	0 37 29.30	404 035.358	18	9 18 2.607	12 27 12.80	361 175.467	
	3 0	23 26 55.128	1 52 47.00	403 613.914	14 0	9 32 8.822	11 2 25.31	361 333.429	
	6	23 37 43.083	3 7 58.68	403 116.979	6	9 46 5.578	9 35 20.51	361 586.624	
	12	23 48 34.148	4 22 56.05	402 544.573	12	9 59 53.446	8 6 22.48	361 931.697	
	18	23 59 29.231	5 37 30.61	401 897.077	18	10 13 33.098	6 35 54.96	362 364.766	
	4 0	0 10 29.246	6 51 33.63	401 175.248	15 0	10 27 5.286	5 4 21.21	362 881.482	
	6	0 21 35.109	8 4 55.99	400 380.231	6	10 40 30.824	3 32 3.90	363 477.096	
	12	0 32 47.736	9 17 28.20	399 513.569	12	10 53 50.574	1 59 25.04	364 146.526	
	18	0 44 8.040	10 29 0.30	398 577.212	18	11 7 5.428	0 26 45.95	364 884.423	
	5 0	0 55 36.923	11 39 21.76	397 573.524	16 0	11 20 16.294	-1 5 32.83	365 685.243	
	6	1 7 15.272	12 48 21.49	396 505.289	6	11 33 24.089	-2 37 11.47	366 543.309	
	12	1 19 3.954	13 55 47.73	395 375.711	12	11 46 29.721	-4 7 50.92	367 452.882	
	18	1 31 3.801	15 1 28.03	394 188.419	18	11 59 34.080	-5 37 12.87	368 408.214	

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juill. 17	0	12 12 38.032	- 7 4 59.71	369 403.613	Juill. 28	0	21 48 8.536	- 9 23 54.96	405 553.412
	6	12 25 42.403	- 8 30 54.55	370 433.489		6	21 59 8.897	- 8 12 58.70	405 727.461
	12	12 38 47.975	- 9 54 41.14	371 492.400		12	22 10 4.580	- 7 1 0.77	405 853.737
	18	12 51 55.473	-11 16 3.89	372 575.099		18	22 20 56.288	- 5 48 10.61	405 930.300
18	0	13 5 5.561	-12 34 47.82	373 676.564	29	0	22 31 44.746	- 4 34 37.42	405 955.207
	6	13 18 18.825	-13 50 38.56	374 792.025		6	22 42 30.695	- 3 20 30.21	405 926.535
	12	13 31 35.771	-15 3 22.32	375 916.994		12	22 53 14.893	- 2 5 57.80	405 842.401
	18	13 44 56.816	-16 12 45.95	377 047.277		18	23 3 58.115	- 0 51 8.87	405 700.982
19	0	13 58 22.275	-17 18 36.86	378 178.987	30	0	23 14 41.145	0 23 48.00	405 500.538
	6	14 11 52.359	-18 20 43.15	379 308.552		6	23 25 24.783	1 38 44.29	405 239.433
	12	14 25 27.163	-19 18 53.56	380 432.716		12	23 36 9.834	2 53 31.50	404 916.163
	18	14 39 6.668	-20 12 57.58	381 548.537		18	23 46 57.117	4 8 1.08	404 529.370
20	0	14 52 50.730	-21 2 45.47	382 653.380	31	0	23 57 47.454	5 22 4.41	404 077.875
	6	15 6 39.083	-21 48 8.35	383 744.906		6	0 8 41.677	6 35 32.76	403 560.696
	12	15 20 31.341	-22 28 58.28	384 821.061		12	0 19 40.618	7 48 17.18	402 977.071
	18	15 34 26.997	-23 5 8.30	385 880.056		18	0 30 45.113	9 0 8.49	402 326.487
21	0	15 48 25.432	-23 36 32.55	386 920.351	Août 1	0	0 41 55.996	10 10 57.23	401 608.694
	6	16 2 25.929	-24 3 6.33	387 940.633		6	0 53 14.096	11 20 33.59	400 823.734
	12	16 16 27.676	-24 24 46.16	388 939.797		12	1 4 40.230	12 28 47.36	399 971.960
	18	16 30 29.792	-24 41 29.83	389 916.917		18	1 16 15.204	13 35 27.87	399 054.058
22	0	16 44 31.336	-24 53 16.45	390 871.226	2	0	1 27 59.800	14 40 23.99	398 071.062
	6	16 58 31.333	-25 0 6.47	391 802.093		6	1 39 54.769	15 43 24.03	397 024.380
	12	17 12 28.787	-25 2 1.66	392 708.991		12	1 52 0.826	16 44 15.77	395 915.803
	18	17 26 22.712	-24 59 5.13	393 591.481		18	2 4 18.634	17 42 46.38	394 747.527
23	0	17 40 12.141	-24 51 21.24	394 449.182	3	0	2 16 48.797	18 38 42.49	393 522.161
	6	17 53 56.155	-24 38 55.57	395 281.752		6	2 29 31.843	19 31 50.12	392 242.739
	12	18 7 33.896	-24 21 54.82	396 088.862		12	2 42 28.211	20 21 54.78	390 912.732
	18	18 21 4.581	-24 0 26.74	396 870.177		18	2 55 38.234	21 8 41.46	389 536.048
24	0	18 34 27.517	-23 34 39.99	397 625.335	4	0	3 9 2.128	21 51 54.78	388 117.038
	6	18 47 42.109	-23 4 44.04	398 353.934		6	3 22 39.969	22 31 19.03	386 660.491
	12	19 0 47.869	-22 30 49.06	399 055.507		12	3 36 31.686	23 6 38.35	385 171.633
	18	19 13 44.415	-21 53 5.75	399 729.515		18	3 50 37.041	23 37 36.91	383 656.112
25	0	19 26 31.475	-21 11 45.30	400 375.333	5	0	4 4 55.623	24 3 59.07	382 119.988
	6	19 39 8.886	-20 26 59.17	400 992.237		6	4 19 26.838	24 25 29.63	380 569.706
	12	19 51 36.588	-19 38 59.08	401 579.401		12	4 34 9.910	24 41 54.11	379 012.080
	18	20 3 54.620	-18 47 56.84	402 135.886		18	4 49 3.883	24 52 59.00	377 454.253
26	0	20 16 3.115	-17 54 4.32	402 660.641	6	0	5 4 7.631	24 58 32.05	375 903.662
	6	20 28 2.291	-16 57 33.31	403 152.497		6	5 19 19.875	24 58 22.57	374 367.998
	12	20 39 52.446	-15 58 35.51	403 610.172		12	5 34 39.203	24 52 21.69	372 855.148
	18	20 51 33.946	-14 57 22.43	404 032.274		18	5 50 4.104	24 40 22.65	371 373.147
27	0	21 3 7.223	-13 54 5.39	404 417.301	7	0	6 5 32.999	24 22 21.01	369 930.110
	6	21 14 32.763	-12 48 55.46	404 763.656		6	6 21 4.278	23 58 14.82	368 534.166
	12	21 25 51.103	-11 42 3.44	405 069.649		12	6 36 36.339	23 28 4.79	367 193.386
	18	21 37 2.822	-10 33 39.86	405 333.512		18	6 52 7.631	22 51 54.34	365 915.703

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Août 8 0	7 7 36.684	22 9 49.61	364 708.834	Août 19 0	17 27 19.790	-24 52 45.10	393 056.845
6	7 23 2.146	21 21 59.47	363 580.198	6	17 41 6.501	-24 44 57.43	394 124.940
12	7 38 22.810	20 28 35.36	362 536.830	12	17 54 46.953	-24 32 31.77	395 148.963
18	7 53 37.636	19 29 51.22	361 585.306	18	18 8 20.444	-24 15 35.46	396 128.046
9 0	8 8 45.762	18 26 3.22	360 731.652	20 0	18 21 46.345	-23 54 16.68	397 061.568
6	8 23 46.518	17 17 29.61	359 981.280	6	18 35 4.116	-23 28 44.30	397 949.132
12	8 38 39.420	16 4 30.46	359 338.912	12	18 48 13.308	-22 59 7.78	398 790.537
18	8 53 24.174	14 47 27.37	358 808.527	18	19 1 13.566	-22 25 37.10	399 585.756
10 0	9 8 0.661	13 26 43.26	358 393.294	21 0	19 14 4.635	-21 48 22.64	400 334.907
6	9 22 28.929	12 2 42.06	358 095.546	6	19 26 46.354	-21 7 35.08	401 038.232
12	9 36 49.175	10 35 48.48	357 916.746	12	19 39 18.656	-20 23 25.34	401 696.067
18	9 51 1.730	9 6 27.75	357 857.464	18	19 51 41.564	-19 36 4.45	402 308.825
11 0	10 5 7.042	7 35 5.41	357 917.381	22 0	20 3 55.184	-18 45 43.54	402 876.969
6	10 19 5.655	6 2 7.07	358 095.300	6	20 15 59.702	-17 52 33.75	403 400.991
12	10 32 58.195	4 27 58.24	358 389.161	12	20 27 55.375	-16 56 46.15	403 881.390
18	10 46 45.351	2 53 4.16	358 796.080	18	20 39 42.527	-15 58 31.75	404 318.656
12 0	11 0 27.857	1 17 49.63	359 312.402	23 0	20 51 21.540	-14 58 1.45	404 713.252
6	11 14 6.481	- 0 17 21.09	359 933.750	6	21 2 52.846	-13 55 25.98	405 065.592
12	11 27 42.007	- 1 52 4.40	360 655.091	12	21 14 16.927	-12 50 55.92	405 376.037
18	11 41 15.222	- 3 25 57.45	361 470.816	18	21 25 34.302	-11 44 41.68	405 644.873
13 0	11 54 46.904	- 4 58 38.21	362 374.812	24 0	21 36 45.527	-10 36 53.48	405 872.304
6	12 8 17.809	- 6 29 45.52	363 360.542	6	21 47 51.187	- 9 27 41.37	406 058.445
12	12 21 48.661	- 7 58 59.13	364 421.135	12	21 58 51.896	- 8 17 15.22	406 203.314
18	12 35 20.141	- 9 25 59.73	365 549.464	18	22 9 48.286	- 7 5 44.74	406 306.826
14 0	12 48 52.873	-10 50 28.97	366 738.230	25 0	22 20 41.012	- 5 53 19.47	406 368.793
6	13 2 27.422	-12 12 9.49	367 980.039	6	22 31 30.744	- 4 40 8.84	406 388.924
12	13 16 4.275	-13 30 44.92	369 267.481	12	22 42 18.166	- 3 26 22.12	406 366.821
18	13 29 43.839	-14 45 59.87	370 593.194	18	22 53 3.973	- 2 12 8.53	406 301.994
15 0	13 43 26.431	-15 57 39.98	371 949.933	26 0	23 3 48.873	- 0 57 37.17	406 193.854
6	13 57 12.270	-17 5 31.91	373 330.627	6	23 14 33.579	0 17 2.88	406 041.732
12	14 11 1.473	-18 9 23.37	374 728.429	12	23 25 18.815	1 31 42.57	405 844.881
18	14 24 54.046	-19 9 3.11	376 136.761	18	23 36 5.307	2 46 12.85	405 602.494
16 0	14 38 49.886	-20 4 20.99	377 549.352	27 0	23 46 53.787	4 0 24.62	405 313.712
6	14 52 48.777	-20 55 7.98	378 960.269	6	23 57 44.991	5 14 8.74	404 977.643
12	15 6 50.392	-21 41 16.21	380 363.942	12	0 8 39.654	6 27 15.93	404 593.379
18	15 20 54.298	-22 22 38.96	381 755.182	18	0 19 38.511	7 39 36.81	404 160.010
17 0	15 34 59.957	-22 59 10.75	383 129.193	28 0	0 30 42.295	8 51 1.82	403 676.651
6	15 49 6.742	-23 30 47.33	384 481.581	6	0 41 51.731	10 1 21.21	403 142.455
12	16 3 13.945	-23 57 25.69	385 808.352	12	0 53 7.536	11 10 24.99	402 556.641
18	16 17 20.788	-24 19 4.13	387 105.915	18	1 4 30.413	12 18 2.92	401 918.515
18 0	16 31 26.444	-24 35 42.19	388 371.072	29 0	1 16 1.048	13 24 4.45	401 227.493
6	16 45 30.049	-24 47 20.68	389 601.010	6	1 27 40.103	14 28 18.75	400 483.125
12	16 59 30.724	-24 54 1.64	390 793.287	12	1 39 28.210	15 30 34.64	399 685.122
18	17 13 27.591	-24 55 48.32	391 945.816	18	1 51 25.966	16 30 40.59	398 833.380

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Août 30 0	2 3 33.921	17 28 24.71	397 928.003	Sept. 10 0	12 26 40.219	- 8 22 22.43	360 417.380
6	2 15 52.571	18 23 34.80	396 969.334	6	12 40 35.692	- 9 50 19.15	361 320.671
12	2 28 22.350	19 15 58.28	395 957.973	12	12 54 33.814	-11 15 37.51	362 319.661
18	2 41 3.616	20 5 22.28	394 894.803	18	13 8 34.965	-12 37 57.14	363 407.702
31 0	2 53 56.642	20 51 33.67	393 781.017	11 0	13 22 39.433	-13 56 58.84	364 577.675
6	3 7 1.605	21 34 19.12	392 618.137	6	13 36 47.408	-15 12 24.59	365 822.077
12	3 20 18.576	22 13 25.15	391 408.032	12	13 50 58.973	-16 23 57.70	367 133.104
18	3 33 47.507	22 48 38.26	390 152.945	18	14 5 14.099	-17 31 22.86	368 502.743
Sept. 1 0	3 47 28.227	23 19 45.03	388 855.502	12 0	14 19 32.638	-18 34 26.21	369 922.849
6	4 1 20.430	23 46 32.26	387 518.731	6	14 33 54.323	-19 32 55.39	371 385.231
12	4 15 23.675	24 8 47.13	386 146.073	12	14 48 18.770	-20 26 39.61	372 881.722
18	4 29 37.383	24 26 17.35	384 741.389	18	15 2 45.478	-21 15 29.71	374 404.252
2 0	4 44 0.840	24 38 51.36	383 308.969	13 0	15 17 13.841	-21 59 18.15	375 944.913
6	4 58 33.202	24 46 18.53	381 853.528	6	15 31 43.152	-22 37 59.04	377 496.009
12	5 13 13.511	24 48 29.33	380 380.205	12	15 46 12.619	-23 11 28.18	379 050.116
18	5 28 0.705	24 45 15.54	378 894.552	18	16 0 41.381	-23 39 43.01	380 600.118
3 0	5 42 53.642	24 36 30.44	377 402.524	14 0	16 15 8.526	-24 2 42.59	382 139.248
6	5 57 51.119	24 22 8.97	375 910.455	6	16 29 33.108	-24 20 27.56	383 661.117
12	6 12 51.902	24 2 7.88	374 425.033	12	16 43 54.167	-24 33 0.05	385 159.739
18	6 27 54.749	23 36 25.86	372 953.268	18	16 58 10.754	-24 40 23.64	386 629.550
4 0	6 42 58.443	23 5 3.63	371 502.448	15 0	17 12 21.947	-24 42 43.21	388 065.417
6	6 58 1.814	22 28 4.02	370 080.098	6	17 26 26.870	-24 40 4.87	389 462.654
12	7 13 3.769	21 45 31.96	368 693.922	12	17 40 24.709	-24 32 35.79	390 817.015
18	7 28 3.311	20 57 34.52	367 351.747	18	17 54 14.731	-24 20 24.11	392 124.703
5 0	7 42 59.560	20 4 20.87	366 061.447	16 0	18 7 56.290	-24 3 38.79	393 382.358
6	7 57 51.766	19 6 2.18	364 830.881	6	18 21 28.835	-23 42 29.47	394 587.054
12	8 12 39.320	18 2 51.60	363 667.809	12	18 34 51.922	-23 17 6.33	395 736.283
18	8 27 21.760	16 55 4.07	362 579.808	18	18 48 5.210	-22 47 40.01	396 827.947
6 0	8 41 58.771	15 42 56.30	361 574.190	17 0	19 1 8.464	-22 14 21.42	397 860.339
6	8 56 30.182	14 26 46.54	360 657.918	6	19 14 1.553	-21 37 21.68	398 832.126
12	9 10 55.963	13 6 54.49	359 837.509	12	19 26 44.447	-20 56 52.05	399 742.329
18	9 25 16.214	11 43 41.12	359 118.960	18	19 39 17.206	-20 13 3.77	400 590.304
7 0	9 39 31.153	10 17 28.52	358 507.661	18 0	19 51 39.981	-19 26 8.07	401 375.716
6	9 53 41.108	8 48 39.73	358 008.321	6	20 3 53.001	-18 36 16.08	402 098.522
12	10 7 46.499	7 17 38.62	357 624.893	12	20 15 56.571	-17 43 38.77	402 758.944
18	10 21 47.824	5 44 49.63	357 360.530	18	20 27 51.055	-16 48 26.96	403 357.444
8 0	10 35 45.650	4 10 37.72	357 217.520	19 0	20 39 36.881	-15 50 51.27	403 894.703
6	10 49 40.591	2 35 28.11	357 197.258	6	20 51 14.521	-14 51 2.12	404 371.594
12	11 3 33.299	0 59 46.21	357 300.222	12	21 2 44.944	-13 49 9.70	404 789.156
18	11 17 24.449	- 0 36 2.64	357 525.964	18	21 14 7.354	-12 45 24.02	405 148.575
9 0	11 31 14.722	- 2 11 33.21	357 873.109	20 0	21 25 23.689	-11 39 54.90	405 451.154
6	11 45 4.794	- 3 46 20.62	358 339.380	6	21 36 34.110	-10 32 51.94	405 698.292
12	11 58 55.324	- 5 20 0.42	358 921.630	12	21 47 39.252	- 9 24 24.63	405 891.462
18	12 12 46.939	- 6 52 8.74	359 615.881	18	21 58 39.767	- 8 14 42.29	406 032.188

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Sept.	21 0	22 9 36.322	- 7 3 54.12	406 122.020	Oct.	2 0	7 22 59.288	20 59 57.53	373 743.089
	6	22 20 29.595	- 5 52 9.26	406 162.519		6	7 37 25.526	20 10 40.50	372 505.952
	12	22 31 20.275	- 4 39 36.75	406 155.236		12	7 51 48.110	19 16 38.78	371 287.680
	18	22 42 9.057	- 3 26 25.62	406 101.690		18	8 6 6.654	18 18 2.84	370 094.246
	22 0	22 52 56.639	- 2 12 44.89	406 003.357		3 0	8 20 20.898	17 15 4.51	368 931.858
	6	23 3 43.727	- 0 58 43.59	405 861.652		6	8 34 30.707	16 7 56.87	367 806.905
	12	23 14 31.025	0 15 29.19	405 677.915		12	8 48 36.065	14 56 54.21	366 725.915
	18	23 25 19.240	1 29 44.30	405 453.402		18	9 2 37.075	13 42 11.96	365 695.492
	23 0	23 36 9.076	2 43 52.47	405 189.272		4 0	9 16 33.948	12 24 6.64	364 722.257
	6	23 47 1.237	3 57 44.30	404 886.580		6	9 30 26.994	11 2 55.76	363 812.779
	12	23 57 56.419	5 11 10.26	404 546.273		12	9 44 16.615	9 38 57.82	362 973.502
	18	0 8 55.316	6 24 0.63	404 169.183		18	9 58 3.291	8 12 32.19	362 210.675
	24 0	0 19 58.609	7 36 5.49	403 756.028		5 0	10 11 47.570	6 43 59.08	361 530.268
	6	0 31 6.970	8 47 14.71	403 307.413		6	10 25 30.058	5 13 39.48	360 937.898
	12	0 42 21.056	9 57 17.94	402 823.828		12	10 39 11.404	3 41 55.09	360 438.756
	18	0 53 41.506	11 6 4.56	402 305.660		18	10 52 52.292	2 9 8.21	360 037.525
	25 0	1 5 8.935	12 13 23.73	401 753.193		6 0	11 6 33.423	0 35 41.69	359 738.315
	6	1 16 43.932	13 19 4.32	401 166.624		6	11 20 15.507	- 0 58 1.16	359 544.596
	12	1 28 27.052	14 22 54.96	400 546.070		12	11 33 59.251	- 2 31 36.68	359 459.145
	18	1 40 18.810	15 24 44.02	399 891.581		18	11 47 45.342	- 4 4 40.99	359 483.992
	26 0	1 52 19.677	16 24 19.62	399 203.160		7 0	12 1 34.434	- 5 36 50.09	359 620.382
	6	2 4 30.069	17 21 29.68	398 480.776		6	12 15 27.142	- 7 7 40.00	359 868.753
	12	2 16 50.339	18 16 1.92	397 724.384		12	12 29 24.017	- 8 36 46.92	360 228.713
	18	2 29 20.772	19 7 43.91	396 933.946		18	12 43 25.542	-10 3 47.35	360 699.039
	27 0	2 42 1.574	19 56 23.12	396 109.455		8 0	12 57 32.113	-11 28 18.28	361 277.685
	6	2 54 52.864	20 41 47.00	395 250.954		6	13 11 44.028	-12 49 57.37	361 961.804
	12	3 7 54.669	21 23 43.01	394 358.563		12	13 26 1.474	-14 8 23.07	362 747.774
	18	3 21 6.911	22 1 58.77	393 432.502		18	13 40 24.514	-15 23 14.86	363 631.245
	28 0	3 34 29.408	22 36 22.10	392 473.122		9 0	13 54 53.082	-16 34 13.38	364 607.189
	6	3 48 1.865	23 6 41.16	391 480.921		6	14 9 26.968	-17 41 0.64	365 669.956
	12	4 1 43.875	23 32 44.58	390 456.580		12	14 24 5.823	-18 43 20.14	366 813.342
	18	4 15 34.918	23 54 21.55	389 400.981		18	14 38 49.150	-19 40 57.08	368 030.663
	29 0	4 29 34.368	24 11 22.01	388 315.239		10 0	14 53 36.310	-20 33 38.45	369 314.823
	6	4 43 41.495	24 23 36.70	387 200.717		6	15 8 26.528	-21 21 13.18	370 658.392
	12	4 57 55.476	24 30 57.40	386 059.059		12	15 23 18.906	-22 3 32.23	372 053.687
	18	5 12 15.412	24 33 16.95	384 892.203		18	15 38 12.436	-22 40 28.64	373 492.845
	30 0	5 26 40.341	24 30 29.44	383 702.403		11 0	15 53 6.021	-23 11 57.58	374 967.893
	6	5 41 9.257	24 22 30.31	382 492.248		6	16 7 58.500	-23 37 56.37	376 470.827
	12	5 55 41.130	24 9 16.38	381 264.671		12	16 22 48.669	-23 58 24.38	377 993.673
	18	6 10 14.928	23 50 45.99	380 022.964		18	16 37 35.312	-24 13 23.04	379 528.554
Oct.	1 0	6 24 49.641	23 26 59.00	378 770.780		12 0	16 52 17.224	-24 22 55.67	381 067.743
	6	6 39 24.300	22 57 56.86	377 512.140		6	17 6 53.243	-24 27 7.36	382 603.720
	12	6 53 57.996	22 23 42.59	376 251.429		12	17 21 22.270	-24 26 4.84	384 129.218
	18	7 8 29.903	21 44 20.77	374 993.384		18	17 35 43.295	-24 19 56.25	385 637.260

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Oct. 13 0	17 49 55.408	-24 8 50.98	387 121.203	Oct. 24 0	2 29 30.821	19 1 51.93	395 422.038
6	18 3 57.824	-23 52 59.45	388 574.759	6	2 42 20.691	19 50 19.84	394 643.772
12	18 17 49.881	-23 32 32.92	389 992.030	12	2 55 21.093	20 35 28.21	393 853.029
18	18 31 31.054	-23 7 43.27	391 367.521	18	3 8 31.917	21 17 3.91	393 050.924
14 0	18 45 0.955	-22 38 42.86	392 696.157	25 0	3 21 52.937	21 54 54.10	392 238.430
6	18 58 19.329	-22 5 44.31	393 973.298	6	3 35 23.804	22 28 46.34	391 416.386
12	19 11 26.049	-21 29 0.38	395 194.744	12	3 49 4.051	22 58 28.76	390 585.515
18	19 24 21.113	-20 48 43.83	396 356.737	18	4 2 53.088	23 23 50.21	389 746.436
15 0	19 37 4.632	-20 5 7.28	397 455.966	26 0	4 16 50.211	23 44 40.37	388 899.680
6	19 49 36.821	-19 18 23.19	398 489.561	6	4 30 54.609	24 0 49.92	388 045.711
12	20 1 57.986	-18 28 43.71	399 455.085	12	4 45 5.374	24 12 10.71	387 184.950
18	20 14 8.519	-17 36 20.68	400 350.536	18	4 59 21.518	24 18 35.82	386 317.791
16 0	20 26 8.882	-16 41 25.58	401 174.325	27 0	5 13 41.990	24 19 59.72	385 444.632
6	20 37 59.599	-15 44 9.52	401 925.273	6	5 28 5.700	24 16 18.34	384 565.896
12	20 49 41.247	-14 44 43.21	402 602.594	12	5 42 31.538	24 7 29.15	383 682.056
18	21 1 14.448	-13 43 17.01	403 205.877	18	5 56 58.396	23 53 31.18	382 793.666
17 0	21 12 39.860	-12 40 0.90	403 735.075	28 0	6 11 25.198	23 34 25.01	381 901.382
6	21 23 58.169	-11 35 4.53	404 190.484	6	6 25 50.919	23 10 12.82	381 005.990
12	21 35 10.087	-10 28 37.27	404 572.723	12	6 40 14.605	22 40 58.28	380 108.430
18	21 46 16.344	- 9 20 48.19	404 882.714	18	6 54 35.392	22 6 46.56	379 209.819
18 0	21 57 17.683	- 8 11 46.15	405 121.666	29 0	7 8 52.524	21 27 44.19	378 311.472
6	22 8 14.860	- 7 1 39.84	405 291.047	6	7 23 5.362	20 43 58.99	377 414.924
12	22 19 8.637	- 5 50 37.78	405 392.564	12	7 37 13.396	19 55 39.98	376 521.945
18	22 29 59.780	- 4 38 48.44	405 428.142	18	7 51 16.244	19 2 57.29	375 634.552
19 0	22 40 49.060	- 3 26 20.21	405 399.899	30 0	8 5 13.661	18 6 2.03	374 755.023
6	22 51 37.248	- 2 13 21.48	405 310.123	6	8 19 5.531	17 5 6.20	373 885.899
12	23 2 25.115	- 1 0 0.72	405 161.248	12	8 32 51.868	16 0 22.62	373 029.991
18	23 13 13.427	0 13 33.57	404 955.831	18	8 46 32.806	14 52 4.84	372 190.374
20 0	23 24 2.950	1 27 12.69	404 696.526	31 0	9 0 8.592	13 40 27.07	371 370.380
6	23 34 54.442	2 40 47.82	404 386.062	6	9 13 39.582	12 25 44.13	370 573.585
12	23 45 48.654	3 54 9.89	404 027.221	12	9 27 6.222	11 8 11.39	369 803.794
18	23 56 46.328	5 7 9.62	403 622.811	18	9 40 29.046	9 48 4.80	369 065.016
21 0	0 7 48.196	6 19 37.41	403 175.648	Nov. 1 0	9 53 48.660	8 25 40.78	368 361.432
6	0 18 54.972	7 31 23.39	402 688.530	6	10 7 5.735	7 1 16.28	367 697.366
12	0 30 7.356	8 42 17.32	402 164.220	12	10 20 20.993	5 35 8.73	367 077.244
18	0 41 26.024	9 52 8.65	401 605.424	18	10 33 35.200	4 7 36.05	366 505.550
22 0	0 52 51.627	11 0 46.42	401 014.773	2 0	10 46 49.150	2 38 56.66	365 986.776
6	1 4 24.785	12 7 59.35	400 394.807	6	11 0 3.661	1 9 29.45	365 525.372
12	1 16 6.080	13 13 35.74	399 747.959	12	11 13 19.560	- 0 20 26.18	365 125.692
18	1 27 56.050	14 17 23.58	399 076.540	18	11 26 37.672	- 1 50 30.40	364 791.933
23 0	1 39 55.183	15 19 10.50	398 382.730	3 0	11 39 58.811	- 3 20 22.93	364 528.080
6	1 52 3.906	16 18 43.82	397 668.564	6	11 53 23.766	- 4 49 43.08	364 337.848
12	2 4 22.578	17 15 50.62	396 935.932	12	12 6 53.291	- 6 18 9.82	364 224.617
18	2 16 51.484	18 10 17.74	396 186.564	18	12 20 28.089	- 7 45 21.82	364 191.384

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 4	0 12 34 8.800	- 9 10 57.54	364240.709	Nov. 15	0 22 26 57.476	- 4 45 37.80	404479.221
	6 12 47 55.987	-10 34 35.38	364374.664		6 22 37 47.511	- 3 33 38.76	404594.823
	12 13 1 50.120	-11 55 53.72	364594.789		12 22 48 35.813	- 2 21 11.70	404631.148
	18 13 15 51.562	-13 14 31.13	364902.060		18 22 59 23.231	- 1 8 24.49	404589.470
5	0 13 30 0.554	-14 30 6.53	365296.856	16	0 23 10 10.619	0 4 35.00	404471.412
	6 13 44 17.204	-15 42 19.34	365778.938		6 23 20 58.823	1 17 38.84	404278.925
	12 13 58 41.467	-16 50 49.70	366347.435		12 23 31 48.689	2 30 38.96	404014.278
	18 14 13 13.143	-17 55 18.68	367000.842		18 23 42 41.055	3 43 27.12	403680.035
6	0 14 27 51.862	-18 55 28.52	367737.018	17	0 23 53 36.750	4 55 54.83	403279.037
	6 14 42 37.087	-19 51 2.81	368553.206		6 0 4 36.596	6 7 53.32	402814.379
	12 14 57 28.109	-20 41 46.76	369446.047		12 0 15 41.401	7 19 13.48	402289.392
	18 15 12 24.054	-21 27 27.34	370411.611		18 0 26 51.955	8 29 45.79	401707.617
7	0 15 27 23.895	-22 7 53.54	371445.433	18	0 0 38 9.030	9 39 20.33	401072.782
	6 15 42 26.470	-22 42 56.46	372542.554		6 0 49 33.373	10 47 46.71	400388.776
	12 15 57 30.497	-23 12 29.47	373697.565		12 1 1 5.701	11 54 54.06	399659.621
	18 16 12 34.611	-23 36 28.26	374904.659		18 1 12 46.693	13 0 31.00	398889.451
8	0 16 27 37.385	-23 54 50.89	376157.691	19	0 1 24 36.982	14 4 25.65	398082.477
	6 16 42 37.370	-24 7 37.73	377450.223		6 1 36 37.151	15 6 25.61	397242.965
	12 16 57 33.123	-24 14 51.42	378775.593		12 1 48 47.718	16 6 18.01	396375.202
	18 17 12 23.243	-24 16 36.74	380126.965		18 2 1 9.128	17 3 49.52	395483.473
9	0 17 27 6.405	-24 13 0.44	381497.391	20	0 2 13 41.742	17 58 46.43	394572.028
	6 17 41 41.381	-24 4 11.04	382879.863		6 2 26 25.827	18 50 54.68	393645.056
	12 17 56 7.071	-23 50 18.61	384267.374		12 2 39 21.539	19 40 0.00	392706.656
	18 18 10 22.514	-23 31 34.51	385652.963		18 2 52 28.919	20 25 48.00	391760.812
10	0 18 24 26.905	-23 8 11.18	387029.766	21	0 3 5 47.877	21 8 4.28	390811.367
	6 18 38 19.601	-22 40 21.85	388391.065		6 3 19 18.185	21 46 34.63	389861.999
	12 18 52 0.122	-22 8 20.34	389730.326		12 3 32 59.472	22 21 5.18	388916.197
	18 19 5 28.150	-21 32 20.80	391041.239		18 3 46 51.220	22 51 22.59	387977.244
11	0 19 18 43.521	-20 52 37.56	392317.754	22	0 4 0 52.760	23 17 14.25	387048.198
	6 19 31 46.218	-20 9 24.89	393554.109		6 4 15 3.281	23 38 28.46	386131.877
	12 19 44 36.356	-19 22 56.93	394744.862		12 4 29 21.838	23 54 54.68	385230.848
	18 19 57 14.173	-18 33 27.51	395884.910		18 4 43 47.361	24 6 23.68	384347.418
12	0 20 9 40.017	-17 41 10.08	396969.512	23	0 4 58 18.680	24 12 47.76	383483.628
	6 20 21 54.328	-16 46 17.63	397994.308		6 5 12 54.539	24 14 0.86	382641.253
	12 20 33 57.629	-15 49 2.65	398955.327		12 5 27 33.630	24 9 58.71	381821.802
	18 20 45 50.514	-14 49 37.13	399849.004		18 5 42 14.616	24 0 38.92	381026.526
13	0 20 57 33.633	-13 48 12.49	400672.184	24	0 5 56 56.164	23 46 1.05	380256.423
	6 21 9 7.687	-12 44 59.63	401422.128		6 6 11 36.971	23 26 6.58	379512.258
	12 21 20 33.414	-11 40 8.96	402096.521		12 6 26 15.797	23 0 58.89	378794.571
	18 21 31 51.584	-10 33 50.38	402693.464		18 6 40 51.488	22 30 43.23	378103.699
14	0 21 43 2.992	- 9 26 13.38	403211.482	25	0 6 55 23.003	21 55 26.56	377439.802
	6 21 54 8.453	- 8 17 27.02	403649.514		6 7 9 49.426	21 15 17.48	376802.879
	12 22 5 8.794	- 7 7 40.06	404006.912		12 7 24 9.989	20 30 26.03	376192.803
	18 22 16 4.853	- 5 57 0.91	404283.430		18 7 38 24.071	19 41 3.56	375609.344

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Nov. 26	0	7 52 31.214	18 47 22.55	375 052.200	Déc. 7	0	18 1 43.476	-23 39 5.79	384 345.548
	6	8 6 31.112	17 49 36.43	374 521.026		6	18 16 0.575	-23 17 57.22	385 475.162
	12	8 20 23.618	16 47 59.44	374 015.464		12	18 30 7.381	-22 52 9.45	386 617.050
	18	8 34 8.730	15 42 46.46	373 535.174		18	18 44 3.121	-22 21 55.50	387 765.946
27	0	8 47 46.587	14 34 12.90	373 079.863	8	0	18 57 47.190	-21 47 29.15	388 916.446
	6	9 1 17.456	13 22 34.55	372 649.309		6	19 11 19.147	-21 9 4.77	390 063.056
	12	9 14 41.721	12 8 7.51	372 243.389		12	19 24 38.712	-20 26 57.05	391 200.224
	18	9 27 59.871	10 51 8.09	371 862.103		18	19 37 45.761	-19 41 20.85	392 322.380
28	0	9 41 12.486	9 31 52.75	371 505.591	9	0	19 50 40.312	-18 52 30.95	393 423.977
	6	9 54 20.228	8 10 38.09	371 174.152		6	20 3 22.516	-18 0 41.98	394 499.528
	12	10 7 23.825	6 47 40.77	370 868.255		12	20 15 52.644	-17 6 8.25	395 543.636
	18	10 20 24.061	5 23 17.56	370 588.549		18	20 28 11.071	-16 9 3.66	396 551.038
29	0	10 33 21.767	3 57 45.28	370 335.870	10	0	20 40 18.267	-15 9 41.65	397 516.628
	6	10 46 17.807	2 31 20.85	370 111.238		6	20 52 14.779	-14 8 15.11	398 435.492
	12	10 59 13.070	1 4 21.28	369 915.853		12	21 4 1.223	-13 4 56.37	399 302.937
	18	11 12 8.458	-0 22 56.29	369 751.089		18	21 15 38.271	-11 59 57.20	400 114.516
30	0	11 25 4.880	-1 50 14.56	369 618.479	11	0	21 27 6.644	-10 53 28.78	400 866.053
	6	11 38 3.237	-3 17 16.09	369 519.697		6	21 38 27.100	-9 45 41.76	401 553.665
	12	11 51 4.416	-4 43 43.24	369 456.535		12	21 49 40.426	-8 36 46.25	402 173.782
	18	12 4 9.277	-6 9 18.19	369 430.880		18	22 0 47.437	-7 26 51.86	402 723.166
Déc. 1	0	12 17 18.646	-7 33 42.91	369 444.684	12	0	22 11 48.966	-6 16 7.78	403 198.927
	6	12 30 33.296	-8 56 39.21	369 499.926		6	22 22 45.859	-5 4 42.79	403 598.535
	12	12 43 53.942	-10 17 48.72	369 598.586		12	22 33 38.975	-3 52 45.32	403 919.837
	18	12 57 21.223	-11 36 52.98	369 742.597		18	22 44 29.183	-2 40 23.54	404 161.063
2	0	13 10 55.690	-12 53 33.47	369 933.814	13	0	22 55 17.354	-1 27 45.38	404 320.835
	6	13 24 37.795	-14 7 31.69	370 173.970		6	23 6 4.367	-0 14 58.61	404 398.179
	12	13 38 27.868	-15 18 29.29	370 464.641		12	23 16 51.100	0 57 49.09	404 392.523
	18	13 52 26.113	-16 26 8.19	370 807.198		18	23 27 38.435	2 10 30.06	404 303.704
3	0	14 6 32.589	-17 30 10.72	371 202.779	14	0	23 38 27.250	3 22 56.61	404 131.972
	6	14 20 47.197	-18 30 19.80	371 652.248		6	23 49 18.424	4 35 0.97	403 877.986
	12	14 35 9.676	-19 26 19.14	372 156.162		12	0 0 12.830	5 46 35.17	403 542.813
	18	14 49 39.594	-20 17 53.39	372 714.743		18	0 11 11.335	6 57 31.04	403 127.927
4	0	15 4 16.343	-21 4 48.45	373 327.855	15	0	0 22 14.800	8 7 40.10	402 635.204
	6	15 18 59.145	-21 46 51.57	373 994.976		6	0 33 24.072	9 16 53.55	402 066.910
	12	15 33 47.058	-22 23 51.63	374 715.191		12	0 44 39.983	10 25 2.17	401 425.698
	18	15 48 38.990	-22 55 39.31	375 487.174		18	0 56 3.345	11 31 56.27	400 714.595
5	0	16 3 33.715	-23 22 7.25	376 309.185	16	0	1 7 34.944	12 37 25.70	399 936.988
	6	16 18 29.900	-23 43 10.17	377 179.070		6	1 19 15.535	13 41 19.75	399 096.611
	12	16 33 26.131	-23 58 44.98	378 094.266		12	1 31 5.829	14 43 27.17	398 197.527
	18	16 48 20.947	-24 8 50.82	379 051.813		18	1 43 6.492	15 43 36.11	397 244.108
6	0	17 3 12.870	-24 13 29.04	380 048.364	17	0	1 55 18.127	16 41 34.18	396 241.014
	6	17 18 0.445	-24 12 43.14	381 080.213		6	2 7 41.268	17 37 8.38	395 193.170
	12	17 32 42.266	-24 6 38.70	382 143.312		12	2 20 16.363	18 30 5.23	394 105.739
	18	17 47 17.013	-23 55 23.18	383 233.304		18	2 33 3.766	19 20 10.74	392 984.091

LUNE 2010 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Déc. 18 0	2 46 3.718	20 7 10.56	391 833.776	Déc. 26 0	10 21 18.061	5 13 34.87	368 557.456
6	2 59 16.339	20 50 50.01	390 660.488	6	10 34 24.515	3 46 58.75	368 672.788
12	3 12 41.609	21 30 54.28	389 470.029	12	10 47 27.479	2 19 44.19	368 830.762
18	3 26 19.360	22 7 8.55	388 268.275	18	11 0 27.815	0 52 9.37	369 028.824
19 0	3 40 9.267	22 39 18.18	387 061.132	27 0	11 13 26.408	- 0 35 27.81	369 264.467
6	3 54 10.837	23 7 8.90	385 854.500	6	11 26 24.152	- 2 2 49.70	369 535.270
12	4 8 23.412	23 30 27.08	384 654.228	12	11 39 21.942	- 3 29 38.88	369 838.929
18	4 22 46.167	23 48 59.94	383 466.074	18	11 52 20.663	- 4 55 38.19	370 173.280
20 0	4 37 18.116	24 2 35.80	382 295.658	28 0	12 5 21.181	- 6 20 30.64	370 536.323
6	4 51 58.129	24 11 4.32	381 148.425	6	12 18 24.332	- 7 43 59.44	370 926.238
12	5 6 44.947	24 14 16.79	380 029.600	12	12 31 30.911	- 9 5 47.98	371 341.401
18	5 21 37.208	24 12 6.24	378 944.147	18	12 44 41.665	-10 25 39.81	371 780.387
21 0	5 36 33.471	24 4 27.75	377 896.732	29 0	12 57 57.279	-11 43 18.66	372 241.975
6	5 51 32.254	23 51 18.48	376 891.687	6	13 11 18.363	-12 58 28.41	372 725.149
12	6 6 32.063	23 32 37.86	375 932.977	12	13 24 45.445	-14 10 53.18	373 229.088
18	6 21 31.432	23 8 27.58	375 024.173	18	13 38 18.955	-15 20 17.33	373 753.159
22 0	6 36 28.950	22 38 51.61	374 168.427	30 0	13 51 59.216	-16 26 25.53	374 296.902
6	6 51 23.299	22 3 56.15	373 368.448	6	14 5 46.430	-17 29 2.84	374 860.009
12	7 6 13.278	21 23 49.51	372 626.498	12	14 19 40.671	-18 27 54.80	375 442.312
18	7 20 57.825	20 38 41.99	371 944.375	18	14 33 41.870	-19 22 47.55	376 043.748
23 0	7 35 36.038	19 48 45.70	371 323.415	31 0	14 47 49.817	-20 13 27.97	376 664.345
6	7 50 7.181	18 54 14.34	370 764.493	6	15 2 4.148	-20 59 43.77	377 304.185
12	8 4 30.693	17 55 23.01	370 268.037	12	15 16 24.348	-21 41 23.72	377 963.381
18	8 18 46.191	16 52 28.00	369 834.038	18	15 30 49.753	-22 18 17.73	378 642.047
24 0	8 32 53.458	15 45 46.52	369 462.075	32 0	15 45 19.557	-22 50 17.04	379 340.266
6	8 46 52.446	14 35 36.55	369 151.342	6	15 59 52.823	-23 17 14.36	380 058.064
12	9 0 43.257	13 22 16.62	368 900.675	12	16 14 28.498	-23 39 4.00	380 795.380
18	9 14 26.133	12 6 5.62	368 708.589	18	16 29 5.434	-23 55 41.98	381 552.036
25 0	9 28 1.445	10 47 22.69	368 573.316	33 0	16 43 42.410	-24 7 6.08	382 327.719
6	9 41 29.674	9 26 27.02	368 492.848	6	16 58 18.161	-24 13 15.94	383 121.949
12	9 54 51.400	8 3 37.80	368 464.977	12	17 12 51.401	-24 14 13.04	383 934.065
18	10 8 7.286	6 39 14.12	368 487.338	18	17 27 20.856	-24 10 0.65	384 763.201

PLANÈTES PRINCIPALES

Coordonnées héliocentriques :
Longitude, latitude, rayon vecteur.

MERCURE.....	II. 54
VÉNUS.....	II. 58
MARS.....	II. 60
JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE.....	II. 61

Coordonnées géocentriques :
Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre.

MERCURE.....	II. 62
VÉNUS.....	II. 66
MARS.....	II. 70
JUPITER.....	II. 74
SATURNE.....	II. 78
URANUS.....	II. 82
NEPTUNE.....	II. 86

MERCURE 2010 à 0h TT**LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR**

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua		
	°	'	''	°	'	''			°	'	''	°	'	''			
Janv.	0	74	7	57.09	3	3	44.92	0.30758050	Févr.	15	261	27	12.98	- 3	50	31.82	0.46637488
	1	80	27	10.95	3	44	20.71	0.30758064		16	264	12	30.26	- 4	7	10.88	0.46581212
	2	86	46	11.17	4	22	8.53	0.30822208		17	266	58	24.31	- 4	23	18.62	0.46497102
	3	93	3	26.78	4	56	33.58	0.30949440		18	269	45	7.50	- 4	38	53.54	0.46385252
	4	99	17	29.25	5	27	7.61	0.31137720		19	272	32	52.32	- 4	53	54.02	0.46245795
	5	105	26	55.37	5	53	29.97	0.31384113		20	275	21	51.49	- 5	8	18.25	0.46078897
	6	111	30	29.71	6	15	27.99	0.31684913		21	278	12	17.98	- 5	22	4.27	0.45884763
	7	117	27	6.55	6	32	56.75	0.32035799		22	281	4	25.05	- 5	35	9.91	0.45663642
	8	123	15	51.14	6	45	58.48	0.32431998		23	283	58	26.32	- 5	47	32.75	0.45415827
	9	128	56	0.33	6	54	41.46	0.32868445		24	286	54	35.82	- 5	59	10.15	0.45141662
	10	134	27	2.44	6	59	18.80	0.33339930		25	289	53	8.02	- 6	9	59.19	0.44841546
	11	139	48	36.76	7	0	7.18	0.33841232		26	292	54	17.90	- 6	19	56.65	0.44515941
	12	145	0	32.56	6	57	25.59	0.34367226		27	295	58	20.98	- 6	28	58.97	0.44165375
	13	150	2	47.86	6	51	34.25	0.34912966		28	299	5	33.39	- 6	37	2.27	0.43790454
14	154	55	28.12	6	42	53.71	0.35473750	Mars	1	302	16	11.85	- 6	44	2.25	0.43391870	
15	159	38	44.90	6	31	44.19	0.36045163	2	305	30	33.79	- 6	49	54.23	0.42970408		
16	164	12	54.54	6	18	25.00	0.36623097	3	308	48	57.30	- 6	54	33.08	0.42526962		
17	168	38	17.04	6	3	14.22	0.37203769	4	312	11	41.21	- 6	57	53.23	0.42062543		
18	172	55	15.01	5	46	28.53	0.37783717	5	315	39	5.03	- 6	59	48.64	0.41578297		
19	177	4	12.81	5	28	23.06	0.38359790	6	319	11	28.99	- 7	0	12.77	0.41075517		
20	181	5	35.87	5	9	11.41	0.38929142	7	322	49	13.98	- 6	58	58.61	0.40555663		
21	184	59	50.07	4	49	5.67	0.39489206	8	326	32	41.51	- 6	55	58.70	0.40020376		
22	188	47	21.33	4	28	16.53	0.40037680	9	330	22	13.57	- 6	51	5.16	0.39471502		
23	192	28	35.24	4	6	53.35	0.40572503	10	334	18	12.53	- 6	44	9.73	0.38911107		
24	196	3	56.85	3	45	4.33	0.41091838	11	338	21	0.92	- 6	35	3.90	0.38341502		
25	199	33	50.48	3	22	56.57	0.41594049	12	342	31	1.20	- 6	23	39.08	0.37765262		
26	202	58	39.58	3	0	36.22	0.42077683	13	346	48	35.39	- 6	9	46.72	0.37185244		
27	206	18	46.73	2	38	8.60	0.42541451	14	351	14	4.67	- 5	53	18.67	0.36604607		
28	209	34	33.53	2	15	38.31	0.42984211	15	355	47	48.89	- 5	34	7.43	0.36026824		
29	212	46	20.65	1	53	9.29	0.43404956	16	0	30	5.89	- 5	12	6.66	0.35455689		
30	215	54	27.84	1	30	44.95	0.43802798	17	5	21	10.78	- 4	47	11.62	0.34895319		
Févr.	31	218	59	13.95	1	8	28.21	0.44176951	18	10	21	15.09	- 4	19	19.83	0.34350138	
	1	222	0	57.00	0	46	21.62	0.44526730	19	15	30	25.78	- 3	48	31.69	0.33824859	
	2	224	59	54.19	0	24	27.37	0.44851529	20	20	48	44.16	- 3	14	51.26	0.33324432	
	3	227	56	21.99	0	2	47.38	0.45150823	21	26	16	4.83	- 2	38	26.94	0.32853988	
	4	230	50	36.20	- 0	18	36.67	0.45424153	22	31	52	14.47	- 1	59	32.17	0.32418749	
	5	233	42	51.99	- 0	39	43.28	0.45671121	23	37	36	50.85	- 1	18	25.92	0.32023922	
	6	236	33	23.98	- 1	0	31.12	0.45891384	24	43	29	21.88	- 0	35	32.97	0.31674565	
	7	239	22	26.29	- 1	20	58.95	0.46084651	25	49	29	5.06	0	8	36.14	0.31375440	
	8	242	10	12.60	- 1	41	5.64	0.46250676	26	55	35	7.18	0	53	25.61	0.31130851	
	9	244	56	56.22	- 2	0	50.12	0.46389254	27	61	46	24.65	1	38	15.37	0.30944480	
	10	247	42	50.13	- 2	20	11.34	0.46500219	28	68	1	44.36	2	22	22.49	0.30819236	
	11	250	28	7.05	- 2	39	8.27	0.46583441	29	74	19	45.13	3	5	3.05	0.30757128	
	12	253	12	59.49	- 2	57	39.87	0.46638826	30	80	38	59.87	3	45	34.18	0.30759166	
	13	255	57	39.80	- 3	15	45.09	0.46666311	31	86	57	58.08	4	23	16.17	0.30825317	
14	258	42	20.23	- 3	33	22.80	0.46665864	Avril	1	93	15	8.85	4	57	34.39	0.30954505	

MERCURE 2010 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
Avril	2 99 29 3.77	5 28 0.84	0.311 446 61	Mai	18 272 38 3.44	- 4 54 21.27	0.462 410 65
	3 105 38 19.83	5 54 15.10	0.313 928 23		19 275 27 5.12	- 5 8 44.36	0.460 733 21
	4 111 41 41.90	6 16 4.74	0.316 952 63		20 278 17 34.52	- 5 22 29.17	0.458 783 49
	5 117 38 4.58	6 33 25.11	0.320 476 45		21 281 9 44.92	- 5 35 33.52	0.456 563 98
	6 123 26 33.49	6 46 18.63	0.324 451 84		22 284 3 49.95	- 5 47 55.00	0.454 077 64
	7 129 6 25.84	6 54 53.73	0.328 828 06		23 287 0 3.64	- 5 59 30.95	0.451 327 91
	8 134 37 10.30	6 59 23.69	0.333 553 02		24 289 58 40.49	- 6 10 18.45	0.448 318 81
	9 139 58 26.51	7 0 5.24	0.338 574 50		25 292 59 55.49	- 6 20 14.26	0.445 054 97
	10 145 10 4.02	6 57 17.44	0.343 841 32		26 296 4 4.18	- 6 29 14.82	0.441 541 71
	11 150 12 1.11	6 51 20.54	0.349 304 07		27 299 11 22.70	- 6 37 16.23	0.437 785 10
	12 155 4 23.45	6 42 35.08	0.354 915 83		28 302 22 7.81	- 6 44 14.18	0.433 792 09
	13 159 47 22.77	6 31 21.26	0.360 632 54		29 305 36 36.93	- 6 50 3.98	0.429 570 56
	14 164 21 15.53	6 17 58.35	0.366 413 22		30 308 55 8.21	- 6 54 40.49	0.425 129 48
	15 168 46 21.83	6 2 44.39	0.372 220 14		31 312 18 0.46	- 6 57 58.12	0.420 479 02
	16 173 3 4.36	5 45 56.02	0.378 018 79		1 315 45 33.24	- 6 59 50.80	0.415 630 66
	17 177 11 47.52	5 27 48.32	0.383 777 76		2 319 18 6.79	- 7 0 12.00	0.410 597 40
18 181 12 56.74	5 8 34.82	0.389 468 67	3 322 56 2.03	- 6 58 54.70	0.405 393 87		
19 185 6 57.93	4 48 27.60	0.395 065 94	4 326 39 40.47	- 6 55 51.40	0.400 036 55		
20 188 54 16.98	4 27 37.28	0.400 546 63	5 330 29 24.13	- 6 50 54.21	0.394 543 97		
21 192 35 19.49	4 6 13.20	0.405 890 21	6 334 25 35.38	- 6 43 54.88	0.388 936 86		
22 196 10 30.48	3 44 23.51	0.411 078 38	7 338 28 36.75	- 6 34 44.90	0.383 238 40		
23 199 40 14.24	3 22 15.27	0.416 094 83	8 342 38 50.69	- 6 23 15.65	0.377 474 43		
24 203 4 54.20	2 59 54.63	0.420 925 08	9 346 56 39.20	- 6 9 18.61	0.371 673 62		
25 206 24 52.90	2 37 26.88	0.425 556 30	10 351 22 23.44	- 5 52 45.62	0.365 867 64		
26 209 40 31.91	2 14 56.58	0.429 977 11	11 355 56 23.20	- 5 33 29.24	0.360 091 32		
27 212 52 11.88	1 52 27.66	0.434 177 50	12 0 38 56.23	- 5 11 23.15	0.354 382 70		
28 216 0 12.52	1 30 3.51	0.438 148 58	13 5 30 17.57	- 4 46 22.69	0.348 783 04		
29 219 4 52.66	1 7 47.06	0.441 882 57	14 10 30 38.60	- 4 18 25.43	0.343 336 70		
30 222 6 30.29	0 45 40.82	0.445 372 61	15 15 40 6.14	- 3 47 31.90	0.338 090 85		
Mai 1 225 5 22.58	0 23 46.99	0.448 612 69	16 20 58 41.31	- 3 13 46.27	0.333 095 08		
2 228 1 45.99	0 2 7.47	0.451 597 58	17 26 26 18.46	- 2 37 17.09	0.328 400 74		
3 230 55 56.29	- 0 19 16.06	0.454 322 69	18 32 2 44.04	- 1 58 17.96	0.324 060 06		
4 233 48 8.64	- 0 40 22.11	0.456 784 08	19 37 47 35.51	- 1 17 8.02	0.320 125 08		
5 236 38 37.64	- 1 1 9.34	0.458 978 33	20 43 40 20.48	- 0 34 12.24	0.316 646 31		
6 239 27 37.39	- 1 21 36.54	0.460 902 54	21 49 40 16.10	0 9 58.66	0.313 671 25		
7 242 15 21.56	- 1 41 42.56	0.462 554 27	22 55 46 28.87	0 54 48.75	0.311 242 77		
8 245 2 3.44	- 2 1 26.33	0.463 931 47	23 61 57 54.87	1 39 37.84	0.309 397 49		
9 247 47 56.02	- 2 20 46.82	0.465 032 51	24 68 13 20.72	2 23 42.94	0.308 164 23		
10 250 33 11.99	- 2 39 42.98	0.465 856 09	25 74 31 25.03	3 6 20.14	0.307 562 79		
11 253 18 3.87	- 2 58 13.79	0.466 401 28	26 80 50 40.55	3 46 46.62	0.307 602 94		
12 256 2 44.00	- 3 16 18.18	0.466 667 46	27 87 9 36.76	4 24 22.81	0.308 284 05		
13 258 47 24.63	- 3 33 55.02	0.466 654 33	28 93 26 42.74	4 58 34.27	0.309 595 02		
14 261 32 17.97	- 3 51 3.13	0.466 361 90	29 99 40 30.23	5 28 53.21	0.311 514 88		
15 264 17 36.20	- 4 7 41.25	0.465 790 51	30 105 49 36.44	5 54 59.47	0.314 013 77		
16 267 3 31.59	- 4 23 48.00	0.464 940 80	Juill. 1 111 52 46.48	6 16 40.85	0.317 054 18		
17 269 50 16.50	- 4 39 21.89	0.463 813 74	2 117 48 55.30	6 33 52.92	0.320 592 60		

MERCURE 2010 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	123 37 8.88	6 46 38.32	0.32458105	Août	18	284 9 13.78	- 5 48 17.09	0.45399872
	4	129 16 44.75	6 55 5.66	0.32896875		19	287 5 31.62	- 5 59 51.57	0.45124119
	5	134 47 11.97	6 59 28.31	0.33370357		20	290 4 13.05	- 6 10 37.51	0.44822443
	6	140 8 10.47	7 0 3.12	0.33873333		21	293 5 33.09	- 6 20 31.65	0.44495310
	7	145 19 30.09	6 57 9.19	0.34400687		22	296 9 47.29	- 6 29 30.43	0.44143253
	8	150 21 9.37	6 51 6.79	0.34947486		23	299 17 11.80	- 6 37 29.93	0.43766882
	9	155 13 14.19	6 42 16.46	0.35509047		24	302 28 3.41	- 6 44 25.83	0.43366895
	10	159 55 56.41	6 30 58.38	0.36080971		25	305 42 39.56	- 6 50 13.44	0.42944082
	11	164 29 32.67	6 17 31.78	0.36659172		26	309 1 18.41	- 6 54 47.58	0.42499346
	12	168 54 23.12	6 2 14.67	0.37239887		27	312 24 18.80	- 6 58 2.67	0.42033703
	13	173 10 50.53	5 45 23.63	0.37819672		28	315 52 0.30	- 6 59 52.62	0.41548310
	14	177 19 19.35	5 27 13.70	0.38395399		29	319 24 43.18	- 7 0 10.89	0.41044468
15	181 20 15.02	5 7 58.38	0.38964236	30	323 2 48.37	- 6 58 50.42	0.40523647		
16	185 14 3.46	4 47 49.67	0.39523636	31	326 46 37.40	- 6 55 43.74	0.39987502		
17	189 1 10.56	4 26 58.17	0.40071311	Sept. 1	330 36 32.29	- 6 50 42.92	0.39437889		
18	192 42 1.90	4 5 33.18	0.40605216	2	334 32 55.43	- 6 43 39.71	0.38876889		
19	196 17 2.47	3 43 42.81	0.41123526	3	338 36 9.34	- 6 34 25.59	0.38306829		
20	199 46 36.55	3 21 34.11	0.41624617	4	342 46 36.46	- 6 22 51.94	0.37730301		
21	203 11 7.54	2 59 13.17	0.42107047	5	347 4 38.78	- 6 8 50.27	0.37150178		
22	206 30 57.94	2 36 45.27	0.42569536	6	351 30 37.42	- 5 52 12.41	0.36569638		
23	209 46 29.31	2 14 14.95	0.43010953	7	356 4 52.11	- 5 32 50.97	0.35992173		
24	212 58 2.26	1 51 46.12	0.43430297	8	0 47 40.54	- 5 10 39.65	0.35421597		
25	216 5 56.47	1 29 22.17	0.43826687	9	5 39 17.64	- 4 45 33.87	0.34862045		
26	219 10 30.75	1 7 5.99	0.44199344	10	10 39 54.68	- 4 17 31.27	0.34317960		
27	222 12 3.06	0 45 0.10	0.44547587	11	15 49 38.30	- 3 46 32.49	0.33794068		
28	225 10 50.55	0 23 6.68	0.44870818	12	21 8 29.47	- 3 12 41.80	0.33295335		
29	228 7 9.66	0 1 27.62	0.45168514	13	26 36 22.30	- 2 36 7.92	0.32826896		
30	231 1 16.13	- 0 19 55.39	0.45440220	14	32 13 2.99	- 1 57 4.60	0.32393978		
31	233 53 25.11	- 0 41 0.89	0.45685543	15	37 58 8.72	- 1 15 51.14	0.32001780		
Août 1	236 43 51.18	- 1 1 47.52	0.45904143	16	43 51 6.80	- 0 32 52.71	0.31655348		
2	239 32 48.42	- 1 22 14.08	0.46095732	17	49 51 14.08	0 11 19.84	0.31359419		
3	242 20 30.51	- 1 42 19.44	0.46260066	18	55 57 36.72	0 56 10.41	0.31118263		
4	245 7 10.71	- 2 2 2.51	0.46396943	19	62 9 10.54	1 40 58.71	0.30935521		
5	247 53 2.00	- 2 21 22.26	0.46506200	20	68 24 41.88	2 25 1.72	0.30814051		
6	250 38 17.07	- 2 40 17.66	0.46587709	21	74 42 49.17	3 7 35.50	0.30755801		
7	253 23 8.43	- 2 58 47.67	0.46641377	22	81 2 5.02	3 47 57.33	0.30761721		
8	256 7 48.42	- 3 16 51.21	0.46667144	23	87 20 58.85	4 25 27.76	0.30831714		
9	258 52 29.29	- 3 34 27.18	0.46664980	24	93 37 59.81	4 59 32.52	0.30964641		
10	261 37 23.22	- 3 51 34.39	0.46634889	25	99 51 39.75	5 29 44.06	0.31158379		
11	264 22 42.44	- 4 8 11.56	0.46576905	26	106 0 36.09	5 55 42.44	0.31409915		
12	267 8 39.18	- 4 24 17.31	0.46491092	27	112 3 34.22	6 17 15.71	0.31715480		
13	269 55 25.82	- 4 39 50.15	0.46377549	28	117 59 29.39	6 34 19.66	0.32070707		
14	272 43 14.87	- 4 54 48.43	0.46236409	29	123 47 27.92	6 46 57.12	0.32470788		
15	275 32 19.05	- 5 9 10.36	0.46067842	30	129 26 47.71	6 55 16.86	0.32910640		
16	278 22 51.35	- 5 22 53.94	0.45872056	Oct. 1	134 56 58.13	6 59 32.38	0.33385048		
17	281 15 5.04	- 5 35 56.99	0.45649300	2	140 17 39.42	7 0 0.61	0.33888796		

MERCURE 2010 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	145	28	41.71	6	57	0.69	0.34416773	Nov.	18	296	15	27.19	-6	29	46.06	0.44132166
	4	150	30	3.76	6	50	52.92	0.34964053		19	299	22	57.72	-6	37	43.68	0.43755069
	5	155	21	51.64	6	41	57.84	0.35525960		20	302	33	55.87	-6	44	37.56	0.43354376
	6	160	4	17.39	6	30	35.59	0.36098105		21	305	48	39.10	-6	50	23.00	0.42930883
	7	164	37	37.74	6	17	5.38	0.36676413		22	309	7	25.58	-6	54	54.81	0.42485493
	8	169	2	12.95	6	1	45.19	0.37257128		23	312	30	34.20	-6	58	7.39	0.42019229
	9	173	18	25.84	5	44	51.54	0.37836818		24	315	58	24.53	-6	59	54.64	0.41533250
	10	177	26	40.88	5	26	39.42	0.38412362		25	319	31	16.88	-7	0	9.99	0.41028865
	11	181	27	23.56	5	7	22.30	0.38980939		26	323	9	32.18	-6	58	46.40	0.40507546
	12	185	20	59.78	4	47	12.12	0.39540009		27	326	53	31.99	-6	55	36.35	0.39970955
	13	189	7	55.44	4	26	19.46	0.40087290		28	330	43	38.34	-6	50	31.93	0.39420955
	14	192	48	36.08	4	4	53.56	0.40620746		29	334	40	13.63	-6	43	24.85	0.38859635
15	196	23	26.71	3	43	2.51	0.41138557	30	338	43	40.39	-6	34	6.60	0.38289328		
16	199	52	51.54	3	20	53.32	0.41639105	Déc.	1	342	54	21.05	-6	22	28.57	0.37712635	
17	203	17	13.97	2	58	32.08	0.42120953		2	347	12	37.57	-6	8	22.24	0.37132439	
18	206	36	56.47	2	36	4.01	0.42582826		3	351	38	51.05	-5	51	39.51	0.36551927	
19	209	52	20.56	2	13	33.66	0.43023596		4	356	13	21.16	-5	32	12.96	0.35974600	
20	213	3	46.82	1	51	4.92	0.43442266		5	0	56	25.53	-5	9	56.39	0.35404283	
21	216	11	34.93	1	28	41.14	0.43837958		6	5	48	18.99	-4	44	45.22	0.34845120	
22	219	16	3.64	1	6	25.22	0.44209897	7	10	49	12.69	-4	16	37.22	0.34301564		
23	222	17	30.90	0	44	19.66	0.44557404	8	15	59	13.11	-3	45	33.09	0.33778350		
24	225	16	13.83	0	22	26.63	0.44879883	9	21	18	21.03	-3	11	37.27	0.33280448		
25	228	12	28.86	0	0	48.03	0.45176812	10	26	46	30.33	-2	34	58.58	0.32813001		
26	231	6	31.71	-0	20	34.49	0.45447740	11	32	23	26.96	-1	55	50.95	0.32381233		
27	233	58	37.50	-0	41	39.43	0.45692274	12	38	8	47.81	-1	14	33.87	0.31990345		
28	236	49	0.81	-1	2	25.48	0.45910076	13	44	1	59.88	-0	31	32.65	0.31645373		
29	239	37	55.70	-1	22	51.42	0.46100859	14	50	2	19.68	0	12	41.64	0.31351043		
30	242	25	35.83	-1	42	56.11	0.46264381	15	56	8	53.06	0	57	32.79	0.31111611		
31	245	12	14.46	-2	2	38.49	0.46400440	16	62	20	35.52	1	42	20.39	0.30930693		
Nov.	1	247	58	4.56	-2	21	57.51	0.46508875	17	68	36	13.14	2	26	21.35	0.30811123	
2	250	43	18.81	-2	40	52.15	0.46589558	18	74	54	24.11	3	8	51.76	0.30754821		
3	253	28	9.72	-2	59	21.37	0.46642397	19	81	13	40.93	3	49	8.94	0.30762704		
4	256	12	49.62	-3	17	24.08	0.46667334	20	87	32	32.94	4	26	33.58	0.30834643		
5	258	57	30.75	-3	34	59.19	0.46664339	21	93	49	29.32	5	0	31.60	0.30969468		
6	261	42	25.32	-3	52	5.49	0.46633417	22	100	3	2.05	5	30	35.67	0.31165028		
7	264	27	45.53	-4	8	41.71	0.46574601	23	106	11	48.76	5	56	26.08	0.31418282		
8	267	13	43.63	-4	24	46.47	0.46487959	24	112	14	35.10	6	17	51.14	0.31725444		
9	270	0	32.00	-4	40	18.27	0.46373590	25	118	10	16.66	6	34	46.86	0.32082127		
10	272	48	23.15	-4	55	15.46	0.46231627	26	123	58	0.09	6	47	16.26	0.32483515		
11	275	37	29.82	-5	9	36.24	0.46062241	27	129	37	3.64	6	55	28.29	0.32924517		
12	278	28	5.00	-5	23	18.60	0.45865642	28	135	6	57.04	6	59	36.56	0.33399916		
13	281	20	21.99	-5	36	20.37	0.45642080	29	140	27	20.84	6	59	58.11	0.33904498		
14	284	14	34.43	-5	48	39.11	0.45391855	30	145	38	5.45	6	56	52.11	0.34433155		
15	287	10	56.40	-6	0	12.15	0.45115315	31	150	39	9.88	6	50	38.88	0.34980969		
16	290	9	42.40	-6	10	56.54	0.44812864	32	155	30	40.40	6	41	38.97	0.35543271		
17	293	11	7.48	-6	20	49.04	0.44484969	33	160	12	49.21	6	30	12.50	0.36115682		

VÉNUS 2010 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	272 37 28.27	- 0 56 6.45	0.72715860	Avril	2	58 50 28.41	- 1 2 21.54	0.72183890		
	2	275 47 23.22	- 1 6 50.56	0.72732505		4	62 3 18.27	- 0 51 22.80	0.72157844		
	4	278 57 14.53	- 1 17 22.17	0.72747911		6	65 16 15.27	- 0 40 13.89	0.72132338		
	6	282 7 2.77	- 1 27 39.38	0.72762032		8	68 29 19.49	- 0 28 56.91	0.72107452		
	8	285 16 48.52	- 1 37 40.35	0.72774824		10	71 42 30.95	- 0 17 33.98	0.72083266		
	10	288 26 32.33	- 1 47 23.27	0.72786251		12	74 55 49.67	- 0 6 7.27	0.72059856		
	12	291 36 14.77	- 1 56 46.43	0.72796277		14	78 9 15.65	0 5 21.04	0.72037298		
	14	294 45 56.37	- 2 5 48.13	0.72804873		16	81 22 48.89	0 16 48.76	0.72015664		
	16	297 55 37.65	- 2 14 26.76	0.72812012		18	84 36 29.32	0 28 13.68	0.71995023		
	18	301 5 19.12	- 2 22 40.77	0.72817675		20	87 50 16.88	0 39 33.60	0.71975441		
	20	304 15 1.26	- 2 30 28.69	0.72821844		22	91 4 11.46	0 50 46.34	0.71956983		
	22	307 24 44.53	- 2 37 49.11	0.72824506		24	94 18 12.94	1 1 49.71	0.71939706		
	24	310 34 29.36	- 2 44 40.71	0.72825655		26	97 32 21.15	1 12 41.57	0.71923667		
	26	313 44 16.18	- 2 51 2.25	0.72825287		28	100 46 35.89	1 23 19.79	0.71908918		
	28	316 54 5.36	- 2 56 52.59	0.72823402		30	104 0 56.93	1 33 42.30	0.71895508		
	Févr.	30	320 3 57.27	- 3 2 10.64		0.72820008	Mai	2	107 15 23.98	1 43 47.07	0.71883478
		1	323 13 52.24	- 3 6 55.46		0.72815115		4	110 29 56.75	1 53 32.10	0.71872870
		3	326 23 50.59	- 3 11 6.15		0.72808737		6	113 44 34.87	2 2 55.49	0.71863716
5		329 33 52.61	- 3 14 41.94	0.72800893	8	116 59 17.97		2 11 55.38	0.71856048		
7		332 43 58.55	- 3 17 42.15	0.72791608	10	120 14 5.61		2 20 30.00	0.71849890		
9		335 54 8.65	- 3 20 6.21	0.72780909	12	123 28 57.33		2 28 37.66	0.71845262		
11		339 4 23.14	- 3 21 53.65	0.72768829	14	126 43 52.62		2 36 16.75	0.71842179		
13		342 14 42.21	- 3 23 4.10	0.72755403	16	129 58 50.96		2 43 25.76	0.71840653		
15		345 25 6.04	- 3 23 37.31	0.72740674	18	133 13 51.77		2 50 3.29	0.71840687		
17		348 35 34.79	- 3 23 33.13	0.72724684	20	136 28 54.46		2 56 8.04	0.71842283		
19		351 46 8.61	- 3 22 51.52	0.72707482	22	139 43 58.39		3 1 38.81	0.71845434		
21		354 56 47.62	- 3 21 32.57	0.72689120	24	142 59 2.93		3 6 34.52	0.71850131		
23		358 7 31.96	- 3 19 36.44	0.72669654	26	146 14 7.41		3 10 54.23	0.71856358		
25		1 18 21.72	- 3 17 3.45	0.72649143	28	149 29 11.12		3 14 37.09	0.71864096		
27		4 29 17.02	- 3 13 54.00	0.72627648	30	152 44 13.39		3 17 42.41	0.71873319		
Mars		1	7 40 17.93	- 3 10 8.61	0.72605236	Juin		1	155 59 13.51	3 20 9.60	0.71883997
		3	10 51 24.57	- 3 5 47.90	0.72581974			3	159 14 10.76	3 21 58.22	0.71896096
		5	14 2 37.01	- 3 0 52.63	0.72557933			5	162 29 4.44	3 23 7.94	0.71909577
	7	17 13 55.33	- 2 55 23.62	0.72533186	7		165 43 53.86	3 23 38.58	0.71924396		
	9	20 25 19.62	- 2 49 21.83	0.72507810	9		168 58 38.33	3 23 30.10	0.71940505		
	11	23 36 49.97	- 2 42 48.31	0.72481882	11		172 13 17.17	3 22 42.57	0.71957852		
	13	26 48 26.45	- 2 35 44.22	0.72455482	13		175 27 49.74	3 21 16.20	0.71976381		
	15	30 0 9.16	- 2 28 10.82	0.72428691	15		178 42 15.42	3 19 11.33	0.71996032		
	17	33 11 58.18	- 2 20 9.44	0.72401592	17		181 56 33.62	3 16 28.43	0.72016741		
	19	36 23 53.60	- 2 11 41.53	0.72374268	19		185 10 43.78	3 13 8.11	0.72038444		
	21	39 35 55.52	- 2 2 48.62	0.72346805	21		188 24 45.38	3 9 11.06	0.72061069		
	23	42 48 4.01	- 1 53 32.31	0.72319288	23		191 38 37.95	3 4 38.12	0.72084544		
	25	46 0 19.18	- 1 43 54.30	0.72291802	25		194 52 21.05	2 59 30.25	0.72108794		
	27	49 12 41.12	- 1 33 56.35	0.72264434	27		198 5 54.32	2 53 48.50	0.72133742		
	29	52 25 9.92	- 1 23 40.30	0.72237269	29		201 19 17.41	2 47 34.04	0.72159307		
	31	55 37 45.66	- 1 13 8.04	0.72210393	Juill.		1	204 32 30.06	2 40 48.13	0.72185410	

VÉNUS 2010 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.	3 207 45 32.03	2 33 32.13	0.72211966	Oct.	3 353 50 9.24	- 3 22 4.33	0.72695251
	5 210 58 23.17	2 25 47.49	0.72238892		5 357 0 51.88	- 3 20 21.15	0.72676214
	7 214 11 3.37	2 17 35.74	0.72266102		7 0 11 39.91	- 3 18 0.97	0.72656115
	9 217 23 32.56	2 8 58.50	0.72293511		9 3 22 33.42	- 3 15 4.19	0.72635017
	11 220 35 50.76	1 59 57.46	0.72321032		11 6 33 32.51	- 3 11 31.26	0.72612984
	13 223 47 58.01	1 50 34.36	0.72348580		13 9 44 37.28	- 3 7 22.79	0.72590085
	15 226 59 54.44	1 40 51.01	0.72376067		15 12 55 47.79	- 3 2 39.47	0.72566389
	17 230 11 40.20	1 30 49.29	0.72403408		17 16 7 4.15	- 2 57 22.11	0.72541969
	19 233 23 15.52	1 20 31.09	0.72430517		19 19 18 26.42	- 2 51 31.63	0.72516901
	21 236 34 40.64	1 9 58.37	0.72457310		21 22 29 54.69	- 2 45 9.04	0.72491263
	23 239 45 55.89	0 59 13.13	0.72483705		23 25 41 29.04	- 2 38 15.46	0.72465133
25 242 57 1.61	0 48 17.37	0.72509618	25 28 53 9.55	- 2 30 52.12	0.72438592		
27 246 7 58.19	0 37 13.13	0.72534971	27 32 4 56.30	- 2 23 0.33	0.72411722		
29 249 18 46.06	0 26 2.48	0.72559684	29 35 16 49.38	- 2 14 41.49	0.72384608		
31 252 29 25.68	0 14 47.47	0.72583683	31 38 28 48.87	- 2 5 57.11	0.72357332		
Août	2 255 39 57.54	0 3 30.17	0.72606892	Nov.	2 41 40 54.86	- 1 56 48.76	0.72329980
	4 258 50 22.15	- 0 7 47.35	0.72629242		4 44 53 7.45	- 1 47 18.11	0.72302637
	6 262 0 40.04	- 0 19 3.04	0.72650663		6 48 5 26.71	- 1 37 26.91	0.72275387
	8 265 10 51.77	- 0 30 14.83	0.72671091		8 51 17 52.74	- 1 27 16.95	0.72248317
	10 268 20 57.90	- 0 41 20.71	0.72690462		10 54 30 25.62	- 1 16 50.13	0.72221509
	12 271 30 59.00	- 0 52 18.66	0.72708720		12 57 43 5.43	- 1 6 8.37	0.72195048
	14 274 40 55.66	- 1 3 6.72	0.72725807		14 60 55 52.24	- 0 55 13.68	0.72169017
	16 277 50 48.46	- 1 13 42.93	0.72741672		16 64 8 46.12	- 0 44 8.10	0.72143498
	18 281 0 37.99	- 1 24 5.40	0.72756268		18 67 21 47.13	- 0 32 53.70	0.72118570
	20 284 10 24.80	- 1 34 12.26	0.72769551		20 70 34 55.30	- 0 21 32.62	0.72094313
22 287 20 9.49	- 1 44 1.71	0.72781480	22 73 48 10.67	- 0 10 7.01	0.72070802		
24 290 29 52.60	- 1 53 31.98	0.72792020	24 77 1 33.23	0 1 20.96	0.72048113		
26 293 39 34.68	- 2 2 41.38	0.72801140	26 80 15 2.99	0 12 49.10	0.72026317		
28 296 49 16.26	- 2 11 28.26	0.72808812	28 83 28 39.91	0 24 15.21	0.72005483		
30 299 58 57.84	- 2 19 51.06	0.72815013	30 86 42 23.92	0 35 37.09	0.71985679		
Sept.	1 303 8 39.93	- 2 27 48.27	0.72819725	Déc.	2 89 56 14.95	0 46 52.54	0.71966967
	3 306 18 22.98	- 2 35 18.46	0.72822935		4 93 10 12.86	0 57 59.39	0.71949406
	5 309 28 7.44	- 2 42 20.28	0.72824633		6 96 24 17.52	1 8 55.47	0.71933054
	7 312 37 53.74	- 2 48 52.47	0.72824815		8 99 38 28.74	1 19 38.65	0.71917963
	9 315 47 42.27	- 2 54 53.83	0.72823479		10 102 52 46.30	1 30 6.84	0.71904182
	11 318 57 33.40	- 3 0 23.29	0.72820632		12 106 7 9.94	1 40 17.98	0.71891754
	13 322 7 27.48	- 3 5 19.82	0.72816281		14 109 21 39.38	1 50 10.09	0.71880720
	15 325 17 24.83	- 3 9 42.52	0.72810441		16 112 36 14.27	1 59 41.22	0.71871116
	17 328 27 25.74	- 3 13 30.59	0.72803129		18 115 50 54.26	2 8 49.49	0.71862973
	19 331 37 30.48	- 3 16 43.30	0.72794368		20 119 5 38.92	2 17 33.11	0.71856317
21 334 47 39.31	- 3 19 20.04	0.72784185	22 122 20 27.82	2 25 50.35	0.71851169		
23 337 57 52.45	- 3 21 20.31	0.72772610	24 125 35 20.47	2 33 39.58	0.71847547		
25 341 8 10.10	- 3 22 43.71	0.72759680	26 128 50 16.35	2 40 59.26	0.71845462		
27 344 18 32.44	- 3 23 29.94	0.72745433	28 132 5 14.91	2 47 47.95	0.71844922		
29 347 28 59.65	- 3 23 38.82	0.72729914	30 135 20 15.57	2 54 4.30	0.71845927		
Oct. 1 350 39 31.87	- 3 23 10.27	0.72713170	32 138 35 17.72	2 59 47.09	0.71848475		

MARS 2010 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	116	11	13.71	1	41	51.75	1.62695895	Juill.	3	197	52	39.46	0	58	13.16	1.62349090	
	4	118	0	52.42	1	43	12.68	1.63024538		7	199	43	10.13	0	55	9.23	1.61995010	
	8	119	50	5.33	1	44	27.04	1.63340091		11	201	34	10.15	0	52	1.03	1.61628740	
	12	121	38	53.65	1	45	34.83	1.63642286		15	203	25	40.72	0	48	48.68	1.61250607	
	16	123	27	18.57	1	46	36.07	1.63930871		19	205	17	43.05	0	45	32.32	1.60860954	
	20	125	15	21.30	1	47	30.78	1.64205609		23	207	10	18.30	0	42	12.07	1.60460140	
Févr.	24	127	3	3.02	1	48	18.97	1.64466275	27	209	3	27.68	0	38	48.06	1.60048539		
	28	128	50	24.95	1	49	0.67	1.64712661	31	210	57	12.35	0	35	20.45	1.59626544		
	1	130	37	28.28	1	49	35.90	1.64944568	Août	4	212	51	33.48	0	31	49.39	1.59194561	
	5	132	24	14.21	1	50	4.68	1.65161814		8	214	46	32.23	0	28	15.03	1.58753017	
	9	134	10	43.93	1	50	27.06	1.65364230		12	216	42	9.72	0	24	37.56	1.58302352	
	13	135	56	58.66	1	50	43.04	1.65551658		16	218	38	27.10	0	20	57.14	1.57843026	
17	137	42	59.58	1	50	52.68	1.65723954	20		220	35	25.47	0	17	13.98	1.57375515		
21	139	28	47.89	1	50	55.99	1.65880986	24		222	33	5.92	0	13	28.27	1.56900313		
25	141	14	24.78	1	50	53.01	1.66022637	28	224	31	29.52	0	9	40.23	1.56417933			
Mars	1	142	59	51.46	1	50	43.77	1.66148799	Sept.	1	226	30	37.32	0	5	50.07	1.55928903	
	5	144	45	9.11	1	50	28.32	1.66259377		5	228	30	30.35	0	1	58.03	1.55433770	
	9	146	30	18.92	1	50	6.69	1.66354291		9	230	31	9.58	-	0	1	55.65	1.54933100
	13	148	15	22.09	1	49	38.91	1.66433468		13	232	32	35.99	-	0	5	50.71	1.54427475
	17	150	0	19.81	1	49	5.02	1.66496852		17	234	34	50.50	-	0	9	46.87	1.53917496
	21	151	45	13.27	1	48	25.06	1.66544395		21	236	37	53.99	-	0	13	43.86	1.53403781
Avril	25	153	30	3.66	1	47	39.08	1.66576063	25	238	41	47.31	-	0	17	41.37	1.52886964	
	29	155	14	52.17	1	46	47.11	1.66591832	29	240	46	31.26	-	0	21	39.11	1.52367699	
	2	156	59	39.99	1	45	49.19	1.66591691	Oct.	3	242	52	6.58	-	0	25	36.75	1.51846653
	6	158	44	28.32	1	44	45.37	1.66575639		7	244	58	33.97	-	0	29	33.96	1.51324512
	10	160	29	18.33	1	43	35.69	1.66543690		11	247	5	54.07	-	0	33	30.38	1.50801977
	14	162	14	11.23	1	42	20.20	1.66495865		15	249	14	7.45	-	0	37	25.66	1.50279764
18	163	59	8.21	1	40	58.94	1.66432202	19		251	23	14.62	-	0	41	19.42	1.49758604	
22	165	44	10.46	1	39	31.96	1.66352746	23		253	33	16.01	-	0	45	11.28	1.49239242	
26	167	29	19.17	1	37	59.31	1.66257558	27	255	44	11.97	-	0	49	0.83	1.48722434		
Mai	30	169	14	35.54	1	36	21.03	1.66146709	Nov.	31	257	56	2.80	-	0	52	47.67	1.48208953
	4	171	0	0.76	1	34	37.19	1.66020281		4	260	8	48.67	-	0	56	31.37	1.47699576
	8	172	45	36.04	1	32	47.83	1.65878370		8	262	22	29.70	-	1	0	11.50	1.47195096
	12	174	31	22.56	1	30	53.01	1.65721082		12	264	37	5.87	-	1	3	47.62	1.46696310
	16	176	17	21.54	1	28	52.78	1.65548539		16	266	52	37.11	-	1	7	19.28	1.46204024
	20	178	3	34.18	1	26	47.22	1.65360871		20	269	9	3.20	-	1	10	46.02	1.45719050
Juin	24	179	50	1.67	1	24	36.36	1.65158223	24	271	26	23.84	-	1	14	7.37	1.45242201	
	28	181	36	45.23	1	22	20.30	1.64940754	28	273	44	38.61	-	1	17	22.88	1.44774294	
	1	183	23	46.05	1	19	59.08	1.64708633	Déc.	2	276	3	46.95	-	1	20	32.06	1.44316146
	5	185	11	5.36	1	17	32.78	1.64462044		6	278	23	48.20	-	1	23	34.44	1.43868571
	9	186	58	44.35	1	15	1.48	1.64201183		10	280	44	41.59	-	1	26	29.55	1.43432380
	13	188	46	44.23	1	12	25.25	1.63926262		14	283	6	26.18	-	1	29	16.93	1.43008376
17	190	35	6.22	1	9	44.17	1.63637505	18		285	29	0.93	-	1	31	56.10	1.42597354	
21	192	23	51.53	1	6	58.33	1.63335150	22		287	52	24.65	-	1	34	26.62	1.42200098	
25	194	13	1.37	1	4	7.82	1.63019449	26	290	16	36.05	-	1	36	48.02	1.41817378		
29	196	2	36.94	1	1	12.73	1.62690668	30	292	41	33.66	-	1	38	59.89	1.41449946		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2010 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	334 14 50.09	- 1 3 4.86	5.003 612 7	Janv. 0	178 24 1.78	2 15 2.51	9.474 804 4
16	335 41 2.95	- 1 4 13.28	4.999 848 8	16	178 56 30.67	2 15 38.19	9.479 620 8
Févr. 1	337 7 23.54	- 1 5 19.37	4.996 200 5	Févr. 1	179 28 57.59	2 16 13.12	9.484 440 7
17	338 33 51.66	- 1 6 23.08	4.992 670 4	17	180 1 22.53	2 16 47.28	9.489 263 7
Mars 5	340 0 27.05	- 1 7 24.35	4.989 260 7	Mars 5	180 33 45.50	2 17 20.68	9.494 089 4
Avril 21	341 27 9.47	- 1 8 23.14	4.985 973 7	Avril 21	181 6 6.49	2 17 53.32	9.498 917 4
6	342 53 58.68	- 1 9 19.39	4.982 811 9	6	181 38 25.53	2 18 25.19	9.503 747 4
22	344 20 54.41	- 1 10 13.05	4.979 777 7	22	182 10 42.61	2 18 56.30	9.508 578 5
Mai 8	345 47 56.42	- 1 11 4.07	4.976 873 1	Mai 8	182 42 57.73	2 19 26.64	9.513 410 4
24	347 15 4.45	- 1 11 52.42	4.974 100 3	24	183 15 10.89	2 19 56.21	9.518 242 4
Juin 9	348 42 18.22	- 1 12 38.05	4.971 461 3	Juin 9	183 47 22.09	2 20 25.02	9.523 074 1
25	350 9 37.46	- 1 13 20.91	4.968 957 7	25	184 19 31.34	2 20 53.06	9.527 905 1
Juill. 11	351 37 1.91	- 1 14 0.98	4.966 591 3	Juill. 11	184 51 38.64	2 21 20.33	9.532 735 1
27	353 4 31.26	- 1 14 38.21	4.964 363 8	27	185 23 43.98	2 21 46.83	9.537 563 6
Août 12	354 32 5.25	- 1 15 12.56	4.962 276 5	Août 12	185 55 47.37	2 22 12.57	9.542 390 4
Sept. 28	355 59 43.57	- 1 15 44.02	4.960 330 7	Sept. 28	186 27 48.81	2 22 37.54	9.547 215 3
13	357 27 25.92	- 1 16 12.55	4.958 527 7	13	186 59 48.31	2 23 1.75	9.552 038 1
29	358 55 11.98	- 1 16 38.11	4.956 868 4	29	187 31 45.87	2 23 25.19	9.556 858 6
Oct. 15	0 23 1.44	- 1 17 0.70	4.955 354 3	Oct. 15	188 3 41.51	2 23 47.86	9.561 676 4
31	1 50 53.99	- 1 17 20.27	4.953 986 4	31	188 35 35.23	2 24 9.76	9.566 491 0
Nov. 16	3 18 49.30	- 1 17 36.83	4.952 765 7	Nov. 16	189 7 27.04	2 24 30.90	9.571 301 9
Déc. 2	4 46 47.06	- 1 17 50.35	4.951 693 2	Déc. 2	189 39 16.95	2 24 51.27	9.576 108 8
18	6 14 46.93	- 1 18 0.81	4.950 769 7	18	190 11 4.96	2 25 10.88	9.580 911 1
URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° ' "	° ' "	ua		° ' "	° ' "	ua
Janv. 0	355 36 53.70	- 0 45 22.34	20.096 924 5	Janv. 0	325 44 37.28	- 0 25 37.79	30.024 534 1
Févr. 1	355 57 26.72	- 0 45 18.96	20.096 497 8	Févr. 1	325 56 9.58	- 0 25 58.52	30.023 647 9
Mars 5	356 17 59.84	- 0 45 15.48	20.096 027 4	Mars 5	326 7 41.90	- 0 26 19.23	30.022 752 6
Avril 6	356 38 33.04	- 0 45 11.91	20.095 512 7	Avril 6	326 19 14.25	- 0 26 39.92	30.021 848 4
Mai 8	356 59 6.32	- 0 45 8.23	20.094 954 7	Mai 8	326 30 46.62	- 0 27 0.60	30.020 936 6
Juin 9	357 19 39.70	- 0 45 4.46	20.094 354 1	Juin 9	326 42 19.01	- 0 27 21.26	30.020 017 6
Juill. 11	357 40 13.17	- 0 45 0.59	20.093 710 8	Juill. 11	326 53 51.43	- 0 27 41.90	30.019 091 0
Août 12	358 0 46.75	- 0 44 56.63	20.093 024 3	Août 12	327 5 23.88	- 0 28 2.52	30.018 156 2
Sept. 13	358 21 20.45	- 0 44 52.57	20.092 293 0	Sept. 13	327 16 56.34	- 0 28 23.13	30.017 211 8
Oct. 15	358 41 54.26	- 0 44 48.41	20.091 515 5	Oct. 15	327 28 28.82	- 0 28 43.71	30.016 257 4
Nov. 16	359 2 28.15	- 0 44 44.15	20.090 692 0	Nov. 16	327 40 1.29	- 0 29 4.28	30.015 294 3
Déc. 18	359 23 2.12	- 0 44 39.79	20.089 823 3	Déc. 18	327 51 33.74	- 0 29 24.82	30.014 323 8

MERCURE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 19 25 26.089	-20 39 41.70	0.717 495 20	Févr.	15 20 37 49.954	-19 58 33.62	1.259 930 69
	1 19 21 17.626	-20 28 24.62	0.702 697 64		16 20 44 3.958	-19 40 42.07	1.269 573 13
	2 19 16 30.603	-20 18 35.20	0.690 576 10		17 20 50 20.099	-19 21 32.53	1.278 818 98
	3 19 11 13.067	-20 10 14.40	0.681 337 86		18 20 56 38.234	-19 1 4.74	1.287 668 18
	4 19 5 34.770	-20 3 21.97	0.675 118 18		19 21 2 58.239	-18 39 18.49	1.296 119 88
	5 18 59 46.572	-19 57 57.09	0.671 970 89		20 21 9 20.008	-18 16 13.57	1.304 172 40
	6 18 53 59.670	-19 53 58.91	0.671 865 78		21 21 15 43.452	-17 51 49.86	1.311 823 08
	7 18 48 24.798	-19 51 26.63	0.674 693 22		22 21 22 8.497	-17 26 7.22	1.319 068 22
	8 18 43 11.510	-19 50 19.35	0.680 275 25		23 21 28 35.083	-16 59 5.58	1.325 902 99
	9 18 38 27.677	-19 50 35.61	0.688 380 93		24 21 35 3.164	-16 30 44.88	1.332 321 29
	10 18 34 19.221	-19 52 12.84	0.698 743 89		25 21 41 32.710	-16 1 5.11	1.338 315 65
	11 18 30 50.092	-19 55 7.10	0.711 079 40		26 21 48 3.700	-15 30 6.26	1.343 877 09
	12 18 28 2.429	-19 59 12.83	0.725 099 35		27 21 54 36.130	-14 57 48.36	1.348 994 98
	13 18 25 56.841	-20 4 22.98	0.740 524 24		28 22 1 10.005	-14 24 11.50	1.353 656 87
14 18 24 32.730	-20 10 29.23	0.757 091 59	Mars 1 22 7 45.346	-13 49 15.77	1.357 848 35		
15 18 23 48.615	-20 17 22.36	0.774 561 38	2 22 14 22.183	-13 13 1.33	1.361 552 90		
16 18 23 42.422	-20 24 52.62	0.792 718 69	3 22 21 0.555	-12 35 28.43	1.364 751 73		
17 18 24 11.723	-20 32 50.07	0.811 374 41	4 22 27 40.509	-11 56 37.38	1.367 423 71		
18 18 25 13.917	-20 41 4.93	0.830 364 58	5 22 34 22.094	-11 16 28.63	1.369 545 20		
19 18 26 46.368	-20 49 27.73	0.849 548 74	6 22 41 5.364	-10 35 2.72	1.371 089 92		
20 18 28 46.497	-20 57 49.54	0.868 807 82	7 22 47 50.374	- 9 52 20.36	1.372 028 89		
21 18 31 11.843	-21 6 2.04	0.888 041 89	8 22 54 37.178	- 9 8 22.41	1.372 330 27		
22 18 34 0.101	-21 13 57.57	0.907 167 78	9 23 1 25.828	- 8 23 9.94	1.371 959 24		
23 18 37 9.137	-21 21 29.15	0.926 116 84	10 23 8 16.370	- 7 36 44.25	1.370 878 03		
24 18 40 36.995	-21 28 30.46	0.944 832 97	11 23 15 8.840	- 6 49 6.91	1.369 045 80		
25 18 44 21.894	-21 34 55.84	0.963 270 66	12 23 22 3.261	- 6 0 19.86	1.366 418 81		
26 18 48 22.221	-21 40 40.20	0.981 393 44	13 23 28 59.636	- 5 10 25.37	1.362 950 47		
27 18 52 36.518	-21 45 39.00	0.999 172 38	14 23 35 57.941	- 4 19 26.23	1.358 591 72		
28 18 57 3.470	-21 49 48.20	1.016 584 86	15 23 42 58.121	- 3 27 25.72	1.353 291 42		
29 19 1 41.895	-21 53 4.19	1.033 613 47	16 23 50 0.077	- 2 34 27.74	1.346 996 99		
30 19 6 30.729	-21 55 23.78	1.050 245 10	17 23 57 3.662	- 1 40 36.91	1.339 655 24		
Févr.	31 19 11 29.015	-21 56 44.10	1.066 470 12	18 0 4 8.665	- 0 45 58.61	1.331 213 54	
	1 19 16 35.894	-21 57 2.63	1.082 281 79	19 0 11 14.805	0 9 20.90	1.321 621 15	
	2 19 21 50.591	-21 56 17.12	1.097 675 64	20 0 18 21.714	1 5 14.39	1.310 830 96	
	3 19 27 12.410	-21 54 25.60	1.112 649 12	21 0 25 28.934	2 1 33.65	1.298 801 44	
	4 19 32 40.721	-21 51 26.33	1.127 201 20	22 0 32 35.899	2 58 9.37	1.285 498 89	
	5 19 38 14.953	-21 47 17.79	1.141 332 06	23 0 39 41.929	3 54 51.18	1.270 899 83	
	6 19 43 54.589	-21 41 58.64	1.155 042 84	24 0 46 46.227	4 51 27.69	1.254 993 50	
	7 19 49 39.161	-21 35 27.69	1.168 335 39	25 0 53 47.876	5 47 46.51	1.237 784 18	
	8 19 55 28.242	-21 27 43.90	1.181 212 05	26 1 0 45.837	6 43 34.45	1.219 293 33	
	9 20 1 21.448	-21 18 46.37	1.193 675 49	27 1 7 38.965	7 38 37.64	1.199 561 06	
	10 20 7 18.429	-21 8 34.29	1.205 728 53	28 1 14 26.017	8 32 41.82	1.178 647 04	
	11 20 13 18.871	-20 57 6.94	1.217 374 01	29 1 21 5.670	9 25 32.59	1.156 630 49	
	12 20 19 22.488	-20 44 23.71	1.228 614 64	30 1 27 36.544	10 16 55.70	1.133 609 16	
	13 20 25 29.024	-20 30 24.05	1.239 452 93	31 1 33 57.223	11 6 37.32	1.109 697 50	
14 20 31 38.248	-20 15 7.49	1.249 891 03	Avril 1 1 40 6.281	11 54 24.34	1.085 023 93		

MERCURE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	1	46	2.307	12	40	4.54	1.05972758	Mai	18	2	11	43.283	9	47	34.56	0.69356414
	3	1	51	43.922	13	23	26.80	1.03395466		19	2	13	41.715	9	52	51.25	0.70761847
	4	1	57	9.804	14	4	21.18	1.00785481		20	2	15	54.601	10	0	16.87	0.72213142
	5	2	2	18.703	14	42	38.93	0.98157764		21	2	18	21.580	10	9	46.22	0.73707709
	6	2	7	9.447	15	18	12.54	0.95526977		22	2	21	2.302	10	21	13.91	0.75243148
	7	2	11	40.959	15	50	55.56	0.92907230		23	2	23	56.443	10	34	34.44	0.76817220
	8	2	15	52.254	16	20	42.59	0.90311907		24	2	27	3.701	10	49	42.22	0.78427824
	9	2	19	42.450	16	47	29.09	0.87753538		25	2	30	23.806	11	6	31.65	0.80072966
	10	2	23	10.771	17	11	11.29	0.85243741		26	2	33	56.518	11	24	57.10	0.81750728
	11	2	26	16.549	17	31	46.03	0.82793202		27	2	37	41.632	11	44	52.96	0.83459244
	12	2	28	59.238	17	49	10.71	0.80411695		28	2	41	38.976	12	6	13.62	0.85196664
13	2	31	18.419	18	3	23.23	0.78108125	29	2	45	48.415	12	28	53.48	0.86961125		
14	2	33	13.815	18	14	21.94	0.75890588	30	2	50	9.850	12	52	46.93	0.88750720		
15	2	34	45.306	18	22	5.72	0.73766439	31	2	54	43.218	13	17	48.36	0.90563462		
16	2	35	52.947	18	26	34.03	0.71742351	Juin	1	2	59	28.493	13	43	52.13	0.92397244	
17	2	36	36.987	18	27	47.07	0.69824375		2	3	4	25.686	14	10	52.53	0.94249806	
18	2	36	57.892	18	25	45.95	0.68017986		3	3	9	34.841	14	38	43.79	0.96118689	
19	2	36	56.359	18	20	32.90	0.66328112		4	3	14	56.034	15	7	19.98	0.98001188	
20	2	36	33.341	18	12	11.59	0.64759150		5	3	20	29.372	15	36	35.06	0.99894307	
21	2	35	50.051	18	0	47.33	0.63314967		6	3	26	14.987	16	6	22.73	1.01794707	
22	2	34	47.975	17	46	27.39	0.61998883		7	3	32	13.033	16	36	36.49	1.03698652	
23	2	33	28.861	17	29	21.25	0.60813646		8	3	38	23.681	17	7	9.49	1.05601957	
24	2	31	54.715	17	9	40.72	0.59761397		9	3	44	47.109	17	37	54.57	1.07499932	
25	2	30	7.766	16	47	40.10	0.58843627		10	3	51	23.498	18	8	44.12	1.09387336	
26	2	28	10.437	16	23	36.10	0.58061139	11	3	58	13.018	18	39	30.12	1.11258326		
27	2	26	5.294	15	57	47.73	0.57414020	12	4	5	15.817	19	10	4.01	1.13106419		
28	2	23	54.991	15	30	35.97	0.56901618	13	4	12	32.008	19	40	16.70	1.14924472		
29	2	21	42.210	15	2	23.33	0.56522540	14	4	20	1.652	20	9	58.55	1.16704672		
30	2	19	29.597	14	33	33.36	0.56274669	15	4	27	44.743	20	38	59.32	1.18438549		
Mai	1	2	17	19.706	14	4	30.03	0.56155205	16	4	35	41.188	21	7	8.25	1.20117027	
	2	2	15	14.942	13	35	37.10	0.56160719	17	4	43	50.787	21	34	14.06	1.21730505	
	3	2	13	17.519	13	7	17.52	0.56287235	18	4	52	13.213	22	0	5.07	1.23268981	
	4	2	11	29.425	12	39	52.91	0.56530310	19	5	0	47.995	22	24	29.36	1.24722226	
	5	2	9	52.399	12	13	43.03	0.56885139	20	5	9	34.497	22	47	14.86	1.26080004	
	6	2	8	27.918	11	49	5.51	0.57346648	21	5	18	31.908	23	8	9.68	1.27332334	
7	2	7	17.201	11	26	15.58	0.57909593	22	5	27	39.236	23	27	2.29	1.28469790		
8	2	6	21.209	11	5	25.96	0.58568658	23	5	36	55.312	23	43	41.83	1.29483809		
9	2	5	40.670	10	46	46.89	0.59318532	24	5	46	18.802	23	57	58.42	1.30367004		
10	2	5	16.093	10	30	26.16	0.60153987	25	5	55	48.226	24	9	43.44	1.31113441		
11	2	5	7.793	10	16	29.33	0.61069940	26	6	5	21.996	24	18	49.79	1.31718865		
12	2	5	15.920	10	4	59.89	0.62061500	27	6	14	58.448	24	25	12.07	1.32180846		
13	2	5	40.481	9	55	59.51	0.63124009	28	6	24	35.887	24	28	46.77	1.32498846		
14	2	6	21.369	9	49	28.28	0.64253065	29	6	34	12.634	24	29	32.27	1.32674178		
15	2	7	18.385	9	45	24.95	0.65444541	30	6	43	47.064	24	27	28.81	1.32709889		
16	2	8	31.260	9	43	47.18	0.66694592	Juill.	1	6	53	17.644	24	22	38.42	1.32610565	
17	2	9	59.676	9	44	31.70	0.67999649		2	7	2	42.964	24	15	4.71	1.32382079	

MERCURE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	7	12	1.758	24	4	52.69	1.32031318	Août	18	11	12	49.196	1	9	51.62	0.73297185
	4	7	21	12.916	23	52	8.51	1.31565895		19	11	13	19.907	0	56	6.30	0.72036713
	5	7	30	15.492	23	36	59.21	1.30993875		20	11	13	32.292	0	44	52.10	0.70818363
	6	7	39	8.697	23	19	32.50	1.30323531		21	11	13	25.764	0	36	19.46	0.69648592
	7	7	47	51.898	22	59	56.54	1.29563127		22	11	12	59.830	0	30	38.72	0.68534560
	8	7	56	24.599	22	38	19.73	1.28720748		23	11	12	14.141	0	27	59.86	0.67484164
	9	8	4	46.434	22	14	50.57	1.27804170		24	11	11	8.534	0	28	32.04	0.66506045
	10	8	12	57.145	21	49	37.54	1.26820756		25	11	9	43.084	0	32	23.25	0.65609574
	11	8	20	56.573	21	22	48.97	1.25777403		26	11	7	58.164	0	39	39.67	0.64804819
	12	8	28	44.636	20	54	32.95	1.24680499		27	11	5	54.502	0	50	25.13	0.64102467
	13	8	36	21.320	20	24	57.33	1.23535916		28	11	3	33.235	1	4	40.36	0.63513709
	14	8	43	46.665	19	54	9.63	1.22349010		29	11	0	55.960	1	22	22.39	0.63050083
	15	8	51	0.756	19	22	17.07	1.21124639		30	10	58	4.765	1	43	23.87	0.62723259
	16	8	58	3.710	18	49	26.49	1.19867183		31	10	55	2.251	2	7	32.60	0.62544787
	17	9	4	55.669	18	15	44.47	1.18580576		Sept. 1	10	51	51.516	2	34	31.17	0.62525796
	18	9	11	36.787	17	41	17.21	1.17268331		2	10	48	36.121	3	3	56.97	0.62676669
	19	9	18	7.228	17	6	10.65	1.15933577		3	10	45	20.015	3	35	22.44	0.63006695
20	9	24	27.159	16	30	30.46	1.14579091	4	10	42	7.441	4	8	15.70	0.63523731		
21	9	30	36.740	15	54	22.02	1.13207329	5	10	39	2.804	4	42	1.45	0.64233888		
22	9	36	36.126	15	17	50.48	1.11820461	6	10	36	10.531	5	16	2.19	0.65141258		
23	9	42	25.458	14	41	0.81	1.10420403	7	10	33	34.926	5	49	39.51	0.66247702		
24	9	48	4.866	14	3	57.76	1.09008846	8	10	31	20.026	6	22	15.41	0.67552699		
25	9	53	34.460	13	26	45.94	1.07587283	9	10	29	29.475	6	53	13.55	0.69053270		
26	9	58	54.332	12	49	29.81	1.06157040	10	10	28	6.422	7	22	0.27	0.70743956		
27	10	4	4.553	12	12	13.74	1.04719300	11	10	27	13.445	7	48	5.41	0.72616849		
28	10	9	5.169	11	35	2.01	1.03275125	12	10	26	52.502	8	11	2.82	0.74661676		
29	10	13	56.201	10	57	58.86	1.01825485	13	10	27	4.917	8	30	30.66	0.76865917		
30	10	18	37.643	10	21	8.51	1.00371276	14	10	27	51.388	8	46	11.42	0.79214959		
31	10	23	9.457	9	44	35.17	0.98913344	15	10	29	12.009	8	57	51.94	0.81692298		
Août 1	10	27	31.576	9	8	23.10	0.97452506	16	10	31	6.316	9	5	23.15	0.84279775		
2	10	31	43.898	8	32	36.63	0.95989570	17	10	33	33.345	9	8	39.94	0.86957866		
3	10	35	46.287	7	57	20.16	0.94525358	18	10	36	31.688	9	7	40.82	0.89706025		
4	10	39	38.567	7	22	38.25	0.93060727	19	10	39	59.568	9	2	27.75	0.92503075		
5	10	43	20.524	6	48	35.60	0.91596590	20	10	43	54.911	8	53	5.78	0.95327643		
6	10	46	51.904	6	15	17.13	0.90133939	21	10	48	15.419	8	39	42.77	0.98158633		
7	10	50	12.407	5	42	47.96	0.88673871	22	10	52	58.649	8	22	29.07	1.00975690		
8	10	53	21.688	5	11	13.51	0.87217614	23	10	58	2.086	8	1	37.16	1.03759652		
9	10	56	19.357	4	40	39.51	0.85766558	24	11	3	23.209	7	37	21.19	1.06492945		
10	10	59	4.974	4	11	12.02	0.84322288	25	11	8	59.557	7	9	56.61	1.09159901		
11	11	1	38.057	3	42	57.47	0.82886619	26	11	14	48.779	6	39	39.71	1.11746979		
12	11	3	58.074	3	16	2.71	0.81461636	27	11	20	48.674	6	6	47.23	1.14242882		
13	11	6	4.454	2	50	35.04	0.80049735	28	11	26	57.226	5	31	35.94	1.16638564		
14	11	7	56.581	2	26	42.21	0.78653661	29	11	33	12.619	4	54	22.34	1.18927160		
15	11	9	33.806	2	4	32.48	0.77276550	30	11	39	33.247	4	15	22.35	1.21103827		
16	11	10	55.449	1	44	14.57	0.75921975	Oct. 1	11	45	57.713	3	34	51.10	1.23165542		
17	11	12	0.814	1	25	57.73	0.74593993	2	11	52	24.822	2	53	2.80	1.25110868		

MERCURE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 11 58 53.568	2 10 10.63	1.269 397 07	Nov.	18 16 45 55.104	-24 37 51.29	1.262 551 63
	4 12 5 23.122	1 26 26.67	1.286 530 55		19 16 52 5.141	-24 51 17.56	1.248 392 11
	5 12 11 52.809	0 42 1.94	1.302 527 79		20 16 58 13.232	-25 3 25.78	1.233 609 93
	6 12 18 22.093	-0 2 53.60	1.317 414 06		21 17 4 18.861	-25 14 14.67	1.218 196 96
	7 12 24 50.561	-0 48 11.01	1.331 219 49		22 17 10 21.439	-25 23 43.01	1.202 145 82
	8 12 31 17.902	-1 33 42.28	1.343 977 54		23 17 16 20.288	-25 31 49.67	1.185 450 13
	9 12 37 43.894	-2 19 20.28	1.355 723 68		24 17 22 14.637	-25 38 33.63	1.168 105 06
	10 12 44 8.386	-3 4 58.65	1.366 494 39		25 17 28 3.606	-25 43 53.99	1.150 107 74
	11 12 50 31.290	-3 50 31.75	1.376 326 27		26 17 33 46.191	-25 47 50.04	1.131 458 01
	12 12 56 52.566	-4 35 54.55	1.385 255 42		27 17 39 21.253	-25 50 21.26	1.112 159 13
	13 13 3 12.218	-5 21 2.62	1.393 316 89		28 17 44 47.500	-25 51 27.36	1.092 218 79
	14 13 9 30.281	-6 5 51.99	1.400 544 34		29 17 50 3.468	-25 51 8.32	1.071 650 23
15 13 15 46.818	-6 50 19.14	1.406 969 78	30 17 55 7.500	-25 49 24.47	1.050 473 62		
16 13 22 1.916	-7 34 20.92	1.412 623 36	Déc.	1 17 59 57.729	-25 46 16.48	1.028 717 67	
17 13 28 15.675	-8 17 54.54	1.417 533 35		2 18 4 32.053	-25 41 45.43	1.006 421 54	
18 13 34 28.209	-9 0 57.44	1.421 726 04	3 18 8 48.120	-25 35 52.86	0.983 637 02		
19 13 40 39.640	-9 43 27.35	1.425 225 72	4 18 12 43.312	-25 28 40.75	0.960 431 01		
20 13 46 50.098	-10 25 22.19	1.428 054 76	5 18 16 14.740	-25 20 11.58	0.936 888 33		
21 13 52 59.716	-11 6 40.05	1.430 233 60	6 18 19 19.251	-25 10 28.24	0.913 114 62		
22 13 59 8.626	-11 47 19.18	1.431 780 82	7 18 21 53.452	-24 59 34.09	0.889 239 53		
23 14 5 16.962	-12 27 17.95	1.432 713 20	8 18 23 53.769	-24 47 32.80	0.865 419 69		
24 14 11 24.857	-13 6 34.84	1.433 045 78	9 18 25 16.537	-24 34 28.30	0.841 841 40		
25 14 17 32.439	-13 45 8.40	1.432 791 94	10 18 25 58.145	-24 20 24.64	0.818 722 62		
26 14 23 39.830	-14 22 57.25	1.431 963 44	11 18 25 55.236	-24 5 25.90	0.796 313 60		
27 14 29 47.150	-15 0 0.06	1.430 570 53	12 18 25 4.984	-23 49 36.10	0.774 895 63		
28 14 35 54.509	-15 36 15.55	1.428 621 95	13 18 23 25.438	-23 32 59.25	0.754 777 12		
29 14 42 2.011	-16 11 42.44	1.426 125 06	14 18 20 55.912	-23 15 39.65	0.736 286 33		
30 14 48 9.752	-16 46 19.48	1.423 085 88	15 18 17 37.403	-22 57 42.31	0.719 760 08		
31 14 54 17.819	-17 20 5.43	1.419 509 15	16 18 13 32.959	-22 39 13.85	0.705 528 60		
Nov. 1 15 0 26.289	-17 52 59.04	1.415 398 37	17 18 8 47.918	-22 20 23.42	0.693 897 02		
2 15 6 35.229	-18 24 59.08	1.410 755 91	18 18 3 29.933	-22 1 23.78	0.685 125 06		
3 15 12 44.695	-18 56 4.29	1.405 583 05	19 17 57 48.703	-21 42 31.95	0.679 407 43		
4 15 18 54.731	-19 26 13.42	1.399 880 05	20 17 51 55.417	-21 24 9.23	0.676 857 86		
5 15 25 5.365	-19 55 25.22	1.393 646 22	21 17 46 1.945	-21 6 40.20	0.677 499 50		
6 15 31 16.609	-20 23 38.41	1.386 879 97	22 17 40 19.931	-20 50 30.98	0.681 263 63		
7 15 37 28.458	-20 50 51.68	1.379 578 91	23 17 34 59.929	-20 36 6.74	0.687 996 80		
8 15 43 40.888	-21 17 3.72	1.371 739 83	24 17 30 10.740	-20 23 49.25	0.697 475 05		
9 15 49 53.852	-21 42 13.19	1.363 358 77	25 17 25 59.037	-20 13 54.97	0.709 422 69		
10 15 56 7.287	-22 6 18.70	1.354 431 02	26 17 22 29.269	-20 6 33.85	0.723 532 41		
11 16 2 21.103	-22 29 18.88	1.344 951 20	27 17 19 43.820	-20 1 49.17	0.739 484 31		
12 16 8 35.188	-22 51 12.31	1.334 913 21	28 17 17 43.310	-19 59 38.06	0.756 961 86		
13 16 14 49.400	-23 11 57.58	1.324 310 33	29 17 16 26.975	-19 59 52.60	0.775 663 90		
14 16 21 3.569	-23 31 33.25	1.313 135 27	30 17 15 53.050	-20 2 21.05	0.795 312 75		
15 16 27 17.489	-23 49 57.89	1.301 380 23	31 17 15 59.111	-20 6 49.14	0.815 658 82		
16 16 33 30.917	-24 7 10.06	1.289 036 99	32 17 16 42.354	-20 13 1.23	0.836 482 38		
17 16 39 43.567	-24 23 8.33	1.276 097 02	33 17 17 59.813	-20 20 41.15	0.857 593 36		

VÉNUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	18	28	47.796	-23	40	21.19	1.70759207	Févr.	15	22	27	9.184	-11	15	53.41	1.69052051
	1	18	34	17.542	-23	38	31.33	1.70810725		16	22	31	53.946	-10	48	22.81	1.68919972
	2	18	39	47.089	-23	35	57.47	1.70858455		17	22	36	37.733	-10	20	35.07	1.68783564
	3	18	45	16.375	-23	32	39.68	1.70902394		18	22	41	20.575	-9	52	30.98	1.68642815
	4	18	50	45.339	-23	28	38.07	1.70942529		19	22	46	2.505	-9	24	11.32	1.68497716
	5	18	56	13.924	-23	23	52.78	1.70978838		20	22	50	43.555	-8	55	36.86	1.68348264
	6	19	1	42.073	-23	18	23.98	1.71011294		21	22	55	23.759	-8	26	48.37	1.68194458
	7	19	7	9.731	-23	12	11.91	1.71039868		22	23	0	3.151	-7	57	46.64	1.68036299
	8	19	12	36.842	-23	5	16.81	1.71064530		23	23	4	41.766	-7	28	32.42	1.67873796
	9	19	18	3.351	-22	57	38.98	1.71085255		24	23	9	19.640	-6	59	6.51	1.67706959
	10	19	23	29.202	-22	49	18.77	1.71102017		25	23	13	56.807	-6	29	29.65	1.67535799
	11	19	28	54.342	-22	40	16.52	1.71114796		26	23	18	33.306	-5	59	42.61	1.67360332
	12	19	34	18.718	-22	30	32.63	1.71123576		27	23	23	9.173	-5	29	46.15	1.67180569
	13	19	39	42.279	-22	20	7.53	1.71128342		28	23	27	44.450	-4	59	40.99	1.66996518
14	19	45	4.976	-22	9	1.65	1.71129084	Mars	1	23	32	19.181	-4	29	27.87	1.66808176	
15	19	50	26.763	-21	57	15.48	1.71125795		2	23	36	53.409	-3	59	7.49	1.66615533	
16	19	55	47.594	-21	44	49.49	1.71118472		3	23	41	27.182	-3	28	40.57	1.66418565	
17	20	1	7.430	-21	31	44.23	1.71107115		4	23	46	0.544	-2	58	7.83	1.66217239	
18	20	6	26.233	-21	18	0.21	1.71091725		5	23	50	33.542	-2	27	29.99	1.66011517	
19	20	11	43.966	-21	3	38.02	1.71072310		6	23	55	6.218	-1	56	47.80	1.65801352	
20	20	17	0.599	-20	48	38.22	1.71048875		7	23	59	38.614	-1	26	1.99	1.65586700	
21	20	22	16.103	-20	33	1.42	1.71021433		8	0	4	10.773	-0	55	13.30	1.65367515	
22	20	27	30.451	-20	16	48.24	1.70989995		9	0	8	42.737	-0	24	22.49	1.65143750	
23	20	32	43.623	-19	59	59.32	1.70954577		10	0	13	14.547	0	6	29.70	1.64915362	
24	20	37	55.597	-19	42	35.32	1.70915198	11	0	17	46.245	0	37	22.53	1.64682308		
25	20	43	6.357	-19	24	36.91	1.70871876	12	0	22	17.872	1	8	15.24	1.64444548		
26	20	48	15.889	-19	6	4.77	1.70824636	13	0	26	49.470	1	39	7.10	1.64202041		
27	20	53	24.179	-18	46	59.61	1.70773499	14	0	31	21.081	2	9	57.35	1.63954752		
28	20	58	31.219	-18	27	22.12	1.70718490	15	0	35	52.748	2	40	45.25	1.63702644		
29	21	3	37.001	-18	7	13.03	1.70659628	16	0	40	24.511	3	11	30.07	1.63445685		
30	21	8	41.520	-17	46	33.04	1.70596925	17	0	44	56.412	3	42	11.05	1.63183847		
31	21	13	44.775	-17	25	22.86	1.70530384	18	0	49	28.492	4	12	47.46	1.62917104		
Févr.	1	21	18	46.771	-17	3	43.21	1.70459997	19	0	54	0.793	4	43	18.56	1.62645434	
	2	21	23	47.514	-16	41	34.80	1.70385743	20	0	58	33.354	5	13	43.60	1.62368822	
	3	21	28	47.014	-16	18	58.36	1.70307591	21	1	3	6.214	5	44	1.85	1.62087257	
	4	21	33	45.283	-15	55	54.62	1.70225506	22	1	7	39.411	6	14	12.55	1.61800732	
	5	21	38	42.333	-15	32	24.34	1.70139445	23	1	12	12.983	6	44	14.96	1.61509247	
	6	21	43	38.177	-15	8	28.29	1.70049370	24	1	16	46.965	7	14	8.32	1.61212809	
	7	21	48	32.829	-14	44	7.24	1.69955238	25	1	21	21.394	7	43	51.90	1.60911427	
	8	21	53	26.303	-14	19	21.99	1.69857012	26	1	25	56.305	8	13	24.95	1.60605117	
	9	21	58	18.615	-13	54	13.30	1.69754655	27	1	30	31.735	8	42	46.71	1.60293894	
	10	22	3	9.783	-13	28	41.99	1.69648135	28	1	35	7.721	9	11	56.46	1.59977776	
	11	22	7	59.826	-13	2	48.82	1.69537418	29	1	39	44.303	9	40	53.46	1.59656776	
	12	22	12	48.763	-12	36	34.59	1.69422477	30	1	44	21.520	10	9	37.01	1.59330902	
	13	22	17	36.619	-12	10	0.08	1.69303284	31	1	48	59.411	10	38	6.38	1.59000154	
	14	22	22	23.418	-11	43	6.10	1.69179816	Avril	1	1	53	38.013	11	6	20.87	1.58664521

VÉNUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	1	58	17.363	11	34	19.73	1.583 239 85	Mai	18	5	49	11.170	24	54	0.54	1.371 210 14
	3	2	2	57.492	12	2	2.25	1.579 785 22		19	5	54	28.342	24	57	2.45	1.365 415 94
	4	2	7	38.432	12	29	27.66	1.576 281 03		20	5	59	45.483	24	59	21.61	1.359 573 27
	5	2	12	20.211	12	56	35.23	1.572 726 94		21	6	5	2.527	25	0	57.96	1.353 682 67
	6	2	17	2.859	13	23	24.20	1.569 122 63		22	6	10	19.407	25	1	51.47	1.347 744 73
	7	2	21	46.400	13	49	53.82	1.565 467 78		23	6	15	36.058	25	2	2.15	1.341 760 08
	8	2	26	30.861	14	16	3.31	1.561 762 04		24	6	20	52.416	25	1	30.03	1.335 729 41
	9	2	31	16.263	14	41	51.94	1.558 005 12		25	6	26	8.417	25	0	15.20	1.329 653 40
	10	2	36	2.629	15	7	18.93	1.554 196 69		26	6	31	24.000	24	58	17.76	1.323 532 72
	11	2	40	49.980	15	32	23.55	1.550 336 46		27	6	36	39.101	24	55	37.85	1.317 368 01
	12	2	45	38.333	15	57	5.02	1.546 424 16		28	6	41	53.659	24	52	15.65	1.311 159 88
13	2	50	27.705	16	21	22.62	1.542 459 51	29	6	47	7.612	24	48	11.35	1.304 908 89		
14	2	55	18.111	16	45	15.58	1.538 442 28	30	6	52	20.900	24	43	25.16	1.298 615 52		
15	3	0	9.563	17	8	43.18	1.534 372 24	31	6	57	33.462	24	37	57.34	1.292 280 25		
16	3	5	2.071	17	31	44.68	1.530 249 24	Juin	1	7	2	45.242	24	31	48.15	1.285 903 46	
17	3	9	55.639	17	54	19.35	1.526 073 16		2	7	7	56.184	24	24	57.89	1.279 485 56	
18	3	14	50.273	18	16	26.46	1.521 843 94		3	7	13	6.232	24	17	26.88	1.273 026 87	
19	3	19	45.971	18	38	5.29	1.517 561 61		4	7	18	15.335	24	9	15.47	1.266 527 73	
20	3	24	42.731	18	59	15.12	1.513 226 24		5	7	23	23.442	24	0	24.03	1.259 988 46	
21	3	29	40.549	19	19	55.25	1.508 838 01	6	7	28	30.505	23	50	52.96	1.253 409 34		
22	3	34	39.416	19	40	4.96	1.504 397 16	7	7	33	36.477	23	40	42.70	1.246 790 66		
23	3	39	39.324	19	59	43.56	1.499 903 97	8	7	38	41.314	23	29	53.69	1.240 132 68		
24	3	44	40.265	20	18	50.37	1.495 358 81	9	7	43	44.972	23	18	26.42	1.233 435 63		
25	3	49	42.228	20	37	24.72	1.490 762 05	10	7	48	47.410	23	6	21.38	1.226 699 74		
26	3	54	45.201	20	55	25.98	1.486 114 09	11	7	53	48.588	22	53	39.11	1.219 925 24		
27	3	59	49.174	21	12	53.51	1.481 415 29	12	7	58	48.466	22	40	20.17	1.213 112 34		
28	4	4	54.130	21	29	46.71	1.476 666 00	13	8	3	47.004	22	26	25.13	1.206 261 28		
29	4	10	0.052	21	46	4.98	1.471 866 49	14	8	8	44.166	22	11	54.60	1.199 372 38		
30	4	15	6.919	22	1	47.74	1.467 016 96	15	8	13	39.914	21	56	49.18	1.192 445 99		
Mai	1	4	20	14.706	22	16	54.43	1.462 117 56	16	8	18	34.213	21	41	9.51	1.185 482 56	
	2	4	25	23.386	22	31	24.48	1.457 168 37	17	8	23	27.033	21	24	56.22	1.178 482 66	
	3	4	30	32.928	22	45	17.34	1.452 169 43	18	8	28	18.346	21	8	9.94	1.171 446 93	
	4	4	35	43.298	22	58	32.48	1.447 120 76	19	8	33	8.129	20	50	51.35	1.164 376 11	
	5	4	40	54.461	23	11	9.39	1.442 022 34	20	8	37	56.362	20	33	1.09	1.157 270 99	
	6	4	46	6.379	23	23	7.57	1.436 874 16	21	8	42	43.027	20	14	39.85	1.150 132 42	
	7	4	51	19.012	23	34	26.56	1.431 676 21	22	8	47	28.111	19	55	48.32	1.142 961 25	
	8	4	56	32.316	23	45	5.90	1.426 428 44	23	8	52	11.601	19	36	27.17	1.135 758 36	
	9	5	1	46.247	23	55	5.18	1.421 130 85	24	8	56	53.487	19	16	37.12	1.128 524 62	
	10	5	7	0.757	24	4	24.00	1.415 783 41	25	9	1	33.760	18	56	18.85	1.121 260 85	
	11	5	12	15.796	24	13	1.99	1.410 386 10	26	9	6	12.415	18	35	33.07	1.113 967 87	
12	5	17	31.312	24	20	58.83	1.404 938 89	27	9	10	49.448	18	14	20.46	1.106 646 44		
13	5	22	47.251	24	28	14.19	1.399 441 78	28	9	15	24.858	17	52	41.74	1.099 297 28		
14	5	28	3.555	24	34	47.81	1.393 894 80	29	9	19	58.646	17	30	37.57	1.091 921 10		
15	5	33	20.163	24	40	39.46	1.388 298 00	30	9	24	30.814	17	8	8.67	1.084 518 51		
16	5	38	37.013	24	45	48.91	1.382 651 48	Juill.	1	9	29	1.369	16	45	15.73	1.077 090 14	
17	5	43	54.038	24	50	15.99	1.376 955 44		2	9	33	30.318	16	21	59.42	1.069 636 56	

VÉNUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	9	37	57.669	15	58	20.46	1.06215830	Août	18	12	37	47.382	-5	39	10.25	0.70102036
	4	9	42	23.433	15	34	19.52	1.05465588		19	12	41	12.734	-6	7	50.39	0.69304375
	5	9	46	47.621	15	9	57.31	1.04712978		20	12	44	36.759	-6	36	21.54	0.68507362
	6	9	51	10.247	14	45	14.52	1.03958045		21	12	47	59.426	-7	4	43.06	0.67711112
	7	9	55	31.323	14	20	11.85	1.03200831		22	12	51	20.701	-7	32	54.33	0.66915743
	8	9	59	50.864	13	54	50.00	1.02441372		23	12	54	40.548	-8	0	54.72	0.66121377
	9	10	4	8.883	13	29	9.67	1.01679703		24	12	57	58.929	-8	28	43.63	0.65328133
	10	10	8	25.394	13	3	11.58	1.00915854		25	13	1	15.802	-8	56	20.44	0.64536133
	11	10	12	40.407	12	36	56.45	1.00149854		26	13	4	31.123	-9	23	44.54	0.63745498
	12	10	16	53.935	12	10	25.01	0.99381733		27	13	7	44.847	-9	50	55.31	0.62956351
	13	10	21	5.988	11	43	37.98	0.98611523		28	13	10	56.921	-10	17	52.14	0.62168815
	14	10	25	16.575	11	16	36.09	0.97839265		29	13	14	7.292	-10	44	34.42	0.61383012
	15	10	29	25.710	10	49	20.06	0.97065009		30	13	17	15.902	-11	11	1.52	0.60599065
	16	10	33	33.403	10	21	50.59	0.96288816		31	13	20	22.686	-11	37	12.81	0.59817096
	17	10	37	39.669	9	54	8.39	0.95510755		Sept. 1	13	23	27.577	-12	3	7.68	0.59037229
	18	10	41	44.523	9	26	14.17	0.94730906		2	13	26	30.501	-12	28	45.46	0.58259586
	19	10	45	47.979	8	58	8.61	0.93949354		3	13	29	31.378	-12	54	5.50	0.57484288
20	10	49	50.050	8	29	52.42	0.93166189	4	13	32	30.123	-13	19	7.13	0.56711454		
21	10	53	50.752	8	1	26.26	0.92381500	5	13	35	26.642	-13	43	49.65	0.55941205		
22	10	57	50.099	7	32	50.82	0.91595382	6	13	38	20.834	-14	8	12.34	0.55173660		
23	11	1	48.106	7	4	6.77	0.90807924	7	13	41	12.592	-14	32	14.46	0.54408942		
24	11	5	44.786	6	35	14.76	0.90019218	8	13	44	1.797	-14	55	55.24	0.53647179		
25	11	9	40.156	6	6	15.45	0.89229350	9	13	46	48.326	-15	19	13.90	0.52888511		
26	11	13	34.231	5	37	9.47	0.88438408	10	13	49	32.042	-15	42	9.62	0.52133094		
27	11	17	27.026	5	7	57.45	0.87646473	11	13	52	12.801	-16	4	41.57	0.51381102		
28	11	21	18.559	4	38	40.03	0.86853626	12	13	54	50.448	-16	26	48.88	0.50632732		
29	11	25	8.844	4	9	17.81	0.86059942	13	13	57	24.820	-16	48	30.68	0.49888201		
30	11	28	57.898	3	39	51.41	0.85265496	14	13	59	55.744	-17	9	46.03	0.49147745		
31	11	32	45.736	3	10	21.43	0.84470357	15	14	2	23.039	-17	30	33.99	0.48411617		
Août 1	11	36	32.374	2	40	48.49	0.83674592	16	14	4	46.520	-17	50	53.58	0.47680087		
2	11	40	17.824	2	11	13.18	0.82878265	17	14	7	5.993	-18	10	43.79	0.46953440		
3	11	44	2.100	1	41	36.11	0.82081437	18	14	9	21.257	-18	30	3.58	0.46231975		
4	11	47	45.214	1	11	57.87	0.81284164	19	14	11	32.105	-18	48	51.87	0.45516004		
5	11	51	27.174	0	42	19.08	0.80486499	20	14	13	38.324	-19	7	7.54	0.44805858		
6	11	55	7.990	0	12	40.32	0.79688490	21	14	15	39.695	-19	24	49.40	0.44101880		
7	11	58	47.665	-0	16	57.77	0.78890179	22	14	17	35.991	-19	41	56.24	0.43404429		
8	12	2	26.203	-0	46	34.57	0.78091605	23	14	19	26.982	-19	58	26.79	0.42713882		
9	12	6	3.600	-1	16	9.45	0.77292805	24	14	21	12.432	-20	14	19.70	0.42030629		
10	12	9	39.855	-1	45	41.76	0.76493815	25	14	22	52.100	-20	29	33.58	0.41355080		
11	12	13	14.958	-2	15	10.86	0.75694675	26	14	24	25.742	-20	44	6.95	0.40687660		
12	12	16	48.902	-2	44	36.10	0.74895434	27	14	25	53.110	-20	57	58.26	0.40028811		
13	12	20	21.675	-3	13	56.83	0.74096152	28	14	27	13.957	-21	11	5.89	0.39378992		
14	12	23	53.263	-3	43	12.41	0.73296901	29	14	28	28.031	-21	23	28.11	0.38738682		
15	12	27	23.649	-4	12	22.18	0.72497766	30	14	29	35.083	-21	35	3.14	0.38108373		
16	12	30	52.813	-4	41	25.50	0.71698841	Oct. 1	14	30	34.867	-21	45	49.05	0.37488579		
17	12	34	20.732	-5	10	21.74	0.70900229	2	14	31	27.139	-21	55	43.86	0.36879828		

VÉNUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	14	32	11.662	-22	4	45.48	0.36282670	Nov.	18	13	40	58.513	-11	47	38.70	0.32035626	
	4	14	32	48.207	-22	12	51.70	0.35697673		19	13	41	14.985	-11	34	33.25	0.32515707	
	5	14	33	16.555	-22	20	0.24	0.35125426		20	13	41	40.194	-11	22	38.54	0.33012555	
	6	14	33	36.502	-22	26	8.74	0.34566543		21	13	42	13.984	-11	11	54.59	0.33525376	
	7	14	33	47.858	-22	31	14.75	0.34021667		22	13	42	56.178	-11	2	21.10	0.34053394	
	8	14	33	50.454	-22	35	15.76	0.33491476		23	13	43	46.584	-10	53	57.40	0.34595848	
	9	14	33	44.146	-22	38	9.21	0.32976679		24	13	44	45.000	-10	46	42.55	0.35151996	
	10	14	33	28.821	-22	39	52.55	0.32478027		25	13	45	51.209	-10	40	35.36	0.35721114	
	11	14	33	4.404	-22	40	23.22	0.31996302		26	13	47	4.988	-10	35	34.39	0.36302503	
	12	14	32	30.863	-22	39	38.73	0.31532321		27	13	48	26.111	-10	31	38.03	0.36895484	
	13	14	31	48.222	-22	37	36.68	0.31086923		28	13	49	54.345	-10	28	44.51	0.37499407	
	14	14	30	56.563	-22	34	14.87	0.30660968		29	13	51	29.457	-10	26	51.95	0.38113648	
	15	14	29	56.033	-22	29	31.31	0.30255328		30	13	53	11.216	-10	25	58.36	0.38737615	
	16	14	28	46.848	-22	23	24.29	0.29870879		Déc.	1	13	54	59.390	-10	26	1.67	0.39370747
	17	14	27	29.297	-22	15	52.48	0.29508498			2	13	56	53.752	-10	26	59.80	0.40012516
	18	14	26	3.746	-22	6	54.99	0.29169052		3	13	58	54.081	-10	28	50.60	0.40662427	
	19	14	24	30.637	-21	56	31.43	0.28853391		4	14	1	0.158	-10	31	31.93	0.41320020	
20	14	22	50.491	-21	44	41.99	0.28562340	5	14	3	11.773	-10	35	1.64	0.41984865			
21	14	21	3.905	-21	31	27.52	0.28296691	6	14	5	28.723	-10	39	17.61	0.42656563			
22	14	19	11.549	-21	16	49.55	0.28057192	7	14	7	50.816	-10	44	17.71	0.43334743			
23	14	17	14.164	-21	0	50.42	0.27844535	8	14	10	17.868	-10	49	59.85	0.44019053			
24	14	15	12.551	-20	43	33.21	0.27659353	9	14	12	49.706	-10	56	21.99	0.44709167			
25	14	13	7.565	-20	25	1.85	0.27502201	10	14	15	26.166	-11	3	22.09	0.45404771			
26	14	11	0.104	-20	5	21.05	0.27373555	11	14	18	7.096	-11	10	58.19	0.46105571			
27	14	8	51.097	-19	44	36.31	0.27273802	12	14	20	52.351	-11	19	8.33	0.46811281			
28	14	6	41.491	-19	22	53.85	0.27203231	13	14	23	41.793	-11	27	50.59	0.47521633			
29	14	4	32.238	-19	0	20.55	0.27162032	14	14	26	35.294	-11	37	3.11	0.48236367			
30	14	2	24.282	-18	37	3.83	0.27150293	15	14	29	32.733	-11	46	44.05	0.48955234			
31	14	0	18.545	-18	13	11.60	0.27167996	16	14	32	33.994	-11	56	51.60	0.49677996			
Nov.	1	13	58	15.914	-17	48	52.07	0.27215026	17	14	35	38.969	-12	7	23.98	0.50404423		
	2	13	56	17.235	-17	24	13.68	0.27291169	18	14	38	47.557	-12	18	19.46	0.51134294		
	3	13	54	23.295	-16	59	24.93	0.27396121	19	14	41	59.659	-12	29	36.33	0.51867392		
	4	13	52	34.825	-16	34	34.29	0.27529497	20	14	45	15.185	-12	41	12.92	0.52603508		
	5	13	50	52.484	-16	9	50.06	0.27690838	21	14	48	34.047	-12	53	7.56	0.53342431		
	6	13	49	16.864	-15	45	20.23	0.27879622	22	14	51	56.161	-13	5	18.62	0.54083957		
	7	13	47	48.485	-15	21	12.48	0.28095271	23	14	55	21.447	-13	17	44.49	0.54827881		
	8	13	46	27.800	-14	57	33.98	0.28337157	24	14	58	49.826	-13	30	23.58	0.55573999		
	9	13	45	15.190	-14	34	31.45	0.28604605	25	15	2	21.224	-13	43	14.30	0.56322110		
	10	13	44	10.974	-14	12	11.01	0.28896904	26	15	5	55.568	-13	56	15.12	0.57072022		
	11	13	43	15.408	-13	50	38.21	0.29213306	27	15	9	32.789	-14	9	24.50	0.57823544		
	12	13	42	28.687	-13	29	57.97	0.29553035	28	15	13	12.817	-14	22	40.97	0.58576501		
	13	13	41	50.953	-13	10	14.62	0.29915291	29	15	16	55.585	-14	36	3.08	0.59330726		
	14	13	41	22.291	-12	51	31.81	0.30299256	30	15	20	41.030	-14	49	29.39	0.60086064		
	15	13	41	2.741	-12	33	52.63	0.30704104	31	15	24	29.086	-15	2	58.53	0.60842375		
	16	13	40	52.297	-12	17	19.52	0.31129002	32	15	28	19.690	-15	16	29.14	0.61599531		
	17	13	40	50.914	-12	1	54.42	0.31573119	33	15	32	12.782	-15	29	59.88	0.62357416		

MARS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	9	30	26.355	18	40	0.00	0.74411068	Févr.	15	8	29	21.217	23	31	24.01	0.70075101
	1	9	29	54.261	18	45	8.04	0.73885974		16	8	28	5.084	23	34	20.39	0.70479809
	2	9	29	18.840	18	50	29.90	0.73374900		17	8	26	51.686	23	37	0.98	0.70903666
	3	9	28	40.089	18	56	5.25	0.72878263		18	8	25	41.129	23	39	25.88	0.71346268
	4	9	27	58.011	19	1	53.73	0.72396500		19	8	24	33.509	23	41	35.25	0.71807199
	5	9	27	12.615	19	7	54.93	0.71930057		20	8	23	28.909	23	43	29.27	0.72286027
	6	9	26	23.922	19	14	8.34	0.71479395		21	8	22	27.405	23	45	8.16	0.72782314
	7	9	25	31.957	19	20	33.46	0.71044982		22	8	21	29.059	23	46	32.17	0.73295613
	8	9	24	36.757	19	27	9.68	0.70627285		23	8	20	33.925	23	47	41.60	0.73825473
	9	9	23	38.366	19	33	56.35	0.70226774		24	8	19	42.042	23	48	36.75	0.74371442
	10	9	22	36.839	19	40	52.80	0.69843909		25	8	18	53.442	23	49	17.94	0.74933070
	11	9	21	32.236	19	47	58.25	0.69479145		26	8	18	8.146	23	49	45.50	0.75509912
	12	9	20	24.632	19	55	11.92	0.69132923		27	8	17	26.167	23	49	59.78	0.76101538
	13	9	19	14.109	20	2	32.94	0.68805671		28	8	16	47.510	23	50	1.09	0.76707529
14	9	18	0.758	20	10	0.42	0.68497798	Mars	1	8	16	12.179	23	49	49.76	0.77327483	
15	9	16	44.681	20	17	33.43	0.68209698	2	8	15	40.171	23	49	26.09	0.77961016		
16	9	15	25.991	20	25	10.98	0.67941742	3	8	15	11.484	23	48	50.38	0.78607752		
17	9	14	4.810	20	32	52.06	0.67694279	4	8	14	46.108	23	48	2.94	0.79267326		
18	9	12	41.268	20	40	35.65	0.67467635	5	8	14	24.034	23	47	4.04	0.79939374		
19	9	11	15.507	20	48	20.68	0.67262108	6	8	14	5.246	23	45	53.97	0.80623534		
20	9	9	47.677	20	56	6.10	0.67077974	7	8	13	49.725	23	44	32.99	0.81319443		
21	9	8	17.933	21	3	50.83	0.66915477	8	8	13	37.449	23	43	1.35	0.82026736		
22	9	6	46.442	21	11	33.82	0.66774836	9	8	13	28.392	23	41	19.30	0.82745044		
23	9	5	13.375	21	19	14.01	0.66656237	10	8	13	22.525	23	39	27.07	0.83474002		
24	9	3	38.908	21	26	50.37	0.66559840	11	8	13	19.818	23	37	24.86	0.84213242		
25	9	2	3.222	21	34	21.89	0.66485771	12	8	13	20.235	23	35	12.90	0.84962397		
26	9	0	26.502	21	41	47.59	0.66434129	13	8	13	23.739	23	32	51.38	0.85721102		
27	8	58	48.935	21	49	6.56	0.66404982	14	8	13	30.294	23	30	20.49	0.86488993		
28	8	57	10.704	21	56	17.91	0.66398374	15	8	13	39.857	23	27	40.41	0.87265707		
29	8	55	31.997	22	3	20.80	0.66414326	16	8	13	52.386	23	24	51.31	0.88050884		
30	8	53	52.999	22	10	14.43	0.66452840	17	8	14	7.836	23	21	53.36	0.88844166		
Févr.	31	8	52	13.894	22	16	58.04	0.66513906	18	8	14	26.162	23	18	46.72	0.89645198	
	1	8	50	34.870	22	23	30.91	0.66597503	19	8	14	47.315	23	15	31.55	0.90453627	
	2	8	48	56.116	22	29	52.34	0.66703598	20	8	15	11.244	23	12	8.01	0.91269109	
	3	8	47	17.825	22	36	1.69	0.66832142	21	8	15	37.897	23	8	36.26	0.92091301	
	4	8	45	40.187	22	41	58.36	0.66983069	22	8	16	7.218	23	4	56.45	0.92919870	
	5	8	44	3.393	22	47	41.79	0.67156287	23	8	16	39.149	23	1	8.74	0.93754494	
	6	8	42	27.633	22	53	11.48	0.67351681	24	8	17	13.633	22	57	13.25	0.94594858	
	7	8	40	53.091	22	58	26.98	0.67569106	25	8	17	50.607	22	53	10.14	0.95440663	
	8	8	39	19.950	23	3	27.91	0.67808388	26	8	18	30.011	22	48	59.53	0.96291625	
	9	8	37	48.386	23	8	13.90	0.68069327	27	8	19	11.784	22	44	41.53	0.97147475	
	10	8	36	18.570	23	12	44.69	0.68351692	28	8	19	55.867	22	40	16.22	0.98007966	
	11	8	34	50.666	23	17	0.02	0.68655228	29	8	20	42.202	22	35	43.71	0.98872867	
	12	8	33	24.833	23	20	59.73	0.68979654	30	8	21	30.737	22	31	4.05	0.99741965	
	13	8	32	1.221	23	24	43.67	0.69324664	31	8	22	21.418	22	26	17.31	1.00615061	
14	8	30	39.971	23	28	11.78	0.69689930	Avril	1	8	23	14.196	22	21	23.56	1.01491964	

MARS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Avril	2 8 24	9.022	22 16 22.85	1.023 724 89	Mai	18 9 31	39.575	16 25 34.26	1.438 739 96	
	3 8 25	5.848	22 11 15.22	1.032 564 51		19 9 33	29.240	16 15 25.36	1.447 501 23	
	4 8 26	4.626	22 6 0.72	1.041 436 68		20 9 35	19.463	16 5 10.37	1.456 235 06	
	5 8 27	5.311	22 0 39.36	1.050 339 52		21 9 37	10.227	15 54 49.35	1.464 940 71	
	6 8 28	7.857	21 55 11.16	1.059 271 17		22 9 39	1.513	15 44 22.33	1.473 617 55	
	7 8 29	12.220	21 49 36.15	1.068 229 75		23 9 40	53.307	15 33 49.35	1.482 265 07	
	8 8 30	18.358	21 43 54.33	1.077 213 35		24 9 42	45.593	15 23 10.46	1.490 882 84	
	9 8 31	26.229	21 38 5.70	1.086 220 09		25 9 44	38.358	15 12 25.69	1.499 470 55	
	10 8 32	35.792	21 32 10.26	1.095 248 08		26 9 46	31.589	15 1 35.09	1.508 027 93	
	11 8 33	47.006	21 26 8.03	1.104 295 43		27 9 48	25.274	14 50 38.70	1.516 554 76	
	12 8 34	59.833	21 19 58.99	1.113 360 24		28 9 50	19.401	14 39 36.56	1.525 050 85	
	13 8 36	14.234	21 13 43.16	1.122 440 62		29 9 52	13.957	14 28 28.72	1.533 515 98	
	14 8 37	30.172	21 7 20.53	1.131 534 67		30 9 54	8.932	14 17 15.20	1.541 949 93	
	15 8 38	47.610	21 0 51.12	1.140 640 48		31 9 56	4.316	14 5 56.05	1.550 352 44	
	16 8 40	6.509	20 54 14.94	1.149 756 18		Juin	1 9 58	0.099	13 54 31.29	1.558 723 18
	17 8 41	26.832	20 47 32.01	1.158 879 88			2 9 59	56.274	13 43 0.94	1.567 061 83
18 8 42	48.540	20 40 42.36	1.168 009 75	3 10 1	52.833		13 31 25.05	1.575 367 98		
19 8 44	11.594	20 33 46.03	1.177 143 98	4 10 3	49.769		13 19 43.61	1.583 641 21		
20 8 45	35.954	20 26 43.04	1.186 280 85	5 10 5	47.076		13 7 56.68	1.591 881 07		
21 8 47	1.578	20 19 33.44	1.195 418 73	6 10 7	44.750		12 56 4.26	1.600 087 07		
22 8 48	28.427	20 12 17.27	1.204 556 07	7 10 9	42.786		12 44 6.40	1.608 258 67		
23 8 49	56.463	20 4 54.54	1.213 691 48	8 10 11	41.178		12 32 3.12	1.616 395 32		
24 8 51	25.647	19 57 25.29	1.222 823 66	9 10 13	39.922		12 19 54.46	1.624 496 41		
25 8 52	55.944	19 49 49.53	1.231 951 49	10 10 15	39.015		12 7 40.45	1.632 561 29		
26 8 54	27.322	19 42 7.28	1.241 073 94	11 10 17	38.451		11 55 21.15	1.640 589 27		
27 8 55	59.748	19 34 18.56	1.250 190 14	12 10 19	38.223		11 42 56.62	1.648 579 62		
28 8 57	33.196	19 26 23.37	1.259 299 27	13 10 21	38.326		11 30 26.92	1.656 531 60		
29 8 59	7.634	19 18 21.75	1.268 400 61	14 10 23	38.750		11 17 52.12	1.664 444 47		
30 9 0	43.038	19 10 13.69	1.277 493 42	15 10 25	39.486		11 5 12.31	1.672 317 51		
Mai	1 9 2	19.379	19 1 59.22	1.286 577 00	16 10 27		40.526	10 52 27.56	1.680 150 10	
	2 9 3	56.633	18 53 38.34	1.295 650 60	17 10 29	41.861	10 39 37.94	1.687 941 70		
	3 9 5	34.774	18 45 11.06	1.304 713 43	18 10 31	43.485	10 26 43.53	1.695 691 87		
	4 9 7	13.779	18 36 37.38	1.313 764 69	19 10 33	45.392	10 13 44.39	1.703 400 29		
	5 9 8	53.626	18 27 57.29	1.322 803 51	20 10 35	47.577	10 0 40.58	1.711 066 76		
	6 9 10	34.294	18 19 10.78	1.331 829 00	21 10 37	50.035	9 47 32.17	1.718 691 16		
	7 9 12	15.763	18 10 17.87	1.340 840 27	22 10 39	52.763	9 34 19.22	1.726 273 44		
	8 9 13	58.012	18 1 18.54	1.349 836 37	23 10 41	55.757	9 21 1.81	1.733 813 61		
	9 9 15	41.024	17 52 12.79	1.358 816 35	24 10 43	59.012	9 7 40.00	1.741 311 72		
	10 9 17	24.781	17 43 0.63	1.367 779 21	25 10 46	2.525	8 54 13.86	1.748 767 82		
	11 9 19	9.265	17 33 42.06	1.376 723 96	26 10 48	6.293	8 40 43.45	1.756 181 95		
	12 9 20	54.460	17 24 17.09	1.385 649 54	27 10 50	10.312	8 27 8.83	1.763 554 17		
	13 9 22	40.349	17 14 45.73	1.394 554 90	28 10 52	14.581	8 13 30.07	1.770 884 47		
	14 9 24	26.915	17 5 8.01	1.403 438 93	29 10 54	19.099	7 59 47.21	1.778 172 84		
	15 9 26	14.140	16 55 23.95	1.412 300 55	30 10 56	23.865	7 46 0.32	1.785 419 21		
	16 9 28	2.005	16 45 33.61	1.421 138 63	Juill.	1 10 58	28.880	7 32 9.43	1.792 623 48	
17 9 29	50.490	16 35 37.03	1.429 952 11	2 11 0		34.146	7 18 14.59	1.799 785 50		

MARS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 11 2 39.663	7 4 15.87	1.80690511	Août	18 12 43 50.402	- 4 27 4.30	2.08466577
	4 11 4 45.434	6 50 13.30	1.81398208		19 12 46 9.884	- 4 42 36.54	2.08958642
	5 11 6 51.461	6 36 6.93	1.82101617		20 12 48 29.745	- 4 58 8.48	2.09445902
	6 11 8 57.747	6 21 56.83	1.82800708		21 12 50 49.988	- 5 13 40.01	2.09928389
	7 11 11 4.294	6 7 43.04	1.83495447		22 12 53 10.617	- 5 29 11.02	2.10406134
	8 11 13 11.104	5 53 25.62	1.84185795		23 12 55 31.639	- 5 44 41.40	2.10879167
	9 11 15 18.179	5 39 4.65	1.84871708		24 12 57 53.059	- 6 0 11.05	2.11347517
	10 11 17 25.520	5 24 40.20	1.85553136		25 13 0 14.883	- 6 15 39.86	2.11811212
	11 11 19 33.126	5 10 12.35	1.86230026		26 13 2 37.119	- 6 31 7.73	2.12270275
	12 11 21 40.995	4 55 41.21	1.86902322		27 13 4 59.775	- 6 46 34.55	2.12724727
	13 11 23 49.125	4 41 6.85	1.87569971		28 13 7 22.859	- 7 2 0.23	2.13174586
	14 11 25 57.515	4 26 29.39	1.88232924		29 13 9 46.378	- 7 17 24.67	2.13619866
	15 11 28 6.164	4 11 48.91	1.88891143		30 13 12 10.341	- 7 32 47.76	2.14060577
	16 11 30 15.071	3 57 5.49	1.89544600		31 13 14 34.755	- 7 48 9.40	2.14496724
	17 11 32 24.238	3 42 19.23	1.90193279		Sept. 1 13 16 59.629	- 8 3 29.47	2.14928308
	18 11 34 33.666	3 27 30.21	1.90837177		2 13 19 24.969	- 8 18 47.88	2.15355325
	19 11 36 43.356	3 12 38.50	1.91476296		3 13 21 50.782	- 8 34 4.48	2.15777764
20 11 38 53.308	2 57 44.21	1.92110651	4 13 24 17.074	- 8 49 19.17	2.16195609		
21 11 41 3.524	2 42 47.41	1.92740256	5 13 26 43.849	- 9 4 31.81	2.16608836		
22 11 43 14.003	2 27 48.20	1.93365131	6 13 29 11.112	- 9 19 42.25	2.17017419		
23 11 45 24.747	2 12 46.66	1.93985298	7 13 31 38.869	- 9 34 50.36	2.17421325		
24 11 47 35.757	1 57 42.88	1.94600777	8 13 34 7.123	- 9 49 55.98	2.17820524		
25 11 49 47.035	1 42 36.95	1.95211588	9 13 36 35.882	-10 4 58.99	2.18214992		
26 11 51 58.585	1 27 28.94	1.95817748	10 13 39 5.151	-10 19 59.23	2.18604711		
27 11 54 10.408	1 12 18.93	1.96419275	11 13 41 34.936	-10 34 56.58	2.18989677		
28 11 56 22.511	0 57 7.00	1.97016179	12 13 44 5.241	-10 49 50.91	2.19369899		
29 11 58 34.897	0 41 53.21	1.97608470	13 13 46 36.069	-11 4 42.07	2.19745395		
30 12 0 47.572	0 26 37.65	1.98196154	14 13 49 7.423	-11 19 29.92	2.20116194		
31 12 3 0.543	0 11 20.37	1.98779233	15 13 51 39.306	-11 34 14.31	2.20482330		
Août 1 12 5 13.814	- 0 3 58.54	1.99357704	16 13 54 11.721	-11 48 55.08	2.20843840		
2 12 7 27.394	- 0 19 19.02	1.99931563	17 13 56 44.670	-12 3 32.10	2.21200765		
3 12 9 41.287	- 0 34 40.99	2.00500797	18 13 59 18.159	-12 18 5.21	2.21553147		
4 12 11 55.500	- 0 50 4.38	2.01065394	19 14 1 52.191	-12 32 34.27	2.21901025		
5 12 14 10.040	- 1 5 29.09	2.01625333	20 14 4 26.773	-12 46 59.13	2.22244441		
6 12 16 24.910	- 1 20 55.05	2.02180587	21 14 7 1.910	-13 1 19.64	2.22583434		
7 12 18 40.116	- 1 36 22.15	2.02731126	22 14 9 37.609	-13 15 35.68	2.22918043		
8 12 20 55.660	- 1 51 50.29	2.03276911	23 14 12 13.876	-13 29 47.08	2.23248305		
9 12 23 11.545	- 2 7 19.36	2.03817902	24 14 14 50.718	-13 43 53.73	2.23574255		
10 12 25 27.774	- 2 22 49.25	2.04354056	25 14 17 28.143	-13 57 55.47	2.23895924		
11 12 27 44.348	- 2 38 19.83	2.04885335	26 14 20 6.158	-14 11 52.18	2.24213340		
12 12 30 1.273	- 2 53 50.99	2.05411707	27 14 22 44.769	-14 25 43.70	2.24526529		
13 12 32 18.552	- 3 9 22.64	2.05933152	28 14 25 23.984	-14 39 29.90	2.24835509		
14 12 34 36.190	- 3 24 54.66	2.06449662	29 14 28 3.807	-14 53 10.63	2.25140295		
15 12 36 54.191	- 3 40 26.94	2.06961241	30 14 30 44.246	-15 6 45.73	2.25440897		
16 12 39 12.558	- 3 55 59.39	2.07467905	Oct. 1 14 33 25.303	-15 20 15.07	2.25737318		
17 12 41 31.294	- 4 11 31.88	2.07969675	2 14 36 6.984	-15 33 38.46	2.26029554		

MARS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Oct.	3	14	38	49.293	-15	46	55.74	2.263 175 96	Nov.	18	16	54	48.806	-23	18	41.86	2.353 230 61
	4	14	41	32.231	-16	0	6.74	2.266 014 28		19	16	58	0.352	-23	23	59.67	2.354 364 25
	5	14	44	15.804	-16	13	11.28	2.268 810 32		20	17	1	12.396	-23	29	3.41	2.355 468 45
	6	14	47	0.016	-16	26	9.19	2.271 563 87		21	17	4	24.928	-23	33	52.96	2.356 543 72
	7	14	49	44.871	-16	39	0.29	2.274 274 73		22	17	7	37.937	-23	38	28.19	2.357 590 55
	8	14	52	30.372	-16	51	44.43	2.276 942 80		23	17	10	51.414	-23	42	48.99	2.358 609 41
	9	14	55	16.523	-17	4	21.43	2.279 568 05		24	17	14	5.347	-23	46	55.22	2.359 600 68
	10	14	58	3.324	-17	16	51.14	2.282 150 55		25	17	17	19.725	-23	50	46.79	2.360 564 68
	11	15	0	50.775	-17	29	13.38	2.284 690 53		26	17	20	34.535	-23	54	23.55	2.361 501 66
	12	15	3	38.875	-17	41	27.98	2.287 188 29		27	17	23	49.764	-23	57	45.39	2.362 411 78
	13	15	6	27.621	-17	53	34.76	2.289 644 20		28	17	27	5.402	-24	0	52.18	2.363 295 14
	14	15	9	17.013	-18	5	33.55	2.292 058 69		29	17	30	21.435	-24	3	43.81	2.364 151 77
15	15	12	7.050	-18	17	24.15	2.294 432 24	30	17	33	37.853	-24	6	20.17	2.364 981 65		
16	15	14	57.733	-18	29	6.40	2.296 765 31	Déc.	1	17	36	54.643	-24	8	41.15	2.365 784 73	
17	15	17	49.060	-18	40	40.12	2.299 058 41		2	17	40	11.794	-24	10	46.65	2.366 560 97	
18	15	20	41.035	-18	52	5.13	2.301 312 01		3	17	43	29.291	-24	12	36.61	2.367 310 32	
19	15	23	33.657	-19	3	21.27	2.303 526 60		4	17	46	47.119	-24	14	10.95	2.368 032 81	
20	15	26	26.928	-19	14	28.35	2.305 702 68		5	17	50	5.260	-24	15	29.60	2.368 728 51	
21	15	29	20.851	-19	25	26.22	2.307 840 72		6	17	53	23.697	-24	16	32.49	2.369 397 60	
22	15	32	15.426	-19	36	14.71	2.309 941 19		7	17	56	42.410	-24	17	19.56	2.370 040 31	
23	15	35	10.654	-19	46	53.65	2.312 004 53	8	18	0	1.379	-24	17	50.76	2.370 656 96		
24	15	38	6.539	-19	57	22.89	2.314 031 15	9	18	3	20.585	-24	18	6.00	2.371 247 97		
25	15	41	3.079	-20	7	42.25	2.316 021 44	10	18	6	40.010	-24	18	5.24	2.371 813 78		
26	15	44	0.275	-20	17	51.57	2.317 975 73	11	18	9	59.637	-24	17	48.43	2.372 354 87		
27	15	46	58.127	-20	27	50.70	2.319 894 30	12	18	13	19.449	-24	17	15.50	2.372 871 76		
28	15	49	56.633	-20	37	39.46	2.321 777 35	13	18	16	39.429	-24	16	26.44	2.373 365 00		
29	15	52	55.791	-20	47	17.66	2.323 625 04	14	18	19	59.562	-24	15	21.19	2.373 835 14		
30	15	55	55.598	-20	56	45.15	2.325 437 46	15	18	23	19.831	-24	13	59.73	2.374 282 72		
31	15	58	56.052	-21	6	1.73	2.327 214 61	16	18	26	40.222	-24	12	22.04	2.374 708 33		
Nov.	1	16	1	57.149	-21	15	7.22	2.328 956 46	17	18	30	0.720	-24	10	28.11	2.375 112 54	
	2	16	4	58.888	-21	24	1.43	2.330 662 92	18	18	33	21.308	-24	8	17.92	2.375 495 92	
	3	16	8	1.265	-21	32	44.20	2.332 333 88	19	18	36	41.973	-24	5	51.47	2.375 859 06	
	4	16	11	4.278	-21	41	15.35	2.333 969 23	20	18	40	2.698	-24	3	8.78	2.376 202 50	
	5	16	14	7.922	-21	49	34.72	2.335 568 91	21	18	43	23.469	-24	0	9.84	2.376 526 78	
	6	16	17	12.193	-21	57	42.15	2.337 132 91	22	18	46	44.268	-23	56	54.66	2.376 832 36	
7	16	20	17.082	-22	5	37.49	2.338 661 33	23	18	50	5.080	-23	53	23.26	2.377 119 64		
8	16	23	22.579	-22	13	20.57	2.340 154 36	24	18	53	25.889	-23	49	35.65	2.377 388 94		
9	16	26	28.675	-22	20	51.24	2.341 612 29	25	18	56	46.680	-23	45	31.83	2.377 640 46		
10	16	29	35.358	-22	28	9.32	2.343 035 51	26	19	0	7.441	-23	41	11.81	2.377 874 33		
11	16	32	42.617	-22	35	14.66	2.344 424 44	27	19	3	28.157	-23	36	35.61	2.378 090 60		
12	16	35	50.444	-22	42	7.08	2.345 779 59	28	19	6	48.816	-23	31	43.27	2.378 289 25		
13	16	38	58.828	-22	48	46.44	2.347 101 46	29	19	10	9.407	-23	26	34.82	2.378 470 23		
14	16	42	7.761	-22	55	12.57	2.348 390 59	30	19	13	29.915	-23	21	10.32	2.378 633 49		
15	16	45	17.234	-23	1	25.32	2.349 647 52	31	19	16	50.326	-23	15	29.84	2.378 778 97		
16	16	48	27.238	-23	7	24.55	2.350 872 79	32	19	20	10.624	-23	9	33.44	2.378 906 68		
17	16	51	37.765	-23	13	10.11	2.352 066 97	33	19	23	30.794	-23	3	21.21	2.379 016 63		

JUPITER 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	21 54 54.335	-13 40 42.62	5.62607562	Févr.	15	22 34 22.070	- 9 59 17.77	5.96158050
	1	21 55 41.074	-13 36 32.80	5.63735597		16	22 35 16.395	- 9 53 59.18	5.96428927
	2	21 56 28.111	-13 32 20.86	5.64848330		17	22 36 10.755	- 9 48 39.85	5.96679039
	3	21 57 15.438	-13 28 6.84	5.65945589		18	22 37 5.144	- 9 43 19.80	5.96908367
	4	21 58 3.050	-13 23 50.75	5.67027194		19	22 37 59.560	- 9 37 59.07	5.97116903
	5	21 58 50.941	-13 19 32.59	5.68092955		20	22 38 53.997	- 9 32 37.68	5.97304645
	6	21 59 39.108	-13 15 12.38	5.69142673		21	22 39 48.450	- 9 27 15.68	5.97471601
	7	22 0 27.546	-13 10 50.11	5.70176144		22	22 40 42.916	- 9 21 53.10	5.97617788
	8	22 1 16.251	-13 6 25.83	5.71193159		23	22 41 37.389	- 9 16 29.98	5.97743231
	9	22 2 5.218	-13 1 59.54	5.72193512		24	22 42 31.863	- 9 11 6.36	5.97847963
	10	22 2 54.442	-12 57 31.28	5.73176996		25	22 43 26.331	- 9 5 42.29	5.97932020
	11	22 3 43.915	-12 53 1.09	5.74143410		26	22 44 20.788	- 9 0 17.81	5.97995445
	12	22 4 33.631	-12 48 28.99	5.75092555		27	22 45 15.227	- 8 54 52.96	5.98038275
	13	22 5 23.582	-12 43 55.04	5.76024242		28	22 46 9.644	- 8 49 27.75	5.98060547
14	22 6 13.759	-12 39 19.26	5.76938287	Mars	1	22 47 4.036	- 8 44 2.22	5.98062286	
15	22 7 4.156	-12 34 41.70	5.77834512		2	22 47 58.400	- 8 38 36.37	5.98043507	
16	22 7 54.765	-12 30 2.38	5.78712751		3	22 48 52.737	- 8 33 10.22	5.98004216	
17	22 8 45.578	-12 25 21.34	5.79572844		4	22 49 47.043	- 8 27 43.79	5.97944410	
18	22 9 36.589	-12 20 38.62	5.80414640		5	22 50 41.317	- 8 22 17.11	5.97864080	
19	22 10 27.792	-12 15 54.23	5.81237997		6	22 51 35.554	- 8 16 50.22	5.97763221	
20	22 11 19.180	-12 11 8.20	5.82042783		7	22 52 29.749	- 8 11 23.16	5.97641827	
21	22 12 10.747	-12 6 20.58	5.82828875		8	22 53 23.896	- 8 5 55.97	5.97499897	
22	22 13 2.488	-12 1 31.37	5.83596158		9	22 54 17.991	- 8 0 28.69	5.97337436	
23	22 13 54.398	-11 56 40.62	5.84344528		10	22 55 12.026	- 7 55 1.38	5.97154457	
24	22 14 46.472	-11 51 48.35	5.85073888		11	22 56 5.998	- 7 49 34.07	5.96950976	
25	22 15 38.704	-11 46 54.59	5.85784154	12	22 56 59.900	- 7 44 6.81	5.96727020		
26	22 16 31.088	-11 41 59.37	5.86475249	13	22 57 53.728	- 7 38 39.62	5.96482620		
27	22 17 23.618	-11 37 2.75	5.87147105	14	22 58 47.476	- 7 33 12.55	5.96217815		
28	22 18 16.286	-11 32 4.76	5.87799662	15	22 59 41.140	- 7 27 45.64	5.95932652		
29	22 19 9.086	-11 27 5.43	5.88432863	16	23 0 34.717	- 7 22 18.91	5.95627187		
30	22 20 2.009	-11 22 4.81	5.89046650	17	23 1 28.202	- 7 16 52.41	5.95301484		
Févr.	31	22 20 55.050	-11 17 2.93	5.89640960	18	23 2 21.591	- 7 11 26.16	5.94955614	
	1	22 21 48.204	-11 11 59.79	5.90215722	19	23 3 14.880	- 7 6 0.20	5.94589659	
	2	22 22 41.468	-11 6 55.41	5.90770853	20	23 4 8.066	- 7 0 34.57	5.94203711	
	3	22 23 34.839	-11 1 49.80	5.91306260	21	23 5 1.143	- 6 55 9.30	5.93797868	
	4	22 24 28.315	-10 56 42.97	5.91821845	22	23 5 54.108	- 6 49 44.44	5.93372237	
	5	22 25 21.894	-10 51 34.96	5.92317504	23	23 6 46.954	- 6 44 20.03	5.92926932	
	6	22 26 15.570	-10 46 25.79	5.92793137	24	23 7 39.676	- 6 38 56.12	5.92462073	
	7	22 27 9.338	-10 41 15.50	5.93248643	25	23 8 32.267	- 6 33 32.75	5.91977782	
	8	22 28 3.193	-10 36 4.14	5.93683928	26	23 9 24.723	- 6 28 9.97	5.91474184	
	9	22 28 57.128	-10 30 51.74	5.94098901	27	23 10 17.038	- 6 22 47.80	5.90951401	
	10	22 29 51.137	-10 25 38.34	5.94493480	28	23 11 9.209	- 6 17 26.27	5.90409550	
	11	22 30 45.213	-10 20 23.99	5.94867588	29	23 12 1.234	- 6 12 5.40	5.89848740	
	12	22 31 39.350	-10 15 8.72	5.95221157	30	23 12 53.111	- 6 6 45.22	5.89269069	
	13	22 32 33.542	-10 9 52.57	5.95554125	31	23 13 44.839	- 6 1 25.73	5.88670628	
14	22 33 27.784	-10 4 35.58	5.95866438	Avril	1	23 14 36.416	- 5 56 6.96	5.88053496	

JUPITER 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Avril	2 23 15	27.839	- 5 50 48.95	5.874 177 50	Mai	18 23 50	42.045	- 2 12 16.51	5.403 407 83	
	3 23 16	19.103	- 5 45 31.73	5.867 634 64		19 23 51	20.706	- 2 8 19.09	5.389 948 91	
	4 23 17	10.203	- 5 40 15.36	5.860 907 16		20 23 51	58.966	- 2 4 24.37	5.376 387 14	
	5 23 18	1.134	- 5 34 59.88	5.853 995 86		21 23 52	36.821	- 2 0 32.39	5.362 725 24	
	6 23 18	51.889	- 5 29 45.33	5.846 901 61		22 23 53	14.265	- 1 56 43.17	5.348 965 89	
	7 23 19	42.464	- 5 24 31.76	5.839 625 33		23 23 53	51.296	- 1 52 56.74	5.335 111 69	
	8 23 20	32.853	- 5 19 19.22	5.832 168 01		24 23 54	27.910	- 1 49 13.12	5.321 165 19	
	9 23 21	23.051	- 5 14 7.73	5.824 530 71		25 23 55	4.104	- 1 45 32.33	5.307 128 83	
	10 23 22	13.052	- 5 8 57.36	5.816 714 56		26 23 55	39.875	- 1 41 54.40	5.293 005 02	
	11 23 23	2.854	- 5 3 48.12	5.808 720 75		27 23 56	15.218	- 1 38 19.38	5.278 796 09	
	12 23 23	52.450	- 4 58 40.06	5.800 550 54		28 23 56	50.126	- 1 34 47.28	5.264 504 36	
	13 23 24	41.837	- 4 53 33.22	5.792 205 29		29 23 57	24.594	- 1 31 18.18	5.250 132 13	
	14 23 25	31.011	- 4 48 27.63	5.783 686 43		30 23 57	58.615	- 1 27 52.11	5.235 681 73	
	15 23 26	19.968	- 4 43 23.32	5.774 995 48		31 23 58	32.180	- 1 24 29.12	5.221 155 53	
	16 23 27	8.704	- 4 38 20.34	5.766 134 05		Juin	1 23 59	5.283	- 1 21 9.26	5.206 555 96
	17 23 27	57.213	- 4 33 18.72	5.757 103 86			2 23 59	37.919	- 1 17 52.58	5.191 885 50
18 23 28	45.490	- 4 28 18.51	5.747 906 70	3 0 0	10.079		- 1 14 39.13	5.177 146 71		
19 23 29	33.531	- 4 23 19.75	5.738 544 45	4 0 0	41.757		- 1 11 28.94	5.162 342 23		
20 23 30	21.327	- 4 18 22.50	5.729 019 03	5 0 1	12.949		- 1 8 22.05	5.147 474 77		
21 23 31	8.874	- 4 13 26.79	5.719 332 43	6 0 1	43.647		- 1 5 18.52	5.132 547 10		
22 23 31	56.165	- 4 8 32.67	5.709 486 62	7 0 2	13.847		- 1 2 18.37	5.117 562 11		
23 23 32	43.195	- 4 3 40.19	5.699 483 60	8 0 2	43.541		- 0 59 21.64	5.102 522 74		
24 23 33	29.959	- 3 58 49.36	5.689 325 30	9 0 3	12.726		- 0 56 28.38	5.087 432 05		
25 23 34	16.454	- 3 54 0.23	5.679 013 62	10 0 3	41.393		- 0 53 38.61	5.072 293 17		
26 23 35	2.679	- 3 49 12.80	5.668 550 36	11 0 4	9.538		- 0 50 52.39	5.057 109 38		
27 23 35	48.631	- 3 44 27.11	5.657 937 24	12 0 4	37.152		- 0 48 9.75	5.041 884 04		
28 23 36	34.308	- 3 39 43.16	5.647 175 89	13 0 5	4.228		- 0 45 30.76	5.026 620 63		
29 23 37	19.706	- 3 35 1.00	5.636 267 89	14 0 5	30.757		- 0 42 55.44	5.011 322 71		
30 23 38	4.822	- 3 30 20.65	5.625 214 76	15 0 5	56.732		- 0 40 23.87	4.995 993 92		
Mai	1 23 38	49.650	- 3 25 42.17	5.614 017 99	16 0 6		22.145	- 0 37 56.07	4.980 637 88	
	2 23 39	34.184	- 3 21 5.61	5.602 679 11	17 0 6	46.990	- 0 35 32.09	4.965 258 22		
	3 23 40	18.417	- 3 16 31.00	5.591 199 69	18 0 7	11.262	- 0 33 11.95	4.949 858 52		
	4 23 41	2.344	- 3 11 58.40	5.579 581 33	19 0 7	34.958	- 0 30 55.68	4.934 442 28		
	5 23 41	45.959	- 3 7 27.85	5.567 825 72	20 0 7	58.075	- 0 28 43.28	4.919 012 93		
	6 23 42	29.255	- 3 2 59.41	5.555 934 60	21 0 8	20.609	- 0 26 34.79	4.903 573 82		
	7 23 43	12.227	- 2 58 33.10	5.543 909 77	22 0 8	42.557	- 0 24 30.22	4.888 128 25		
	8 23 43	54.869	- 2 54 8.98	5.531 753 13	23 0 9	3.914	- 0 22 29.59	4.872 679 45		
	9 23 44	37.178	- 2 49 47.08	5.519 466 62	24 0 9	24.674	- 0 20 32.96	4.857 230 64		
	10 23 45	19.146	- 2 45 27.44	5.507 052 27	25 0 9	44.832	- 0 18 40.34	4.841 785 00		
	11 23 46	0.771	- 2 41 10.10	5.494 512 18	26 0 10	4.381	- 0 16 51.78	4.826 345 76		
	12 23 46	42.046	- 2 36 55.10	5.481 848 56	27 0 10	23.314	- 0 15 7.33	4.810 916 14		
	13 23 47	22.967	- 2 32 42.47	5.469 063 70	28 0 10	41.624	- 0 13 27.02	4.795 499 42		
	14 23 48	3.528	- 2 28 32.26	5.456 159 98	29 0 10	59.305	- 0 11 50.90	4.780 098 94		
	15 23 48	43.723	- 2 24 24.51	5.443 139 91	30 0 11	16.351	- 0 10 19.01	4.764 718 11		
	16 23 49	23.546	- 2 20 19.27	5.430 006 07	Juill.	1 0 11	32.757	- 0 8 51.37	4.749 360 39	
17 23 50	2.989	- 2 16 16.58	5.416 761 13	2 0 11		48.517	- 0 7 28.02	4.734 029 33		

JUPITER 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Juill.	3	0 12 3.625	- 0 6 8.99	4.718 728 57	Août	18	0 11 2.921	- 0 27 10.12	4.119 140 44
	4	0 12 18.078	- 0 4 54.31	4.703 461 82		19	0 10 45.372	- 0 29 19.84	4.109 958 25
	5	0 12 31.870	- 0 3 44.00	4.688 232 86		20	0 10 27.218	- 0 31 33.21	4.101 005 63
	6	0 12 44.996	- 0 2 38.10	4.673 045 56		21	0 10 8.470	- 0 33 50.16	4.092 285 95
	7	0 12 57.452	- 0 1 36.62	4.657 903 90		22	0 9 49.138	- 0 36 10.61	4.083 802 55
	8	0 13 9.234	- 0 0 39.60	4.642 811 95		23	0 9 29.234	- 0 38 34.49	4.075 558 74
	9	0 13 20.335	0 0 12.95	4.627 773 89		24	0 9 8.768	- 0 41 1.71	4.067 557 80
	10	0 13 30.749	0 1 0.98	4.612 793 99		25	0 8 47.754	- 0 43 32.19	4.059 802 95
	11	0 13 40.472	0 1 44.47	4.597 876 64		26	0 8 26.204	- 0 46 5.84	4.052 297 43
	12	0 13 49.496	0 2 23.39	4.583 026 30		27	0 8 4.132	- 0 48 42.54	4.045 044 43
	13	0 13 57.815	0 2 57.70	4.568 247 49		28	0 7 41.553	- 0 51 22.21	4.038 047 11
	14	0 14 5.426	0 3 27.39	4.553 544 70		29	0 7 18.481	- 0 54 4.73	4.031 308 62
	15	0 14 12.326	0 3 52.45	4.538 922 40		30	0 6 54.932	- 0 56 50.01	4.024 832 08
	16	0 14 18.514	0 4 12.88	4.524 384 96		31	0 6 30.921	- 0 59 37.92	4.018 620 59
	17	0 14 23.991	0 4 28.68	4.509 936 64		Sept. 1	0 6 6.464	- 1 2 28.36	4.012 677 19
	18	0 14 28.757	0 4 39.87	4.495 581 63		2	0 5 41.575	- 1 5 21.22	4.007 004 92
	19	0 14 32.811	0 4 46.46	4.481 323 98		3	0 5 16.272	- 1 8 16.39	4.001 606 77
20	0 14 36.154	0 4 48.45	4.467 167 71	4	0 4 50.569	- 1 11 13.74	3.996 485 69		
21	0 14 38.784	0 4 45.82	4.453 116 76	5	0 4 24.483	- 1 14 13.17	3.991 644 56		
22	0 14 40.698	0 4 38.59	4.439 175 07	6	0 3 58.031	- 1 17 14.55	3.987 086 19		
23	0 14 41.895	0 4 26.74	4.425 346 55	7	0 3 31.231	- 1 20 17.76	3.982 813 23		
24	0 14 42.372	0 4 10.25	4.411 635 12	8	0 3 4.103	- 1 23 22.65	3.978 828 19		
25	0 14 42.129	0 3 49.13	4.398 044 70	9	0 2 36.670	- 1 26 29.07	3.975 133 32		
26	0 14 41.163	0 3 23.37	4.384 579 26	10	0 2 8.955	- 1 29 36.85	3.971 730 62		
27	0 14 39.473	0 2 52.97	4.371 242 81	11	0 1 40.983	- 1 32 45.84	3.968 621 82		
28	0 14 37.060	0 2 17.93	4.358 039 38	12	0 1 12.776	- 1 35 55.88	3.965 808 38		
29	0 14 33.922	0 1 38.26	4.344 973 07	13	0 0 44.357	- 1 39 6.81	3.963 291 53		
30	0 14 30.062	0 0 53.97	4.332 048 01	14	0 0 15.747	- 1 42 18.49	3.961 072 30		
31	0 14 25.481	0 0 5.08	4.319 268 40	15	23 59 46.968	- 1 45 30.79	3.959 151 57		
Août 1	0 14 20.179	- 0 0 48.40	4.306 638 50	16	23 59 18.039	- 1 48 43.57	3.957 530 09		
2	0 14 14.159	- 0 1 46.44	4.294 162 58	17	23 58 48.981	- 1 51 56.70	3.956 208 47		
3	0 14 7.424	- 0 2 49.03	4.281 845 02	18	23 58 19.815	- 1 55 10.03	3.955 187 23		
4	0 13 59.975	- 0 3 56.13	4.269 690 20	19	23 57 50.563	- 1 58 23.43	3.954 466 80		
5	0 13 51.815	- 0 5 7.73	4.257 702 62	20	23 57 21.245	- 2 1 36.76	3.954 047 49		
6	0 13 42.946	- 0 6 23.79	4.245 886 79	21	23 56 51.884	- 2 4 49.86	3.953 929 52		
7	0 13 33.371	- 0 7 44.30	4.234 247 31	22	23 56 22.502	- 2 8 2.61	3.954 113 03		
8	0 13 23.092	- 0 9 9.22	4.222 788 80	23	23 55 53.122	- 2 11 14.84	3.954 598 06		
9	0 13 12.111	- 0 10 38.52	4.211 515 94	24	23 55 23.764	- 2 14 26.42	3.955 384 58		
10	0 13 0.433	- 0 12 12.18	4.200 433 36	25	23 54 54.453	- 2 17 37.20	3.956 472 47		
11	0 12 48.063	- 0 13 50.14	4.189 545 63	26	23 54 25.210	- 2 20 47.03	3.957 861 54		
12	0 12 35.010	- 0 15 32.33	4.178 857 21	27	23 53 56.058	- 2 23 55.77	3.959 551 51		
13	0 12 21.283	- 0 17 18.69	4.168 372 39	28	23 53 27.017	- 2 27 3.27	3.961 542 03		
14	0 12 6.894	- 0 19 9.12	4.158 095 27	29	23 52 58.111	- 2 30 9.40	3.963 832 68		
15	0 11 51.853	- 0 21 3.56	4.148 029 79	30	23 52 29.358	- 2 33 14.03	3.966 422 95		
16	0 11 36.171	- 0 23 1.91	4.138 179 73	Oct. 1	23 52 0.781	- 2 36 17.01	3.969 312 21		
17	0 11 19.857	- 0 25 4.13	4.128 548 76	2	23 51 32.399	- 2 39 18.22	3.972 499 78		

JUPITER 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua
Oct.	3	23	51	4.232	-	2	42	17.54	3.975	984	81				
	4	23	50	36.301	-	2	45	14.81	3.979	766	33				
	5	23	50	8.628	-	2	48	9.91	3.983	843	19				
	6	23	49	41.236	-	2	51	2.69	3.988	214	02				
	7	23	49	14.148	-	2	53	53.00	3.992	877	19				
	8	23	48	47.388	-	2	56	40.68	3.997	830	82				
	9	23	48	20.980	-	2	59	25.59	4.003	072	73				
	10	23	47	54.946	-	3	2	7.61	4.008	600	52				
	11	23	47	29.305	-	3	4	46.60	4.014	411	56				
	12	23	47	4.076	-	3	7	22.46	4.020	503	06				
	13	23	46	39.276	-	3	9	55.10	4.026	872	09				
	14	23	46	14.922	-	3	12	24.40	4.033	515	66				
	15	23	45	51.031	-	3	14	50.29	4.040	430	66				
	16	23	45	27.617	-	3	17	12.66	4.047	613	95				
	17	23	45	4.698	-	3	19	31.42	4.055	062	32				
	18	23	44	42.289	-	3	21	46.48	4.062	772	51				
	19	23	44	20.405	-	3	23	57.76	4.070	741	20				
20	23	43	59.062	-	3	26	5.16	4.078	965	04					
21	23	43	38.274	-	3	28	8.60	4.087	440	63					
22	23	43	18.055	-	3	30	7.99	4.096	164	55					
23	23	42	58.420	-	3	32	3.27	4.105	133	36					
24	23	42	39.380	-	3	33	54.35	4.114	343	57					
25	23	42	20.950	-	3	35	41.18	4.123	791	70					
26	23	42	3.139	-	3	37	23.67	4.133	474	26					
27	23	41	45.959	-	3	39	1.79	4.143	387	72					
28	23	41	29.420	-	3	40	35.46	4.153	528	52					
29	23	41	13.530	-	3	42	4.65	4.163	893	08					
30	23	40	58.298	-	3	43	29.31	4.174	477	74					
31	23	40	43.734	-	3	44	49.38	4.185	278	76					
Nov.	1	23	40	29.846	-	3	46	4.82	4.196	292	33				
2	23	40	16.645	-	3	47	15.57	4.207	514	49					
3	23	40	4.141	-	3	48	21.56	4.218	941	14					
4	23	39	52.344	-	3	49	22.74	4.230	568	00					
5	23	39	41.266	-	3	50	19.06	4.242	390	65					
6	23	39	30.915	-	3	51	10.48	4.254	404	47					
7	23	39	21.299	-	3	51	56.94	4.266	604	71					
8	23	39	12.422	-	3	52	38.45	4.278	986	52					
9	23	39	4.290	-	3	53	14.98	4.291	544	98					
10	23	38	56.904	-	3	53	46.54	4.304	275	17					
11	23	38	50.268	-	3	54	13.10	4.317	172	14					
12	23	38	44.384	-	3	54	34.68	4.330	230	99					
13	23	38	39.253	-	3	54	51.27	4.343	446	85					
14	23	38	34.879	-	3	55	2.87	4.356	814	89					
15	23	38	31.262	-	3	55	9.47	4.370	330	29					
16	23	38	28.405	-	3	55	11.07	4.383	988	32					
17	23	38	26.309	-	3	55	7.68	4.397	784	25					
Nov.	18	23	38	24.975	-	3	54	59.29	4.411	713	42				
19	23	38	24.404	-	3	54	45.91	4.425	771	22					
20	23	38	24.596	-	3	54	27.54	4.439	953	10					
21	23	38	25.550	-	3	54	4.20	4.454	254	55					
22	23	38	27.266	-	3	53	35.90	4.468	671	16					
23	23	38	29.741	-	3	53	2.66	4.483	198	56					
24	23	38	32.974	-	3	52	24.51	4.497	832	44					
25	23	38	36.960	-	3	51	41.45	4.512	568	52					
26	23	38	41.697	-	3	50	53.53	4.527	402	56					
27	23	38	47.182	-	3	50	0.76	4.542	330	28					
28	23	38	53.413	-	3	49	3.16	4.557	347	39					
29	23	39	0.387	-	3	48	0.75	4.572	449	54					
30	23	39	8.104	-	3	46	53.53	4.587	632	30					
Nov.	1	23	39	16.564	-	3	45	41.51	4.602	891	15				
2	23	39	25.765	-	3	44	24.69	4.618	221	49					
3	23	39	35.708	-	3	43	3.10	4.633	618	63					
4	23	39	46.388	-	3	41	36.76	4.649	077	79					
5	23	39	57.804	-	3	40	5.69	4.664	594	15					
6	23	40	9.949	-	3	38	29.93	4.680	162	86					
7	23	40	22.817	-	3	36	49.54	4.695	779	09					
8	23	40	36.403	-	3	35	4.56	4.711	438	05					
9	23	40	50.699	-	3	33	15.02	4.727	134	99					
10	23	41	5.700	-	3	31	20.99	4.742	865	27					
11	23	41	21.399	-	3	29	22.50	4.758	624	32					
12	23	41	37.791	-	3	27	19.59	4.774	407	66					
13	23	41	54.869	-	3	25	12.30	4.790	210	91					
14	23	42	12.629	-	3	23	0.67	4.806	029	75					
15	23	42	31.064	-	3	20	44.75	4.821	859	98					
16	23	42	50.168	-	3	18	24.56	4.837	697	46					
17	23	43	9.936	-	3	16	0.15	4.853	538	16					
18	23	43	30.362	-	3	13	31.58	4.869	378	13					
19	23	43	51.437	-	3	10	58.86	4.885	213	52					
20	23	44	13.156	-	3	8	22.07	4.901	040	59					
21	23	44	35.511	-	3	5	41.24	4.916	855	70					
22	23	44	58.492	-	3	2	56.44	4.932	655	28					
23	23	45	22.093	-	3	0	7.71	4.948	435	84					
24	23	45	46.304	-	2	57	15.10	4.964	193	92					
25	23	46	11.119	-	2	54	18.66	4.979	926	05					
26	23	46	36.532	-	2	51	18.43	4.995	628	75					
27	23	47	2.537	-	2	48	14.43	5.011	298	47					
28	23	47	29.131	-	2	45	6.70	5.026	931	62					
29	23	47	56.310	-	2	41	55.26	5.042	524	52					
30	23	48	24.068	-	2	38	40.15	5.058	073	41					
31	23	48	52.400	-	2	35	21.41	5.073	574	53					
32	23	49	21.301	-	2	31	59.07	5.089	024	05					
33	23	49	50.762	-	2	28	33.19	5.104	418	13					

SATURNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance	Date	asc. droite			déclinaison		distance								
	h	m	s	°	'			''	ua	h	m	s		°	'	''	ua				
Janv.	0	12	20	4.735	0	18	51.43	9.339	185	77	Févr.	15	12	17	41.822	0	47	44.37	8.687	141	81
	1	12	20	10.446	0	18	33.05	9.322	674	27		16	12	17	30.207	0	49	13.80	8.677	159	77
	2	12	20	15.764	0	18	17.25	9.306	192	45		17	12	17	18.296	0	50	44.91	8.667	427	46
	3	12	20	20.686	0	18	4.05	9.289	744	88		18	12	17	6.094	0	52	17.65	8.657	948	53
	4	12	20	25.209	0	17	53.46	9.273	336	25		19	12	16	53.611	0	53	51.94	8.648	726	49
	5	12	20	29.333	0	17	45.48	9.256	971	33		20	12	16	40.855	0	55	27.75	8.639	764	67
	6	12	20	33.059	0	17	40.10	9.240	655	04		21	12	16	27.833	0	57	5.00	8.631	066	25
	7	12	20	36.386	0	17	37.32	9.224	392	44		22	12	16	14.554	0	58	43.65	8.622	634	25
	8	12	20	39.314	0	17	37.14	9.208	188	69		23	12	16	1.024	1	0	23.64	8.614	471	51
	9	12	20	41.844	0	17	39.54	9.192	049	07		24	12	15	47.250	1	2	4.93	8.606	580	70
	10	12	20	43.975	0	17	44.53	9.175	978	92		25	12	15	33.238	1	3	47.46	8.598	964	33
	11	12	20	45.705	0	17	52.10	9.159	983	64		26	12	15	18.994	1	5	31.21	8.591	624	77
	12	12	20	47.033	0	18	2.26	9.144	068	65		27	12	15	4.524	1	7	16.12	8.584	564	26
	13	12	20	47.958	0	18	15.00	9.128	239	43		28	12	14	49.834	1	9	2.16	8.577	784	99
14	12	20	48.478	0	18	30.34	9.112	501	41	Mars	1	12	14	34.932	1	10	49.27	8.571	289	14	
15	12	20	48.594	0	18	48.26	9.096	860	08	2	12	14	19.829	1	12	37.38	8.565	078	87		
16	12	20	48.304	0	19	8.76	9.081	320	84	3	12	14	4.534	1	14	26.43	8.559	156	42		
17	12	20	47.609	0	19	31.84	9.065	889	12	4	12	13	49.057	1	16	16.35	8.553	524	03		
18	12	20	46.510	0	19	57.48	9.050	570	27	5	12	13	33.406	1	18	7.07	8.548	183	94		
19	12	20	45.009	0	20	25.67	9.035	369	60	6	12	13	17.589	1	19	58.55	8.543	138	38		
20	12	20	43.106	0	20	56.38	9.020	292	36	7	12	13	1.614	1	21	50.72	8.538	389	49		
21	12	20	40.806	0	21	29.59	9.005	343	75	8	12	12	45.488	1	23	43.54	8.533	939	31		
22	12	20	38.110	0	22	5.29	8.990	528	86	9	12	12	29.220	1	25	36.94	8.529	789	78		
23	12	20	35.022	0	22	43.43	8.975	852	73	10	12	12	12.816	1	27	30.88	8.525	942	71		
24	12	20	31.544	0	23	24.00	8.961	320	30	11	12	11	56.286	1	29	25.29	8.522	399	76		
25	12	20	27.681	0	24	6.97	8.946	936	40	12	12	11	39.638	1	31	20.12	8.519	162	46		
26	12	20	23.434	0	24	52.31	8.932	705	76	13	12	11	22.881	1	33	15.30	8.516	232	18		
27	12	20	18.806	0	25	40.01	8.918	632	97	14	12	11	6.026	1	35	10.76	8.513	610	14		
28	12	20	13.798	0	26	30.05	8.904	722	51	15	12	10	49.082	1	37	6.43	8.511	297	41		
29	12	20	8.410	0	27	22.42	8.890	978	77	16	12	10	32.061	1	39	2.25	8.509	294	85		
30	12	20	2.643	0	28	17.11	8.877	406	05	17	12	10	14.972	1	40	58.14	8.507	603	19		
Févr.	31	12	19	56.498	0	29	14.11	8.864	008	65	18	12	9	57.827	1	42	54.03	8.506	222	93	
	1	12	19	49.979	0	30	13.40	8.850	790	89	19	12	9	40.637	1	44	49.84	8.505	154	40	
	2	12	19	43.090	0	31	14.95	8.837	757	15	20	12	9	23.412	1	46	45.51	8.504	397	75	
	3	12	19	35.835	0	32	18.72	8.824	911	92	21	12	9	6.164	1	48	40.96	8.503	952	90	
	4	12	19	28.220	0	33	24.66	8.812	259	76	22	12	8	48.901	1	50	36.13	8.503	819	60	
	5	12	19	20.249	0	34	32.75	8.799	805	30	23	12	8	31.632	1	52	30.97	8.503	997	42	
	6	12	19	11.927	0	35	42.95	8.787	553	20	24	12	8	14.366	1	54	25.42	8.504	485	75	
	7	12	19	3.257	0	36	55.22	8.775	508	11	25	12	7	57.111	1	56	19.43	8.505	283	82	
8	12	18	54.242	0	38	9.55	8.763	674	65	26	12	7	39.875	1	58	12.96	8.506	390	73		
9	12	18	44.886	0	39	25.89	8.752	057	41	27	12	7	22.665	2	0	5.95	8.507	805	48		
10	12	18	35.192	0	40	44.22	8.740	660	90	28	12	7	5.491	2	1	58.35	8.509	527	04		
11	12	18	25.165	0	42	4.50	8.729	489	57	29	12	6	48.362	2	3	50.08	8.511	554	32		
12	12	18	14.809	0	43	26.70	8.718	547	78	30	12	6	31.290	2	5	41.10	8.513	886	26		
13	12	18	4.129	0	44	50.77	8.707	839	80	31	12	6	14.285	2	7	31.32	8.516	521	83		
14	12	17	53.131	0	46	16.68	8.697	369	80	Avril	1	12	5	57.357	2	9	20.68	8.519	459	99	

SATURNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance	Date	asc. droite			déclinaison		distance									
	h	m	s	°	'	''	ua	h	m	s	°	'	''	ua								
Avril	2	12	5	40.515	2	11	9.14	8.522	699	70	Mai	18	11	56	29.527	3	4	39.93	8.956	442	98	
	3	12	5	23.767	2	12	56.62	8.526	239	89		19	11	56	24.648	3	4	58.55	8.970	772	54	
	4	12	5	7.120	2	14	43.10	8.530	079	39		20	11	56	20.131	3	5	14.70	8.985	243	47	
	5	12	4	50.583	2	16	28.51	8.534	216	94		21	11	56	15.977	3	5	28.38	8.999	850	90	
	6	12	4	34.162	2	18	12.81	8.538	651	16		22	11	56	12.188	3	5	39.59	9.014	590	05	
	7	12	4	17.866	2	19	55.96	8.543	380	53		23	11	56	8.767	3	5	48.32	9.029	456	20	
	8	12	4	1.703	2	21	37.89	8.548	403	41		24	11	56	5.715	3	5	54.56	9.044	444	75	
	9	12	3	45.681	2	23	18.56	8.553	718	00		25	11	56	3.036	3	5	58.30	9.059	551	20	
	10	12	3	29.809	2	24	57.92	8.559	322	37		26	11	56	0.731	3	5	59.53	9.074	771	14	
	11	12	3	14.096	2	26	35.90	8.565	214	45		27	11	55	58.800	3	5	58.26	9.090	100	23	
	12	12	2	58.551	2	28	12.45	8.571	392	03		28	11	55	57.243	3	5	54.49	9.105	534	21	
	13	12	2	43.185	2	29	47.51	8.577	852	74		29	11	55	56.061	3	5	48.24	9.121	068	83	
	14	12	2	28.005	2	31	21.02	8.584	594	04		30	11	55	55.251	3	5	39.50	9.136	699	86	
	15	12	2	13.022	2	32	52.94	8.591	613	27		31	11	55	54.813	3	5	28.30	9.152	423	07	
	16	12	1	58.244	2	34	23.19	8.598	907	55		Juin	1	11	55	54.746	3	5	14.65	9.168	234	18
	17	12	1	43.681	2	35	51.74	8.606	473	87			2	11	55	55.050	3	4	58.53	9.184	128	91
18	12	1	29.339	2	37	18.53	8.614	309	06	3	11		55	55.725	3	4	39.97	9.200	102	90		
19	12	1	15.225	2	38	43.54	8.622	409	78	4	11		55	56.772	3	4	18.96	9.216	151	79		
20	12	1	1.345	2	40	6.74	8.630	772	59	5	11		55	58.191	3	3	55.50	9.232	271	17		
21	12	0	47.704	2	41	28.08	8.639	393	91	6	11		55	59.983	3	3	29.59	9.248	456	57		
22	12	0	34.307	2	42	47.55	8.648	270	10	7	11		56	2.149	3	3	1.23	9.264	703	50		
23	12	0	21.160	2	44	5.12	8.657	397	48	8	11		56	4.690	3	2	30.42	9.281	007	43		
24	12	0	8.268	2	45	20.76	8.666	772	31	9	11		56	7.606	3	1	57.16	9.297	363	74		
25	11	59	55.639	2	46	34.43	8.676	390	92	10	11		56	10.898	3	1	21.45	9.313	767	79		
26	11	59	43.279	2	47	46.09	8.686	249	62	11	11	56	14.566	3	0	43.30	9.330	214	87			
27	11	59	31.194	2	48	55.70	8.696	344	82	12	11	56	18.609	3	0	2.71	9.346	700	19			
28	11	59	19.393	2	50	3.22	8.706	672	95	13	11	56	23.024	2	59	19.72	9.363	218	93			
29	11	59	7.881	2	51	8.62	8.717	230	51	14	11	56	27.810	2	58	34.34	9.379	766	20			
30	11	58	56.663	2	52	11.88	8.728	014	01	15	11	56	32.961	2	57	46.61	9.396	337	16			
Mai	1	11	58	45.742	2	53	12.97	8.739	019	98	16	11	56	38.476	2	56	56.54	9.412	926	98		
	2	11	58	35.122	2	54	11.88	8.750	244	88	17	11	56	44.352	2	56	4.16	9.429	530	91		
	3	11	58	24.807	2	55	8.59	8.761	685	14	18	11	56	50.587	2	55	9.48	9.446	144	33		
	4	11	58	14.800	2	56	3.07	8.773	337	11	19	11	56	57.182	2	54	12.52	9.462	762	72		
	5	11	58	5.105	2	56	55.32	8.785	197	05	20	11	57	4.134	2	53	13.27	9.479	381	71		
	6	11	57	55.727	2	57	45.30	8.797	261	15	21	11	57	11.444	2	52	11.75	9.495	997	08		
	7	11	57	46.669	2	58	33.00	8.809	525	50	22	11	57	19.110	2	51	7.97	9.512	604	72		
	8	11	57	37.937	2	59	18.39	8.821	986	11	23	11	57	27.130	2	50	1.94	9.529	200	60		
	9	11	57	29.536	3	0	1.44	8.834	638	90	24	11	57	35.501	2	48	53.70	9.545	780	82		
	10	11	57	21.469	3	0	42.12	8.847	479	72	25	11	57	44.221	2	47	43.25	9.562	341	51		
	11	11	57	13.743	3	1	20.42	8.860	504	30	26	11	57	53.285	2	46	30.64	9.578	878	87		
	12	11	57	6.362	3	1	56.30	8.873	708	30	27	11	58	2.691	2	45	15.87	9.595	389	11		
	13	11	56	59.330	3	2	29.74	8.887	087	24	28	11	58	12.434	2	43	58.98	9.611	868	45		
	14	11	56	52.652	3	3	0.73	8.900	636	57	29	11	58	22.512	2	42	39.99	9.628	313	13		
	15	11	56	46.331	3	3	29.25	8.914	351	61	30	11	58	32.923	2	41	18.91	9.644	719	37		
	16	11	56	40.369	3	3	55.28	8.928	227	60	Juill.	1	11	58	43.663	2	39	55.77	9.661	083	36	
17	11	56	34.767	3	4	18.84	8.942	259	69	2		11	58	54.733	2	38	30.57	9.677	401	29		

SATURNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance	Date	asc. droite			déclinaison		distance	
	h	m	s	°	'	"		h	m	s	°	'	"	ua
Juill.	3	11	59	6.129	2	37	3.32	9.693	669	33				
	4	11	59	17.851	2	35	34.04	9.709	883	63				
	5	11	59	29.897	2	34	2.75	9.726	040	32				
	6	11	59	42.267	2	32	29.44	9.742	135	50				
	7	11	59	54.957	2	30	54.14	9.758	165	24				
	8	12	0	7.968	2	29	16.86	9.774	125	59				
	9	12	0	21.296	2	27	37.62	9.790	012	52				
	10	12	0	34.937	2	25	56.44	9.805	821	99				
	11	12	0	48.888	2	24	13.36	9.821	549	93				
	12	12	1	3.144	2	22	28.41	9.837	192	23				
	13	12	1	17.698	2	20	41.63	9.852	744	83				
	14	12	1	32.548	2	18	53.05	9.868	203	74				
	15	12	1	47.690	2	17	2.70	9.883	565	07				
	16	12	2	3.121	2	15	10.59	9.898	825	09				
	17	12	2	18.840	2	13	16.74	9.913	980	23				
	18	12	2	34.845	2	11	21.17	9.929	027	07				
	19	12	2	51.133	2	9	23.89	9.943	962	35				
20	12	3	7.701	2	7	24.92	9.958	782	91					
21	12	3	24.546	2	5	24.29	9.973	485	71					
22	12	3	41.662	2	3	22.03	9.988	067	76					
23	12	3	59.046	2	1	18.17	10.002	526	15					
24	12	4	16.693	1	59	12.74	10.016	857	99					
25	12	4	34.599	1	57	5.78	10.031	060	45					
26	12	4	52.759	1	54	57.30	10.045	130	67					
27	12	5	11.170	1	52	47.33	10.059	065	83					
28	12	5	29.829	1	50	35.90	10.072	863	10					
29	12	5	48.732	1	48	23.03	10.086	519	64					
30	12	6	7.878	1	46	8.72	10.100	032	61					
31	12	6	27.265	1	43	53.01	10.113	399	14					
Août	1	12	6	46.890	1	41	35.89	10.126	616	35				
2	12	7	6.750	1	39	17.40	10.139	681	38					
3	12	7	26.845	1	36	57.54	10.152	591	30					
4	12	7	47.171	1	34	36.34	10.165	343	18					
5	12	8	7.725	1	32	13.81	10.177	934	09					
6	12	8	28.504	1	29	49.98	10.190	361	01					
7	12	8	49.504	1	27	24.89	10.202	620	95					
8	12	9	10.718	1	24	58.56	10.214	710	87					
9	12	9	32.143	1	22	31.05	10.226	627	72					
10	12	9	53.771	1	20	2.37	10.238	368	50					
11	12	10	15.600	1	17	32.58	10.249	930	31					
12	12	10	37.626	1	15	1.69	10.261	310	37					
13	12	10	59.846	1	12	29.72	10.272	506	04					
14	12	11	22.258	1	9	56.68	10.283	514	91					
15	12	11	44.861	1	7	22.60	10.294	334	70					
16	12	12	7.651	1	4	47.49	10.304	963	29					
17	12	12	30.623	1	2	11.39	10.315	398	68					
Août	18	12	12	53.773	0	59	34.32	10.325	638	95				
	19	12	13	17.096	0	56	56.32	10.335	682	24				
	20	12	13	40.587	0	54	17.41	10.345	526	74				
	21	12	14	4.241	0	51	37.64	10.355	170	68				
	22	12	14	28.054	0	48	57.03	10.364	612	29				
	23	12	14	52.022	0	46	15.61	10.373	849	83				
	24	12	15	16.141	0	43	33.40	10.382	881	57				
	25	12	15	40.409	0	40	50.43	10.391	705	79				
	26	12	16	4.822	0	38	6.71	10.400	320	74				
	27	12	16	29.378	0	35	22.26	10.408	724	69				
	28	12	16	54.074	0	32	37.10	10.416	915	89				
29	12	17	18.909	0	29	51.25	10.424	892	58					
30	12	17	43.879	0	27	4.73	10.432	652	99					
31	12	18	8.982	0	24	17.55	10.440	195	33					
Sept.	1	12	18	34.215	0	21	29.73	10.447	517	79				
2	12	18	59.574	0	18	41.31	10.454	618	55					
3	12	19	25.054	0	15	52.31	10.461	495	77					
4	12	19	50.652	0	13	2.76	10.468	147	59					
5	12	20	16.362	0	10	12.71	10.474	572	15					
6	12	20	42.178	0	7	22.18	10.480	767	59					
7	12	21	8.095	0	4	31.22	10.486	732	12					
8	12	21	34.110	0	1	39.87	10.492	464	03					
9	12	22	0.218	-	0	11.87	10.497	961	76					
10	12	22	26.420	-	0	4	3.97	10.503	223	93				
11	12	22	52.711	-	0	6	56.42	10.508	249	33				
12	12	23	19.089	-	0	9	49.20	10.513	036	93				
13	12	23	45.550	-	0	12	42.28	10.517	585	88				
14	12	24	12.089	-	0	15	35.63	10.521	895	42				
15	12	24	38.701	-	0	18	29.21	10.525	964	87				
16	12	25	5.381	-	0	21	23.00	10.529	793	60				
17	12	25	32.122	-	0	24	16.95	10.533	381	04				
18	12	25	58.922	-	0	27	11.04	10.536	726	64				
19	12	26	25.775	-	0	30	5.24	10.539	829	85				
20	12	26	52.678	-	0	32	59.52	10.542	690	16				
21	12	27	19.628	-	0	35	53.86	10.545	307	06				
22	12	27	46.620	-	0	38	48.24	10.547	680	05				
23	12	28	13.653	-	0	41	42.63	10.549	808	63				
24	12	28	40.724	-	0	44	37.03	10.551	692	31				
25	12	29	7.831	-	0	47	31.40	10.553	330	59				
26	12	29	34.970	-	0	50	25.73	10.554	722	94				
27	12	30	2.138	-	0	53	20.01	10.555	868	86				
28	12	30	29.334	-	0	56	14.21	10.556	767	80				
29	12	30	56.552	-	0	59	8.31	10.557	419	21				
30	12	31	23.788	-	1	2	2.27	10.557	822	55				
Oct.	1	12	31	51.038	-	1	4	56.07	10.557	977	25			
2	12	32	18.296	-	1	7	49.67	10.557	882	76				

SATURNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	12	32	45.557	- 1	10	43.03	10.557 538 54	Nov.	18	12	52	31.549	- 3	11	32.25	10.280 470 88	
	4	12	33	12.816	- 1	13	36.11	10.556 944 09		19	12	52	54.258	- 3	13	44.06	10.269 222 21	
	5	12	33	40.067	- 1	16	28.88	10.556 098 98		20	12	53	16.770	- 3	15	54.39	10.257 782 64	
	6	12	34	7.308	- 1	19	21.32	10.555 002 88		21	12	53	39.082	- 3	18	3.20	10.246 154 70	
	7	12	34	34.536	- 1	22	13.40	10.553 655 62		22	12	54	1.190	- 3	20	10.48	10.234 340 90	
	8	12	35	1.749	- 1	25	5.11	10.552 057 21		23	12	54	23.090	- 3	22	16.21	10.222 343 72	
	9	12	35	28.943	- 1	27	56.42	10.550 207 83		24	12	54	44.776	- 3	24	20.36	10.210 165 66	
	10	12	35	56.115	- 1	30	47.32	10.548 107 86		25	12	55	6.242	- 3	26	22.89	10.197 809 20	
	11	12	36	23.260	- 1	33	37.78	10.545 757 83		26	12	55	27.483	- 3	28	23.77	10.185 276 83	
	12	12	36	50.372	- 1	36	27.76	10.543 158 39		27	12	55	48.494	- 3	30	22.96	10.172 571 12	
	13	12	37	17.445	- 1	39	17.23	10.540 310 27		28	12	56	9.270	- 3	32	20.43	10.159 694 65	
	14	12	37	44.475	- 1	42	6.14	10.537 214 26		29	12	56	29.806	- 3	34	16.16	10.146 650 15	
	15	12	38	11.455	- 1	44	54.48	10.533 871 18		30	12	56	50.099	- 3	36	10.13	10.133 440 43	
	16	12	38	38.381	- 1	47	42.20	10.530 281 88		Déc.	1	12	57	10.146	- 3	38	2.31	10.120 068 46
	17	12	39	5.250	- 1	50	29.29	10.526 447 23			2	12	57	29.945	- 3	39	52.69	10.106 537 35
	18	12	39	32.056	- 1	53	15.71	10.522 368 11		3	12	57	49.490	- 3	41	41.26	10.092 850 39	
	19	12	39	58.798	- 1	56	1.44	10.518 045 44		4	12	58	8.780	- 3	43	28.00	10.079 011 05	
20	12	40	25.471	- 1	58	46.46	10.513 480 13	5	12	58	27.807	- 3	45	12.88	10.065 022 92			
21	12	40	52.073	- 2	1	30.76	10.508 673 10	6	12	58	46.567	- 3	46	55.87	10.050 889 75			
22	12	41	18.601	- 2	4	14.31	10.503 625 29	7	12	59	5.054	- 3	48	36.95	10.036 615 39			
23	12	41	45.053	- 2	6	57.10	10.498 337 64	8	12	59	23.262	- 3	50	16.08	10.022 203 78			
24	12	42	11.424	- 2	9	39.10	10.492 811 06	9	12	59	41.185	- 3	51	53.23	10.007 658 88			
25	12	42	37.711	- 2	12	20.30	10.487 046 47	10	12	59	58.819	- 3	53	28.38	9.992 984 72			
26	12	43	3.911	- 2	15	0.68	10.481 044 79	11	13	0	16.160	- 3	55	1.51	9.978 185 32			
27	12	43	30.019	- 2	17	40.20	10.474 806 91	12	13	0	33.205	- 3	56	32.59	9.963 264 71			
28	12	43	56.030	- 2	20	18.83	10.468 333 72	13	13	0	49.951	- 3	58	1.62	9.948 226 95			
29	12	44	21.938	- 2	22	56.54	10.461 626 16	14	13	1	6.395	- 3	59	28.57	9.933 076 09			
30	12	44	47.739	- 2	25	33.29	10.454 685 13	15	13	1	22.533	- 4	0	53.44	9.917 816 19			
31	12	45	13.425	- 2	28	9.05	10.447 511 64	16	13	1	38.365	- 4	2	16.22	9.902 451 31			
Nov.	1	12	45	38.994	- 2	30	43.77	10.440 106 72	17	13	1	53.887	- 4	3	36.90	9.886 985 51		
2	12	46	4.440	- 2	33	17.44	10.432 471 51	18	13	2	9.096	- 4	4	55.46	9.871 422 83			
3	12	46	29.760	- 2	35	50.03	10.424 607 28	19	13	2	23.989	- 4	6	11.89	9.855 767 30			
4	12	46	54.951	- 2	38	21.51	10.416 515 45	20	13	2	38.564	- 4	7	26.19	9.840 022 93			
5	12	47	20.010	- 2	40	51.88	10.408 197 62	21	13	2	52.816	- 4	8	38.32	9.824 193 68			
6	12	47	44.935	- 2	43	21.12	10.399 655 56	22	13	3	6.739	- 4	9	48.27	9.808 283 51			
7	12	48	9.719	- 2	45	49.19	10.390 891 24	23	13	3	20.330	- 4	10	56.01	9.792 296 33			
8	12	48	34.358	- 2	48	16.07	10.381 906 77	24	13	3	33.583	- 4	12	1.51	9.776 236 10			
9	12	48	58.845	- 2	50	41.72	10.372 704 37	25	13	3	46.495	- 4	13	4.75	9.760 106 78			
10	12	49	23.174	- 2	53	6.11	10.363 286 36	26	13	3	59.061	- 4	14	5.70	9.743 912 44			
11	12	49	47.340	- 2	55	29.20	10.353 655 11	27	13	4	11.279	- 4	15	4.35	9.727 657 23			
12	12	50	11.337	- 2	57	50.96	10.343 813 03	28	13	4	23.148	- 4	16	0.69	9.711 345 44			
13	12	50	35.160	- 3	0	11.36	10.333 762 56	29	13	4	34.665	- 4	16	54.71	9.694 981 51			
14	12	50	58.807	- 3	2	30.39	10.323 506 15	30	13	4	45.828	- 4	17	46.42	9.678 570 01			
15	12	51	22.272	- 3	4	48.01	10.313 046 28	31	13	4	56.635	- 4	18	35.80	9.662 115 67			
16	12	51	45.553	- 3	7	4.20	10.302 385 44	32	13	5	7.081	- 4	19	22.84	9.645 623 33			
17	12	52	8.646	- 3	9	18.95	10.291 526 13	33	13	5	17.163	- 4	20	7.52	9.629 097 96			

URANUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	23 35 42.784	- 3 26 19.27	20.351 868 4	Févr.	15	23 42 24.255	- 2 41 35.12	20.956 918 6
	1	23 35 48.216	- 3 25 41.76	20.368 404 9		16	23 42 35.676	- 2 40 19.93	20.965 227 6
	2	23 35 53.818	- 3 25 3.17	20.384 853 9		17	23 42 47.172	- 2 39 4.28	20.973 283 4
	3	23 35 59.585	- 3 24 23.53	20.401 211 1		18	23 42 58.744	- 2 37 48.17	20.981 084 0
	4	23 36 5.518	- 3 23 42.83	20.417 472 1		19	23 43 10.388	- 2 36 31.62	20.988 627 6
	5	23 36 11.614	- 3 23 1.09	20.433 632 4		20	23 43 22.103	- 2 35 14.64	20.995 912 4
	6	23 36 17.876	- 3 22 18.30	20.449 687 4		21	23 43 33.888	- 2 33 57.24	21.002 936 8
	7	23 36 24.303	- 3 21 34.45	20.465 632 4		22	23 43 45.739	- 2 32 39.44	21.009 699 5
	8	23 36 30.896	- 3 20 49.54	20.481 462 8		23	23 43 57.653	- 2 31 21.27	21.016 199 0
	9	23 36 37.655	- 3 20 3.58	20.497 173 8		24	23 44 9.627	- 2 30 2.73	21.022 434 3
	10	23 36 44.577	- 3 19 16.57	20.512 760 7		25	23 44 21.657	- 2 28 43.87	21.028 404 3
	11	23 36 51.662	- 3 18 28.54	20.528 218 6		26	23 44 33.737	- 2 27 24.72	21.034 108 0
	12	23 36 58.907	- 3 17 39.50	20.543 542 9		27	23 44 45.864	- 2 26 5.29	21.039 544 7
	13	23 37 6.308	- 3 16 49.46	20.558 728 9		28	23 44 58.034	- 2 24 45.61	21.044 713 3
14	23 37 13.864	- 3 15 58.45	20.573 772 0	Mars	1	23 45 10.245	- 2 23 25.69	21.049 613 2	
15	23 37 21.572	- 3 15 6.48	20.588 667 6	2	23 45 22.498	- 2 22 5.52	21.054 243 2		
16	23 37 29.428	- 3 14 13.57	20.603 411 2	3	23 45 34.791	- 2 20 45.12	21.058 602 5		
17	23 37 37.430	- 3 13 19.74	20.617 998 6	4	23 45 47.126	- 2 19 24.48	21.062 690 0		
18	23 37 45.577	- 3 12 25.00	20.632 425 3	5	23 45 59.499	- 2 18 3.61	21.066 504 5		
19	23 37 53.866	- 3 11 29.36	20.646 687 3	6	23 46 11.909	- 2 16 42.54	21.070 045 1		
20	23 38 2.297	- 3 10 32.83	20.660 780 4	7	23 46 24.352	- 2 15 21.28	21.073 310 6		
21	23 38 10.867	- 3 9 35.41	20.674 700 6	8	23 46 36.824	- 2 13 59.87	21.076 300 2		
22	23 38 19.575	- 3 8 37.13	20.688 444 2	9	23 46 49.322	- 2 12 38.31	21.079 012 8		
23	23 38 28.420	- 3 7 37.98	20.702 007 3	10	23 47 1.843	- 2 11 16.64	21.081 447 8		
24	23 38 37.402	- 3 6 37.98	20.715 386 4	11	23 47 14.382	- 2 9 54.89	21.083 604 4		
25	23 38 46.518	- 3 5 37.14	20.728 578 1	12	23 47 26.937	- 2 8 33.06	21.085 482 0		
26	23 38 55.766	- 3 4 35.46	20.741 578 9	13	23 47 39.505	- 2 7 11.19	21.087 080 1		
27	23 39 5.144	- 3 3 32.98	20.754 385 7	14	23 47 52.082	- 2 5 49.28	21.088 398 4		
28	23 39 14.646	- 3 2 29.71	20.766 995 5	15	23 48 4.667	- 2 4 27.35	21.089 436 6		
29	23 39 24.270	- 3 1 25.69	20.779 405 4	16	23 48 17.259	- 2 3 5.41	21.090 194 6		
30	23 39 34.011	- 3 0 20.95	20.791 612 4	17	23 48 29.854	- 2 1 43.48	21.090 672 2		
Févr.	31	23 39 43.864	- 2 59 15.49	20.803 613 6	18	23 48 42.451	- 2 0 21.57	21.090 869 8	
	1	23 39 53.828	- 2 58 9.35	20.815 406 4	19	23 48 55.050	- 1 58 59.68	21.090 787 5	
	2	23 40 3.903	- 2 57 2.51	20.826 987 6	20	23 49 7.646	- 1 57 37.84	21.090 425 7	
	3	23 40 14.088	- 2 55 54.97	20.838 354 2	21	23 49 20.239	- 1 56 16.06	21.089 785 0	
	4	23 40 24.383	- 2 54 46.75	20.849 503 3	22	23 49 32.825	- 1 54 54.35	21.088 866 1	
	5	23 40 34.788	- 2 53 37.83	20.860 431 6	23	23 49 45.400	- 1 53 32.75	21.087 669 7	
	6	23 40 45.301	- 2 52 28.25	20.871 136 2	24	23 49 57.961	- 1 52 11.28	21.086 196 7	
	7	23 40 55.919	- 2 51 18.01	20.881 613 8	25	23 50 10.503	- 1 50 49.96	21.084 448 2	
	8	23 41 6.639	- 2 50 7.13	20.891 861 5	26	23 50 23.021	- 1 49 28.83	21.082 425 3	
	9	23 41 17.457	- 2 48 55.65	20.901 876 2	27	23 50 35.514	- 1 48 7.89	21.080 129 1	
	10	23 41 28.371	- 2 47 43.57	20.911 655 2	28	23 50 47.977	- 1 46 47.18	21.077 560 7	
	11	23 41 39.377	- 2 46 30.93	20.921 195 6	29	23 51 0.411	- 1 45 26.68	21.074 721 3	
	12	23 41 50.471	- 2 45 17.75	20.930 494 7	30	23 51 12.815	- 1 44 6.41	21.071 611 7	
	13	23 42 1.650	- 2 44 4.04	20.939 549 9	31	23 51 25.189	- 1 42 46.36	21.068 233 1	
14	23 42 12.913	- 2 42 49.82	20.948 358 6	Avril	1	23 51 37.532	- 1 41 26.55	21.064 586 3	

URANUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 23 51 49.843	- 1 40 6.97	21.060 672 3	Mai	18 23 59 56.163	- 0 48 19.49	20.623 049 0
	3 23 52 2.117	- 1 38 47.66	21.056 491 8		19 0 0 4.191	- 0 47 29.13	20.608 911 6
	4 23 52 14.352	- 1 37 28.64	21.052 045 9		20 0 0 12.076	- 0 46 39.73	20.594 630 2
	5 23 52 26.545	- 1 36 9.92	21.047 335 5		21 0 0 19.815	- 0 45 51.29	20.580 208 9
	6 23 52 38.691	- 1 34 51.54	21.042 361 7		22 0 0 27.410	- 0 45 3.81	20.565 651 8
	7 23 52 50.787	- 1 33 33.52	21.037 125 7		23 0 0 34.858	- 0 44 17.30	20.550 962 9
	8 23 53 2.831	- 1 32 15.87	21.031 628 7		24 0 0 42.162	- 0 43 31.76	20.536 146 1
	9 23 53 14.819	- 1 30 58.62	21.025 872 0		25 0 0 49.322	- 0 42 47.17	20.521 205 3
	10 23 53 26.749	- 1 29 41.77	21.019 857 2		26 0 0 56.336	- 0 42 3.54	20.506 144 3
	11 23 53 38.618	- 1 28 25.35	21.013 585 8		27 0 1 3.205	- 0 41 20.87	20.490 966 8
	12 23 53 50.426	- 1 27 9.36	21.007 059 5		28 0 1 9.926	- 0 40 39.19	20.475 676 5
13 23 54 2.170	- 1 25 53.82	21.000 280 0	29 0 1 16.497	- 0 39 58.50	20.460 277 1		
14 23 54 13.850	- 1 24 38.73	20.993 249 3	30 0 1 22.915	- 0 39 18.81	20.444 772 4		
15 23 54 25.462	- 1 23 24.11	20.985 969 3	31 0 1 29.178	- 0 38 40.16	20.429 166 0		
16 23 54 37.007	- 1 22 9.96	20.978 442 3	Juin	1 0 1 35.284	- 0 38 2.55	20.413 461 9	
17 23 54 48.481	- 1 20 56.30	20.970 670 5		2 0 1 41.230	- 0 37 25.98	20.397 664 0	
18 23 54 59.883	- 1 19 43.15	20.962 656 4		3 0 1 47.016	- 0 36 50.49	20.381 776 0	
19 23 55 11.209	- 1 18 30.52	20.954 402 4		4 0 1 52.640	- 0 36 16.06	20.365 802 2	
20 23 55 22.454	- 1 17 18.45	20.945 911 4		5 0 1 58.101	- 0 35 42.70	20.349 746 6	
21 23 55 33.616	- 1 16 6.95	20.937 185 9		6 0 2 3.399	- 0 35 10.42	20.333 613 3	
22 23 55 44.690	- 1 14 56.06	20.928 228 7		7 0 2 8.534	- 0 34 39.22	20.317 406 6	
23 23 55 55.673	- 1 13 45.78	20.919 042 8		8 0 2 13.505	- 0 34 9.09	20.301 130 8	
24 23 56 6.564	- 1 12 36.13	20.909 630 8		9 0 2 18.313	- 0 33 40.05	20.284 790 4	
25 23 56 17.361	- 1 11 27.12	20.899 995 6		10 0 2 22.956	- 0 33 12.08	20.268 389 9	
26 23 56 28.063	- 1 10 18.76	20.890 140 0		11 0 2 27.435	- 0 32 45.20	20.251 933 9	
27 23 56 38.671	- 1 9 11.03	20.880 066 6	12 0 2 31.747	- 0 32 19.42	20.235 427 0		
28 23 56 49.185	- 1 8 3.94	20.869 778 0	13 0 2 35.890	- 0 31 54.74	20.218 874 2		
29 23 56 59.604	- 1 6 57.50	20.859 276 7	14 0 2 39.863	- 0 31 31.19	20.202 280 3		
30 23 57 9.925	- 1 5 51.72	20.848 565 4	15 0 2 43.661	- 0 31 8.78	20.185 650 3		
Mai	1 23 57 20.146	- 1 4 46.62	20.837 646 5	16 0 2 47.282	- 0 30 47.52	20.168 989 0	
	2 23 57 30.263	- 1 3 42.23	20.826 522 6	17 0 2 50.727	- 0 30 27.43	20.152 301 4	
	3 23 57 40.273	- 1 2 38.55	20.815 196 3	18 0 2 53.994	- 0 30 8.49	20.135 592 3	
	4 23 57 50.174	- 1 1 35.62	20.803 670 2	19 0 2 57.084	- 0 29 50.70	20.118 866 4	
	5 23 57 59.961	- 1 0 33.45	20.791 947 2	20 0 3 0.001	- 0 29 34.06	20.102 128 5	
	6 23 58 9.634	- 0 59 32.06	20.780 030 1	21 0 3 2.743	- 0 29 18.54	20.085 383 0	
	7 23 58 19.189	- 0 58 31.45	20.767 921 9	22 0 3 5.314	- 0 29 4.15	20.068 634 3	
	8 23 58 28.625	- 0 57 31.65	20.755 625 4	23 0 3 7.712	- 0 28 50.88	20.051 887 0	
	9 23 58 37.941	- 0 56 32.66	20.743 144 0	24 0 3 9.937	- 0 28 38.74	20.035 145 2	
	10 23 58 47.136	- 0 55 34.48	20.730 480 6	25 0 3 11.988	- 0 28 27.73	20.018 413 3	
	11 23 58 56.208	- 0 54 37.13	20.717 638 8	26 0 3 13.863	- 0 28 17.86	20.001 695 6	
12 23 59 5.156	- 0 53 40.61	20.704 621 9	27 0 3 15.562	- 0 28 9.14	19.984 996 4		
13 23 59 13.980	- 0 52 44.93	20.691 433 4	28 0 3 17.082	- 0 28 1.59	19.968 319 9		
14 23 59 22.678	- 0 51 50.09	20.678 076 9	29 0 3 18.423	- 0 27 55.20	19.951 670 6		
15 23 59 31.248	- 0 50 56.11	20.664 556 3	30 0 3 19.584	- 0 27 49.97	19.935 052 7		
16 23 59 39.688	- 0 50 3.00	20.650 875 5	Juill.	1 0 3 20.565	- 0 27 45.92	19.918 470 8	
17 23 59 47.994	- 0 49 10.79	20.637 038 4		2 0 3 21.367	- 0 27 43.03	19.901 929 2	

URANUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance							
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua							
Juill.	3	0	3	21.990	-	0	27	41.31	19.885	4326	Août	18	0	0	49.584	-	0	45	43.38	19.254	4599	
	4	0	3	22.436	-	0	27	40.74	19.868	9854		19	0	0	42.841	-	0	46	28.56	19.245	1079	
	5	0	3	22.703	-	0	27	41.31	19.852	5924		20	0	0	35.986	-	0	47	14.44	19.236	0008	
	6	0	3	22.795	-	0	27	43.04	19.836	2582		21	0	0	29.020	-	0	48	1.01	19.227	1413	
	7	0	3	22.711	-	0	27	45.89	19.819	9875		22	0	0	21.945	-	0	48	48.24	19.218	5319	
	8	0	3	22.453	-	0	27	49.88	19.803	7852		23	0	0	14.764	-	0	49	36.13	19.210	1753	
	9	0	3	22.020	-	0	27	55.00	19.787	6561		24	0	0	7.478	-	0	50	24.66	19.202	0740	
	10	0	3	21.412	-	0	28	1.25	19.771	6052		25	0	0	0.091	-	0	51	13.80	19.194	2307	
	11	0	3	20.628	-	0	28	8.64	19.755	6374		26	23	59	52.606	-	0	52	3.54	19.186	6479	
	12	0	3	19.665	-	0	28	17.17	19.739	7579		27	23	59	45.027	-	0	52	53.85	19.179	3280	
	13	0	3	18.523	-	0	28	26.86	19.723	9718		28	23	59	37.358	-	0	53	44.71	19.172	2735	
	14	0	3	17.201	-	0	28	37.71	19.708	2839		29	23	59	29.603	-	0	54	36.09	19.165	4870	
	15	0	3	15.701	-	0	28	49.71	19.692	6992		30	23	59	21.764	-	0	55	27.96	19.158	9708	
	16	0	3	14.024	-	0	29	2.84	19.677	2225		31	23	59	13.847	-	0	56	20.31	19.152	7273	
	17	0	3	12.173	-	0	29	17.09	19.661	8585		Sept.	1	23	59	5.853	-	0	57	13.11	19.146	7591
	18	0	3	10.152	-	0	29	32.42	19.646	6116		2	23	58	57.787	-	0	58	6.34	19.141	0684	
	19	0	3	7.963	-	0	29	48.84	19.631	4862		3	23	58	49.650	-	0	58	59.99	19.135	6576	
20	0	3	5.608	-	0	30	6.31	19.616	4865	4	23	58	41.444	-	0	59	54.04	19.130	5291			
21	0	3	3.086	-	0	30	24.85	19.601	6168	5	23	58	33.171	-	1	0	48.48	19.125	6851			
22	0	3	0.400	-	0	30	44.44	19.586	8811	6	23	58	24.833	-	1	1	43.29	19.121	1279			
23	0	2	57.549	-	0	31	5.09	19.572	2835	7	23	58	16.431	-	1	2	38.47	19.116	8596			
24	0	2	54.532	-	0	31	26.79	19.557	8280	8	23	58	7.971	-	1	3	33.99	19.112	8822			
25	0	2	51.350	-	0	31	49.54	19.543	5186	9	23	57	59.456	-	1	4	29.81	19.109	1974			
26	0	2	48.004	-	0	32	13.35	19.529	3593	10	23	57	50.893	-	1	5	25.89	19.105	8067			
27	0	2	44.494	-	0	32	38.20	19.515	3542	11	23	57	42.288	-	1	6	22.19	19.102	7114			
28	0	2	40.822	-	0	33	4.08	19.501	5072	12	23	57	33.646	-	1	7	18.69	19.099	9127			
29	0	2	36.989	-	0	33	30.99	19.487	8223	13	23	57	24.971	-	1	8	15.34	19.097	4113			
30	0	2	32.997	-	0	33	58.91	19.474	3037	14	23	57	16.266	-	1	9	12.15	19.095	2080			
31	0	2	28.848	-	0	34	27.82	19.460	9552	15	23	57	7.534	-	1	10	9.08	19.093	3034			
Août	1	0	2	24.546	-	0	34	57.71	19.447	7811	16	23	56	58.777	-	1	11	6.12	19.091	6979		
2	0	2	20.092	-	0	35	28.57	19.434	7855	17	23	56	49.997	-	1	12	3.26	19.090	3921			
3	0	2	15.488	-	0	36	0.37	19.421	9723	18	23	56	41.197	-	1	13	0.48	19.089	3861			
4	0	2	10.737	-	0	36	33.11	19.409	3457	19	23	56	32.381	-	1	13	57.75	19.088	6804			
5	0	2	5.841	-	0	37	6.76	19.396	9100	20	23	56	23.552	-	1	14	55.07	19.088	2752			
6	0	2	0.801	-	0	37	41.33	19.384	6692	21	23	56	14.714	-	1	15	52.39	19.088	1705			
7	0	1	55.618	-	0	38	16.79	19.372	6276	22	23	56	5.870	-	1	16	49.70	19.088	3666			
8	0	1	50.291	-	0	38	53.16	19.360	7893	23	23	55	57.026	-	1	17	46.97	19.088	8636			
9	0	1	44.822	-	0	39	30.43	19.349	1586	24	23	55	48.184	-	1	18	44.17	19.089	6613			
10	0	1	39.210	-	0	40	8.59	19.337	7397	25	23	55	39.351	-	1	19	41.26	19.090	7599			
11	0	1	33.457	-	0	40	47.64	19.326	5366	26	23	55	30.531	-	1	20	38.23	19.092	1594			
12	0	1	27.567	-	0	41	27.54	19.315	5531	27	23	55	21.727	-	1	21	35.04	19.093	8595			
13	0	1	21.544	-	0	42	8.27	19.304	7930	28	23	55	12.943	-	1	22	31.66	19.095	8601			
14	0	1	15.393	-	0	42	49.80	19.294	2598	29	23	55	4.183	-	1	23	28.09	19.098	1612			
15	0	1	9.119	-	0	43	32.09	19.283	9568	30	23	54	55.450	-	1	24	24.29	19.100	7625			
16	0	1	2.724	-	0	44	15.13	19.273	8872	Oct.	1	23	54	46.747	-	1	25	20.25	19.103	6637		
17	0	0	56.212	-	0	44	58.90	19.264	0539	2	23	54	38.075	-	1	26	15.96	19.106	8645			

URANUS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Oct.	3	23 54 29.437	- 1 27 11.39	19.1103644	Nov.	18	23 49 30.474	- 1 58 15.65	19.5597645
	4	23 54 20.835	- 1 28 6.55	19.1141630		19	23 49 27.199	- 1 58 34.47	19.5746344
	5	23 54 12.273	- 1 29 1.39	19.1182595		20	23 49 24.099	- 1 58 52.14	19.5896560
	6	23 54 3.756	- 1 29 55.89	19.1226532		21	23 49 21.176	- 1 59 8.64	19.6048247
	7	23 53 55.289	- 1 30 50.01	19.1273429		22	23 49 18.431	- 1 59 23.97	19.6201359
	8	23 53 46.878	- 1 31 43.72	19.1323275		23	23 49 15.865	- 1 59 38.12	19.6355850
	9	23 53 38.529	- 1 32 36.97	19.1376052		24	23 49 13.477	- 1 59 51.10	19.6511676
	10	23 53 30.247	- 1 33 29.74	19.1431744		25	23 49 11.267	- 2 0 2.91	19.6668790
	11	23 53 22.035	- 1 34 22.00	19.1490330		26	23 49 9.236	- 2 0 13.54	19.6827148
	12	23 53 13.896	- 1 35 13.74	19.1551791		27	23 49 7.383	- 2 0 23.01	19.6986703
	13	23 53 5.832	- 1 36 4.95	19.1616103		28	23 49 5.708	- 2 0 31.30	19.7147408
	14	23 52 57.845	- 1 36 55.62	19.1683244		29	23 49 4.213	- 2 0 38.41	19.7309215
15	23 52 49.937	- 1 37 45.72	19.1753190	30	23 49 2.901	- 2 0 44.32	19.7472076		
16	23 52 42.111	- 1 38 35.25	19.1825917	Déc.	1	23 49 1.773	- 2 0 49.02	19.7635940	
17	23 52 34.370	- 1 39 24.17	19.1901401		2	23 49 0.833	- 2 0 52.49	19.7800755	
18	23 52 26.718	- 1 40 12.48	19.1979616		3	23 49 0.083	- 2 0 54.71	19.7966469	
19	23 52 19.159	- 1 41 0.15	19.2060536		4	23 48 59.525	- 2 0 55.68	19.8133027	
20	23 52 11.695	- 1 41 47.15	19.2144136		5	23 48 59.158	- 2 0 55.39	19.8300375	
21	23 52 4.331	- 1 42 33.46	19.2230390		6	23 48 58.983	- 2 0 53.86	19.8468455	
22	23 51 57.071	- 1 43 19.06	19.2319270		7	23 48 58.998	- 2 0 51.08	19.8637212	
23	23 51 49.919	- 1 44 3.91	19.2410750	8	23 48 59.203	- 2 0 47.08	19.8806590		
24	23 51 42.878	- 1 44 48.00	19.2504802	9	23 48 59.596	- 2 0 41.84	19.8976532		
25	23 51 35.952	- 1 45 31.31	19.2601399	10	23 49 0.176	- 2 0 35.39	19.9146982		
26	23 51 29.143	- 1 46 13.81	19.2700514	11	23 49 0.945	- 2 0 27.71	19.9317885		
27	23 51 22.455	- 1 46 55.50	19.2802118	12	23 49 1.902	- 2 0 18.82	19.9489187		
28	23 51 15.887	- 1 47 36.36	19.2906183	13	23 49 3.047	- 2 0 8.70	19.9660832		
29	23 51 9.443	- 1 48 16.39	19.3012680	14	23 49 4.381	- 1 59 57.35	19.9832768		
30	23 51 3.123	- 1 48 55.57	19.3121579	15	23 49 5.905	- 1 59 44.78	20.0004942		
31	23 50 56.929	- 1 49 33.90	19.3232850	16	23 49 7.620	- 1 59 30.97	20.0177299		
Nov.	1	23 50 50.864	- 1 50 11.36	19.3346461	17	23 49 9.525	- 1 59 15.92	20.0349789	
	2	23 50 44.930	- 1 50 47.92	19.3462379	18	23 49 11.621	- 1 58 59.64	20.0522361	
	3	23 50 39.132	- 1 51 23.56	19.3580569	19	23 49 13.908	- 1 58 42.12	20.0694962	
	4	23 50 33.475	- 1 51 58.26	19.3700995	20	23 49 16.386	- 1 58 23.38	20.0867544	
	5	23 50 27.962	- 1 52 31.97	19.3823617	21	23 49 19.051	- 1 58 3.42	20.1040058	
	6	23 50 22.600	- 1 53 4.69	19.3948396	22	23 49 21.904	- 1 57 42.25	20.1212455	
	7	23 50 17.389	- 1 53 36.38	19.4075288	23	23 49 24.941	- 1 57 19.90	20.1384686	
	8	23 50 12.332	- 1 54 7.04	19.4204251	24	23 49 28.160	- 1 56 56.37	20.1556705	
	9	23 50 7.430	- 1 54 36.66	19.4335237	25	23 49 31.560	- 1 56 31.68	20.1728462	
	10	23 50 2.683	- 1 55 5.25	19.4468204	26	23 49 35.140	- 1 56 5.82	20.1899910	
	11	23 49 58.093	- 1 55 32.80	19.4603103	27	23 49 38.901	- 1 55 38.79	20.2070998	
12	23 49 53.660	- 1 55 59.30	19.4739890	28	23 49 42.844	- 1 55 10.59	20.2241678		
13	23 49 49.386	- 1 56 24.74	19.4878517	29	23 49 46.970	- 1 54 41.21	20.2411897		
14	23 49 45.273	- 1 56 49.12	19.5018939	30	23 49 51.279	- 1 54 10.64	20.2581604		
15	23 49 41.322	- 1 57 12.41	19.5161109	31	23 49 55.772	- 1 53 38.89	20.2750747		
16	23 49 37.538	- 1 57 34.61	19.5304981	32	23 50 0.448	- 1 53 5.97	20.2919272		
17	23 49 33.921	- 1 57 55.69	19.5450508	33	23 50 5.304	- 1 52 31.89	20.3087125		

NEPTUNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	21	47	58.196	-13	43	54.51	30.7102747	Févr.	15	21	54	12.105	-13	11	40.79	31.0109272
	1	21	48	4.981	-13	43	19.57	30.7224440		16	21	54	20.933	-13	10	54.95	31.0109403
	2	21	48	11.851	-13	42	44.20	30.7344028		17	21	54	29.758	-13	10	9.10	31.0106621
	3	21	48	18.802	-13	42	8.43	30.7461479		18	21	54	38.578	-13	9	23.26	31.0100931
	4	21	48	25.832	-13	41	32.24	30.7576760		19	21	54	47.393	-13	8	37.43	31.0092337
	5	21	48	32.939	-13	40	55.63	30.7689838		20	21	54	56.201	-13	7	51.63	31.0080847
	6	21	48	40.125	-13	40	18.60	30.7800681		21	21	55	5.000	-13	7	5.86	31.0066467
	7	21	48	47.390	-13	39	41.14	30.7909254		22	21	55	13.790	-13	6	20.14	31.0049208
	8	21	48	54.733	-13	39	3.25	30.8015523		23	21	55	22.568	-13	5	34.48	31.0029079
	9	21	49	2.155	-13	38	24.95	30.8119454		24	21	55	31.330	-13	4	48.91	31.0006091
	10	21	49	9.653	-13	37	46.24	30.8221015		25	21	55	40.074	-13	4	3.45	30.9980257
	11	21	49	17.226	-13	37	7.15	30.8320174		26	21	55	48.795	-13	3	18.11	30.9951590
	12	21	49	24.871	-13	36	27.69	30.8416898		27	21	55	57.490	-13	2	32.92	30.9920102
	13	21	49	32.586	-13	35	47.88	30.8511158		28	21	56	6.155	-13	1	47.87	30.9885805
14	21	49	40.366	-13	35	7.73	30.8602925	Mars	1	21	56	14.789	-13	1	2.96	30.9848711	
15	21	49	48.210	-13	34	27.25	30.8692170	2	21	56	23.393	-13	0	18.19	30.9808832		
16	21	49	56.114	-13	33	46.47	30.8778867	3	21	56	31.967	-12	59	33.55	30.9766177		
17	21	50	4.076	-13	33	5.38	30.8862990	4	21	56	40.512	-12	58	49.05	30.9720758		
18	21	50	12.093	-13	32	23.99	30.8944516	5	21	56	49.026	-12	58	4.70	30.9672585		
19	21	50	20.165	-13	31	42.31	30.9023421	6	21	56	57.508	-12	57	20.51	30.9621669		
20	21	50	28.289	-13	31	0.34	30.9099684	7	21	57	5.955	-12	56	36.51	30.9568021		
21	21	50	36.464	-13	30	18.09	30.9173285	8	21	57	14.364	-12	55	52.72	30.9511656		
22	21	50	44.690	-13	29	35.56	30.9244205	9	21	57	22.732	-12	55	9.15	30.9452588		
23	21	50	52.965	-13	28	52.76	30.9312427	10	21	57	31.057	-12	54	25.81	30.9390832		
24	21	51	1.289	-13	28	9.70	30.9377936	11	21	57	39.334	-12	53	42.73	30.9326405		
25	21	51	9.660	-13	27	26.38	30.9440716	12	21	57	47.563	-12	52	59.91	30.9259325		
26	21	51	18.076	-13	26	42.82	30.9500755	13	21	57	55.739	-12	52	17.35	30.9189612		
27	21	51	26.536	-13	25	59.05	30.9558040	14	21	58	3.863	-12	51	35.08	30.9117285		
28	21	51	35.034	-13	25	15.08	30.9612561	15	21	58	11.931	-12	50	53.08	30.9042366		
29	21	51	43.568	-13	24	30.93	30.9664308	16	21	58	19.944	-12	50	11.37	30.8964879		
30	21	51	52.133	-13	23	46.63	30.9713270	17	21	58	27.900	-12	49	29.95	30.8884847		
Févr.	31	21	52	0.725	-13	23	2.18	30.9759438	18	21	58	35.798	-12	48	48.83	30.8802296	
	1	21	52	9.343	-13	22	17.58	30.9802800	19	21	58	43.638	-12	48	8.00	30.8717253	
	2	21	52	17.985	-13	21	32.83	30.9843344	20	21	58	51.418	-12	47	27.49	30.8629746	
	3	21	52	26.653	-13	20	47.92	30.9881060	21	21	58	59.138	-12	46	47.30	30.8539804	
	4	21	52	35.347	-13	20	2.84	30.9915935	22	21	59	6.796	-12	46	7.44	30.8447457	
	5	21	52	44.065	-13	19	17.62	30.9947956	23	21	59	14.388	-12	45	27.95	30.8352735	
	6	21	52	52.808	-13	18	32.27	30.9977113	24	21	59	21.912	-12	44	48.83	30.8255671	
	7	21	53	1.572	-13	17	46.80	31.0003395	25	21	59	29.364	-12	44	10.11	30.8156296	
	8	21	53	10.355	-13	17	1.22	31.0026792	26	21	59	36.741	-12	43	31.79	30.8054642	
	9	21	53	19.154	-13	16	15.57	31.0047297	27	21	59	44.041	-12	42	53.89	30.7950741	
	10	21	53	27.965	-13	15	29.86	31.0064902	28	21	59	51.262	-12	42	16.40	30.7844624	
	11	21	53	36.785	-13	14	44.10	31.0079601	29	21	59	58.403	-12	41	39.32	30.7736321	
	12	21	53	45.612	-13	13	58.30	31.0091390	30	22	0	5.467	-12	41	2.64	30.7625863	
	13	21	53	54.442	-13	13	12.48	31.0100266	31	22	0	12.452	-12	40	26.36	30.7513279	
14	21	54	3.274	-13	12	26.64	31.0106227	Avril	1	22	0	19.360	-12	39	50.48	30.7398597	

NEPTUNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua		
Avril	2	22	0	26.190	-12	39	15.02	30.728 1847	Mai	18	22	3	50.223	-12	22	1.40	30.033 2589
	3	22	0	32.939	-12	38	40.00	30.716 3057		19	22	3	51.926	-12	21	53.82	30.016 3372
	4	22	0	39.606	-12	38	5.43	30.704 2259		20	22	3	53.500	-12	21	46.96	29.999 4135
	5	22	0	46.187	-12	37	31.33	30.691 9483		21	22	3	54.944	-12	21	40.79	29.982 4928
	6	22	0	52.680	-12	36	57.72	30.679 4761		22	22	3	56.260	-12	21	35.32	29.965 5798
	7	22	0	59.082	-12	36	24.60	30.666 8127		23	22	3	57.448	-12	21	30.52	29.948 6792
	8	22	1	5.392	-12	35	51.99	30.653 9614		24	22	3	58.510	-12	21	26.40	29.931 7956
	9	22	1	11.606	-12	35	19.89	30.640 9260		25	22	3	59.449	-12	21	22.93	29.914 9335
	10	22	1	17.725	-12	34	48.30	30.627 7098		26	22	4	0.266	-12	21	20.12	29.898 0974
	11	22	1	23.747	-12	34	17.23	30.614 3168		27	22	4	0.961	-12	21	17.97	29.881 2915
	12	22	1	29.671	-12	33	46.69	30.600 7507		28	22	4	1.534	-12	21	16.49	29.864 5204
13	22	1	35.496	-12	33	16.66	30.587 0154	29	22	4	1.984	-12	21	15.69	29.847 7882		
14	22	1	41.223	-12	32	47.16	30.573 1151	30	22	4	2.310	-12	21	15.58	29.831 0994		
15	22	1	46.852	-12	32	18.18	30.559 0538	31	22	4	2.509	-12	21	16.16	29.814 4585		
16	22	1	52.381	-12	31	49.74	30.544 8357	Juin	1	22	4	2.583	-12	21	17.44	29.797 8698	
17	22	1	57.811	-12	31	21.83	30.530 4654		2	22	4	2.529	-12	21	19.41	29.781 3380	
18	22	2	3.140	-12	30	54.48	30.515 9470		3	22	4	2.348	-12	21	22.07	29.764 8676	
19	22	2	8.366	-12	30	27.70	30.501 2852		4	22	4	2.041	-12	21	25.41	29.748 4633	
20	22	2	13.487	-12	30	1.50	30.486 4845		5	22	4	1.608	-12	21	29.43	29.732 1296	
21	22	2	18.499	-12	29	35.91	30.471 5493		6	22	4	1.049	-12	21	34.12	29.715 8712	
22	22	2	23.401	-12	29	10.92	30.456 4842		7	22	4	0.368	-12	21	39.46	29.699 6931	
23	22	2	28.190	-12	28	46.55	30.441 2936		8	22	3	59.564	-12	21	45.47	29.683 5998	
24	22	2	32.866	-12	28	22.78	30.425 9820		9	22	3	58.639	-12	21	52.11	29.667 5962	
25	22	2	37.427	-12	27	59.63	30.410 5537		10	22	3	57.595	-12	21	59.40	29.651 6872	
26	22	2	41.876	-12	27	37.07	30.395 0129	11	22	3	56.433	-12	22	7.34	29.635 8777		
27	22	2	46.213	-12	27	15.11	30.379 3638	12	22	3	55.152	-12	22	15.91	29.620 1725		
28	22	2	50.439	-12	26	53.73	30.363 6104	13	22	3	53.753	-12	22	25.15	29.604 5767		
29	22	2	54.555	-12	26	32.95	30.347 7569	14	22	3	52.234	-12	22	35.04	29.589 0951		
30	22	2	58.561	-12	26	12.77	30.331 8072	15	22	3	50.594	-12	22	45.60	29.573 7324		
Mai	1	22	3	2.453	-12	25	53.22	30.315 7655	16	22	3	48.832	-12	22	56.82	29.558 4936	
	2	22	3	6.231	-12	25	34.30	30.299 6358	17	22	3	46.949	-12	23	8.69	29.543 3830	
	3	22	3	9.893	-12	25	16.02	30.283 4223	18	22	3	44.945	-12	23	21.20	29.528 4052	
	4	22	3	13.435	-12	24	58.41	30.267 1294	19	22	3	42.823	-12	23	34.32	29.513 5645	
	5	22	3	16.857	-12	24	41.45	30.250 7613	20	22	3	40.587	-12	23	48.05	29.498 8649	
	6	22	3	20.157	-12	24	25.16	30.234 3226	21	22	3	38.239	-12	24	2.36	29.484 3105	
	7	22	3	23.335	-12	24	9.54	30.217 8177	22	22	3	35.781	-12	24	17.25	29.469 9051	
	8	22	3	26.390	-12	23	54.58	30.201 2513	23	22	3	33.215	-12	24	32.72	29.455 6527	
	9	22	3	29.322	-12	23	40.29	30.184 6278	24	22	3	30.542	-12	24	48.76	29.441 5569	
	10	22	3	32.132	-12	23	26.65	30.167 9522	25	22	3	27.762	-12	25	5.39	29.427 6216	
	11	22	3	34.819	-12	23	13.67	30.151 2292	26	22	3	24.875	-12	25	22.59	29.413 8504	
12	22	3	37.384	-12	23	1.35	30.134 4637	27	22	3	21.881	-12	25	40.38	29.400 2470		
13	22	3	39.829	-12	22	49.68	30.117 6606	28	22	3	18.779	-12	25	58.74	29.386 8153		
14	22	3	42.153	-12	22	38.67	30.100 8249	29	22	3	15.570	-12	26	17.68	29.373 5589		
15	22	3	44.355	-12	22	28.33	30.083 9618	30	22	3	12.254	-12	26	37.19	29.360 4816		
16	22	3	46.436	-12	22	18.66	30.067 0763	Juill.	1	22	3	8.834	-12	26	57.25	29.347 5873	
17	22	3	48.393	-12	22	9.68	30.050 1737		2	22	3	5.310	-12	27	17.86	29.334 8795	

NEPTUNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 22 3 1.684	-12 27 38.99	29.3223623	Août	18 21 58 56.152	-12 50 33.81	29.0065600
	4 22 2 57.958	-12 28 0.64	29.3100393		19 21 58 49.863	-12 51 8.18	29.0061728
	5 22 2 54.136	-12 28 22.80	29.2979144		20 21 58 43.571	-12 51 42.55	29.0060800
	6 22 2 50.219	-12 28 45.45	29.2859914		21 21 58 37.276	-12 52 16.91	29.0062814
	7 22 2 46.209	-12 29 8.57	29.2742741		22 21 58 30.979	-12 52 51.26	29.0067771
	8 22 2 42.109	-12 29 32.17	29.2627663		23 21 58 24.683	-12 53 25.57	29.0075667
	9 22 2 37.921	-12 29 56.25	29.2514718		24 21 58 18.390	-12 53 59.85	29.0086503
	10 22 2 33.644	-12 30 20.79	29.2403944		25 21 58 12.102	-12 54 34.06	29.0100274
	11 22 2 29.280	-12 30 45.80	29.2295379		26 21 58 5.821	-12 55 8.19	29.0116980
	12 22 2 24.827	-12 31 11.29	29.2189059		27 21 57 59.552	-12 55 42.22	29.0136618
	13 22 2 20.286	-12 31 37.25	29.2085020		28 21 57 53.297	-12 56 16.14	29.0159184
	14 22 2 15.656	-12 32 3.66	29.1983295		29 21 57 47.060	-12 56 49.92	29.0184675
	15 22 2 10.941	-12 32 30.52	29.1883918		30 21 57 40.843	-12 57 23.56	29.0213087
	16 22 2 6.143	-12 32 57.78	29.1786917		31 21 57 34.651	-12 57 57.04	29.0244416
	17 22 2 1.265	-12 33 25.44	29.1692322		Sept. 1 21 57 28.485	-12 58 30.34	29.0278657
	18 22 1 56.313	-12 33 53.46	29.1600157		2 21 57 22.348	-12 59 3.48	29.0315804
	19 22 1 51.290	-12 34 21.85	29.1510450		3 21 57 16.242	-12 59 36.43	29.0355852
20 22 1 46.197	-12 34 50.57	29.1423223	4 21 57 10.167	-13 0 9.19	29.0398794		
21 22 1 41.038	-12 35 19.64	29.1338499	5 21 57 4.125	-13 0 41.77	29.0444623		
22 22 1 35.812	-12 35 49.06	29.1256301	6 21 56 58.115	-13 1 14.15	29.0493327		
23 22 1 30.522	-12 36 18.81	29.1176652	7 21 56 52.139	-13 1 46.33	29.0544898		
24 22 1 25.167	-12 36 48.89	29.1099572	8 21 56 46.200	-13 2 18.27	29.0599321		
25 22 1 19.748	-12 37 19.31	29.1025084	9 21 56 40.302	-13 2 49.95	29.0656582		
26 22 1 14.267	-12 37 50.04	29.0953208	10 21 56 34.448	-13 3 21.34	29.0716663		
27 22 1 8.724	-12 38 21.08	29.0883966	11 21 56 28.645	-13 3 52.42	29.0779543		
28 22 1 3.122	-12 38 52.41	29.0817379	12 21 56 22.896	-13 4 23.18	29.0845201		
29 22 0 57.463	-12 39 24.03	29.0753467	13 21 56 17.203	-13 4 53.61	29.0913615		
30 22 0 51.750	-12 39 55.90	29.0692251	14 21 56 11.568	-13 5 23.71	29.0984760		
31 22 0 45.985	-12 40 28.01	29.0633752	15 21 56 5.993	-13 5 53.49	29.1058613		
Août 1 22 0 40.172	-12 41 0.35	29.0577990	16 21 56 0.478	-13 6 22.92	29.1135149		
2 22 0 34.313	-12 41 32.91	29.0524984	17 21 55 55.024	-13 6 52.02	29.1214342		
3 22 0 28.412	-12 42 5.65	29.0474755	18 21 55 49.632	-13 7 20.77	29.1296168		
4 22 0 22.471	-12 42 38.59	29.0427321	19 21 55 44.303	-13 7 49.16	29.1380601		
5 22 0 16.493	-12 43 11.69	29.0382702	20 21 55 39.040	-13 8 17.19	29.1467617		
6 22 0 10.480	-12 43 44.97	29.0340916	21 21 55 33.845	-13 8 44.82	29.1557188		
7 22 0 4.433	-12 44 18.41	29.0301981	22 21 55 28.719	-13 9 12.06	29.1649290		
8 21 59 58.353	-12 44 52.02	29.0265915	23 21 55 23.666	-13 9 38.88	29.1743894		
9 21 59 52.240	-12 45 25.79	29.0232733	24 21 55 18.688	-13 10 5.27	29.1840976		
10 21 59 46.094	-12 45 59.72	29.0202450	25 21 55 13.789	-13 10 31.21	29.1940508		
11 21 59 39.917	-12 46 33.77	29.0175079	26 21 55 8.971	-13 10 56.70	29.2042463		
12 21 59 33.713	-12 47 7.93	29.0150629	27 21 55 4.237	-13 11 21.71	29.2146814		
13 21 59 27.486	-12 47 42.16	29.0129109	28 21 54 59.589	-13 11 46.25	29.2253533		
14 21 59 21.241	-12 48 16.45	29.0110525	29 21 54 55.028	-13 12 10.32	29.2362591		
15 21 59 14.982	-12 48 50.76	29.0094880	30 21 54 50.557	-13 12 33.90	29.2473960		
16 21 59 8.712	-12 49 25.10	29.0082177	Oct. 1 21 54 46.176	-13 12 56.99	29.2587610		
17 21 59 2.435	-12 49 59.45	29.0072416	2 21 54 41.885	-13 13 19.61	29.2703511		

NEPTUNE 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Oct.	3 21 54 37.685	-13 13 41.73	29.2821631	Nov.	18 21 53 27.831	-13 19 35.89	29.9918894	
	4 21 54 33.576	-13 14 3.36	29.2941939		19 21 53 29.305	-13 19 27.72	30.0091484	
	5 21 54 29.559	-13 14 24.48	29.3064398		20 21 53 30.914	-13 19 18.84	30.0264035	
	6 21 54 25.637	-13 14 45.07	29.3188974		21 21 53 32.657	-13 19 9.26	30.0436498	
	7 21 54 21.813	-13 15 5.10	29.3315627		22 21 53 34.535	-13 18 58.97	30.0608824	
	8 21 54 18.092	-13 15 24.55	29.3444317		23 21 53 36.546	-13 18 47.99	30.0780966	
	9 21 54 14.478	-13 15 43.42	29.3575003		24 21 53 38.690	-13 18 36.32	30.0952874	
	10 21 54 10.972	-13 16 1.69	29.3707641		25 21 53 40.964	-13 18 23.99	30.1124500	
	11 21 54 7.577	-13 16 19.37	29.3842185		26 21 53 43.367	-13 18 10.99	30.1295795	
	12 21 54 4.292	-13 16 36.46	29.3978593		27 21 53 45.897	-13 17 57.33	30.1466712	
	13 21 54 1.118	-13 16 52.97	29.4116818		28 21 53 48.553	-13 17 43.00	30.1637198	
	14 21 53 58.055	-13 17 8.89	29.4256816		29 21 53 51.334	-13 17 28.01	30.1807205	
	15 21 53 55.101	-13 17 24.23	29.4398542		30 21 53 54.241	-13 17 12.35	30.1976681	
	16 21 53 52.259	-13 17 38.97	29.4541951		Déc.	1 21 53 57.276	-13 16 56.00	30.2145572
	17 21 53 49.529	-13 17 53.12	29.4687000			2 21 54 0.440	-13 16 38.95	30.2313827
	18 21 53 46.912	-13 18 6.65	29.4833643		3 21 54 3.734	-13 16 21.22	30.2481391	
	19 21 53 44.409	-13 18 19.57	29.4981836		4 21 54 7.158	-13 16 2.79	30.2648209	
20 21 53 42.023	-13 18 31.85	29.5131535	5 21 54 10.712	-13 15 43.70	30.2814229			
21 21 53 39.754	-13 18 43.50	29.5282695	6 21 54 14.393	-13 15 23.94	30.2979395			
22 21 53 37.606	-13 18 54.49	29.5435273	7 21 54 18.199	-13 15 3.54	30.3143654			
23 21 53 35.580	-13 19 4.83	29.5589224	8 21 54 22.127	-13 14 42.52	30.3306955			
24 21 53 33.678	-13 19 14.50	29.5744504	9 21 54 26.175	-13 14 20.87	30.3469245			
25 21 53 31.901	-13 19 23.50	29.5901070	10 21 54 30.342	-13 13 58.60	30.3630475			
26 21 53 30.250	-13 19 31.84	29.6058876	11 21 54 34.626	-13 13 35.71	30.3790595			
27 21 53 28.726	-13 19 39.52	29.6217879	12 21 54 39.027	-13 13 12.21	30.3949557			
28 21 53 27.328	-13 19 46.53	29.6378033	13 21 54 43.543	-13 12 48.10	30.4107315			
29 21 53 26.055	-13 19 52.90	29.6539295	14 21 54 48.174	-13 12 23.37	30.4263821			
30 21 53 24.907	-13 19 58.61	29.6701617	15 21 54 52.921	-13 11 58.03	30.4419030			
31 21 53 23.884	-13 20 3.66	29.6864953	16 21 54 57.783	-13 11 32.07	30.4572899			
Nov.	1 21 53 22.985	-13 20 8.06	29.7029256	17 21 55 2.759	-13 11 5.51	30.4725384		
	2 21 53 22.212	-13 20 11.77	29.7194475	18 21 55 7.849	-13 10 38.34	30.4876442		
	3 21 53 21.566	-13 20 14.80	29.7360560	19 21 55 13.053	-13 10 10.58	30.5026031		
	4 21 53 21.051	-13 20 17.12	29.7527458	20 21 55 18.368	-13 9 42.23	30.5174112		
	5 21 53 20.668	-13 20 18.72	29.7695117	21 21 55 23.794	-13 9 13.32	30.5320644		
	6 21 53 20.421	-13 20 19.60	29.7863482	22 21 55 29.326	-13 8 43.85	30.5465588		
	7 21 53 20.309	-13 20 19.77	29.8032497	23 21 55 34.962	-13 8 13.85	30.5608904		
	8 21 53 20.333	-13 20 19.22	29.8202105	24 21 55 40.700	-13 7 43.32	30.5750554		
	9 21 53 20.492	-13 20 17.98	29.8372253	25 21 55 46.536	-13 7 12.28	30.5890498		
	10 21 53 20.783	-13 20 16.05	29.8542884	26 21 55 52.470	-13 6 40.71	30.6028697		
	11 21 53 21.207	-13 20 13.44	29.8713944	27 21 55 58.501	-13 6 8.61	30.6165109		
	12 21 53 21.761	-13 20 10.15	29.8885378	28 21 56 4.630	-13 5 35.98	30.6299694		
	13 21 53 22.445	-13 20 6.18	29.9057133	29 21 56 10.856	-13 5 2.82	30.6432410		
	14 21 53 23.260	-13 20 1.51	29.9229157	30 21 56 17.181	-13 4 29.12	30.6563216		
	15 21 53 24.205	-13 19 56.16	29.9401397	31 21 56 23.604	-13 3 54.90	30.6692070		
	16 21 53 25.282	-13 19 50.11	29.9573800	32 21 56 30.123	-13 3 20.18	30.6818931		
	17 21 53 26.490	-13 19 43.35	29.9746316	33 21 56 36.736	-13 2 44.96	30.6943757		

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 2010 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 13 9.201	-18 18 6.34	32.73590236	Juill.	3	18 15 49.022	-18 16 30.48	30.85341641	
	4	18 13 45.452	-18 18 12.09	32.72817704		7	18 15 23.660	-18 17 11.47	30.86599701	
	8	18 14 21.351	-18 18 14.84	32.71586601		11	18 14 58.724	-18 17 54.75	30.88315972	
	12	18 14 56.764	-18 18 14.70	32.69901094		15	18 14 34.373	-18 18 40.22	30.90484297	
	16	18 15 31.547	-18 18 11.77	32.67768551		19	18 14 10.763	-18 19 27.72	30.93093933	
		20	18 16 5.562	-18 18 6.22		32.65200035	23	18 13 48.036	-18 20 17.14	30.96131056
Févr.		24	18 16 38.674	-18 17 58.23	32.62209879	27	18 13 26.318	-18 21 8.35	30.99581194	
		28	18 17 10.760	-18 17 47.96	32.58814978	31	18 13 5.732	-18 22 1.24	31.03429685	
	1	18 17 41.706	-18 17 35.60	32.55033385	Août	4	18 12 46.401	-18 22 55.70	31.07661079	
	5	18 18 11.406	-18 17 21.32	32.50882456		8	18 12 28.444	-18 23 51.58	31.12258382	
		9	18 18 39.748	-18 17 5.31		32.46380242	12	18 12 11.983	-18 24 48.73	31.17201857
		13	18 19 6.619	-18 16 47.78		32.41547830	16	18 11 57.130	-18 25 46.97	31.22467626
	17	18 19 31.910	-18 16 28.97	32.36409441		20	18 11 43.976	-18 26 46.12	31.28029750	
	21	18 19 55.525	-18 16 9.13	32.30991840		24	18 11 32.598	-18 27 46.05	31.33862550	
Mars		25	18 20 17.381	-18 15 48.51	32.25323472	28	18 11 23.064	-18 28 46.59	31.39940804	
	1	18 20 37.408	-18 15 27.33	32.19432893	Sept.	1	18 11 15.440	-18 29 47.59	31.46239010	
	5	18 20 55.545	-18 15 5.79	32.13347253		5	18 11 9.786	-18 30 48.88	31.52730664	
	9	18 21 11.728	-18 14 44.12	32.07093792		9	18 11 6.163	-18 31 50.27	31.59387057	
	13	18 21 25.895	-18 14 22.57	32.00702146		13	18 11 4.615	-18 32 51.56	31.66176312	
	17	18 21 37.995	-18 14 1.39	31.94204150		17	18 11 5.165	-18 33 52.55	31.73065636	
	21	18 21 47.989	-18 13 40.81	31.87633139		21	18 11 7.824	-18 34 53.08	31.80023710	
Avril		25	18 21 55.855	-18 13 21.08	31.81022892	25	18 11 12.591	-18 35 52.97	31.87020430	
		29	18 22 1.589	-18 13 2.38	31.74405991	29	18 11 19.465	-18 36 52.06	31.94026189	
	2	18 22 5.193	-18 12 44.90	31.67812705	Oct.	3	18 11 28.440	-18 37 50.16	32.01011089	
	6	18 22 6.668	-18 12 28.82	31.61272713		7	18 11 39.506	-18 38 47.08	32.07943734	
		10	18 22 6.019	-18 12 14.34		31.54817145	11	18 11 52.639	-18 39 42.61	32.14790766
		14	18 22 3.264	-18 12 1.65		31.48478292	15	18 12 7.794	-18 40 36.58	32.21519207
	18	18 21 58.436	-18 11 50.93	31.42288757		19	18 12 24.912	-18 41 28.82	32.28098660	
	22	18 21 51.587	-18 11 42.32	31.36280319		23	18 12 43.933	-18 42 19.20	32.34500813	
Mai		26	18 21 42.783	-18 11 35.96	31.30482169	27	18 13 4.791	-18 43 7.56	32.40698687	
	30	18 21 32.096	-18 11 31.92	31.24920395	Nov.	31	18 13 27.421	-18 43 53.75	32.46665706	
	4	18 21 19.594	-18 11 30.31	31.19619904		4	18 13 51.752	-18 44 37.62	32.52374572	
	8	18 21 5.354	-18 11 31.23	31.14606173		8	18 14 17.701	-18 45 19.00	32.57797226	
	12	18 20 49.462	-18 11 34.79	31.09904789		12	18 14 45.167	-18 45 57.78	32.62907277	
	16	18 20 32.019	-18 11 41.06	31.05540623		16	18 15 14.041	-18 46 33.86	32.67681840	
	20	18 20 13.143	-18 11 50.09	31.01536605		20	18 15 44.210	-18 47 7.18	32.72100848	
Juin		24	18 19 52.962	-18 12 1.89	30.97911892	24	18 16 15.566	-18 47 37.65	32.76146294	
		28	18 19 31.605	-18 12 16.46	30.94682082	28	18 16 47.997	-18 48 5.20	32.79801170	
	1	18 19 9.196	-18 12 33.80	30.91861289	Déc.	2	18 17 21.394	-18 48 29.76	32.83048290	
	5	18 18 45.863	-18 12 53.93	30.89463534		6	18 17 55.633	-18 48 51.27	32.85870806	
		9	18 18 21.741	-18 13 16.85		30.87502195	10	18 18 30.578	-18 49 9.73	32.88254580
		13	18 17 56.976	-18 13 42.55		30.85989218	14	18 19 6.088	-18 49 25.15	32.90189543
	17	18 17 31.727	-18 14 10.97	30.84933808		18	18 19 42.025	-18 49 37.55	32.91668888	
	21	18 17 6.155	-18 14 42.05	30.84340741		22	18 20 18.255	-18 49 46.99	32.92688281	
	25	18 16 40.417	-18 15 15.71	30.84211179	26	18 20 54.650	-18 49 53.49	32.93244601		
	29	18 16 14.657	-18 15 51.87	30.84544975	30	18 21 31.081	-18 49 57.10	32.93334817		

CÉRÈS 2010 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 11 13.150	-17 0 52.32	3.445 087 43	Juill.	3	17 35 10.597	-26 6 51.32	1.862 886 05		
	4	16 17 46.087	-17 22 21.31	3.415 824 55		7	17 31 46.063	-26 16 20.28	1.883 051 51		
	8	16 24 15.867	-17 42 40.39	3.384 720 88		11	17 28 38.311	-26 25 4.83	1.907 250 66		
	12	16 30 41.976	-18 1 50.20	3.351 801 60		15	17 25 50.265	-26 33 9.19	1.935 297 85		
	16	16 37 3.830	-18 19 51.79	3.317 112 26		19	17 23 24.303	-26 40 38.54	1.966 958 79		
	20	16 43 20.832	-18 36 46.69	3.280 717 00		23	17 21 22.098	-26 47 38.54	2.001 976 07		
	24	16 49 32.402	-18 52 36.88	3.242 692 09		27	17 19 44.729	-26 54 14.79	2.040 097 50		
	28	16 55 37.996	-19 7 24.70	3.203 118 96		31	17 18 32.870	-27 0 32.45	2.081 080 93		
Févr.	1	17 1 37.106	-19 21 12.71	3.162 072 04	Août	4	17 17 46.899	-27 6 36.00	2.124 689 24		
	5	17 7 29.178	-19 34 3.59	3.119 607 94		8	17 17 26.959	-27 12 29.14	2.170 684 35		
		9	17 13 13.518	-19 46 0.28		3.075 786 32		12	17 17 32.987	-27 18 14.74	2.218 817 37
		13	17 18 49.353	-19 57 6.23		3.030 688 98		16	17 18 4.620	-27 23 54.88	2.268 820 59
		17	17 24 15.893	-20 7 25.32		2.984 417 23		20	17 19 1.124	-27 29 30.77	2.320 433 78
	21	17 29 32.363	-20 17 1.87	2.937 086 21		24	17 20 21.570	-27 35 2.74	2.373 423 99		
	25	17 34 38.028	-20 26 0.45	2.888 817 68		28	17 22 4.986	-27 40 30.29	2.427 582 81		
Mars	1	17 39 32.189	-20 34 25.78	2.839 727 23	Sept.	1	17 24 10.419	-27 45 52.23	2.482 716 77		
	5	17 44 14.094	-20 42 22.70	2.789 914 68		5	17 26 36.962	-27 51 6.78	2.538 638 78		
	9	17 48 42.834	-20 49 56.36	2.739 483 46		9	17 29 23.743	-27 56 11.71	2.595 155 96		
	13	17 52 57.404	-20 57 12.33	2.688 561 74		13	17 32 29.814	-28 1 4.51	2.652 062 53		
	17	17 56 56.781	-21 4 16.49	2.637 299 88		17	17 35 54.083	-28 5 42.42	2.709 163 34		
	21	18 0 39.963	-21 11 14.90	2.585 865 03		21	17 39 35.440	-28 10 2.46	2.766 291 76		
	25	18 4 6.005	-21 18 13.58	2.534 432 95		25	17 43 32.851	-28 14 1.39	2.823 302 62		
	29	18 7 14.015	-21 25 18.38	2.483 174 60		29	17 47 45.385	-28 17 35.87	2.880 062 80		
Avril	2	18 10 3.050	-21 32 34.98	2.432 248 66	Oct.	3	17 52 12.208	-28 20 42.44	2.936 442 31		
	6	18 12 32.020	-21 40 9.10	2.381 820 93		7	17 56 52.557	-28 23 17.70	2.992 302 00		
		10	18 14 39.767	-21 48 6.44		2.332 085 03		11	18 1 45.636	-28 25 18.41	3.047 489 10
		14	18 16 25.172	-21 56 32.34		2.283 260 20		15	18 6 50.554	-28 26 41.58	3.101 858 83
		18	18 17 47.228	-22 5 31.51		2.235 584 67		19	18 12 6.418	-28 27 24.30	3.155 291 96
	22	18 18 45.103	-22 15 7.74	2.189 305 69		23	18 17 32.415	-28 27 23.74	3.207 687 36		
	26	18 19 18.150	-22 25 23.69	2.144 663 12		27	18 23 7.816	-28 26 37.12	3.258 953 67		
Mai	30	18 19 25.803	-22 36 20.96	2.101 884 88	Nov.	31	18 28 51.987	-28 25 1.78	3.308 999 84		
	4	18 19 7.521	-22 48 0.18	2.061 206 08		4	18 34 44.343	-28 22 35.24	3.357 723 40		
	8	18 18 22.922	-23 0 20.75	2.022 885 65		8	18 40 44.268	-28 19 15.43	3.405 008 08		
	12	18 17 11.949	-23 13 20.46	1.987 200 28		12	18 46 51.065	-28 15 0.73	3.450 744 22		
	16	18 15 34.988	-23 26 55.29	1.954 433 86		16	18 53 4.027	-28 9 49.74	3.494 845 52		
	20	18 13 32.970	-23 40 59.33	1.924 861 76		20	18 59 22.510	-28 3 41.22	3.537 242 44		
	24	18 11 7.341	-23 55 25.01	1.898 728 41		24	19 5 45.942	-27 56 33.99	3.577 875 19		
	28	18 8 19.923	-24 10 3.68	1.876 245 77		28	19 12 13.831	-27 48 27.00	3.616 683 95		
Juin	1	18 5 12.854	-24 24 46.00	1.857 610 44	Déc.	2	19 18 45.733	-27 39 19.44	3.653 595 95		
	5	18 1 48.715	-24 39 22.21	1.843 012 72		6	19 25 21.169	-27 29 11.02	3.688 525 72		
		9	17 58 10.614	-24 53 42.37		1.832 625 42		10	19 31 59.591	-27 18 1.94	3.721 394 51
		13	17 54 22.188	-25 7 36.94		1.826 590 48		14	19 38 40.443	-27 5 52.71	3.752 145 06
		17	17 50 27.536	-25 20 57.31		1.825 000 87		18	19 45 23.217	-26 52 43.91	3.780 737 19
	21	17 46 30.974	-25 33 36.54	1.827 882 02		22	19 52 7.468	-26 38 36.20	3.807 141 27		
	25	17 42 36.695	-25 45 29.93	1.835 202 45		26	19 58 52.833	-26 23 30.24	3.831 328 52		
	29	17 38 48.653	-25 56 35.00	1.846 898 84		30	20 5 38.996	-26 7 26.92	3.853 256 78		

PALLAS 2010 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 14 37 21.948	- 1 2 37.18	2.787 155 57	Juill.	3 15 1 40.125	23 49 55.21	2.456 836 76
	4 14 43 26.630	- 0 46 24.70	2.748 685 13		7 15 1 47.896	23 16 32.72	2.504 679 72
	8 14 49 22.559	- 0 27 29.17	2.709 434 00		11 15 2 15.869	22 41 15.38	2.553 498 19
	12 14 55 8.934	- 0 5 44.55	2.669 509 95		15 15 3 3.578	22 4 21.53	2.603 136 01
	16 15 0 44.888	- 0 18 54.43	2.629 046 00		19 15 4 10.365	21 26 9.21	2.653 432 76
	20 15 6 9.544	0 46 32.00	2.588 192 66	23 15 5 35.389	20 46 54.77	2.704 243 07	
	24 15 11 22.045	1 17 11.41	2.547 109 56	27 15 7 17.769	20 6 52.12	2.755 443 14	
Févr.	28 15 16 21.558	1 50 55.09	2.505 957 85	31 15 9 16.678	19 26 13.21	2.806 921 77	
	1 15 21 7.257	2 27 45.07	2.464 890 34	Août 4 15 11 31.360	18 45 8.75	2.858 571 76	
	5 15 25 38.206	3 7 43.37	2.424 051 28	8 15 14 1.121	18 3 48.78	2.910 283 64	
		9 15 29 53.305	3 50 51.07	2.383 601 73	12 15 16 45.298	17 22 23.16	2.961 938 99
	13 15 33 51.400	4 37 7.17	2.343 728 09	16 15 19 43.161	16 41 1.84	3.013 412 75	
	17 15 37 31.362	5 26 28.37	2.304 632 90	20 15 22 53.901	15 59 53.59	3.064 595 47	
	21 15 40 52.121	6 18 48.97	2.266 526 26	24 15 26 16.745	15 19 5.57	3.115 397 10	
	25 15 43 52.693	7 14 1.06	2.229 617 15	28 15 29 51.016	14 38 43.85	3.165 737 54	
Mars	1 15 46 32.158	8 11 54.93	2.194 103 07	Sept.	1 15 33 36.122	13 58 53.91	3.215 538 48
	5 15 48 49.549	9 12 19.36	2.160 170 35		5 15 37 31.547	13 19 41.04	3.264 717 10
	9 15 50 43.804	10 15 0.14	2.128 016 42		9 15 41 36.811	12 41 10.82	3.313 179 27
	13 15 52 13.924	11 19 38.78	2.097 856 66		13 15 45 51.381	12 3 29.10	3.360 822 56
	17 15 53 19.093	12 25 52.42	2.069 912 16		17 15 50 14.657	11 26 41.06	3.407 558 36
	21 15 53 58.743	13 33 14.15	2.044 399 46	21 15 54 46.075	10 50 50.79	3.453 316 80	
	25 15 54 12.604	14 41 13.72	2.021 518 98	25 15 59 25.146	10 16 1.72	3.498 036 52	
Avril	29 15 54 0.692	15 49 18.67	2.001 444 41	29 16 4 11.451	9 42 17.03	3.541 656 84	
	2 15 53 23.196	16 56 54.99	1.984 324 83	Oct. 3 16 9 4.627	9 9 39.96	3.584 111 51	
	6 15 52 20.472	18 3 26.06	1.970 303 11	7 16 14 4.329	8 38 14.10	3.625 321 68	
		10 15 50 53.244	19 8 12.13	1.959 518 77	11 16 19 10.154	8 8 3.36	3.665 199 68
	14 15 49 2.738	20 10 31.78	1.952 094 61	15 16 24 21.630	7 39 11.13	3.703 670 15	
	18 15 46 50.717	21 9 43.67	1.948 126 40	19 16 29 38.302	7 11 39.97	3.740 676 84	
	22 15 44 19.492	22 5 8.67	1.947 672 21	23 16 34 59.775	6 45 31.97	3.776 172 08	
	26 15 41 31.779	22 56 12.16	1.950 746 76	27 16 40 25.703	6 20 49.03	3.810 109 68	
Mai	30 15 38 30.513	23 42 24.75	1.957 331 08	Nov.	31 16 45 55.787	5 57 33.20	3.842 437 40
	4 15 35 18.782	24 23 21.26	1.967 391 42		4 16 51 29.728	5 35 46.83	3.873 090 21
	8 15 31 59.929	24 58 40.60	1.980 881 53		8 16 57 7.167	5 15 32.50	3.901 994 83
	12 15 28 37.540	25 28 7.15	1.997 733 61		12 17 2 47.675	4 56 52.28	3.929 089 72
	16 15 25 15.339	25 51 31.82	2.017 853 11		16 17 8 30.826	4 39 47.51	3.954 333 04
	20 15 21 57.052	26 8 52.90	2.041 113 69	20 17 14 16.243	4 24 19.13	3.977 692 81	
	24 15 18 46.142	26 20 16.45	2.067 358 84	24 17 20 3.591	4 10 27.89	3.999 140 20	
Juin	28 15 15 45.617	26 25 54.36	2.096 419 84	28 17 25 52.575	3 58 14.68	4.018 641 10	
	1 15 12 58.034	26 26 1.76	2.128 132 45	Dec. 2 17 31 42.898	3 47 40.67	4.036 148 16	
	5 15 10 25.627	26 20 55.90	2.162 336 38	6 17 37 34.197	3 38 47.08	4.051 607 29	
		9 15 8 10.326	26 10 56.25	2.198 867 91	10 17 43 26.045	3 31 34.62	4.064 976 41
	13 15 6 13.748	25 56 24.38	2.237 555 14	14 17 49 18.013	3 26 3.31	4.076 233 38	
	17 15 4 37.155	25 37 44.03	2.278 212 95	18 17 55 9.715	3 22 12.79	4.085 367 56	
	21 15 3 21.340	25 15 20.72	2.320 646 49	22 18 1 0.803	3 20 2.53	4.092 373 79	
	25 15 2 26.607	24 49 39.66	2.364 670 18	26 18 6 50.974	3 19 32.13	4.097 242 42	
	29 15 1 52.931	24 21 4.11	2.410 117 72	30 18 12 39.922	3 20 41.45	4.099 950 54	

JUNON 2010 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	0	29	51.854	-	7 24	44.49	1.863 683 16	Juill.	3	6	54	39.032	14	47	56.24	3.121 357 61	
	4	0	35	43.408	-	6 49	8.93	1.903 003 93		7	7	3	38.130	14	39	32.37	3.131 021 31	
	8	0	41	48.089	-	6 11	51.88	1.942 156 25		11	7	12	33.433	14	29	17.01	3.139 591 65	
	12	0	48	5.198	-	5 33	2.99	1.981 084 25		15	7	21	24.586	14	17	13.76	3.147 022 91	
	16	0	54	34.055	-	4 52	52.49	2.019 723 26		19	7	30	11.226	14	3	26.79	3.153 289 93	
	20	1	1	13.958	-	4 11	30.98	2.058 011 62	23	7	38	53.086	13	48	0.39	3.158 381 60		
	24	1	8	4.198	-	3 29	9.07	2.095 898 20	27	7	47	29.994	13	30	58.67	3.162 280 45		
Févr.	28	1	15	4.084	-	2 45	57.06	2.133 347 80	31	7	56	1.810	13	12	25.69	3.164 955 43		
	1	1	22	12.998	-	2 2	4.37	2.170 346 16	Août	4	8	4	28.392	12	52	25.67	3.166 364 50	
	5	1	29	30.499	-	1 17	39.25	2.206 889 59		8	8	12	49.566	12	31	3.07	3.166 458 98	
		9	1	36	56.282	-	0 32	49.79		2.242 959 64	12	8	21	5.104	12	8	22.86	3.165 192 22
		13	1	44	30.037	0	12	15.38		2.278 524 89	16	8	29	14.753	11	44	30.50	3.162 538 80
	17	1	52	11.415	0	57	27.23	2.313 553 02		20	8	37	18.345	11	19	31.31	3.158 490 79	
	21	2	0	0.033	1	42	36.69	2.348 017 72	24	8	45	15.796	10	53	30.28	3.153 036 26		
	25	2	7	55.488	2	27	34.95	2.381 904 81	28	8	53	7.054	10	26	32.20	3.146 151 12		
Mars	1	2	15	57.410	3	12	13.86	2.415 218 08	Sept.	1	9	0	52.056	9	58	41.96	3.137 801 69	
	5	2	24	5.550	3	56	26.25	2.447 971 38		5	9	8	30.702	9	30	4.66	3.127 947 85	
	9	2	32	19.772	4	40	5.14	2.480 163 84		9	9	16	2.826	9	0	45.87	3.116 551 80	
	13	2	40	39.917	5	23	3.10	2.511 778 24		13	9	23	28.212	8	30	51.61	3.103 597 21	
	17	2	49	5.765	6	5	12.50	2.542 793 15		17	9	30	46.708	8	0	27.69	3.089 089 51	
	21	2	57	37.039	6	46	25.74	2.573 189 38	21	9	37	58.231	7	29	39.44	3.073 032 26		
	25	3	6	13.410	7	26	35.55	2.602 957 58	25	9	45	2.719	6	58	32.00	3.055 419 59		
Avril	29	3	14	54.551	8	5	35.32	2.632 104 63	29	9	52	0.088	6	27	10.57	3.036 237 03		
	2	3	23	40.223	8	43	19.29	2.660 647 04	Oct.	3	9	58	50.205	5	55	40.60	3.015 464 74	
	6	3	32	30.278	9	19	41.93	2.688 588 27		7	10	5	32.846	5	24	8.09	2.993 086 84	
		10	3	41	24.542	9	54	37.57		2.715 913 54	11	10	12	7.721	4	52	39.51	2.969 109 78
		14	3	50	22.769	10	28	0.47		2.742 600 59	15	10	18	34.566	4	21	21.11	2.943 565 01
	18	3	59	24.642	10	59	45.16	2.768 626 41		19	10	24	53.179	3	50	18.68	2.916 486 27	
	22	4	8	29.774	11	29	46.59	2.793 975 98	23	10	31	3.361	3	19	37.84	2.887 900 27		
	26	4	17	37.766	11	58	0.50	2.818 650 21	27	10	37	4.883	2	49	24.30	2.857 827 23		
Mai	30	4	26	48.292	12	24	23.33	2.842 659 60	31	10	42	57.439	2	19	44.14	2.826 283 37		
	4	4	36	1.105	12	48	51.85	2.866 003 52	Nov.	4	10	48	40.613	1	50	44.14	2.793 291 82	
	8	4	45	15.944	13	11	22.87	2.888 662 77		8	10	54	13.891	1	22	31.62	2.758 900 75	
	12	4	54	32.487	13	31	53.38	2.910 608 35		12	10	59	36.765	0	55	13.78	2.723 186 24	
	16	5	3	50.339	13	50	20.76	2.931 808 03		16	11	4	48.771	0	28	57.37	2.686 231 36	
	20	5	13	9.035	14	6	42.98	2.952 235 64		20	11	9	49.437	0	3	49.07	2.648 116 11	
	24	5	22	28.101	14	20	58.81	2.971 882 31	24	11	14	38.247	-	0 20	4.26	2.608 916 73		
Juin	28	5	31	47.137	14	33	7.61	2.990 748 92	28	11	19	14.590	-	0 42	35.24	2.568 707 93		
	1	5	41	5.831	14	43	9.03	3.008 827 23	Déc.	2	11	23	37.714	-	1 3	35.57	2.527 575 97	
	5	5	50	23.872	14	51	2.83	3.026 091 50		6	11	27	46.755	-	1 22	56.36	2.485 637 37	
		9	5	59	40.918	14	56	49.06		3.042 504 80	10	11	31	40.846	-	1 40	28.80	2.443 039 68
		13	6	8	56.569	15	0	28.22		3.058 024 97	14	11	35	19.170	-	1 56	4.52	2.399 943 31
	17	6	18	10.365	15	2	1.44	3.072 614 54		18	11	38	40.916	-	2 9	35.23	2.356 509 74	
	21	6	27	21.842	15	1	30.57	3.086 254 57	22	11	41	45.246	-	2 20	52.54	2.312 901 88		
	25	6	36	30.628	14	58	57.86	3.098 937 74	26	11	44	31.244	-	2 29	47.51	2.269 284 03		
	29	6	45	36.442	14	54	25.62	3.110 649 05	30	11	46	57.870	-	2 36	10.41	2.225 838 32		

VESTA 2010 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	10	40	58.652	14	6	45.92	1.765 960 97	Juill.	3	11	8	24.005	12	22	3.06	2.542 920 63		
	4	10	41	39.038	14	21	17.65	1.719 787 39		7	11	14	27.399	11	38	34.80	2.580 243 67		
	8	10	41	52.132	14	38	55.16	1.675 800 69		11	11	20	37.069	10	54	14.94	2.616 653 00		
	12	10	41	36.961	14	59	37.18	1.634 283 34		15	11	26	52.656	10	9	7.02	2.652 090 84		
	16	10	40	52.971	15	23	17.18	1.595 532 72		19	11	33	13.743	9	23	15.21	2.686 508 38		
	20	10	39	40.130	15	49	43.02	1.559 841 04		23	11	39	39.934	8	36	43.51	2.719 881 02		
	24	10	37	58.975	16	18	37.08	1.527 482 48		27	11	46	10.949	7	49	35.25	2.752 198 18		
	28	10	35	50.631	16	49	36.69	1.498 703 42		31	11	52	46.608	7	1	53.43	2.783 447 74		
Févr.	1	10	33	16.761	17	22	15.07	1.473 718 65	Août	4	11	59	26.801	6	13	41.02	2.813 609 31		
	5	10	30	19.513	17	56	1.85	1.452 727 43		8	12	6	11.451	5	25	1.25	2.842 651 71		
		9	10	27	1.766	18	30	21.72		1.435 921 03		12	12	13	0.463	4	35	57.87	2.870 532 63
		13	10	23	27.290	19	4	35.12		1.423 454 91		16	12	19	53.667	3	46	35.35	2.897 214 28
		17	10	19	40.637	19	38	0.67		1.415 426 87		20	12	26	50.892	2	56	58.00	2.922 683 02
	21	10	15	46.928	20	9	57.93	1.411 867 29		24	12	33	52.046	2	7	9.60	2.946 938 20		
	25	10	11	51.565	20	39	50.09	1.412 736 46		28	12	40	57.121	1	17	13.62	2.969 977 24		
Mars	1	10	7	59.881	21	7	6.27	1.417 933 94	Sept.	1	12	48	6.158	0	27	13.50	2.991 789 79		
	5	10	4	16.893	21	31	21.98	1.427 325 35		5	12	55	19.220	-0	22	47.08	3.012 353 91		
	9	10	0	47.374	21	52	17.72	1.440 756 32		9	13	2	36.345	-1	12	43.98	3.031 635 21		
	13	9	57	35.818	22	9	39.16	1.458 034 35		13	13	9	57.483	-2	2	32.44	3.049 601 15		
	17	9	54	46.195	22	23	17.98	1.478 923 61		17	13	17	22.557	-2	52	7.73	3.066 242 32		
	21	9	52	21.761	22	33	11.85	1.503 151 32		21	13	24	51.551	-3	41	25.65	3.081 562 94		
	25	9	50	24.925	22	39	24.02	1.530 418 16		25	13	32	24.515	-4	30	22.24	3.095 566 47		
	29	9	48	57.170	22	42	2.31	1.560 418 33		29	13	40	1.535	-5	18	53.56	3.108 248 91		
Avril	2	9	47	59.171	22	41	17.06	1.592 866 60	Oct.	3	13	47	42.712	-6	6	55.55	3.119 594 78		
	6	9	47	31.128	22	37	18.67	1.627 503 93		7	13	55	28.113	-6	54	23.73	3.129 575 49		
		10	9	47	32.918	22	30	17.32		1.664 077 20		11	14	3	17.707	-7	41	13.12	3.138 162 50
		14	9	48	4.070	22	20	23.32		1.702 331 33		15	14	11	11.412	-8	27	18.80	3.145 348 62
		18	9	49	3.772	22	7	47.15		1.742 011 81		19	14	19	9.186	-9	12	36.27	3.151 142 28
	22	9	50	30.873	21	52	39.58	1.782 868 65		23	14	27	11.038	-9	57	1.33	3.155 552 48		
	26	9	52	23.906	21	35	11.40	1.824 672 11		27	14	35	17.008	-10	40	29.86	3.158 582 37		
Mai	30	9	54	41.245	21	15	32.40	1.867 229 18	Nov.	31	14	43	27.144	-11	22	57.65	3.160 223 27		
	4	9	57	21.336	20	53	50.46	1.910 379 20		4	14	51	41.444	-12	4	20.25	3.160 453 15		
	8	10	0	22.753	20	30	11.97	1.953 971 16		8	14	59	59.802	-12	44	32.92	3.159 249 21		
	12	10	3	44.138	20	4	42.68	1.997 854 65		12	15	8	22.037	-13	23	31.05	3.156 608 12		
	16	10	7	24.155	19	37	28.08	2.041 879 08		16	15	16	47.988	-14	1	10.48	3.152 543 71		
	20	10	11	21.440	19	8	33.86	2.085 895 65		20	15	25	17.532	-14	37	27.36	3.147 072 63		
	24	10	15	34.578	18	38	5.90	2.129 773 28		24	15	33	50.574	-15	12	18.09	3.140 207 41		
	28	10	20	2.200	18	6	9.43	2.173 411 94		28	15	42	27.026	-15	45	39.10	3.131 949 01		
Juin	1	10	24	43.122	17	32	48.50	2.216 735 25	Déc.	2	15	51	6.740	-16	17	26.78	3.122 283 93		
	5	10	29	36.344	16	58	6.33	2.259 670 14		6	15	59	49.453	-16	47	37.50	3.111 197 86		
		9	10	34	40.988	16	22	5.94		2.302 139 24		10	16	8	34.817	-17	16	7.98	3.098 694 28
		13	10	39	56.242	15	44	50.53		2.344 058 97		14	16	17	22.486	-17	42	55.45	3.084 794 63
		17	10	45	21.301	15	6	23.83		2.385 341 38		18	16	26	12.151	-18	7	57.57	3.069 525 06
	21	10	50	55.322	14	26	50.14	2.425 910 82		22	16	35	3.533	-18	31	12.34	3.052 910 33		
	25	10	56	37.517	13	46	13.40	2.465 718 50		26	16	43	56.371	-18	52	37.98	3.034 963 38		
	29	11	2	27.243	13	4	36.81	2.504 732 46		30	16	52	50.351	-19	12	12.88	3.015 681 60		

SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Déc.	31 23	17.133	-1.282	Janv.	16 6	18.484	0.856	Janv.	31 13	17.517	3.030
Janv.	1 7	15.977	-2.844		16 14	18.640	-0.794		31 21	18.962	1.667
	1 14	17.064	0.203		16 22	17.212	-2.374	Févr.	1 5	18.799	0.174
	1 22	17.181	-1.461		17 5	18.653	0.704		1 12	17.763	2.918
	2 5	15.869	1.680		17 13	18.605	-0.939		1 20	19.002	1.548
	2 13	17.264	0.023		17 20	17.454	2.147		2 4	18.628	0.058
	2 21	17.204	-1.637		18 4	18.793	0.554		2 11	17.977	2.806
	3 4	16.211	1.511		18 12	18.538	-1.080		2 19	19.008	1.431
	3 12	17.443	-0.155		18 19	17.760	2.003		3 3	18.427	-0.056
	3 20	17.203	-1.810		19 3	18.902	0.407		3 10	18.160	2.693
	4 3	16.535	1.340		19 11	18.440	-1.217		3 18	18.982	1.314
	4 11	17.599	-0.333		19 18	18.039	1.860		4 2	18.194	-0.168
	4 19	17.177	-1.981		20 2	18.979	0.263		4 9	18.309	2.582
	5 2	16.841	1.169		20 10	18.309	-1.350		4 17	18.923	1.198
	5 10	17.732	-0.510		20 17	18.288	1.718		5 1	17.932	-0.279
	5 18	17.125	-2.147		21 1	19.025	0.122		5 8	18.426	2.470
	6 1	17.126	0.997		21 9	18.146	-1.479		5 16	18.833	1.082
	6 9	17.841	-0.684		21 16	18.509	1.578		6 0	17.642	-0.388
	6 17	17.047	-2.309		22 0	19.038	-0.016		6 7	18.512	2.358
	7 0	17.391	0.826		22 8	17.951	-1.604		6 15	18.711	0.967
	7 8	17.925	-0.857		22 15	18.698	1.440		6 23	17.324	-0.497
	7 16	16.941	-2.467		22 23	19.019	-0.151		7 6	18.565	2.247
	7 23	17.633	0.655		23 7	17.724	-1.724		7 14	18.558	0.853
	8 7	17.982	-1.026		23 14	18.856	1.303		7 21	17.222	3.360
	8 15	16.808	-2.620		23 22	18.967	-0.283		8 5	18.586	2.134
	8 22	17.853	0.485		24 5	17.472	2.659		8 13	18.376	0.739
	9 6	18.013	-1.192		24 13	18.981	1.169		8 20	17.414	3.258
	9 14	16.647	-2.769		24 21	18.881	-0.411		9 4	18.576	2.022
	9 21	18.047	0.316		25 4	17.768	2.531		9 12	18.166	0.625
	10 5	18.016	-1.354		25 12	19.075	1.037		9 19	17.574	3.155
	10 12	16.900	1.802		25 20	18.762	-0.537		10 3	18.535	1.909
	10 20	18.216	0.150		26 3	18.034	2.404		10 11	17.927	0.511
	11 4	17.991	-1.513		26 11	19.135	0.907		10 18	17.704	3.051
	11 11	17.226	1.642		26 19	18.611	-0.658		11 2	18.464	1.795
	11 19	18.358	-0.015		27 2	18.270	2.278		11 10	17.663	0.397
	12 3	17.936	-1.668		27 10	19.162	0.780		11 17	17.804	2.945
	12 10	17.529	1.482		27 18	18.427	-0.777		12 1	18.364	1.681
	12 18	18.473	-0.177		28 1	18.473	2.154		12 9	17.372	0.283
	13 2	17.852	-1.819		28 9	19.156	0.654		12 16	17.873	2.838
	13 9	17.807	1.324		28 17	18.211	-0.893		13 0	18.236	1.566
	13 17	18.560	-0.336		29 0	18.645	2.030		13 8	17.058	0.169
	14 1	17.738	-1.965		29 8	19.116	0.531		13 15	17.912	2.730
	14 8	18.060	1.166		29 16	17.963	-1.006		13 23	18.080	1.449
	14 16	18.617	-0.492		29 23	18.784	1.908		14 7	16.721	0.054
	15 0	17.593	-2.107		30 7	19.043	0.410		14 14	17.922	2.620
	15 7	18.286	1.010		30 15	17.685	-1.116		14 22	17.898	1.332
	15 15	18.644	-0.645		30 22	18.890	1.787		15 5	16.609	3.603
	15 23	17.418	-2.243		31 6	18.937	0.291		15 13	17.904	2.509

PHOBOS 2010

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	17.690	1.214	Mars	3	4	15.943	2.745	Mars	18	12	12.953	0.560
	16	4	16.754	3.506		3	12	15.725	1.620		18	19	13.836	2.538
	16	12	17.859	2.396		3	19	14.907	3.547		19	3	13.829	1.540
	16	20	17.459	1.094		4	3	15.862	2.622		19	10	12.767	3.225
	17	3	16.870	3.406		4	11	15.495	1.484		19	18	13.777	2.410
	17	11	17.786	2.281		4	18	14.962	3.441		20	2	13.652	1.399
	17	19	17.204	0.974		5	2	15.763	2.495		20	9	12.818	3.118
	18	2	16.959	3.303		5	10	15.252	1.348		20	17	13.706	2.280
	18	10	17.688	2.165		5	17	14.998	3.333		21	1	13.465	1.257
	18	18	16.928	0.853		6	1	15.648	2.367		21	8	12.856	3.007
	19	1	17.021	3.198		6	9	14.995	1.209		21	16	13.624	2.148
	19	9	17.565	2.046		6	16	15.015	3.221		22	0	13.269	1.115
	19	17	16.632	0.730		7	0	15.516	2.236		22	7	12.881	2.893
	20	0	17.056	3.091		7	8	14.727	1.070		22	15	13.531	2.015
	20	8	17.419	1.926		7	15	15.014	3.106		22	23	13.066	0.973
	20	16	16.316	0.607		7	23	15.369	2.103		23	6	12.894	2.777
	20	23	17.066	2.981		8	7	14.446	0.930		23	14	13.427	1.880
	21	7	17.249	1.804		8	14	14.995	2.988		23	22	12.854	0.831
21	15	15.983	0.482	8	22	15.208	1.969	24	5	12.894	2.658			
21	22	17.051	2.869	9	6	14.156	0.790	24	13	13.313	1.744			
22	6	17.058	1.680	9	13	14.960	2.868	24	21	12.635	0.688			
22	13	15.750	3.733	9	21	15.032	1.832	25	4	12.883	2.536			
22	21	17.012	2.754	10	5	13.856	0.649	25	12	13.189	1.606			
23	5	16.846	1.555	10	12	14.908	2.744	25	20	12.409	0.546			
23	12	15.863	3.635	10	20	14.844	1.694	26	3	12.860	2.413			
23	20	16.949	2.637	11	3	13.810	3.468	26	11	13.056	1.468			
24	4	16.615	1.427	11	11	14.842	2.618	26	19	12.176	0.404			
24	11	15.951	3.534	11	19	14.643	1.555	27	2	12.827	2.287			
24	19	16.864	2.518	12	2	13.866	3.363	27	10	12.914	1.329			
25	3	16.365	1.298	12	10	14.760	2.490	27	18	11.938	0.264			
25	10	16.015	3.430	12	18	14.431	1.415	28	1	12.782	2.160			
25	18	16.758	2.396	13	1	13.906	3.254	28	9	12.763	1.189			
26	2	16.098	1.168	13	9	14.664	2.359	28	16	11.808	2.846			
26	9	16.056	3.324	13	17	14.208	1.274	29	0	12.728	2.031			
26	17	16.632	2.272	14	0	13.931	3.141	29	8	12.605	1.050			
27	1	15.815	1.036	14	8	14.555	2.227	29	15	11.851	2.736			
27	8	16.075	3.214	14	16	13.975	1.131	29	23	12.664	1.900			
27	16	16.486	2.145	14	23	13.940	3.026	30	7	12.439	0.910			
28	0	15.517	0.904	15	7	14.433	2.092	30	14	11.883	2.623			
28	7	16.072	3.101	15	15	13.732	0.989	30	22	12.591	1.768			
28	15	16.321	2.016	15	22	13.935	2.908	31	6	12.265	0.770			
28	23	15.205	0.770	16	6	14.299	1.956	31	13	11.905	2.507			
Mars	1	6	16.049	2.985	16	14	13.481	0.846	31	21	12.508	1.635		
	1	14	16.139	1.886	16	21	13.915	2.787	Avril	1	5	12.085	0.630	
	1	22	14.880	0.635	17	5	14.153	1.819		1	12	11.916	2.389	
	2	5	16.006	2.867	17	13	13.221	0.703	1	20	12.416	1.501		
2	13	15.940	1.754	17	20	13.882	2.664	2	4	11.899	0.491			
2	20	14.832	3.649	18	4	13.996	1.680	2	11	11.917	2.269			

PHOBOS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Avril	2 19	12.316	1.366	Avril	18 2	10.146	1.889	Mai	3 10	9.774	-0.055
	3 3	11.706	0.352		18 10	10.846	1.020		3 18	9.256	-0.981
	3 10	11.909	2.147		18 18	10.663	0.068		4 1	9.493	0.756
	3 18	12.208	1.230		19 1	10.175	1.774		4 9	9.698	-0.178
	4 2	11.507	0.214		19 9	10.791	0.892		4 17	9.114	-1.097
	4 9	11.891	2.024		19 17	10.528	-0.062		5 0	9.483	0.636
	4 17	12.092	1.094		20 0	10.197	1.658		5 8	9.617	-0.300
	5 1	11.302	0.077		20 8	10.730	0.764		5 16	8.968	-1.211
	5 8	11.863	1.899		20 16	10.388	-0.191		5 23	9.466	0.516
	5 16	11.969	0.958		20 23	10.211	1.540		6 7	9.530	-0.422
	6 0	11.092	-0.059		21 7	10.661	0.636		6 15	8.818	-1.324
	6 7	11.827	1.772		21 15	10.244	-0.319		6 22	9.444	0.396
	6 15	11.838	0.821		21 22	10.217	1.421		7 6	9.438	-0.542
	6 22	10.903	2.468		22 6	10.587	0.508		7 13	8.726	1.189
	7 6	11.782	1.644		22 14	10.094	-0.445		7 21	9.416	0.275
7 14	11.700	0.685	22 21	10.217	1.301	8 5	9.342	-0.661			
7 21	10.945	2.357	23 5	10.506	0.380	8 12	8.762	1.076			
8 5	11.729	1.515	23 13	9.939	-0.571	8 20	9.382	0.155			
8 13	11.556	0.549	23 20	10.209	1.179	9 4	9.240	-0.779			
8 20	10.978	2.243	24 4	10.419	0.252	9 11	8.792	0.962			
9 4	11.668	1.385	24 12	9.780	-0.695	9 19	9.342	0.034			
9 12	11.405	0.413	24 19	10.194	1.058	10 3	9.135	-0.896			
9 19	11.002	2.127	25 3	10.327	0.125	10 10	8.815	0.847			
10 3	11.599	1.254	25 11	9.616	-0.817	10 18	9.297	-0.086			
10 11	11.248	0.278	25 18	10.173	0.935	11 2	9.024	-1.012			
10 18	11.017	2.010	26 2	10.228	-0.002	11 9	8.833	0.732			
11 2	11.522	1.122	26 10	9.449	-0.937	11 17	9.246	-0.205			
11 10	11.086	0.144	26 17	10.145	0.811	12 1	8.909	-1.126			
11 17	11.024	1.890	27 1	10.124	-0.128	12 8	8.844	0.615			
12 1	11.438	0.990	27 8	9.384	1.572	12 16	9.190	-0.324			
12 9	10.918	0.010	27 16	10.110	0.688	13 0	8.790	-1.238			
12 16	11.022	1.770	28 0	10.015	-0.253	13 7	8.850	0.499			
13 0	11.347	0.858	28 7	9.420	1.459	13 15	9.129	-0.443			
13 8	10.745	-0.122	28 15	10.069	0.564	13 23	8.667	-1.349			
13 15	11.012	1.647	28 23	9.900	-0.378	14 6	8.850	0.382			
13 23	11.249	0.726	29 6	9.449	1.344	14 14	9.063	-0.561			
14 7	10.566	-0.254	29 14	10.022	0.439	14 22	8.540	-1.457			
14 14	10.994	1.524	29 22	9.781	-0.501	15 5	8.844	0.265			
14 22	11.144	0.594	30 5	9.471	1.228	15 13	8.992	-0.678			
15 6	10.383	-0.384	30 13	9.969	0.315	15 21	8.409	-1.564			
15 13	10.968	1.399	Mai	30 21	9.657	-0.623	16 4	8.833	0.147		
15 21	11.033	0.461		1 4	9.486	1.112	16 12	8.916	-0.794		
16 5	10.195	-0.512		1 12	9.910	0.191	16 20	8.275	-1.669		
16 12	10.934	1.274		1 20	9.528	-0.744	17 3	8.816	0.030		
16 20	10.915	0.330		2 3	9.495	0.994	17 11	8.835	-0.908		
17 3	10.109	2.002		2 11	9.845	0.068	17 19	8.137	-1.772		
17 11	10.894	1.147	2 19	9.394	-0.863	18 2	8.794	-0.087			
17 19	10.792	0.198	3 2	9.497	0.875	18 10	8.750	-1.022			

PHOBOS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	18	17	8.162	0.742	Juin	3	1	8.035	-1.070	Juin	18	9	6.794	-2.619
	19	1	8.766	-0.204		3	9	7.692	-1.951		18	16	7.236	-0.985
	19	9	8.661	-1.134		3	16	7.735	-0.215		19	0	7.257	-1.920
	19	16	8.194	0.629		4	0	7.986	-1.179		19	8	6.689	-2.698
	20	0	8.734	-0.321		4	8	7.591	-2.047		19	15	7.222	-1.091
	20	8	8.567	-1.245		4	15	7.738	-0.327		19	23	7.193	-2.016
	20	15	8.219	0.516		4	23	7.933	-1.287		20	6	6.701	-0.188
	20	23	8.696	-0.437		5	7	7.486	-2.141		20	14	7.204	-1.197
	21	7	8.469	-1.354		5	14	7.737	-0.439		20	22	7.126	-2.110
	21	14	8.239	0.402		5	22	7.876	-1.393		21	5	6.729	-0.297
	21	22	8.654	-0.552		6	6	7.377	-2.233		21	13	7.182	-1.302
	22	6	8.367	-1.462		6	13	7.730	-0.551		21	21	7.055	-2.202
	22	13	8.254	0.288		6	21	7.815	-1.498		22	4	6.752	-0.406
	22	21	8.606	-0.667		7	5	7.266	-2.322		22	12	7.155	-1.406
	23	5	8.261	-1.568		7	12	7.720	-0.662		22	20	6.981	-2.292
	23	12	8.263	0.173		7	20	7.750	-1.601		23	3	6.772	-0.514
	23	20	8.554	-0.781		8	4	7.151	-2.410		23	11	7.125	-1.508
	24	4	8.151	-1.672		8	11	7.704	-0.772		23	19	6.904	-2.381
	24	11	8.267	0.059		8	19	7.680	-1.703		24	2	6.787	-0.622
	24	19	8.497	-0.894		9	2	7.141	0.110		24	10	7.091	-1.610
	25	3	8.037	-1.774		9	10	7.684	-0.882		24	18	6.823	-2.467
	25	10	8.266	-0.056		9	18	7.607	-1.804		25	1	6.798	-0.730
	25	18	8.435	-1.006		10	1	7.171	0.000		25	9	7.054	-1.709
	26	2	7.920	-1.874		10	9	7.660	-0.991		25	17	6.740	-2.551
	26	9	8.260	-0.171		10	17	7.531	-1.902		26	0	6.805	-0.837
	26	17	8.369	-1.117		11	0	7.196	-0.110		26	8	7.013	-1.808
	27	1	7.799	-1.972		11	8	7.631	-1.099		26	16	6.653	-2.633
	27	8	8.249	-0.285		11	16	7.450	-1.999		26	23	6.808	-0.943
27	16	8.299	-1.227	11	23	7.216	-0.221	27	7	6.968	-1.905			
28	0	7.675	-2.068	12	7	7.599	-1.206	27	15	6.564	-2.712			
28	7	8.232	-0.399	12	15	7.366	-2.094	27	22	6.807	-1.049			
28	15	8.224	-1.335	12	22	7.232	-0.331	28	6	6.919	-2.001			
28	22	7.614	0.457	13	6	7.561	-1.312	28	14	6.472	-2.789			
29	6	8.211	-0.513	13	14	7.279	-2.186	28	21	6.802	-1.153			
29	14	8.145	-1.442	13	21	7.244	-0.441	29	5	6.868	-2.094			
29	21	7.646	0.346	14	5	7.520	-1.417	29	13	6.377	-2.864			
30	5	8.185	-0.626	14	13	7.188	-2.277	29	20	6.793	-1.257			
30	13	8.062	-1.547	14	20	7.251	-0.551	30	4	6.812	-2.186			
30	20	7.674	0.234	15	4	7.475	-1.520	30	12	6.280	-2.937			
31	4	8.155	-0.738	15	12	7.094	-2.366	30	19	6.780	-1.360			
31	12	7.975	-1.651	15	19	7.254	-0.660	Juill.	1	3	6.754	-2.276		
31	19	7.697	0.122	16	3	7.426	-1.622		1	10	6.291	-0.442		
Juin	1	3	8.119	-0.850	16	11	6.997		-2.453	1	18	6.764	-1.462	
	1	11	7.885	-1.753	16	18	7.252		-0.769	2	2	6.692	-2.365	
	1	18	7.714	0.010	17	2	7.373		-1.723	2	9	6.317	-0.548	
	2	2	8.079	-0.961	17	10	6.897		-2.537	2	17	6.744	-1.563	
	2	10	7.790	-1.853	17	17	7.246	-0.877	3	1	6.628	-2.451		
	2	17	7.727	-0.103	18	1	7.317	-1.822	3	8	6.339	-0.655		

PHOBOS 2010

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 16	6.721	-1.662	Juill.	19 0	5.910	-3.023	Août	3 7	5.645	-1.895
	4 0	6.560	-2.535		19 7	6.008	-1.369		3 15	5.677	-2.781
	4 7	6.358	-0.761		19 15	6.171	-2.325		3 23	5.250	-3.440
	4 15	6.693	-1.760		19 23	5.836	-3.091		4 6	5.637	-1.985
	4 23	6.489	-2.618		20 6	6.010	-1.468		4 14	5.634	-2.854
	5 6	6.372	-0.866		20 14	6.132	-2.410		4 21	5.214	-1.055
	5 14	6.663	-1.857		20 22	5.760	-3.156		5 5	5.627	-2.074
	5 22	6.416	-2.698		21 5	6.008	-1.566		5 13	5.588	-2.925
	6 5	6.383	-0.971		21 13	6.091	-2.494		5 20	5.237	-1.154
	6 13	6.629	-1.952		21 21	5.681	-3.218		6 4	5.614	-2.161
	6 21	6.339	-2.775		22 4	6.003	-1.663		6 12	5.540	-2.993
	7 4	6.390	-1.075		22 12	6.046	-2.576		6 19	5.257	-1.252
	7 12	6.592	-2.046		22 20	5.601	-3.278		7 3	5.599	-2.247
	7 20	6.260	-2.851		23 3	5.995	-1.758		7 11	5.491	-3.060
	8 3	6.394	-1.178		23 11	5.999	-2.656		7 18	5.274	-1.348
	8 11	6.551	-2.138		23 18	5.537	-0.822		8 2	5.581	-2.331
8 19	6.178	-2.924	24 2	5.984	-1.852	8 10	5.439	-3.124			
9 2	6.394	-1.281	24 10	5.950	-2.733	8 17	5.288	-1.444			
9 10	6.507	-2.228	24 17	5.562	-0.924	9 1	5.560	-2.413			
9 18	6.094	-2.995	25 1	5.970	-1.945	9 9	5.385	-3.186			
10 1	6.390	-1.382	25 9	5.897	-2.809	9 16	5.300	-1.539			
10 9	6.460	-2.317	25 16	5.584	-1.026	10 0	5.537	-2.494			
10 17	6.008	-3.063	26 0	5.953	-2.037	10 8	5.329	-3.246			
11 0	6.383	-1.482	26 8	5.843	-2.883	10 15	5.309	-1.632			
11 8	6.410	-2.404	26 15	5.603	-1.126	10 23	5.512	-2.572			
11 16	5.919	-3.129	26 23	5.933	-2.126	11 7	5.271	-3.303			
11 23	6.373	-1.581	27 7	5.786	-2.954	11 14	5.315	-1.724			
12 7	6.357	-2.488	27 14	5.619	-1.226	11 22	5.484	-2.649			
12 14	5.904	-0.652	27 22	5.910	-2.215	12 6	5.211	-3.358			
12 22	6.359	-1.679	28 6	5.726	-3.023	12 13	5.319	-1.815			
13 6	6.302	-2.571	28 13	5.631	-1.325	12 21	5.454	-2.724			
13 13	5.929	-0.757	28 21	5.885	-2.301	13 5	5.150	-3.410			
13 21	6.341	-1.776	29 5	5.664	-3.090	13 12	5.321	-1.905			
14 5	6.243	-2.652	29 12	5.641	-1.423	13 20	5.422	-2.797			
14 12	5.951	-0.861	29 20	5.857	-2.386	14 4	5.087	-3.460			
14 20	6.321	-1.871	30 4	5.600	-3.154	14 11	5.320	-1.993			
15 4	6.181	-2.731	30 11	5.648	-1.520	14 19	5.388	-2.867			
15 11	5.969	-0.964	30 19	5.826	-2.468	15 3	5.022	-3.507			
15 19	6.297	-1.965	31 3	5.534	-3.216	15 10	5.316	-2.080			
16 3	6.117	-2.807	31 10	5.651	-1.615	15 18	5.352	-2.936			
16 10	5.984	-1.066	Août	31 18	5.792	-2.549	16 2	4.956	-3.552		
16 18	6.270	-2.058		1 2	5.466	-3.276	16 9	5.310	-2.165		
17 2	6.051	-2.882		1 9	5.652	-1.710	16 17	5.314	-3.002		
17 9	5.995	-1.168		1 17	5.756	-2.629	17 0	4.905	-1.248		
17 17	6.240	-2.148		2 1	5.396	-3.333	17 8	5.302	-2.248		
18 1	5.982	-2.954	2 8	5.650	-1.803	17 16	5.273	-3.067			
18 8	6.003	-1.269	2 16	5.718	-2.706	17 23	4.927	-1.343			
18 16	6.207	-2.237	3 0	5.324	-3.388	18 7	5.292	-2.330			

PHOBOS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Août	18 15	5.231	-3.129	Sept.	2 22	4.705	-1.843	Sept.	18 6	4.700	-2.975
	18 22	4.946	-1.436		3 6	4.959	-2.741		18 14	4.532	-3.537
	19 6	5.279	-2.410		3 14	4.814	-3.416		18 21	4.502	-2.243
	19 14	5.187	-3.188		3 21	4.718	-1.927		19 5	4.687	-3.029
	19 21	4.963	-1.529		4 5	4.943	-2.807		19 13	4.495	-3.566
	20 5	5.264	-2.488		4 13	4.771	-3.459		19 20	4.512	-2.315
	20 13	5.141	-3.246		4 20	4.728	-2.009		20 4	4.672	-3.080
	20 20	4.978	-1.620		5 4	4.926	-2.872		20 12	4.457	-3.593
	21 4	5.247	-2.565		5 12	4.727	-3.500		20 19	4.521	-2.385
	21 12	5.094	-3.301		5 19	4.737	-2.090		21 3	4.657	-3.129
	21 19	4.990	-1.710		6 3	4.907	-2.934		21 11	4.418	-3.617
	22 3	5.228	-2.639		6 11	4.681	-3.539		21 18	4.529	-2.453
	22 11	5.045	-3.354		6 18	4.744	-2.169		22 2	4.640	-3.176
	22 18	5.001	-1.799		7 2	4.886	-2.994		22 10	4.378	-3.639
	23 2	5.207	-2.712		7 10	4.635	-3.575		22 17	4.535	-2.519
	23 10	4.994	-3.404		7 17	4.749	-2.246		23 1	4.622	-3.221
	23 17	5.008	-1.887		8 1	4.864	-3.052		23 9	4.337	-3.658
	24 1	5.184	-2.782		8 9	4.587	-3.608		23 16	4.540	-2.583
	24 9	4.942	-3.452		8 16	4.752	-2.322		24 0	4.603	-3.263
	24 16	5.014	-1.973		9 0	4.840	-3.108		24 8	4.295	-3.675
25 0	5.159	-2.851	9 8	4.538	-3.639	24 15	4.543	-2.646			
25 8	4.888	-3.497	9 15	4.754	-2.396	24 23	4.582	-3.303			
25 15	5.018	-2.057	9 23	4.815	-3.161	25 7	4.252	-3.689			
25 23	5.132	-2.917	10 7	4.488	-3.668	25 14	4.546	-2.706			
26 7	4.833	-3.540	10 14	4.754	-2.468	25 22	4.561	-3.340			
26 14	5.019	-2.140	10 22	4.789	-3.213	26 6	4.209	-3.701			
26 22	5.103	-2.982	11 6	4.437	-3.694	26 13	4.547	-2.764			
27 6	4.776	-3.580	11 13	4.753	-2.539	26 21	4.539	-3.376			
27 13	5.018	-2.221	11 21	4.761	-3.262	27 4	4.214	-2.001			
27 21	5.073	-3.044	12 4	4.386	-1.694	27 12	4.547	-2.820			
28 5	4.718	-3.618	12 12	4.749	-2.607	27 20	4.516	-3.408			
28 12	5.015	-2.301	12 20	4.732	-3.308	28 3	4.236	-2.074			
28 20	5.040	-3.104	13 3	4.408	-1.777	28 11	4.546	-2.874			
29 4	4.659	-3.653	13 11	4.745	-2.673	28 19	4.491	-3.438			
29 11	5.011	-2.379	13 19	4.701	-3.352	29 2	4.256	-2.145			
29 19	5.006	-3.162	14 2	4.427	-1.858	29 10	4.543	-2.925			
30 2	4.635	-1.493	14 10	4.739	-2.738	29 18	4.466	-3.466			
30 10	5.004	-2.455	14 18	4.670	-3.394	30 1	4.275	-2.215			
30 18	4.971	-3.217	15 1	4.445	-1.939	30 9	4.540	-2.975			
31 1	4.656	-1.583	15 9	4.731	-2.800	30 17	4.440	-3.491			
31 9	4.995	-2.529	15 17	4.637	-3.433	Oct.	1 0	4.293	-2.282		
31 17	4.934	-3.270	16 0	4.462	-2.017		1 8	4.535	-3.022		
Sept.	1 0	4.674	-1.671	16 8	4.722		-2.861	1 16	4.413	-3.513	
	1 8	4.985	-2.602	16 16	4.603		-3.470	1 23	4.310	-2.348	
	1 16	4.895	-3.321	16 23	4.476		-2.094	2 7	4.529	-3.067	
	1 23	4.691	-1.757	17 7	4.711		-2.919	2 15	4.385	-3.533	
2 7	4.973	-2.672	17 15	4.568	-3.505	2 22	4.326	-2.412			
2 15	4.855	-3.370	17 22	4.490	-2.170	3 6	4.523	-3.109			

PHOBOS 2010

 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	"	"
Oct.	3 14	4.356	-3.551	Oct.	18 21	4.256	-2.612	Nov.	3 5	4.472	-3.060
	3 21	4.341	-2.474		19 5	4.442	-3.163		3 13	4.323	-3.218
	4 5	4.515	-3.149		19 13	4.272	-3.453		3 20	4.287	-2.678
	4 13	4.326	-3.566		19 20	4.276	-2.658		4 4	4.478	-3.066
	4 20	4.355	-2.534		20 4	4.441	-3.185		4 12	4.309	-3.200
	5 4	4.506	-3.187		20 12	4.249	-3.450		4 19	4.313	-2.706
	5 12	4.296	-3.578		20 19	4.294	-2.702		5 3	4.484	-3.070
	5 19	4.367	-2.591		21 3	4.439	-3.206		5 11	4.293	-3.179
	6 3	4.497	-3.222		21 11	4.227	-3.445		5 18	4.339	-2.732
	6 11	4.265	-3.588		21 18	4.312	-2.743		6 2	4.489	-3.071
	6 18	4.379	-2.647		22 2	4.436	-3.223		6 10	4.277	-3.156
	7 2	4.486	-3.255		22 10	4.203	-3.437		6 17	4.363	-2.755
	7 10	4.233	-3.595		22 17	4.329	-2.782		7 1	4.492	-3.070
	7 17	4.389	-2.700		23 1	4.433	-3.238		7 9	4.259	-3.130
	8 1	4.475	-3.285		23 9	4.179	-3.427		7 16	4.387	-2.775
	8 9	4.200	-3.600		23 16	4.346	-2.819		8 0	4.495	-3.066
8 16	4.399	-2.752	24 0	4.428	-3.251	8 8	4.241	-3.102			
9 0	4.462	-3.313	24 8	4.154	-3.414	8 15	4.410	-2.793			
9 8	4.167	-3.602	24 15	4.361	-2.853	8 23	4.497	-3.059			
9 15	4.407	-2.801	24 23	4.423	-3.261	9 7	4.221	-3.071			
9 23	4.449	-3.339	25 7	4.128	-3.399	9 14	4.433	-2.809			
10 7	4.133	-3.601	25 14	4.376	-2.885	9 22	4.498	-3.050			
10 14	4.415	-2.848	25 22	4.417	-3.268	10 6	4.201	-3.038			
10 22	4.435	-3.361	26 6	4.101	-3.381	10 13	4.454	-2.821			
11 6	4.098	-3.598	26 13	4.390	-2.915	10 21	4.498	-3.038			
11 13	4.421	-2.892	26 21	4.410	-3.273	11 5	4.179	-3.003			
11 21	4.420	-3.382	27 5	4.074	-3.360	11 12	4.475	-2.832			
12 4	4.095	-2.228	27 12	4.403	-2.942	11 20	4.498	-3.024			
12 12	4.427	-2.934	27 20	4.402	-3.275	12 4	4.157	-2.965			
12 20	4.404	-3.400	28 3	4.083	-2.413	12 11	4.494	-2.839			
13 3	4.121	-2.289	28 11	4.415	-2.967	12 19	4.496	-3.007			
13 11	4.432	-2.974	28 19	4.393	-3.275	13 2	4.170	-2.464			
13 19	4.388	-3.415	29 2	4.114	-2.458	13 10	4.513	-2.844			
14 2	4.145	-2.348	29 10	4.427	-2.988	13 18	4.493	-2.988			
14 10	4.436	-3.012	29 18	4.384	-3.272	14 1	4.208	-2.490			
14 18	4.370	-3.428	30 1	4.145	-2.501	14 9	4.531	-2.846			
15 1	4.169	-2.405	30 9	4.437	-3.008	14 17	4.489	-2.966			
15 9	4.439	-3.047	30 17	4.373	-3.266	15 0	4.246	-2.514			
15 17	4.352	-3.438	31 0	4.175	-2.541	15 8	4.548	-2.846			
16 0	4.192	-2.460	31 8	4.447	-3.025	15 16	4.483	-2.941			
16 8	4.441	-3.079	31 16	4.362	-3.258	15 23	4.283	-2.535			
16 16	4.333	-3.445	31 23	4.204	-2.579	16 7	4.564	-2.843			
16 23	4.214	-2.513	Nov.	1 7	4.456	-3.039	16 15	4.477	-2.914		
17 7	4.442	-3.110		1 15	4.350	-3.247	16 22	4.318	-2.553		
17 15	4.313	-3.450		1 22	4.232	-2.614	17 6	4.579	-2.837		
17 22	4.235	-2.563	2 6	4.464	-3.051	17 14	4.470	-2.885			
18 6	4.443	-3.137	2 14	4.337	-3.234	17 21	4.354	-2.569			
18 14	4.293	-3.453	2 21	4.260	-2.647	18 5	4.593	-2.829			

PHOBOS 2010

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	"	"
Nov.	18 13	4.461	-2.853	Déc.	3 5	4.778	-2.463	Déc.	17 21	4.735	-2.034
	18 20	4.388	-2.582		3 13	4.646	-2.353		18 5	4.987	-1.964
	19 4	4.605	-2.818		3 20	4.561	-2.360		18 13	4.833	-1.729
	19 12	4.451	-2.819		4 4	4.794	-2.434		18 20	4.776	-2.009
	19 19	4.421	-2.593		4 12	4.637	-2.304		19 4	5.001	-1.918
	20 3	4.617	-2.804		4 19	4.600	-2.352		19 12	4.820	-1.666
	20 11	4.440	-2.782		5 3	4.808	-2.403		19 19	4.816	-1.982
	20 18	4.454	-2.601		5 11	4.627	-2.252		20 3	5.015	-1.870
	21 2	4.628	-2.788		5 18	4.637	-2.341		20 11	4.806	-1.602
	21 10	4.428	-2.743		6 2	4.821	-2.369		20 18	4.854	-1.951
21 17	4.485	-2.606	6 10	4.615	-2.199	21 2	5.026	-1.820			
22 1	4.637	-2.769	6 17	4.673	-2.327	21 10	4.789	-1.536			
22 9	4.414	-2.702	7 1	4.833	-2.333	21 17	4.890	-1.919			
22 16	4.516	-2.609	7 9	4.601	-2.143	22 1	5.035	-1.768			
23 0	4.645	-2.748	7 16	4.707	-2.311	22 9	4.770	-1.468			
23 8	4.399	-2.659	8 0	4.843	-2.294	22 16	4.925	-1.884			
23 15	4.545	-2.609	8 8	4.585	-2.086	23 0	5.042	-1.714			
23 23	4.652	-2.724	8 15	4.740	-2.292	23 8	4.749	-1.400			
24 7	4.383	-2.613	8 23	4.851	-2.253	23 15	4.957	-1.847			
24 14	4.574	-2.606	9 7	4.567	-2.027	23 23	5.046	-1.658			
24 22	4.658	-2.698	9 14	4.772	-2.270	24 7	4.725	-1.330			
25 6	4.365	-2.565	9 22	4.857	-2.210	24 14	4.988	-1.807			
25 13	4.601	-2.601	10 6	4.548	-1.966	24 22	5.049	-1.600			
25 21	4.663	-2.669	10 13	4.802	-2.246	25 6	4.699	-1.258			
26 5	4.346	-2.516	10 21	4.862	-2.165	25 13	5.017	-1.765			
26 12	4.628	-2.593	11 5	4.527	-1.903	25 21	5.050	-1.540			
26 20	4.666	-2.638	11 12	4.831	-2.220	26 5	4.671	-1.186			
27 4	4.325	-2.464	11 20	4.865	-2.118	26 12	5.044	-1.720			
27 11	4.653	-2.582	12 4	4.503	-1.839	26 20	5.048	-1.479			
27 19	4.667	-2.604	12 11	4.858	-2.190	27 3	4.681	-1.790			
28 2	4.308	-2.354	12 19	4.866	-2.068	27 11	5.069	-1.674			
28 10	4.677	-2.569	13 2	4.507	-2.119	27 19	5.044	-1.415			
28 18	4.668	-2.568	13 10	4.884	-2.159	28 2	4.731	-1.761			
29 1	4.353	-2.362	13 18	4.865	-2.016	28 10	5.092	-1.625			
29 9	4.700	-2.553	14 1	4.555	-2.108	28 18	5.038	-1.351			
29 17	4.666	-2.530	14 9	4.908	-2.125	29 1	4.779	-1.730			
30 0	4.397	-2.367	14 17	4.863	-1.962	29 9	5.112	-1.574			
30 8	4.721	-2.534	15 0	4.602	-2.093	29 17	5.030	-1.284			
30 16	4.664	-2.489	15 8	4.930	-2.088	30 0	4.825	-1.696			
30 23	4.440	-2.369	15 16	4.858	-1.907	30 8	5.131	-1.521			
Déc.	1 7	4.741	-2.513	15 23	4.648	-2.076	30 16	5.019	-1.217		
	1 15	4.660	-2.446	16 7	4.951	-2.049	30 23	4.870	-1.660		
	1 22	4.481	-2.369	16 15	4.852	-1.849	31 7	5.147	-1.466		
	2 6	4.760	-2.489	16 22	4.692	-2.056	31 15	5.006	-1.148		
	2 14	4.654	-2.401	17 6	4.970	-2.008	31 22	4.912	-1.622		
	2 21	4.522	-2.366	17 14	4.843	-1.790	Janv. 1 6	5.161	-1.410		

DÉIMOS 2010

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	12	43.359	-4.065	Mars	2	1	41.026	4.613	Mai	1	16	25.014	-0.163
	Janv.	1	18	43.892		-3.171	3	7	40.684		5.219	2	22	24.785
	3	0	44.278	-2.252		4	13	40.203	5.793		4	5	24.472	-0.989
	4	6	44.492	-1.311		5	20	39.631	4.358		5	11	24.365	-0.550
	5	13	44.966	-3.399		7	2	39.361	4.939		6	17	24.145	-0.101
	6	19	45.401	-2.450		8	8	38.935	5.483		8	0	23.846	-1.363
	8	1	45.679	-1.494		9	14	38.375	5.989		9	6	23.747	-0.915
	9	8	45.885	-3.543		10	21	38.030	4.607		10	12	23.531	-0.464
	10	14	46.375	-2.582		12	3	37.672	5.125		11	19	23.253	-1.718
	11	20	46.703	-1.593		13	9	37.167	5.616		13	1	23.152	-1.266
	13	2	46.858	-0.604		14	16	36.725	4.230		14	7	22.946	-0.810
	14	9	47.145	-2.618		15	22	36.422	4.735		15	14	22.682	-2.055
	15	15	47.512	-1.619		17	4	35.976	5.202		16	20	22.587	-1.603
	16	21	47.718	-0.607		18	11	35.461	3.827		18	2	22.381	-1.135
	18	3	47.742	0.405		19	17	35.204	4.308		19	9	22.138	-2.381
	19	10	48.065	-1.554		20	23	34.816	4.768		20	15	22.043	-1.918
	20	16	48.299	-0.531		22	5	34.284	5.198		21	21	21.840	-1.450
	21	22	48.370	0.484		23	12	34.038	3.865		23	4	21.618	-2.685
	23	5	48.304	-1.405		24	18	33.690	4.313		24	10	21.520	-2.222
	24	11	48.579	-0.386		26	0	33.214	4.736		25	16	21.321	-1.743
	25	17	48.677	0.638		27	7	32.916	3.407		26	23	21.115	-2.976
	26	23	48.603	1.639		28	13	32.616	3.845		28	5	21.020	-2.506
	28	6	48.522	-0.171		29	19	32.179	4.268		29	11	20.818	-2.020
	29	12	48.649	0.834		31	2	31.852	2.938		30	18	20.636	-3.251
	30	18	48.611	1.833	Avril	1	8	31.588	3.377	Juin	1	0	20.534	-2.773
Févr.	1	0	48.391	2.802		2	14	31.190	3.791		2	6	20.336	-2.284
	2	7	48.287	1.069		3	21	30.843	2.473		3	13	20.171	-3.506
	3	13	48.272	2.043		5	3	30.607	2.902		4	19	20.068	-3.028
	4	19	48.098	2.990		6	9	30.247	3.321		6	1	19.867	-2.525
	6	1	47.742	3.908		7	16	29.882	2.004		7	8	19.722	-3.750
	7	8	47.623	2.251		8	22	29.681	2.435		8	14	19.617	-3.260
	8	14	47.478	3.173		10	4	29.343	2.853		9	20	19.413	-2.757
	9	20	47.170	4.051		11	11	28.979	1.543		11	3	19.291	-3.975
	11	2	46.693	4.899		12	17	28.795	1.974		12	9	19.178	-3.482
	12	9	46.582	3.315		13	23	28.488	2.391		13	15	18.975	-2.969
	13	15	46.321	4.165		15	6	28.121	1.092		14	22	18.869	-4.185
	14	21	45.890	4.965		16	12	27.959	1.518		16	4	18.757	-3.687
	16	4	45.458	3.414		17	18	27.671	1.944		17	10	18.546	-3.165
	17	10	45.241	4.215		19	1	27.309	0.646		18	17	18.465	-4.383
	18	16	44.874	4.980		20	7	27.166	1.079		19	23	18.344	-3.874
	19	22	44.339	5.700		21	13	26.894	1.503		21	5	18.133	-3.351
	21	5	44.000	4.202		22	20	26.544	0.217		22	12	18.072	-4.561
	22	11	43.684	4.927		24	2	26.409	0.649		23	18	17.945	-4.051
	23	17	43.220	5.605		25	8	26.159	1.079		25	1	17.733	-5.220
	25	0	42.637	4.121		26	15	25.815	-0.200		26	7	17.689	-4.729
	26	6	42.388	4.800		27	21	25.696	0.234		27	13	17.559	-4.209
	27	12	41.985	5.448		29	3	25.454	0.671		28	20	17.368	-5.379
	28	18	41.433	6.046		30	10	25.127	-0.605		30	2	17.320	-4.880

DÉIMOS 2010

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.	1 8	17.179	-4.354	Août	31 1	12.545	-6.695	Oct.	30 20	11.106	-8.196	
	2 15	17.017	-5.523		Sept.	1 8	12.514		-7.664	Nov.	1 2	11.078
	3 21	16.957	-5.016			2 14	12.449	-7.174	2 9		11.132	-8.228
	5 3	16.812	-4.488	3 21		12.335	-8.073	3 15	11.147	-8.007		
	6 10	16.673	-5.649	5 3	12.322	-7.615	4 22	11.145	-8.212			
	7 16	16.605	-5.143	6 9	12.240	-7.122	6 4	11.204	-8.030			
	8 22	16.451	-4.602	7 16	12.169	-8.018	7 10	11.187	-7.811			
	10 5	16.338	-5.769	8 22	12.137	-7.560	8 17	11.247	-8.005			
	11 11	16.262	-5.250	10 4	12.031	-7.058	9 23	11.272	-7.822			
	12 17	16.098	-4.709	11 11	12.008	-7.958	11 6	11.276	-7.933			
	14 0	16.014	-5.870	12 17	11.954	-7.491	12 12	11.345	-7.787			
	15 6	15.925	-5.348	14 0	11.856	-8.315	13 18	11.341	-7.608			
16 12	15.756	-4.799	15 6	11.852	-7.884	15 1	11.402	-7.703				
17 19	15.695	-5.959	16 12	11.775	-7.418	16 7	11.441	-7.561				
19 1	15.599	-5.434	17 19	11.727	-8.238	17 14	11.443	-7.573				
20 7	15.417	-4.876	19 1	11.698	-7.806	18 20	11.525	-7.465				
21 14	15.386	-6.039	20 7	11.600	-7.335	20 2	11.532	-7.324				
22 20	15.277	-5.502	21 14	11.600	-8.153	21 9	11.592	-7.323				
24 3	15.122	-6.611	22 20	11.550	-7.718	22 15	11.643	-7.217				
25 9	15.083	-6.101	24 3	11.483	-8.459	23 22	11.640	-7.134				
26 15	14.963	-5.565	25 9	11.479	-8.061	25 4	11.735	-7.063				
27 22	14.840	-6.667	26 15	11.401	-7.620	26 10	11.753	-6.960				
29 4	14.786	-6.156	27 22	11.390	-8.362	27 17	11.807	-6.862				
30 10	14.656	-5.611	29 4	11.359	-7.957	28 23	11.869	-6.792				
31 17	14.562	-6.714	30 11	11.283	-8.619	30 5	11.857	-6.696				
Août	1 23	14.498	-6.197	Oct.	1 17	11.299	-8.253	Déc.	1 12	11.964	-6.578	
	3 5	14.352	-5.646		2 23	11.242	-7.849		2 18	11.997	-6.514	
	4 12	14.293	-6.751		4 6	11.223	-8.505		4 1	12.035	-6.320	
	5 18	14.212	-6.225		5 12	11.211	-8.138		5 7	12.113	-6.287	
	7 0	14.057	-5.673		6 19	11.133	-8.713		6 13	12.113	-6.229	
	8 7	14.028	-6.771		8 1	11.164	-8.383		7 20	12.203	-6.015	
	9 13	13.934	-6.247	9 7	11.127	-8.015	9 2	12.251	-5.988			
	10 20	13.801	-7.283	10 14	11.104	-8.585	10 9	12.267	-5.701			
	12 2	13.768	-6.787	11 20	11.110	-8.255	11 15	12.361	-5.704			
	13 8	13.661	-6.251	13 2	11.043	-7.881	12 21	12.375	-5.683			
	14 15	13.562	-7.292	14 9	11.080	-8.450	14 4	12.442	-5.377			
	15 21	13.516	-6.787	15 15	11.057	-8.115	15 10	12.503	-5.385			
17 3	13.391	-6.249	16 22	11.038	-8.600	16 17	12.491	-5.011				
18 10	13.332	-7.288	18 4	11.058	-8.303	17 23	12.600	-5.046				
19 16	13.265	-6.778	19 10	11.006	-7.970	19 5	12.633	-5.062				
20 22	13.128	-6.237	20 17	11.047	-8.447	20 12	12.664	-4.668				
22 5	13.103	-7.273	21 23	11.037	-8.151	21 18	12.745	-4.709				
23 11	13.022	-6.762	23 6	11.024	-8.544	23 0	12.747	-4.737				
24 18	12.907	-7.730	24 12	11.056	-8.285	24 7	12.821	-4.319				
26 0	12.882	-7.252	25 18	11.018	-7.990	25 13	12.873	-4.372				
27 6	12.782	-6.731	27 1	11.064	-8.373	26 20	12.861	-3.895				
28 13	12.707	-7.704	28 7	11.068	-8.116	28 2	12.963	-3.970				
29 19	12.664	-7.216	29 14	11.060	-8.414	29 8	12.982	-4.031				

DÉIMOS 2010

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.	30	15	13.014	-3.534	Déc.	31	21	13.084	-3.618	Janv.	2	3	13.077	-3.692

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 2010

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	3	-94.970	-38.354	Févr.	10	20	-89.210	-39.279	Mars	23	14	-88.961	-41.336	
	2	0	95.756	38.784		11	18	89.423	39.292		24	11	88.955	41.490	
	2	21	-94.837	-38.518		12	15	-89.039	-39.219		25	8	-88.885	-41.541	
	3	18	95.330	38.831		13	12	89.516	39.565		26	6	89.058	41.439	
	4	16	-94.234	-38.357		14	9	-88.952	-39.414		27	3	-89.199	-41.585	
	5	13	95.006	38.786		15	7	89.171	39.422		28	0	89.151	41.722	
	6	10	-94.110	-38.526		16	4	-88.827	-39.364		28	21	-89.128	-41.793	
	7	7	94.589	38.838		17	1	89.260	39.695		29	19	89.290	41.676	
	8	5	-93.540	-38.372		17	22	-88.740	-39.559		30	16	-89.481	-41.845	
	9	2	94.300	38.801		18	20	88.961	39.562		31	13	89.386	41.961	
	9	23	-93.425	-38.547		19	17	-88.653	-39.518		Avril	1	10	-89.415	-42.056
	10	20	93.886	38.855		20	14	89.049	39.835			2	8	89.561	41.921
	11	18	-92.893	-38.403		21	11	-88.566	-39.713			3	5	-89.802	-42.114
12	15	93.634	38.828	22	9	88.791	39.710	4	2	89.667		42.213			
13	12	-92.784	-38.582	23	6	-88.524	-39.683	4	23	-89.741		-42.329			
14	9	93.227	38.886	24	3	88.875	39.982	5	21	89.875		42.177			
15	7	-92.288	-38.446	25	0	-88.437	-39.878	6	18	-90.165	-42.394				
16	4	93.013	38.869	25	22	88.660	39.868	7	15	89.987	42.473				
17	1	-92.186	-38.629	26	19	-88.434	-39.856	8	13	-90.125	-42.232				
17	22	92.606	38.926	27	16	88.744	40.140	9	10	90.228	42.442				
18	20	-91.731	-38.503	Mars	28	13	-88.347	-40.052	10	7	-90.569	-42.683			
19	17	92.430	38.919		1	11	88.570	40.033	11	4	90.352	42.745			
20	14	-91.633	-38.688		2	8	-88.387	-40.039	12	2	-90.558	-42.524			
21	11	92.028	38.979		3	5	88.650	40.305	12	23	90.625	42.718			
22	9	-91.216	-38.571		4	2	-88.300	-40.236	13	20	-91.015	-42.983			
23	6	91.892	38.982		5	0	88.519	40.208	14	17	90.758	43.027			
24	3	-91.122	-38.760	5	21	-88.379	-40.231	15	15	-91.035	-42.827				
25	0	91.489	39.041	6	18	88.600	40.480	16	12	91.061	43.003				
25	22	-90.747	-38.652	7	15	-88.292	-40.428	17	9	-91.503	-43.293				
26	19	91.392	39.054	8	13	88.509	40.391	18	6	91.210	43.322				
27	16	-90.656	-38.843	9	10	-88.414	-40.434	19	4	-91.549	-43.138				
28	13	90.991	39.114	10	7	88.588	40.663	20	1	91.541	43.300				
29	11	-90.319	-38.744	11	4	-88.328	-40.631	20	22	-92.033	-43.615				
30	8	90.937	39.138	12	2	88.537	40.582	21	19	91.703	43.627				
31	5	-90.230	-38.936	12	23	-88.487	-40.644	22	17	-92.106	-43.461				
Févr.	1	2	90.534	39.196	13	20	88.619	40.857	23	14	92.061	43.606			
	2	0	-89.937	-38.847	14	17	-88.403	-40.843	24	11	-92.605	-43.946			
	2	21	90.520	39.230	15	15	88.607	40.783	25	8	92.243	43.945			
	3	18	-89.848	-39.040	16	12	-88.605	-40.866	26	6	-92.700	-43.792			
	4	15	90.117	39.289	17	9	88.688	41.058	27	3	92.625	43.924			
	5	13	-89.594	-38.960	18	6	-88.523	-41.067	28	0	-93.218	-44.289			
	6	10	90.145	39.333	19	4	88.717	40.993	28	21	92.824	44.273			
	7	7	-89.507	-39.154	20	1	-88.761	-41.096	29	19	-93.335	-44.135			
	8	4	89.740	39.390	20	22	88.802	41.270	30	16	93.228	44.251			
	9	2	-89.297	-39.085	21	19	-88.682	-41.298	Mai	1	13	-93.872	-44.643		
	9	23	89.808	39.444	22	17	88.868	41.211		2	10	93.451	44.615		

IO 2010

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	8	-94.008	-44.486	Juin	13	1	-104.857	-49.774	Juill.	23	18	-119.307	-56.250
	4	5	93.875	44.591		13	22	104.323	49.693		24	15	118.840	56.191
	5	2	-94.569	-45.009		14	19	-105.334	-50.313		25	12	-120.095	-57.017
	5	23	94.120	44.967		15	17	104.708	49.511		26	9	119.373	56.843
	6	21	-94.723	-44.848		16	14	-106.000	-50.267		27	7	-120.507	-56.738
	7	18	94.562	44.941		17	11	105.479	50.191		28	4	120.094	56.704
	8	15	-95.308	-45.386		18	8	-106.537	-50.841		29	1	-121.393	-57.559
	9	12	94.836	45.334		19	6	105.824	49.979		29	22	120.729	57.409
	10	10	-95.474	-45.220		20	3	-107.169	-50.768		30	19	-121.733	-58.128
	11	7	95.293	45.303		21	0	106.664	50.699		31	17	121.295	57.188
	12	4	-96.087	-45.774		21	21	-107.765	-51.375		Août	1	14	-122.647
13	1	95.595	45.713	22	18	106.970	51.172	2	11	122.037		57.951		
13	23	-96.267	-45.603	23	16	-108.357	-51.273	3	8	-123.083		-58.698		
14	20	96.063	45.676	24	13	107.873	51.212	4	6	122.441		57.644		
15	17	-96.909	-46.174	25	10	-109.022	-51.919	5	3	-123.836		-58.561		
16	14	96.399	46.106	26	7	108.246	51.725	6	0	123.289	58.463			
17	12	-97.094	-45.994	27	5	-109.565	-51.782	6	21	-124.379	-59.238			
18	9	96.877	46.061	28	2	109.102	51.731	7	18	123.574	59.020			
19	6	-97.770	-46.586	28	23	-110.295	-52.466	8	16	-124.957	-59.011			
20	3	97.245	46.510	29	20	109.551	52.286	9	13	124.467	58.937			
21	1	-97.962	-46.398	Juill.	30	18	-110.781	-52.292	10	10	-125.601	-59.741		
21	22	97.727	46.455		1	15	110.347	52.253	11	7	124.865	59.552		
22	19	-98.673	-47.010		2	12	-111.589	-53.019	12	5	-125.988	-59.415		
23	16	98.136	46.928		3	9	110.872	52.851	13	2	125.562	59.368		
24	13	-98.878	-47.388		4	7	-112.007	-52.802	13	23	-126.742	-60.202		
25	11	98.620	46.863	5	4	111.602	52.776	14	20	126.067	60.039			
26	8	-99.613	-47.444	6	1	-112.889	-53.572	15	17	-126.942	-60.729			
27	5	99.068	47.358	6	22	112.210	53.421	16	15	126.555	59.749			
28	2	-99.857	-47.845	7	19	-113.241	-54.097	17	12	-127.781	-60.611			
29	0	99.547	47.279	8	17	112.860	53.297	18	9	127.176	60.478			
29	21	-100.592	-47.890	9	14	-114.198	-54.125	19	6	-128.087	-61.192			
30	18	100.042	47.802	10	11	113.553	53.989	20	4	127.438	60.074			
31	15	-100.874	-48.313	11	8	-114.630	-54.695	21	1	-128.711	-60.965			
Juin	1	13	100.514	47.707	12	6	114.114	53.813	21	22	128.169	60.858		
	2	10	-101.606	-48.345	13	3	-115.500	-54.672	22	19	-129.127	-61.600		
3	7	101.055	48.257	14	0	114.898	54.555	23	16	128.347	61.383			
4	4	-101.934	-48.796	14	21	-116.015	-55.289	24	14	-129.514	-61.255			
5	2	101.513	48.144	15	19	115.357	54.321	25	11	129.043	61.178			
5	23	-102.658	-48.812	16	16	-116.794	-55.213	26	8	-130.039	-61.943			
6	20	102.109	48.725	17	13	116.232	55.113	27	5	129.335	61.758			
7	17	-103.030	-49.290	18	10	-117.397	-55.878	28	3	-130.184	-61.478			
8	15	102.549	48.592	19	8	116.578	54.815	29	0	129.776	61.427			
9	12	-103.741	-49.288	20	5	-118.063	-55.739	29	21	-130.821	-62.220			
10	9	103.198	49.203	21	2	117.552	55.661	30	18	130.183	62.063			
11	6	-104.167	-49.797	21	23	-118.757	-56.454	31	15	-130.889	-62.695			
12	4	103.612	49.046	22	20	117.985	56.258	Sept.	1	13	130.366	61.604		

IO 2010

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	10	-131.449	-62.420	Oct.	13	2	-130.456	-62.018	Nov.	22	18	-117.098	-55.850
	3	7	130.888	62.294		13	23	129.980	61.890		23	15	116.792	55.794
	4	4	-131.631	-62.948		14	20	-130.017	-62.197		24	13	-116.289	-55.079
	5	1	130.831	62.708		15	17	129.332	61.969		25	10	116.261	55.158
	5	23	-131.925	-62.542		16	15	-129.559	-61.470		26	7	-115.748	-55.163
	6	20	131.430	62.444		17	12	129.160	61.377		27	4	115.520	55.145
	7	17	-132.214	-63.120		18	9	-129.227	-61.696		28	2	-114.855	-54.363
	8	14	131.491	62.912		19	6	128.618	61.502		28	23	114.900	54.477
	9	12	-132.227	-62.579		20	4	-128.531	-60.866		29	20	-114.392	-54.481
	10	9	131.808	62.511		21	1	128.212	60.809		30	17	114.232	54.496
11	6	-132.630	-63.209	21	22	-128.300	-61.135	Déc.	1	15	-113.425	-53.655		
12	3	131.979	63.030	22	19	127.776	60.980		2	12	113.540	53.804		
13	0	-132.469	-63.566	23	16	-127.495	-61.127		3	9	-113.029	-53.803		
13	22	132.007	62.491	24	14	127.144	60.191		4	6	112.942	53.854		
14	19	-132.871	-63.209	25	11	-127.258	-60.527		5	3	-112.076	-53.682		
15	16	132.295	63.062	26	8	126.810	60.407	6	1	112.186	53.140			
16	13	-132.818	-63.615	27	5	-126.554	-60.562	6	22	-111.676	-53.136			
17	11	132.031	62.384	28	3	125.976	59.535	7	19	111.653	53.219			
18	8	-132.933	-63.122	29	0	-126.106	-59.875	8	16	-110.792	-53.045			
19	5	132.429	63.004	29	21	125.743	59.794	9	14	110.848	52.490			
20	2	-132.992	-63.577	30	18	-125.502	-59.955	10	11	-110.332	-52.479			
20	23	132.265	63.353	31	15	124.932	59.772	11	8	110.377	52.596			
21	21	-132.815	-62.946	Nov.	1	13	-124.867	-59.190	12	5	-109.512	-52.416		
22	18	132.387	62.860		2	10	124.579	59.145	13	3	109.531	51.854		
23	15	-132.981	-63.448		3	7	-124.360	-59.312	14	0	-109.012	-51.838		
24	12	132.336	63.259	4	4	123.870	59.168	14	21	109.115	51.984			
25	9	-132.573	-63.674	5	2	-123.547	-58.476	15	18	-108.252	-51.801			
26	7	132.161	62.627	5	23	123.342	58.469	16	16	108.242	51.236			
27	4	-132.795	-63.233	6	20	-123.135	-58.640	17	13	-107.713	-51.210			
28	1	132.222	63.075	7	17	122.724	58.533	18	10	107.880	51.389			
28	22	-132.493	-63.505	8	14	-122.169	-58.534	19	7	-107.009	-51.198			
29	20	131.763	62.312	9	12	122.037	57.772	20	5	106.982	50.634			
30	17	-132.427	-62.932	10	9	-121.847	-57.947	21	2	-106.446	-50.602			
Oct.	1	14	131.935	62.807	11	6	121.515	57.879	21	23	106.668	50.807		
	2	11	-132.236	-63.251	12	3	-120.969	-57.881	22	20	-105.795	-50.612		
	3	8	131.522	63.019	13	1	120.686	57.063	23	17	105.811	50.717		
	4	6	-131.892	-62.551	13	22	-120.504	-57.239	24	15	-105.211	-50.009		
	5	3	131.471	62.457	14	19	120.250	57.207	25	12	105.489	50.243		
	6	0	-131.806	-62.915	15	16	-119.718	-57.213	26	9	-104.607	-50.039		
	6	21	131.172	62.718	16	14	119.295	56.344	27	6	104.677	50.171		
	7	19	-131.186	-62.091	17	11	-119.123	-56.521	28	4	-104.014	-49.436		
	8	16	130.847	62.033	18	8	118.946	56.527	29	1	104.340	49.694		
	9	13	-131.209	-62.502	19	5	-118.422	-56.534	29	22	-103.456	-49.485		
10	10	130.652	62.338	20	2	118.045	56.443	30	19	103.573	49.641			
11	7	-130.667	-62.637	21	0	-117.714	-55.800	31	17	-102.853	-48.880			
12	5	130.063	61.537	21	21	117.612	55.842	Janv.	1	14	103.232	49.165		

EUROPE 2010

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	-90.111	-36.321	Mars	20	11	141.116	65.826	Juin	8	13	-161.976	-77.868	
	Janv.	1	4	150.705		60.903	22	6	-141.258		-66.059	10	7	166.002	80.007
	2	22	-152.804	-62.005		24	0	141.378	66.269		12	2	-163.782	-78.849	
	4	17	149.567	60.943		25	19	-141.448	-66.464		13	20	167.742	80.974	
	6	12	-151.646	-62.046		27	14	141.894	66.647		15	15	-165.552	-79.815	
	8	6	148.366	60.956		29	9	-141.770	-66.742		17	10	169.701	81.596	
	10	1	-150.483	-62.080	Avril	31	3	142.335	67.149		19	4	-167.285	-80.765	
	11	20	147.400	61.050			1	22	-142.144	-67.208		20	23	171.634	82.648
	13	15	-149.383	-62.121			3	17	142.922	67.518		22	18	-169.261	-81.360
	15	9	146.409	61.137			5	12	-142.534	-67.473		24	12	173.516	83.671
	17	4	-148.396	-62.214		7	6	143.544	68.082		26	7	-171.210	-82.406	
	18	23	145.502	61.229		9	1	-143.090	-68.001		28	2	175.573	84.305	
	20	18	-147.366	-62.257		10	20	144.201	68.440	Juill.	29	20	-173.121	-83.438	
	22	12	144.715	61.385		12	15	-143.544	-68.250			1	15	177.640	85.413
	24	7	-146.560	-62.409		14	9	145.005	69.068		3	10	-175.137	-84.010	
	26	2	143.875	61.475		16	4	-144.290	-68.844		5	4	179.652	86.507	
Févr.	27	20	-145.698	-62.530		17	22	145.789	69.681		6	23	-177.239	-85.129	
	29	15	143.287	61.698		19	17	-144.937	-69.385		8	18	181.708	87.095	
	31	10	-144.969	-62.655		21	12	146.712	70.105		10	12	-179.303	-86.235	
	2	4	142.613	61.877		23	7	-145.740	-69.737		12	7	183.871	88.259	
	3	23	-144.281	-62.830		25	1	147.686	70.787		14	1	-181.318	-87.323	
	5	18	142.128	62.072		26	20	-146.588	-70.351		15	20	185.983	89.398	
	7	13	-143.627	-62.952		28	15	148.661	71.192		17	15	-183.444	-87.902	
	9	7	141.640	62.311		30	10	-147.429	-70.676		19	9	188.018	90.513	
	11	2	-143.114	-63.180	Mai	2	4	149.823	71.944		21	4	-185.592	-89.053	
	12	21	141.236	62.505			3	23	-148.486	-71.369		22	23	190.094	91.070
	14	16	-142.538	-63.297		5	17	150.879	72.639		24	17	-187.683	-90.181	
	16	10	140.933	62.803		7	12	-149.508	-72.040		26	12	192.213	92.226	
	18	5	-142.196	-63.578		9	7	152.190	73.150		28	6	-189.703	-91.282	
	20	0	140.615	62.997		11	2	-150.619	-72.434		30	1	194.268	93.348	
	21	18	-141.727	-63.794		12	20	153.449	73.923	Août	31	20	-191.664	-91.744	
	23	13	140.492	63.352		14	15	-151.853	-73.188			2	14	196.208	94.428
	25	8	-141.531	-64.023		16	10	154.782	74.402			4	9	-193.731	-92.864
	27	2	140.327	63.680		18	4	-153.023	-73.907			6	3	198.085	95.472
	28	21	-141.233	-64.291		19	23	156.240	75.254			7	22	-195.708	-93.946
	2	16	140.313	63.955		21	18	-154.426	-74.384			9	17	199.939	95.890
Mars	4	11	-141.114	-64.513		23	12	157.675	76.096		11	11	-197.571	-94.976	
	6	5	140.332	64.342		25	7	-155.819	-75.193		13	6	201.780	96.913	
	8	0	-140.987	-64.832		27	2	159.230	76.624		15	0	-199.332	-95.957	
	9	19	140.396	64.611		28	21	-157.196	-75.615		16	19	203.445	97.862	
	11	14	-140.947	-65.047		30	15	160.871	77.551		18	13	-200.947	-96.870	
	13	8	140.594	65.057	Juin	1	10	-158.812	-76.517		20	8	205.016	98.757	
	15	3	-140.996	-65.422			3	4	162.432	78.435		22	3	-202.465	-97.072
	16	22	140.735	65.320			4	23	-160.397	-77.404		23	21	206.384	99.561
	18	17	-141.033	-65.628			6	18	164.234	79.035		25	16	-203.951	-97.914

EUROPE 2010

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	27	10	207.642	100.300	Oct.	10	18	-206.888	-99.795	Nov.	24	3	184.994	89.165
	29	5	-205.305	-98.690		12	13	207.800	100.235		25	22	-184.371	-88.475
	31	0	208.729	100.298		14	7	-205.745	-99.293		27	17	182.699	87.729
Sept.	1	18	-206.455	-99.364	16	2	206.513	99.665	29	11	-182.391	-87.665		
	3	13	209.777	100.924	17	20	-204.481	-98.734	Déc.	1	6	180.546	86.835	
	5	7	-207.455	-99.959	19	15	204.981	98.981		3	0	-180.285	-86.796	
7	2	210.581	101.434	21	10	-203.097	-97.540	4		19	178.384	85.940		
	8	20	-208.230	-100.440	23	4	203.351	98.246	6	13	-178.182	-85.937		
	10	15	211.235	101.856	24	23	-201.674	-96.919	8	8	176.125	85.004		
	12	9	-208.840	-100.834	26	18	201.609	96.910	10	3	-176.177	-84.693		
	14	4	211.621	102.149	28	12	-200.046	-96.200	11	22	173.972	83.690		
	15	22	-209.215	-101.106	30	7	199.857	96.134	13	16	-174.244	-83.929		
	17	17	211.852	102.351	Nov.	1	1	-198.342	-95.452	15	11	171.909	82.859	
	19	11	-209.414	-101.285		2	20	197.914	95.275	17	5	-172.205	-83.111	
	21	6	211.806	102.417		4	14	-196.457	-94.620	19	0	169.838	82.023	
	23	1	-209.476	-100.733	6	9	195.911	94.389	20	19	-170.318	-81.956		
	24	19	211.613	102.397	8	3	-194.509	-93.765	22	14	167.740	80.759		
	26	14	-209.385	-100.763	9	22	193.736	93.430	24	8	-168.480	-81.240		
	28	9	211.136	101.600	11	17	-192.583	-92.423	26	3	165.881	80.029		
	30	3	-209.042	-100.664	13	12	191.579	91.986	27	21	-166.638	-80.525		
Oct.	1	22	210.641	101.427	15	6	-190.653	-91.602	29	16	163.952	79.264		
	3	16	-208.543	-100.484	17	1	189.442	91.067	31	11	-164.863	-79.432		
	5	11	209.871	101.121	18	19	-188.578	-90.716	Janv.	2	6	162.067	78.110	
	7	5	-207.787	-100.175	20	14	187.284	90.144		4	0	-163.226	-78.813	
	9	0	208.968	100.741	22	8	-186.486	-89.830						

GANYMÈDE 2010

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	6	242.753	98.503	Mai	7	1	-239.959	-114.748	Sept.	9	8	335.344	160.423	
	4	20	-240.216	-98.287		10	15	242.274	115.954		12	22	-335.472	-160.423	
	8	11	238.965	98.506		14	5	-243.887	-116.844		16	11	336.751	161.339	
	12	1	-236.642	-98.351		17	20	246.380	117.772		20	1	-336.224	-161.002	
	15	15	235.702	98.736		21	10	-248.278	-118.764		23	15	336.947	161.040	
	19	5	-233.502	-98.602		25	0	250.974	120.065		27	4	-335.685	-160.911	
	22	20	232.784	98.976		28	14	-253.061	-121.123		30	18	335.813	160.653	
	26	10	-230.875	-98.925	Juin	1	4	256.014	122.515	Oct.	4	8	-333.938	-159.630	
Févr.	30	0	230.344	99.424		4	18	-258.185	-123.593		7	21	333.352	159.598	
	2	14	-228.680	-99.440	8	8	261.414	125.086	11	11	-331.014	-158.347			
		6	5	228.303	99.871		11	22	-263.726	-126.211		15	1	329.745	157.425
		9	19	-226.962	-99.982		15	12	267.177	127.792		18	14	-326.968	-156.528
		13	9	226.750	100.544		19	2	-269.639	-128.965		22	4	325.240	155.390
	16	23	-225.612	-100.702		22	17	273.257	130.175		25	18	-321.927	-153.719	
	20	14	225.662	101.215		26	6	-275.918	-131.864		29	7	319.903	152.981	
	24	4	-224.716	-101.411		29	21	279.584	133.057	Nov.	1	21	-316.156	-151.131	
Mars	27	18	225.013	102.112	Juill.	3	10	-282.434	-134.850		5	11	313.906	149.805	
	3	9	-224.224	-102.187		7	0	286.183	136.521		9	1	-309.792	-147.816	
	6	23	224.810	102.974		10	14	-289.136	-137.912		12	14	307.401	146.946	
	10	13	-224.231	-103.236		14	4	292.945	139.588		16	4	-303.122	-144.900	
	14	3	224.981	104.059		17	18	-295.890	-140.978		19	18	300.634	143.557	
	17	18	-224.680	-104.226		21	8	299.787	142.683		23	8	-296.298	-141.519	
	21	8	225.596	105.079		24	22	-302.538	-143.984		26	22	293.664	140.153	
	24	22	-225.583	-105.502		28	12	306.464	145.689		30	12	-289.379	-138.170	
	28	12	226.608	106.362	Août	1	1	-309.019	-147.445	Déc.	4	2	286.732	136.834	
Avril	1	3	-226.909	-106.684			4	15	312.906		149.138		7	16	-282.537
	4	17	228.135	107.584		8	5	-315.295	-150.259		11	6	279.955	133.644	
	8	7	-228.642	-108.161		11	19	318.930	151.824		14	20	-275.852	-131.802	
	11	22	230.081	108.887		15	9	-321.034	-152.802		18	10	273.483	130.640	
	15	12	-230.770	-109.502		18	22	324.286	154.758		22	0	-269.408	-128.824	
	19	2	232.524	110.557		22	12	-326.150	-155.616		25	14	267.303	127.798	
	22	16	-233.374	-111.208		26	2	328.912	156.731		29	4	-263.344	-126.036	
	26	6	235.339	112.328		29	15	-330.346	-157.981	Janv.	1	18	261.481	125.136	
	29	21	-236.404	-112.760	Sept.	2	5	332.660	158.848						
Mai	3	11	238.623	113.956			5	19	-333.490	-159.200					

CALLISTO 2010

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.	2 9	424.408	170.633	Mai	8 22	-425.414	-200.887	Sept.	11 7	591.686	278.505
	10 19	-420.088	-172.214		17 8	433.590	204.428		19 14	-593.688	-280.498
	19 5	410.556	171.275	25 18	-443.140	-209.394	27 20	592.395	279.559		
Févr.	27 16	-408.030	-173.311	Juin	3 3	453.618	213.891	Oct.	6 4	-588.604	-278.151
	5 2	401.134	173.059		11 14	-464.960	-219.157		14 11	581.327	273.862
Mars	13 13	-400.225	-175.446	19 22	477.394	224.588	22 18	-572.435	-270.436		
	22 0	395.931	175.724	28 8	-490.019	-230.611	31 1	560.547	264.135		
	2 11	-396.849	-178.502	Juill.	6 16	504.103	236.655	Nov.	8 10	-548.548	-258.611
	10 21	394.972	179.429		15 2	-517.339	-242.905		16 17	534.023	251.417
	19 8	-397.611	-182.551		23 9	531.833	249.447		25 2	-520.596	-245.532
Avril	27 18	398.335	184.125	31 18	-544.846	-256.008	Déc.	3 10	505.721	238.180	
	5 5	-402.608	-187.552	Août	9 1	558.124		261.960	11 19	-492.312	-232.552
	13 15	405.802	189.738		17 10	-569.113		-267.578	20 4	478.464	225.620
	22 2	-411.943	-193.597	25 16	579.437	272.504		28 14	-466.340	-220.400	
	30 12	417.530	196.387	Sept.	3 0	-586.522	-276.643				

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 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date						
Mois	j	h	X	Y	Mois	j	h	X	Y	Mois	j	h	X	Y
Déc.	31	21	-27.451	-2.247	Janv.	22	2	28.086	2.629	Févr.	12	7	-29.082	-2.700
Janv.	1	9	27.084	2.025		22	14	-28.254	-2.160		12	19	29.153	2.489
	1	20	-27.651	-2.103		23	1	28.319	2.465		13	6	-29.035	-2.499
	2	7	26.951	2.309		23	12	-28.445	-2.496		13	17	29.382	2.841
	2	19	-27.547	-1.933		24	0	28.227	2.272		14	4	-29.009	-2.831
	3	6	27.214	2.166		24	11	-28.477	-2.313		14	16	29.405	2.647
	3	17	-27.663	-2.232		24	22	28.350	2.606		15	3	-29.163	-2.648
	4	5	27.163	1.997		25	9	-28.356	-2.625		15	14	29.318	2.970
	4	16	-27.745	-2.075		25	21	28.455	2.429		16	2	-28.977	-2.433
	5	3	27.225	2.300		26	8	-28.582	-2.459		16	13	29.537	2.794
	5	14	-27.559	-2.354		26	19	28.263	2.737		17	0	-29.167	-2.786
	6	2	27.368	2.144		27	7	-28.484	-2.263		17	12	29.422	2.587
	6	13	-27.829	-2.210		27	18	28.563	2.576		17	23	-29.183	-2.589
	7	1	27.196	1.962		28	5	-28.568	-2.596		18	10	29.550	2.929
	7	12	-27.791	-2.040		28	17	28.537	2.385		18	21	-29.047	-2.911
	7	23	27.454	2.284		29	4	-28.664	-2.415		19	9	29.631	2.740
	8	10	-27.798	-2.338		29	15	28.552	2.714		19	20	-29.265	-2.733
	8	22	27.477	2.115		30	2	-28.434	-2.722		20	7	29.443	3.051
	9	9	-27.948	-2.181		30	14	28.721	2.539		20	19	-29.141	-2.523
	9	20	27.421	2.417		31	1	-28.727	-2.558		21	6	29.719	2.881
	10	8	-27.788	-1.998	Févr.	31	13	28.563	2.335		21	17	-29.223	-2.865
	10	19	27.638	2.262		1	0	-28.690	-2.364		22	5	29.661	2.679
	11	6	-27.990	-2.316		1	11	28.787	2.683		22	16	-29.302	-2.673
	11	18	27.537	2.080		1	22	-28.668	-2.692		23	3	29.688	3.009
	12	5	-28.018	-2.146		2	10	28.824	2.495		23	14	-29.055	-2.984
	12	16	27.680	2.402		2	21	-28.829	-2.514		24	2	29.826	2.826
	13	3	-27.915	-2.444		3	8	28.733	2.816		24	13	-29.338	-2.812
	13	15	27.775	2.234		3	20	-28.659	-2.307		25	1	29.628	2.610
	14	2	-28.133	-2.288		4	7	28.966	2.646		25	12	-29.276	-2.607
	14	13	27.603	2.532		4	18	-28.847	-2.654		25	23	29.871	2.960
	15	1	-28.037	-2.104		5	6	28.869	2.444		26	10	-29.248	-2.937
	15	12	27.893	2.380		5	17	-28.874	-2.463		26	22	29.869	2.763
	15	23	-28.132	-2.422		6	4	28.988	2.785		27	9	-29.390	-2.752
	16	11	27.862	2.198		6	15	-28.743	-2.784		27	20	29.797	3.082
	16	22	-28.226	-2.252		7	3	29.087	2.601		28	8	-29.187	-2.534
	17	9	27.891	2.517		7	14	-28.969	-2.610		28	19	29.990	2.904
	17	20	-28.013	-2.547		8	1	28.891	2.913	Mars	1	6	-29.379	-2.884
	18	8	28.056	2.351		8	13	-28.860	-2.405		1	18	29.848	2.694
	18	19	-28.299	-2.393		9	0	29.186	2.747		2	5	-29.380	-2.685
	19	7	27.898	2.156		9	11	-28.942	-2.746		2	16	29.991	3.031
	19	18	-28.267	-2.209		9	23	29.150	2.548		3	3	-29.240	-3.002
	20	5	28.131	2.494		10	10	-29.032	-2.558		3	15	30.044	2.840
	20	16	-28.255	-2.525		10	21	29.166	2.881		4	2	-29.447	-2.823
	21	4	28.168	2.315		11	8	-28.792	-2.870		4	13	29.872	3.145
	21	15	-28.415	-2.357		11	20	29.326	2.701		5	1	-29.306	-2.611

MIMAS 2010

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	12	30.121	2.973	Mars	26	17	-29.388	-2.770	Avril	16	22	30.050	2.770
	5	23	-29.387	-2.948		27	4	30.376	3.090		17	9	-29.016	-2.788
	6	11	30.032	2.769		27	15	-29.221	-3.062		17	20	30.015	3.038
	6	22	-29.452	-2.756		28	3	30.364	2.902		18	8	-28.805	-2.586
	7	9	30.077	3.093		28	14	-29.414	-2.889		18	19	30.095	2.868
	7	20	-29.198	-3.059		29	1	30.224	3.182		19	6	-28.905	-2.878
	8	8	30.184	2.908		29	13	-29.254	-2.684		19	18	29.849	2.667
	8	19	-29.471	-2.888		30	0	30.406	3.013		20	5	-28.907	-2.696
	9	7	29.955	2.692		30	11	-29.308	-2.994		20	16	30.019	2.952
	9	18	-29.394	-2.683		30	23	30.255	2.813		21	3	-28.661	-2.953
10	5	30.216	3.034	31	10	-29.360	-2.809	21	15	29.966	2.769			
10	16	-29.362	-3.005	31	21	30.328	3.111	22	2	-28.874	-2.793			
11	4	30.182	2.836	Avril	1	8	-29.069	-3.083	22	13	29.822	3.022		
11	15	-29.493	-2.820		1	20	30.371	2.930	23	1	-28.743	-2.599		
12	2	30.127	3.146		2	7	-29.333	-2.920	23	12	29.962	2.859		
12	14	-29.273	-2.603		2	18	30.130	3.195	23	23	-28.707	-2.874		
13	1	30.289	2.968	3	6	-29.245	-2.723	24	11	29.780	2.665			
13	12	-29.462	-2.944	3	17	30.366	3.034	24	22	-28.788	-2.701			
14	0	30.114	2.758	4	4	-29.173	-3.015	25	9	29.838	2.935			
14	11	-29.450	-2.746	4	16	30.271	2.841	25	21	-28.526	-2.497			
14	22	30.275	3.085	5	3	-29.297	-2.839	26	8	29.848	2.760			
15	9	-29.301	-3.053	5	14	30.241	3.123	26	19	-28.699	-2.789			
15	21	30.295	2.895	6	2	-29.070	-2.631	27	6	29.593	2.998			
16	8	-29.498	-2.876	6	13	30.340	2.950	27	18	-28.649	-2.605			
16	19	30.142	3.189	7	0	-29.217	-2.941	28	5	29.795	2.842			
17	7	-29.344	-2.666	7	12	30.108	2.745	28	16	-28.476	-2.863			
17	18	30.356	3.018	7	23	-29.202	-2.753	29	4	29.677	2.655			
18	5	-29.417	-2.992	8	10	30.287	3.044	29	15	-28.638	-2.699			
18	17	30.235	2.815	8	21	-29.004	-3.027	30	2	29.622	2.911			
19	4	-29.472	-2.802	9	9	30.250	2.859	30	14	-28.459	-2.503			
19	15	30.297	3.127	9	20	-29.201	-2.861	Mai	1	1	29.696	2.742		
20	2	-29.205	-3.092	10	7	30.115	3.125		1	12	-28.492	-2.779		
20	14	30.371	2.944	10	19	-29.048	-2.661		2	0	29.452	2.545		
21	1	-29.470	-2.924	11	6	30.270	2.959		2	11	-28.525	-2.602		
21	12	30.118	3.222	11	17	-29.066	-2.954	2	22	29.594	2.817			
22	0	-29.383	-2.722	12	5	30.097	2.762	3	10	-28.219	-2.396			
22	11	30.385	3.059	12	16	-29.126	-2.775	3	21	29.542	2.637			
22	22	-29.337	-3.031	13	3	30.170	3.046	4	8	-28.456	-2.689			
23	10	30.318	2.863	13	15	-28.837	-2.564	4	19	29.371	2.880			
23	21	-29.460	-2.850	14	2	30.191	2.868	5	7	-28.362	-2.501			
24	8	30.280	3.159	14	13	-29.070	-2.874	5	18	29.511	2.718			
24	20	-29.231	-2.636	15	0	29.950	3.118	6	5	-28.255	-2.761			
25	7	30.408	2.984	15	12	-28.993	-2.683	6	17	29.334	2.527			
25	18	-29.407	-2.964	15	23	30.163	2.960	7	4	-28.370	-2.593			
26	6	30.201	2.776	16	10	-28.880	-2.958	7	15	29.359	2.786			

MIMAS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	8	3	-28.151	-2.395	Mai	29	7	28.125	2.514	Juin	19	13	-26.456	-1.721
	8	14	29.374	2.612		29	19	-27.462	-2.223		20	0	27.144	1.802
	9	1	-28.245	-2.672		30	6	28.311	2.352		20	11	-26.573	-2.006
	9	12	29.087	2.842		30	17	-27.164	-2.465		20	22	26.994	2.061
	10	0	-28.235	-2.492		31	5	28.195	2.164		21	10	-26.543	-1.815
	10	11	29.293	2.686	Juin	31	16	-27.385	-2.302		21	21	27.097	1.881
	10	22	-27.986	-2.738		1	3	28.097	2.412		22	8	-26.336	-2.078
	11	10	29.186	2.502		1	15	-27.290	-2.113		22	20	26.911	1.680
	11	21	-28.186	-2.577		2	2	28.171	2.239		23	7	-26.501	-1.900
	12	8	29.092	2.749		2	13	-27.178	-2.371		23	18	26.930	1.953
12	20	-28.053	-2.387	3	1	27.944	2.042	24	6	-26.369	-1.700			
13	7	29.176	2.581	3	12	-27.287	-2.198	24	17	26.931	1.764			
13	18	-28.003	-2.649	3	23	28.026	2.306	25	4	-26.333	-1.978			
14	6	28.949	2.387	4	11	-27.081	-1.998	25	16	26.645	1.556			
14	17	-28.079	-2.478	4	22	27.988	2.123	26	3	-26.396	-1.791			
15	4	29.045	2.650	5	9	-27.152	-2.272	26	14	26.830	1.842			
15	16	-27.827	-2.277	5	20	27.760	2.364	27	2	-26.164	-1.584			
16	3	29.009	2.471	6	8	-27.149	-2.089	27	13	26.731	1.645			
16	14	-27.972	-2.556	6	19	27.912	2.195	28	0	-26.296	-1.874			
17	1	28.794	2.707	7	6	-26.888	-2.337	28	11	26.609	1.914			
17	13	-27.928	-2.373	7	18	27.766	2.003	28	23	-26.258	-1.679			
18	0	28.949	2.545	8	5	-27.086	-2.169	29	10	26.697	1.729			
18	11	-27.732	-2.622	8	16	27.715	2.259	29	21	-26.071	-1.950			
18	23	28.794	2.356	9	4	-26.974	-1.976	30	9	26.499	1.524			
19	10	-27.895	-2.457	9	15	27.758	2.080	30	20	-26.226	-1.768			
19	21	28.767	2.608	10	2	-26.893	-2.240	Juill.	1	7	26.542	1.806		
20	9	-27.732	-2.264	10	14	27.506	1.879		1	19	-26.089	-1.565		
20	20	28.803	2.435	11	1	-26.982	-2.062		2	6	26.531	1.613		
21	7	-27.730	-2.529	11	12	27.629	2.150		2	17	-26.068	-1.850		
21	19	28.533	2.236	12	0	-26.763	-1.860		3	4	26.267	1.877		
22	6	-27.774	-2.354	12	11	27.566	1.962	3	16	-26.124	-1.659			
22	17	28.692	2.504	12	22	-26.859	-2.139	4	3	26.442	1.696			
23	5	-27.495	-2.150	13	9	27.380	2.212	4	15	-25.890	-1.449			
23	16	28.612	2.321	13	21	-26.841	-1.952	5	2	26.332	1.494			
24	3	-27.683	-2.432	14	8	27.505	2.037	5	13	-26.033	-1.747			
24	14	28.460	2.562	14	19	-26.609	-2.207	6	0	26.232	1.773			
25	2	-27.611	-2.246	15	7	27.336	1.841	6	12	-25.991	-1.548			
25	13	28.570	2.395	15	18	-26.789	-2.034	6	23	26.309	1.583			
26	0	-27.460	-2.499	16	5	27.323	2.105	7	10	-25.818	-1.828			
26	12	28.377	2.202	16	17	-26.665	-1.838	7	22	26.104	1.375			
26	23	-27.593	-2.330	17	4	27.342	1.921	8	9	-25.966	-1.641			
27	10	28.408	2.459	17	15	-26.609	-2.108	8	20	26.166	1.666			
27	22	-27.406	-2.134	18	3	27.071	1.716	9	8	-25.827	-1.435			
28	9	28.404	2.281	18	14	-26.683	-1.926	9	19	26.146	1.468			
28	20	-27.444	-2.403	19	1	27.228	1.995	10	6	-25.818	-1.727			

MIMAS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	10	17	25.902	1.744	Juill.	31	23	-25.171	-1.089	Août	22	4	24.293	0.721
	11	5	-25.869	-1.533	Août	1	10	25.130	1.098		22	15	-24.851	-1.062
	11	16	26.068	1.557		1	21	-25.180	-1.407		23	2	24.375	1.075
	12	4	-25.635	-1.320		2	8	24.913	1.407		23	14	-24.732	-0.839
	12	15	25.953	1.352		2	20	-25.229	-1.201		24	1	24.375	0.854
	13	2	-25.786	-1.625		3	7	25.076	1.206		24	12	-24.748	-1.186
	13	13	25.869	1.640		3	19	-25.007	-0.982		24	23	24.153	1.199
	14	1	-25.742	-1.423		4	6	24.965	0.991		25	11	-24.804	-0.969
	14	12	25.940	1.446		4	17	-25.168	-1.310		25	22	24.337	0.985
	14	23	-25.581	-1.711		5	4	24.901	1.312		26	10	-24.599	-0.741
	15	11	25.731	1.234		5	16	-25.128	-1.098		26	21	24.251	0.758
	15	22	-25.724	-1.520		6	3	24.974	1.104		27	8	-24.762	-1.097
	16	9	25.806	1.535		6	14	-24.989	-1.414		27	19	24.178	1.114
	16	21	-25.586	-1.311		7	2	24.774	0.884		28	7	-24.732	-0.875
	17	8	25.782	1.333		7	13	-25.129	-1.211		28	18	24.275	0.894
	17	19	-25.585	-1.612		8	0	24.863	1.215		29	5	-24.606	-1.223
	18	6	25.552	1.619		8	12	-25.000	-0.994		29	17	24.103	0.663
	18	18	-25.634	-1.413		8	23	24.847	1.001		30	4	-24.751	-1.008
	19	5	25.713	1.428		9	10	-25.012	-1.321		30	15	24.178	1.029
	19	17	-25.403	-1.198		9	21	24.631	1.322		31	3	-24.636	-0.781
	20	4	25.596	1.219		10	9	-25.062	-1.111		31	14	24.189	0.804
	20	15	-25.559	-1.510		10	20	24.799	1.117	Sept.	1	1	-24.655	-1.139
	21	2	25.524	1.518		11	8	-24.846	-0.889		1	12	23.961	1.162
	21	14	-25.514	-1.305		11	19	24.694	0.898		2	0	-24.714	-0.918
	22	1	25.592	1.319		12	6	-25.007	-1.226		2	11	24.155	0.943
	22	12	-25.363	-1.602		12	17	24.630	1.230		2	23	-24.514	-0.686
	23	0	25.383	1.104		13	5	-24.970	-1.011		3	10	24.079	0.712
	23	11	-25.504	-1.407		13	16	24.709	1.019		3	21	-24.678	-1.053
	23	22	25.467	1.415		14	3	-24.836	-1.337		4	8	24.000	1.081
	24	10	-25.367	-1.195		14	15	24.517	0.795		4	20	-24.652	-0.827
	24	21	25.443	1.209		15	2	-24.977	-1.130		5	7	24.108	0.857
	25	8	-25.372	-1.504		15	13	24.603	1.137		5	18	-24.530	-1.187
	25	19	25.221	1.507		16	1	-24.853	-0.910		6	6	23.947	0.621
	26	7	-25.420	-1.302		16	12	24.595	0.920		6	17	-24.677	-0.967
	26	18	25.382	1.310		16	23	-24.867	-1.247		7	4	24.015	1.000
	27	6	-25.193	-1.085		17	10	24.377	1.253		7	16	-24.566	-0.736
	27	17	25.267	1.098		17	22	-24.921	-1.034		8	3	24.037	0.770
	28	4	-25.352	-1.405		18	9	24.552	1.043		8	14	-24.588	-1.105
	28	15	25.200	1.408		18	21	-24.710	-0.809		9	1	23.802	1.142
	29	3	-25.309	-1.196		19	8	24.455	0.820		9	13	-24.650	-0.880
	29	14	25.269	1.205		19	19	-24.872	-1.155		10	0	24.007	0.918
	30	1	-25.165	-1.503		20	6	24.388	1.164		10	12	-24.455	-0.644
	30	13	25.064	0.987		20	18	-24.839	-0.937		10	23	23.944	0.682
	31	0	-25.304	-1.304		21	5	24.475	0.948		11	10	-24.621	-1.023
	31	11	25.152	1.308		21	16	-24.709	-1.273		11	21	23.856	1.065

MIMAS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	15	0	24.306	1.073	Déc.	1	1	24.583	0.861	Déc.	17	1	25.444	1.645
	15	11	-25.216	-1.339		1	12	-25.646	-1.111		17	12	-26.117	-1.817
	15	23	24.134	0.744		1	23	24.819	1.483		18	0	25.422	1.251
	16	10	-25.252	-1.029		2	10	-25.572	-1.696		18	11	-26.250	-1.440
	16	21	24.333	1.311		2	22	24.825	1.127		18	22	25.414	1.923
	17	8	-25.114	-1.559		3	9	-25.750	-1.358		19	10	-26.104	-1.043
	17	20	24.347	0.988		3	20	24.753	1.741		19	21	25.583	1.538
	18	7	-25.321	-1.255		4	8	-25.657	-1.002		20	8	-26.287	-1.708
	18	18	24.239	1.548		4	19	24.947	1.393		20	20	25.457	1.131
	19	6	-25.264	-0.934		5	6	-25.745	-1.605		21	7	-26.317	-1.317
	19	17	24.439	1.232		5	18	24.854	1.024		21	18	25.624	1.823
	20	4	-25.280	-1.481		6	5	-25.826	-1.255		22	5	-26.213	-1.974
	20	16	24.359	0.898		6	16	24.950	1.657		22	17	25.688	1.423
	21	3	-25.395	-1.166		7	4	-25.635	-0.887		23	4	-26.421	-1.591
	21	14	24.412	1.475		7	15	25.045	1.296		23	15	25.546	2.104
	22	2	-25.245	-0.835		8	2	-25.885	-1.508		24	3	-26.346	-1.187
	22	13	24.519	1.148		8	14	24.851	0.915		24	14	25.800	1.714
	23	0	-25.418	-1.397		9	1	-25.868	-1.145		25	1	-26.414	-1.864
	23	12	24.343	0.803		9	12	25.116	1.566		25	13	25.757	1.301
	23	23	-25.439	-1.071		9	23	-25.835	-1.759		26	0	-26.518	-1.466
	24	10	24.558	1.397		10	11	25.111	1.192		26	11	25.793	2.002
	24	21	-25.331	-1.628		10	22	-25.993	-1.403		26	23	-26.336	-1.048
	25	9	24.570	1.058		11	9	25.067	1.835		27	10	25.940	1.597
	25	20	-25.525	-1.308		11	21	-25.875	-1.027		27	21	-26.578	-1.745
	26	7	24.477	1.644		12	8	25.251	1.469		28	9	25.789	1.170
	26	19	-25.452	-0.970		12	19	-26.008	-1.661		28	20	-26.575	-1.333
	27	6	24.676	1.313		13	7	25.144	1.081		29	7	26.004	1.892
	27	17	-25.501	-1.545		13	18	-26.066	-1.291		29	18	-26.527	-2.022
	28	5	24.591	0.962		14	5	25.271	1.743		30	6	26.044	1.472
	28	16	-25.601	-1.213		14	16	-25.912	-1.917		30	17	-26.704	-1.617
	29	3	24.662	1.566		15	4	25.353	1.364		31	4	25.949	2.182
	29	15	-25.433	-0.864		15	15	-26.147	-1.554		31	16	-26.593	-1.191
	30	2	24.765	1.223		16	2	25.172	2.015					
	30	13	-25.641	-1.455		16	14	-26.103	-1.171					

ENCELADE 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	31	17	-34.829	-2.510	Janv.	31	13	37.112	2.568	Mars	3	9	-38.096	-2.592
Janv.	1	10	35.315	2.218	Févr.	1	6	-36.779	-2.235		4	1	38.325	2.802
	2	2	-34.968	-2.452		1	22	37.217	2.507		4	18	-38.121	-2.539
	2	19	35.370	2.153		2	15	-36.794	-2.169		5	10	38.420	2.752
	3	11	-35.089	-2.392		3	7	37.303	2.445		6	3	-38.122	-2.486
	4	4	35.409	2.087		3	23	-36.840	-2.683		6	19	38.491	2.702
	4	20	-35.193	-2.330		4	16	37.366	2.383		7	12	-38.099	-2.432
	5	13	35.429	2.019		5	8	-36.978	-2.625		8	4	38.539	2.652
	6	5	-35.279	-2.267		6	1	37.411	2.320		8	21	-38.049	-2.379
	6	21	35.573	2.539		6	17	-37.094	-2.566		9	13	38.562	2.601
	7	14	-35.349	-2.203		7	10	37.432	2.256		10	5	-38.131	-2.799
	8	6	35.708	2.479		8	2	-37.190	-2.505		10	22	38.561	2.551
	8	23	-35.400	-2.137		8	19	37.432	2.192		11	14	-38.209	-2.751
	9	15	35.827	2.418		9	11	-37.263	-2.444		12	7	38.535	2.500
	10	8	-35.433	-2.070		10	3	37.541	2.694		12	23	-38.266	-2.704
	11	0	35.927	2.356		10	20	-37.315	-2.383		13	16	38.486	2.450
	11	16	-35.467	-2.592		11	12	37.663	2.637		14	8	-38.296	-2.656
	12	9	36.012	2.293		12	5	-37.344	-2.321		15	0	38.502	2.843
	13	1	-35.616	-2.533		12	21	37.763	2.578		15	17	-38.303	-2.608
	13	18	36.076	2.227		13	14	-37.351	-2.258		16	9	38.577	2.797
	14	10	-35.749	-2.472		14	6	37.840	2.519		17	2	-38.285	-2.560
	15	3	36.122	2.161		14	22	-37.352	-2.748		17	18	38.628	2.752
	15	19	-35.862	-2.410		15	15	37.895	2.460		18	11	-38.244	-2.512
	16	12	36.149	2.093		16	7	-37.485	-2.692		19	3	38.654	2.707
	17	4	-35.960	-2.347		17	0	37.926	2.400		19	20	-38.177	-2.464
	17	20	36.219	2.615		17	16	-37.595	-2.635		20	12	38.658	2.662
	18	13	-36.037	-2.283		18	9	37.937	2.340		21	4	-38.226	-2.837
	19	5	36.364	2.555		19	1	-37.682	-2.578		21	21	38.636	2.616
	19	22	-36.094	-2.217		19	18	37.923	2.279		22	13	-38.286	-2.795
	20	14	36.489	2.495		20	10	-37.745	-2.521		23	6	38.593	2.571
	21	7	-36.131	-2.150		21	2	37.998	2.753		23	22	-38.320	-2.752
	21	23	36.596	2.432		21	19	-37.784	-2.463		24	15	38.523	2.526
	22	16	-36.149	-2.083		22	11	38.109	2.698		25	7	-38.332	-2.709
	23	8	36.683	2.369		23	4	-37.801	-2.405		25	23	38.509	2.872
	24	0	-36.251	-2.611		23	20	38.196	2.644		26	16	-38.319	-2.667
	24	17	36.751	2.305		24	13	-37.794	-2.347		27	8	38.564	2.832
	25	9	-36.389	-2.551		25	5	38.261	2.588		28	1	-38.284	-2.624
	26	2	36.798	2.239		25	22	-37.765	-2.289		28	17	38.594	2.792
	26	18	-36.507	-2.490		26	14	38.302	2.533		29	10	-38.224	-2.581
	27	11	36.827	2.173		27	6	-37.878	-2.750		30	2	38.602	2.752
	28	3	-36.605	-2.427		27	23	38.319	2.478		30	19	-38.140	-2.538
	28	19	36.839	2.687		28	15	-37.974	-2.698		31	11	38.585	2.712
	29	12	-36.683	-2.364	Mars	1	8	38.313	2.422	Avril	1	3	-38.151	-2.863
	30	4	36.986	2.628		2	0	-38.046	-2.645		1	20	38.545	2.671
	30	21	-36.740	-2.300		2	17	38.282	2.366		2	12	-38.192	-2.826

ENCELADE 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	3	5	38.480	2.631	Mai	4	1	-37.033	-2.632	Juin	3	20	35.498	2.734
	3	21	-38.210	-2.788		4	17	37.387	2.745		4	13	-35.386	-2.632
	4	14	38.394	2.591		5	9	-37.003	-2.838		5	5	35.463	2.709
	5	6	-38.205	-2.751		6	2	37.294	2.715		5	22	-35.281	-2.601
	5	22	38.342	2.889		6	18	-36.991	-2.812		6	14	35.411	2.683
	6	15	-38.175	-2.713		7	11	37.184	2.684		7	7	-35.159	-2.569
	7	7	38.380	2.854		8	3	-36.956	-2.785		7	23	35.344	2.655
	8	0	-38.120	-2.675		8	20	37.053	2.652		8	16	-35.023	-2.535
	8	16	38.394	2.819		9	12	-36.904	-2.758		9	8	35.262	2.625
	9	9	-38.045	-2.637		10	4	36.953	2.842		10	0	-34.923	-2.709
	10	1	38.384	2.784		10	21	-36.830	-2.729		10	17	35.164	2.594
	10	18	-37.945	-2.598		11	13	36.940	2.817		11	9	-34.897	-2.684
	11	10	38.350	2.748		12	6	-36.740	-2.700		12	2	35.049	2.562
	12	2	-37.911	-2.876		12	22	36.905	2.791		12	18	-34.856	-2.658
	12	19	38.293	2.713		13	15	-36.629	-2.669		13	11	34.922	2.528
	13	11	-37.937	-2.844		14	7	36.854	2.764		14	3	-34.799	-2.630
	14	4	38.214	2.677		15	0	-36.499	-2.638		14	20	34.779	2.492
	14	20	-37.939	-2.811		15	16	36.782	2.736		15	12	-34.726	-2.600
	15	13	38.113	2.640		16	8	-36.378	-2.817		16	4	34.719	2.674
	16	5	-37.919	-2.778		17	1	36.695	2.708		16	21	-34.638	-2.569
	16	21	38.014	2.893		17	17	-36.364	-2.793		17	13	34.686	2.647
	17	14	-37.876	-2.744		18	10	36.587	2.678		18	6	-34.537	-2.536
	18	6	38.035	2.863		19	2	-36.333	-2.768		18	22	34.637	2.619
	18	23	-37.811	-2.710		19	19	36.462	2.647		19	15	-34.421	-2.501
	19	15	38.034	2.832		20	11	-36.283	-2.742		20	7	34.573	2.589
	20	8	-37.723	-2.676		21	4	36.318	2.615		21	0	-34.293	-2.465
	21	0	38.010	2.801		21	20	-36.215	-2.715		21	16	34.495	2.557
	21	17	-37.614	-2.641		22	12	36.255	2.791		22	8	-34.170	-2.652
	22	9	37.967	2.770		23	5	-36.129	-2.686		23	1	34.403	2.524
	23	1	-37.517	-2.876		23	21	36.227	2.767		23	17	-34.148	-2.626
	23	18	37.900	2.737		24	14	-36.027	-2.657		24	10	34.298	2.489
24	10	-37.532	-2.848	25	6	36.181	2.741	25	2	-34.112	-2.597			
25	3	37.811	2.705	25	23	-35.906	-2.626	25	19	34.179	2.452			
25	19	-37.523	-2.819	26	15	36.117	2.714	26	11	-34.062	-2.567			
26	12	37.701	2.671	27	8	-35.771	-2.594	27	4	34.046	2.414			
27	4	-37.495	-2.789	28	0	36.035	2.686	27	20	-33.997	-2.535			
27	21	37.569	2.638	28	16	-35.671	-2.765	28	12	33.954	2.613			
28	13	-37.444	-2.759	29	9	35.938	2.657	29	5	-33.919	-2.501			
29	5	37.551	2.859	30	1	-35.648	-2.741	29	21	33.926	2.584			
29	22	-37.373	-2.728	30	18	35.823	2.626	30	14	-33.828	-2.466			
30	14	37.540	2.831	31	10	-35.608	-2.716	Juill.	1	6	33.887	2.554		
Mai	1	7	-37.280	-2.697	Juin	1	3		35.695	2.594	1	23	-33.722	-2.428
	1	23	37.510	2.803		1	19		-35.549	-2.689	2	15	33.834	2.521
	2	16	-37.166	-2.665		2	12		35.549	2.561	3	8	-33.606	-2.389
	3	8	37.458	2.774		3	4		-35.476	-2.662	4	0	33.767	2.487

ENCELADE 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	4	17	-33.475	-2.348	Août	4	13	32.149	2.124	Sept.	4	9	-31.265	-2.030
	5	9	33.686	2.451		5	5	-32.113	-2.321		5	1	31.208	2.205
	6	1	-33.430	-2.570		5	22	32.046	2.071		5	18	-31.228	-1.967
	6	18	33.592	2.413		6	14	-32.074	-2.275		6	10	31.216	2.147
	7	10	-33.404	-2.539		7	6	31.988	2.398		7	3	-31.181	-1.902
	8	3	33.487	2.373		7	23	-32.023	-2.227		7	19	31.214	2.087
	8	19	-33.365	-2.506		8	15	31.983	2.356		8	12	-31.124	-1.835
	9	12	33.369	2.331		9	8	-31.961	-2.177		9	4	31.203	2.025
	10	4	-33.313	-2.471		10	0	31.969	2.311		9	21	-31.055	-1.766
	10	21	33.240	2.287		10	17	-31.888	-2.125		10	13	31.180	1.960
	11	13	-33.248	-2.434		11	9	31.943	2.264		11	5	-31.046	-2.255
	12	5	33.213	2.526		12	2	-31.806	-2.071		11	22	31.148	1.894
	12	22	-33.172	-2.395		12	18	31.907	2.215		12	14	-31.072	-2.196
	13	14	33.186	2.492		13	11	-31.713	-2.015		13	7	31.106	1.825
14	7	-33.082	-2.355	14	3	31.859	2.164	13	23	-31.090	-2.135			
14	23	33.145	2.457	14	19	-31.671	-2.376	14	16	31.052	1.755			
15	16	-32.981	-2.312	15	12	31.801	2.111	15	8	-31.097	-2.071			
16	8	33.093	2.419	16	4	-31.674	-2.330	16	1	30.990	1.682			
17	1	-32.867	-2.268	16	21	31.733	2.055	16	17	-31.094	-2.006			
17	17	33.029	2.380	17	13	-31.666	-2.282	17	9	30.984	2.201			
18	9	-32.761	-2.521	18	6	31.654	1.998	18	2	-31.080	-1.938			
19	2	32.953	2.338	18	22	-31.648	-2.232	18	18	31.015	2.138			
19	18	-32.749	-2.487	19	15	31.564	1.938	19	11	-31.057	-1.869			
20	11	32.864	2.295	20	7	-31.620	-2.181	20	3	31.036	2.073			
21	3	-32.726	-2.451	20	23	31.527	2.326	20	20	-31.024	-1.797			
21	20	32.763	2.250	21	16	-31.581	-2.126	21	12	31.048	2.006			
22	12	-32.691	-2.413	22	8	31.534	2.277	22	5	-30.981	-1.722			
23	5	32.652	2.203	23	1	-31.531	-2.070	22	21	31.048	1.937			
23	21	-32.643	-2.372	23	17	31.529	2.226	23	14	-30.927	-1.646			
24	13	32.560	2.476	24	10	-31.471	-2.012	24	6	31.041	1.866			
25	6	-32.583	-2.330	25	2	31.515	2.173	24	22	-30.930	-2.203			
25	22	32.549	2.439	25	19	-31.399	-1.951	25	15	31.022	1.792			
26	15	-32.512	-2.286	26	11	31.490	2.117	26	7	-30.971	-2.137			
27	7	32.526	2.400	27	4	-31.319	-1.889	27	0	30.993	1.716			
28	0	-32.430	-2.240	27	20	31.455	2.060	27	16	-31.000	-2.069			
28	16	32.491	2.359	28	12	-31.295	-2.312	28	9	30.953	1.638			
29	9	-32.337	-2.192	29	5	31.409	2.000	29	1	-31.022	-1.998			
30	1	32.445	2.316	29	21	-31.310	-2.260	29	18	30.903	1.558			
30	18	-32.232	-2.142	30	14	31.353	1.939	30	10	-31.032	-1.925			
31	10	32.388	2.271	31	6	-31.314	-2.206	Oct.	1	2	30.914	2.146		
Août	1	2	-32.164	-2.446	Sept.	31	23	31.287	1.875	1	19	-31.032	-1.850	
	1	19	32.319	2.224		1	15	-31.307	-2.149	2	11	30.958	2.076	
	2	11	-32.158	-2.406		2	8	31.211	1.809	3	4	-31.021	-1.773	
	3	4	32.239	2.175		3	0	-31.290	-2.091	3	20	30.993	2.004	
	3	20	-32.140	-2.364		3	16	31.191	2.260	4	13	-31.001	-1.694	

ENCELADE 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	5	5	31.017	1.929	Nov.	3	16	-31.336	-2.144	Déc.	3	4	32.382	1.251
	5	22	-30.971	-1.612		4	9	31.438	1.585		3	20	-32.541	-1.810
	6	14	31.032	1.852		5	1	-31.425	-2.056		4	13	32.396	1.133
	7	7	-30.930	-1.528		5	18	31.454	1.487		5	5	-32.621	-1.698
	7	23	31.036	1.773		6	10	-31.502	-1.965		5	21	32.428	2.046
	8	15	-30.954	-2.155		7	3	31.459	1.387		6	14	-32.687	-1.585
	9	8	31.031	1.692		7	19	-31.569	-1.872		7	6	32.545	1.937
	10	0	-31.007	-2.081		8	12	31.453	1.286		7	23	-32.743	-1.469
	10	17	31.015	1.608		9	4	-31.625	-1.776		8	15	32.648	1.826
	11	9	-31.050	-2.005		9	20	31.457	2.075		9	8	-32.784	-1.351
	12	2	30.988	1.523		10	13	-31.670	-1.679		10	0	32.739	1.712
	12	18	-31.083	-1.927		11	5	31.548	1.982		10	17	-32.813	-1.231
	13	11	30.951	1.435		11	22	-31.703	-1.578		11	9	32.818	1.596
	14	3	-31.107	-1.846		12	14	31.628	1.887		12	2	-32.828	-1.108
	14	19	30.983	2.094		13	7	-31.726	-1.477		12	18	32.883	1.478
	15	12	-31.120	-1.763		13	23	31.696	1.789		13	10	-32.920	-2.053
	16	4	31.041	2.016		14	16	-31.737	-1.372		14	3	32.934	1.357
	16	21	-31.123	-1.678		15	8	31.754	1.689		14	19	-33.039	-1.939
	17	13	31.088	1.936		16	1	-31.736	-1.266		15	12	32.973	1.234
	18	6	-31.115	-1.590		16	17	31.801	1.587		16	4	-33.144	-1.823
	18	22	31.126	1.853		17	9	-31.775	-2.092		16	21	32.997	1.110
	19	15	-31.095	-1.501		18	2	31.837	1.483		17	13	-33.237	-1.705
	20	7	31.153	1.768		18	18	-31.871	-1.995		18	5	33.016	2.073
	21	0	-31.067	-1.409		19	11	31.861	1.375		18	22	-33.314	-1.584
	21	16	31.170	1.681		20	3	-31.958	-1.895		19	14	33.146	1.957
	22	8	-31.118	-2.108		20	20	31.872	1.267		20	7	-33.380	-1.461
	23	1	31.176	1.591		21	12	-32.032	-1.793		20	23	33.263	1.838
	23	17	-31.185	-2.025		22	5	31.872	1.155		21	16	-33.430	-1.336
	24	10	31.172	1.500		22	21	-32.096	-1.688		22	8	33.365	1.717
	25	2	-31.240	-1.941		23	13	31.936	2.015		23	1	-33.469	-1.210
	25	19	31.156	1.406		24	6	-32.148	-1.581		23	17	33.453	1.595
26	11	-31.285	-1.854	24	22	32.036	1.912	24	10	-33.491	-1.081			
27	4	31.130	1.310	25	15	-32.188	-1.472	25	2	33.528	1.470			
27	20	-31.319	-1.765	26	7	32.123	1.808	25	18	-33.583	-2.071			
28	12	31.196	2.041	27	0	-32.215	-1.361	26	11	33.588	1.343			
29	5	-31.345	-1.674	27	16	32.199	1.701	27	3	-33.712	-1.950			
29	21	31.264	1.955	28	9	-32.231	-1.249	27	20	33.634	1.214			
30	14	-31.359	-1.581	29	1	32.262	1.592	28	12	-33.827	-1.828			
31	6	31.324	1.866	29	18	-32.234	-1.133	29	5	33.664	1.083			
31	23	-31.362	-1.485	30	10	32.315	1.480	29	21	-33.928	-1.703			
Nov.	1	15	31.372	1.775	Déc.	1	2	-32.346	-2.026	30	13	33.685	2.090	
	2	8	-31.353	-1.387		1	19	32.353	1.366	31	6	-34.013	-1.575	
	3	0	31.411	1.681		2	11	-32.450	-1.919	31	22	33.824	1.966	

TÉTHYS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	31	7	-43.396	-1.866	Févr.	11	18	46.538	2.166	Mars	26	5	-47.679	-2.440
Janv.	1	5	43.533	2.238		12	17	-46.472	-1.976		27	4	47.618	2.312
	2	4	-43.603	-2.043		13	15	46.639	2.332		28	2	-47.645	-2.553
	3	3	43.634	1.848		14	14	-46.664	-2.148		29	1	47.674	2.431
	4	1	-43.729	-2.217		15	12	46.658	2.491		29	23	-47.527	-2.657
	5	0	43.849	2.026		16	11	-46.774	-2.313		30	22	47.647	2.541
	5	23	-43.807	-1.825		17	10	46.833	2.136	Avril	31	21	-47.594	-2.422
	6	21	43.983	2.202		18	8	-46.799	-2.471		1	19	47.534	2.643
	7	20	-44.036	-2.005		19	7	46.952	2.300		2	18	-47.576	-2.529
	8	18	44.042	2.375		20	6	-46.923	-2.120		3	17	47.550	2.414
	9	17	-44.184	-2.182		21	4	46.989	2.456		4	15	-47.474	-2.628
	10	16	44.274	1.987		22	3	-47.052	-2.282		5	14	47.539	2.519
	11	14	-44.255	-2.356		23	2	47.067	2.110		6	13	-47.439	-2.405
	12	13	44.430	2.166		24	0	-47.100	-2.437		7	11	47.445	2.615
	13	12	-44.459	-1.966		24	23	47.205	2.270		8	10	-47.436	-2.507
	14	10	44.510	2.340		25	22	-47.128	-2.097		9	9	47.363	2.400
	15	9	-44.629	-2.145		26	20	47.261	2.422		10	7	-47.350	-2.601
	16	8	44.688	1.950		27	19	-47.274	-2.255		11	6	47.367	2.499
	17	6	-44.719	-2.320		28	18	47.240	2.087		12	5	-47.217	-2.391
	18	5	44.870	2.130	Mars	1	16	-47.342	-2.406		13	3	47.292	2.589
	19	4	-44.864	-1.928		2	15	47.393	2.244		14	2	-47.227	-2.488
	20	2	44.970	2.305		3	13	-47.326	-2.548		15	0	47.131	2.671
	21	1	-45.054	-2.108		4	12	47.467	2.392		15	23	-47.158	-2.576
	22	0	45.088	1.913		5	11	-47.437	-2.232		16	22	47.138	2.480
	22	22	-45.165	-2.284		6	9	47.457	2.532		17	20	-47.004	-2.654
	23	21	45.292	2.093		7	8	-47.522	-2.378		18	19	47.075	2.565
	24	20	-45.245	-1.892		8	7	47.518	2.223		19	18	-46.967	-2.470
	25	18	45.413	2.269		9	5	-47.521	-2.516		20	16	46.927	2.642
	26	17	-45.458	-2.072		10	4	47.609	2.367		21	15	-46.914	-2.553
	27	16	45.462	1.877		11	3	-47.529	-2.212		22	14	46.847	2.462
	28	14	-45.590	-2.248		12	1	47.616	2.502		23	12	-46.775	-2.627
	29	13	45.682	2.057		13	0	-47.628	-2.353		24	11	46.801	2.542
	30	11	-45.643	-2.419		13	23	47.578	2.206		25	10	-46.655	-2.452
	31	10	45.822	2.232		14	21	-47.643	-2.486		26	8	46.668	2.614
Févr.	1	9	-45.836	-2.038		15	20	47.685	2.345		27	7	-46.617	-2.530
	2	7	45.884	2.402		16	18	-47.578	-2.610		28	6	46.507	2.443
	3	6	-45.987	-2.213		17	17	47.708	2.475		29	4	-46.496	-2.599
	4	5	46.041	2.023		18	16	-47.664	-2.333		30	3	46.477	2.519
	5	3	-46.061	-2.383		19	14	47.651	2.596	Mai	1	2	-46.297	-2.432
	6	2	46.200	2.198		20	13	-47.695	-2.461		2	0	46.361	2.587
	7	1	-46.177	-2.006		21	12	47.690	2.327		2	23	-46.276	-2.506
	7	23	46.281	2.366		22	10	-47.645	-2.580		3	21	46.165	2.646
	8	22	-46.350	-2.180		23	9	47.731	2.452		4	20	-46.172	-2.572
	9	21	46.356	1.992		24	8	-47.627	-2.317		5	19	46.111	2.495
	10	19	-46.443	-2.347		25	6	47.687	2.567		6	17	-45.983	-2.630

TÉTHYS 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	7	16	46.018	2.559	Juin	19	4	-42.759	-2.290	Juill.	31	15	40.051	2.201	
	8	15	-45.891	-2.481		20	2	42.782	2.413		Août	1	14	-40.024	-2.099
	9	13	45.839	2.616		21	1	-42.698	-2.343	2		13	39.957	1.992	
	10	12	-45.803	-2.544		22	0	42.559	2.267	3		11	-39.887	-2.183	
	11	11	45.718	2.470		22	22	-42.554	-2.393	4		10	39.905	2.079	
	12	9	-45.632	-2.599		23	21	42.505	2.322	5		9	-39.793	-1.967	
	13	8	45.638	2.531		24	19	-42.330	-2.440	6		7	39.772	2.166	
	14	7	-45.477	-2.455		25	18	42.369	2.373	7		6	-39.745	-2.059	
	15	5	45.475	2.584		26	17	-42.276	-2.299	8		5	39.681	1.943	
	16	4	-45.407	-2.514		27	15	42.151	2.422	9		3	-39.617	-2.149	
	17	3	45.294	2.442		28	14	-42.147	-2.352	10		2	39.638	2.038	
	18	1	-45.251	-2.567		29	13	42.086	2.277	11		1	-39.529	-1.920	
	19	0	45.230	2.500		30	11	-41.936	-2.403	11		23	39.514	2.132	
	19	23	-45.043	-2.426		Juill.	1	10	41.967	2.332		12	22	-39.495	-2.018
	20	21	45.080	2.552			2	9	-41.862	-2.254		13	21	39.427	1.896
	21	20	-44.989	-2.483		3	7	41.763	2.385	14		19	-39.377	-2.117	
22	18	44.851	2.598	4	6	-41.747	-2.311	15	18	39.394		1.998			
23	17	-44.851	-2.535	5	5	41.686	2.232	16	17	-39.295	-1.874				
24	16	44.798	2.468	6	3	-41.550	-2.365	17	15	39.280	2.100				
25	14	-44.632	-2.580	7	2	41.578	2.290	18	14	-39.267	-1.979				
26	13	44.665	2.518	8	1	-41.465	-2.208	19	13	39.203	1.850				
27	12	-44.555	-2.450	8	23	41.387	2.347	20	11	-39.158	-2.085				
28	10	44.453	2.563	9	22	-41.364	-2.269	21	10	39.180	1.959				
29	9	-44.433	-2.500	10	21	41.300	2.184	22	9	-39.086	-1.828				
30	8	44.353	2.433	11	19	-41.179	-2.328	23	7	39.074	2.070				
31	6	-44.228	-2.545	12	18	41.203	2.248	24	6	-39.066	-1.941				
Juin	1	5	44.241	2.483	13	17	-41.089	-2.160	25	5	39.008	1.805			
	2	4	-44.106	-2.414	14	15	41.023	2.309	26	3	-38.965	-2.055			
	3	2	44.044	2.528	15	14	-40.999	-2.226	27	2	38.993	1.922			
	4	1	-44.002	-2.464	16	13	40.930	2.136	28	1	-38.902	-1.783			
	5	0	43.903	2.396	17	11	-40.826	-2.291	28	23	38.897	2.041			
	5	22	-43.813	-2.509	18	10	40.845	2.205	29	22	-38.890	-1.904			
	6	21	43.807	2.446	19	9	-40.734	-2.113	30	21	38.841	1.761			
	7	20	-43.652	-2.375	20	7	40.676	2.272	31	19	-38.796	-2.028			
	8	18	43.627	2.491	21	6	-40.656	-2.184	Sept.	1	18	38.835	1.886		
	9	17	-43.563	-2.425	22	5	40.579	2.088		2	17	-38.744	-1.740		
	10	16	43.455	2.356	23	3	-40.496	-2.254		3	15	38.747	2.013		
	11	14	-43.388	-2.471	24	2	40.505	2.162		4	14	-38.741	-1.870		
	12	13	43.373	2.406	25	1	-40.398	-2.064		5	13	38.699	1.717		
	13	12	-43.200	-2.334	25	23	40.352	2.236		6	11	-38.661	-2.002		
	14	10	43.206	2.453	26	22	-40.329	-2.141		7	10	38.698	1.851		
	15	9	-43.126	-2.385	27	21	40.257	2.040		8	9	-38.619	-1.698		
16	8	43.004	2.313	28	19	-40.180	-2.218	9		7	38.621	1.987			
17	6	-42.969	-2.433	29	18	40.194	2.120	10		6	-38.625	-1.837			
18	5	42.935	2.365	30	17	-40.083	-2.015	11		5	38.583	1.675			

TÉTHYS 2010

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	3	-38.553	-1.977	Oct.	19	22	-38.599	-1.637	Nov.	26	17	-39.821	-1.186	
	13	2	38.592	1.819		20	21	38.595	1.417		27	15	39.928	1.716	
	14	1	-38.522	-1.657		21	19	-38.592	-1.841		28	14	-39.978	-1.446	
	14	23	38.523	1.963		22	18	38.669	1.622		29	13	39.978	1.161	
	15	22	-38.537	-1.804		23	17	-38.632	-1.401		30	11	-40.061	-1.709	
	16	21	38.497	1.635		24	15	38.668	1.830		Déc.	1	10	40.142	1.425
	17	19	-38.472	-1.953		25	14	-38.711	-1.612			2	9	-40.108	-1.145
	18	18	38.517	1.788		26	13	38.713	1.381			3	7	40.232	1.691
	19	17	-38.451	-1.617		27	11	-38.713	-1.825			4	6	-40.283	-1.413
	20	15	38.457	1.941		28	10	38.799	1.596			5	5	40.272	1.119
	21	14	-38.474	-1.774		29	9	-38.760	-1.367		6	3	-40.382	-1.682	
	22	13	38.442	1.597		30	7	38.806	1.813		7	2	40.454	1.391	
	23	11	-38.418	-1.932		31	6	-38.854	-1.587		8	1	-40.417	-1.102	
	24	10	38.472	1.758		Nov.	1	5	38.855		1.347	8	23	40.560	1.663
	25	9	-38.406	-1.579			2	3	-38.869		-1.808	9	22	-40.609	-1.376
26	7	38.420	1.920	3	2	38.953	1.570	10	21	40.589	1.075				
27	6	-38.440	-1.744	4	1	-38.921	-1.333	11	19	-40.722	-1.652				
28	5	38.417	1.559	4	23	38.972	1.795	12	18	40.792	1.353				
29	3	-38.392	-1.911	5	22	-39.026	-1.561	13	16	-40.755	-1.929				
30	2	38.454	1.728	6	21	39.025	1.312	14	15	40.914	1.633				
Oct.	1	1	-38.394	-1.542	7	19	-39.053	-1.791	15	14	-40.951	-1.336			
	1	23	38.411	1.900	8	18	39.136	1.544	16	12	40.958	1.913			
	2	22	-38.435	-1.717	9	17	-39.109	-1.298	17	11	-41.082	-1.619			
	3	21	38.419	1.522	10	15	39.167	1.778	18	10	41.146	1.312			
	4	19	-38.395	-1.893	11	14	-39.226	-1.534	19	8	-41.134	-1.903			
	5	18	38.464	1.700	12	13	39.224	1.277	20	7	41.287	1.597			
	6	17	-38.412	-1.506	13	11	-39.264	-1.772	21	6	-41.311	-1.295			
	7	15	38.428	1.881	14	10	39.348	1.517	22	4	41.350	1.883			
	8	14	-38.464	-1.690	15	9	-39.321	-1.261	23	3	-41.459	-1.583			
	9	13	38.446	1.485	16	7	39.393	1.760	24	2	41.516	1.267			
	10	11	-38.435	-1.875	17	6	-39.450	-1.506	25	0	-41.532	-1.873			
	11	10	38.500	1.673	18	5	39.453	1.240	25	23	41.673	1.558			
	12	9	-38.459	-1.471	19	3	-39.499	-1.753	26	22	-41.688	-1.250			
	13	7	38.475	1.864	20	2	39.591	1.489	27	20	41.754	1.849			
	14	6	-38.519	-1.663	21	1	-39.556	-1.224	28	19	-41.857	-1.543			
15	5	38.505	1.451	21	23	39.649	1.739	29	18	41.894	1.218				
16	3	-38.499	-1.858	22	22	-39.700	-1.476	30	16	-41.950	-1.837				
17	2	38.570	1.648	23	21	39.704	1.202	31	15	42.070	1.515				
18	1	-38.531	-1.435	24	19	-39.767	-1.732								
18	23	38.558	1.848	25	18	39.855	1.457								

DIONÉ 2010

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	17	-55.767	-3.770	Mars	3	7	60.542	4.055	Mai	3	20	-59.272	-4.395
Janv.	2	2	55.682	3.708		4	16	-60.813	-3.997		5	5	58.944	4.355
	3	11	-56.060	-3.642		6	1	60.587	3.943		6	14	-59.035	-4.326
	4	20	55.955	3.578		7	9	-60.908	-4.270		7	23	58.680	4.286
	6	5	-56.307	-3.510		8	18	60.731	4.217		9	7	-58.776	-4.436
	7	14	56.175	3.443		10	3	-61.014	-4.165		10	16	58.467	4.398
	8	22	-56.572	-3.842		11	12	60.797	4.111		12	1	-58.580	-4.372
	10	7	56.486	3.779		12	21	-61.038	-4.060		13	10	58.248	4.332
	11	16	-56.876	-3.713		14	5	60.797	4.361		14	19	-58.326	-4.304
	13	1	56.771	3.648		15	14	-61.106	-4.313		16	4	57.968	4.263
	14	10	-57.122	-3.580		16	23	60.893	4.262		17	12	-58.039	-4.402
	15	19	56.999	3.513		18	8	-61.149	-4.214		18	21	57.722	4.364
	17	3	-57.366	-3.914		19	17	60.904	4.164		20	6	-57.830	-4.338
	18	12	57.286	3.850		21	2	-61.112	-4.117		21	15	57.495	4.299
	19	21	-57.676	-3.784		22	10	60.873	4.393		23	0	-57.565	-4.270
	21	6	57.562	3.719		23	19	-61.151	-4.349		24	9	57.214	4.229
	22	15	-57.924	-3.651		25	4	60.906	4.301		25	18	-57.246	-4.198
	24	0	57.782	3.584		26	13	-61.135	-4.257		27	2	56.939	4.322
	25	8	-58.147	-3.983		27	22	60.857	4.210		28	11	-57.035	-4.295
	26	17	58.052	3.920		29	7	-61.036	-4.167		29	20	56.709	4.256
	28	2	-58.441	-3.855		30	15	60.801	4.418		31	5	-56.774	-4.226
	29	11	58.321	3.790	Avril	1	0	-61.035	-4.377	Juin	1	14	56.431	4.185
	30	20	-58.674	-3.723		2	9	60.780	4.332		2	23	-56.462	-4.153
Févr.	1	5	58.525	3.657		3	18	-60.961	-4.292		4	7	56.123	4.274
	2	13	-58.876	-4.049		5	3	60.673	4.248		5	16	-56.220	-4.246
	3	22	58.770	3.989		6	11	-60.829	-4.476		7	1	55.900	4.206
	5	7	-59.152	-3.922		7	20	60.575	4.433		8	10	-55.973	-4.176
	6	16	59.021	3.860		9	5	-60.785	-4.397		9	19	55.630	4.134
	8	1	-59.358	-3.793		10	14	60.497	4.354		11	4	-55.676	-4.100
	9	10	59.201	3.731		11	23	-60.658	-4.319		12	13	55.317	4.056
	10	18	-59.535	-4.112		13	8	60.342	4.276		13	21	-55.401	-4.192
	12	3	59.423	4.051		14	16	-60.487	-4.481		15	6	55.088	4.153
	13	12	-59.784	-3.989		16	1	60.217	4.440		16	15	-55.164	-4.120
	14	21	59.637	3.927		17	10	-60.393	-4.408		18	0	54.842	4.078
	16	6	-59.961	-3.864		18	19	60.088	4.366		19	9	-54.886	-4.042
	17	15	59.776	3.803		20	4	-60.224	-4.334		20	18	54.551	3.998
	18	23	-60.114	-4.169		21	13	59.882	4.292		22	2	-54.581	-4.138
	20	8	59.975	4.112		22	21	-60.025	-4.476		23	11	54.282	4.098
	21	17	-60.321	-4.050		24	6	59.729	4.437		24	20	-54.373	-4.063
	23	2	60.150	3.992		25	15	-59.883	-4.406		26	5	54.060	4.021
	24	11	-60.451	-3.933		27	0	59.568	4.367		27	14	-54.122	-3.982
	25	20	60.244	3.873		28	9	-59.668	-4.336		28	23	53.803	3.938
	27	4	-60.579	-4.223		29	18	59.331	4.296		30	8	-53.832	-3.895
	28	13	60.414	4.166	Mai	1	2	-59.440	-4.461	Juill.	1	17	53.505	3.849
Mars	1	22	-60.736	-4.109		2	11	59.144	4.422		3	1	-53.596	-4.008

DIONÉ 2010

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.	4	10	53.306	3.966	Sept.	2	16	49.532	3.388	Nov.	1	23	49.684	2.450
	5	19	-53.385	-3.925		4	1	-49.683	-3.308		3	7	-49.897	-2.995
	7	4	53.072	3.880		5	10	49.474	3.255		4	16	49.786	2.933
	8	13	-53.136	-3.835		6	19	-49.610	-3.171		6	1	-50.047	-2.800
	9	22	52.811	3.788		8	4	49.391	3.115		7	10	49.936	2.733
	11	6	-52.858	-3.958		9	13	-49.514	-3.027		8	19	-50.174	-2.598
	12	15	52.579	3.917		10	22	49.288	2.968		10	4	50.058	2.525
	14	0	-52.671	-3.871		12	6	-49.443	-3.326		11	13	-50.280	-2.386
	15	9	52.390	3.828		13	15	49.258	3.275		12	22	50.151	2.308
	16	18	-52.458	-3.779		15	0	-49.417	-3.185		14	6	-50.404	-2.897
18	3	52.168	3.732	16	9	49.231	3.131	15	15	50.308	2.828			
19	12	-52.221	-3.680	17	18	-49.372	-3.037	17	0	-50.584	-2.686			
20	21	51.916	3.630	19	3	49.178	2.979	18	9	50.478	2.614			
22	5	-52.004	-3.827	20	12	-49.312	-2.883	19	18	-50.737	-2.467			
23	14	51.736	3.783	21	21	49.105	2.820	21	3	50.622	2.391			
24	23	-51.834	-3.732	23	5	-49.288	-3.219	22	12	-50.863	-2.243			
26	8	51.560	3.685	24	14	49.111	3.163	23	20	50.743	2.933			
27	17	-51.633	-3.629	25	23	-49.297	-3.067	25	5	-51.047	-2.787			
29	2	51.355	3.580	27	8	49.115	3.010	26	14	50.958	2.712			
30	11	-51.408	-3.520	28	17	-49.282	-2.907	27	23	-51.247	-2.561			
Août	31	19	51.129	3.750	Oct.	30	2	49.099	2.847	Déc.	29	8	51.147	2.485
	2	4	-51.249	-3.695		1	11	-49.248	-2.739		30	17	-51.417	-2.326
	3	13	50.992	3.649		2	20	49.057	2.676		2	2	51.312	2.247
	4	22	-51.099	-3.590		4	4	-49.267	-3.114		3	10	-51.563	-2.893
	6	7	50.832	3.541		5	13	49.107	3.057		4	19	51.498	2.821
	7	16	-50.919	-3.477		6	22	-49.308	-2.951		6	4	-51.806	-2.662
9	1	50.646	3.425	8	7	49.143	2.890	7	13	51.731	2.582			
10	10	-50.714	-3.357	9	16	-49.326	-2.779	8	22	-52.021	-2.422			
11	18	50.476	3.627	11	1	49.157	2.716	10	7	51.935	2.337			
13	3	-50.602	-3.563	12	10	-49.320	-2.599	11	16	-52.207	-2.172			
14	12	50.365	3.515	13	18	49.163	3.123	13	1	52.104	2.084			
15	21	-50.472	-3.447	15	3	-49.384	-3.012	14	9	-52.423	-2.768			
17	6	50.226	3.397	16	12	49.249	2.951	15	18	52.359	2.688			
18	15	-50.318	-3.324	17	21	-49.459	-2.836	17	3	-52.677	-2.519			
20	0	50.067	3.271	19	6	49.308	2.771	18	12	52.602	2.434			
21	8	-50.159	-3.552	20	15	-49.510	-2.651	19	21	-52.901	-2.262			
22	17	49.944	3.505	22	0	49.350	2.583	21	6	52.806	2.172			
24	2	-50.077	-3.434	23	9	-49.539	-2.459	22	14	-53.088	-2.877			
25	11	49.853	3.383	24	17	49.405	3.029	23	23	53.033	2.793			
26	20	-49.977	-3.309	26	2	-49.648	-2.908	25	8	-53.376	-2.619			
28	5	49.743	3.254	27	11	49.520	2.844	26	17	53.314	2.534			
29	14	-49.851	-3.175	28	20	-49.749	-2.719	28	2	-53.628	-2.353			
30	23	49.611	3.118	30	5	49.614	2.651	29	11	53.552	2.265			
Sept.	1	7	-49.736	-3.437	31	14	-49.830	-2.520	30	20	-53.840	-2.081		

RHÉA 2010

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	77.357	4.017	Avril	11	11	-84.608	-5.498	Juill.	22	2	72.566	4.840
Janv.	2	3	-77.982	-4.500		13	17	84.465	5.559		24	8	-72.339	-4.855
	4	9	78.264	4.618		15	23	-84.352	-5.595		26	15	72.109	4.669
	6	15	-78.599	-4.698		18	5	84.131	5.644		28	21	-71.926	-4.684
	8	21	78.872	4.818		20	11	-83.982	-5.673		31	3	71.665	4.725
	11	4	-79.219	-4.497		22	17	83.737	5.716	Août	2	10	-71.470	-4.500
	13	10	79.496	4.618		25	0	-83.559	-5.554		4	16	71.275	4.545
	15	16	-79.862	-4.700		27	6	83.327	5.598		6	22	-71.106	-4.568
	17	22	80.119	4.821		29	12	-83.135	-5.622		9	4	70.859	4.618
	20	4	-80.446	-4.898	Mai	1	18	82.875	5.657		11	11	-70.729	-4.375
	22	11	80.706	4.618		4	0	-82.640	-5.674		13	17	70.539	4.431
	24	17	-81.058	-4.701		6	7	82.334	5.541		15	23	-70.393	-4.460
	26	23	81.317	4.819		8	13	-82.125	-5.559		18	6	70.183	4.228
	29	5	-81.633	-4.899		10	19	81.843	5.589		20	12	-70.093	-4.263
	31	11	81.852	5.018		13	1	-81.580	-5.600		22	18	69.918	4.326
Févr.	2	18	-82.166	-4.700		15	7	81.269	5.625		25	0	-69.801	-4.367
	5	0	82.413	4.820		17	13	-81.000	-5.633		27	7	69.642	4.118
	7	6	-82.700	-4.899		19	20	80.678	5.506		29	13	-69.574	-4.160
	9	12	82.923	5.016		22	2	-80.425	-5.515		31	19	69.423	4.238
	11	18	-83.195	-5.091		24	8	80.101	5.534	Sept.	3	1	-69.323	-4.288
	14	0	83.344	5.200		26	14	-79.817	-5.538		5	8	69.229	4.021
	16	7	-83.626	-4.901		28	21	79.459	5.410		7	14	-69.178	-4.073
	18	13	83.808	5.015		31	3	-79.194	-5.416		9	20	69.036	4.164
	20	19	-84.044	-5.087	Juin	2	9	78.882	5.432		12	3	-69.011	-3.844
	23	1	84.179	5.194		4	15	-78.590	-5.434		14	9	68.926	3.940
	25	7	-84.382	-5.265		6	21	78.231	5.447		16	15	-68.901	-4.000
	27	13	84.482	5.364		9	4	-77.950	-5.303		18	22	68.791	3.699
Mars	1	20	-84.671	-5.088		11	10	77.638	5.319		21	4	-68.816	-3.765
	4	2	84.774	5.192		13	16	-77.346	-5.318		23	10	68.753	3.871
	6	8	-84.939	-5.258		15	22	77.008	5.333		25	16	-68.752	-3.944
	8	14	85.000	5.354		18	4	-76.718	-5.334		27	23	68.699	3.626
	10	20	-85.096	-5.414		20	11	76.398	5.194		30	5	-68.752	-3.699
	13	2	85.122	5.504		22	17	-76.134	-5.196	Oct.	2	11	68.708	3.821
	15	9	-85.223	-5.258		24	23	75.806	5.212		4	17	-68.725	-3.903
	17	15	85.223	5.346		27	5	-75.523	-5.213		7	0	68.743	3.565
	19	21	-85.297	-5.405		29	12	75.216	5.065		9	6	-68.814	-3.649
	22	3	85.265	5.488	Juill.	1	18	-74.961	-5.068		11	12	68.777	3.784
	24	9	-85.282	-5.537		4	0	74.659	5.088		13	19	-68.878	-3.380
	26	15	85.197	5.611		6	6	-74.385	-5.092		16	1	68.901	3.520
	28	22	-85.190	-5.398		8	13	74.090	4.932		18	7	-68.998	-3.611
	31	4	85.126	5.472		10	19	-73.867	-4.938		20	14	69.000	3.236
Avril	2	10	-85.086	-5.519		13	1	73.572	4.964		22	20	-69.144	-3.335
	4	16	84.961	5.586		15	7	-73.315	-4.971		25	2	69.193	3.483
	6	22	-84.896	-5.626		17	14	73.052	4.799		27	8	-69.315	-3.588
	9	4	84.731	5.684		19	20	-72.851	-4.810		29	15	69.369	3.193

RHÉA 2010

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. 31 21	-69.545	-3.296	Nov. 23 12	-71.071	-2.915	Déc. 16 2	-73.356	-3.182
Nov. 3 3	69.614	3.461	25 18	71.236	3.099	18 9	73.542	2.660
5 9	-69.753	-3.572	28 0	-71.482	-3.228	20 15	-73.887	-2.794
7 16	69.873	3.157	30 6	71.611	3.423	22 21	74.104	3.004
9 22	-70.073	-3.270	Déc. 2 13	-71.911	-2.878	25 3	-74.431	-3.148
12 4	70.146	3.444	4 19	72.094	3.074	27 10	74.641	2.600
14 11	-70.356	-2.949	7 1	-72.358	-3.205	29 16	-75.000	-2.742
16 17	70.491	3.128	9 8	72.531	2.708	31 22	75.234	2.956
18 23	-70.715	-3.246	11 14	-72.856	-2.842			
21 5	70.821	3.432	13 20	73.043	3.041			

TITAN 2010

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	-139.025	2.309	Mai 5 9	-192.972	-13.053	Sept. 10 6	-162.023	-9.036
Janv. 6 5	179.756	10.971	13 12	187.116	13.014	18 9	157.516	9.472
14 1	-186.774	-10.591	21 8	-188.320	-12.803	26 7	-161.398	-8.344
22 4	184.735	11.179	29 10	182.338	12.789	Oct. 4 10	157.143	8.906
30 0	-191.674	-10.805	Juin 6 6	-183.264	-12.534	12 7	-161.751	-7.991
Févr. 7 2	189.265	11.630	14 9	177.313	12.399	20 11	157.721	8.342
14 22	-195.788	-11.279	22 5	-178.220	-12.092	28 8	-163.078	-7.359
23 0	192.834	12.034	30 8	172.420	11.980	Nov. 5 11	159.252	8.154
Mars 2 19	-198.614	-11.950	Juill. 8 5	-173.531	-11.499	13 8	-165.360	-7.109
10 21	194.984	12.590	16 8	167.959	11.444	21 12	161.711	7.567
18 17	-199.768	-12.327	24 5	-169.433	-10.885	29 9	-168.553	-6.447
26 19	195.417	12.832	Août 1 8	164.125	10.924	Déc. 7 12	165.039	7.364
3 14	-199.103	-12.783	9 5	-166.089	-10.288	15 9	-172.558	-6.169
11 16	194.087	13.125	17 8	161.051	10.452	23 11	169.109	7.608
19 12	-196.718	-12.936	25 5	-163.598	-9.745	31 8	-177.203	-6.328
27 14	191.189	13.130	Sept. 2 9	158.834	9.820			

HYPÉRION 2010

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	214.653	5.732	Mai	6	4	232.197	12.380	Sept.	11	8	199.404	7.781
Janv.	10	12	-220.992	-11.732		17	6	-225.704	-13.388		22	15	-187.892	-9.759
	20	14	225.644	9.050		27	9	224.906	12.229	Oct.	2	21	199.501	6.649
	31	15	-227.535	-12.124	Juin	7	12	-216.804	-12.855		14	3	-186.709	-9.068
Févr.	10	17	234.180	9.714		17	15	218.518	11.777		24	10	202.639	5.558
	21	18	-233.555	-12.741		28	20	-208.552	-12.353	Nov.	4	16	-188.118	-8.586
Mars	3	19	238.342	10.626	Juill.	9	0	210.636	10.868		14	23	206.511	4.467
	14	21	-237.339	-13.083		20	5	-201.403	-11.721		26	4	-192.169	-8.292
	24	22	239.653	11.426		30	10	204.889	9.857	Déc.	6	11	212.740	4.006
Avril	4	22	-235.974	-13.505	Août	10	15	-194.533	-10.978		17	15	-196.885	-7.846
	15	0	238.564	12.188		20	20	202.046	8.922		27	22	221.254	3.698
	26	2	-231.973	-13.573	Sept.	1	3	-190.033	-10.378					

JAPET 2010

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.	10	11	527.204	-100.459	Mai	6	22	-545.217	94.938	Sept.	5	1	461.680	-85.351
Févr.	18	0	-554.453	108.066	Juin	16	5	516.803	-85.104	Oct.	15	2	-455.427	95.804
Mars	29	16	570.199	-100.105	Juill.	25	15	-478.214	86.056	Nov.	25	14	469.968	-99.982

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 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	16	-2.924	7.054	Févr.	2	11	2.957	-7.164	Mars	6	7	-3.064	6.428
	2	9	2.931	-7.054		3	4	-2.953	7.103		7	0	3.075	-6.419
	3	2	-2.923	6.982		3	21	2.963	-7.100		7	17	-3.071	6.354
	3	19	2.931	-6.981		4	14	-2.959	7.038		8	10	3.081	-6.344
	4	12	-2.921	6.910		5	7	2.969	-7.037		9	3	-3.077	6.277
	5	5	2.929	-6.907		6	0	-2.963	6.970		9	20	3.087	-6.270
	5	22	-2.919	6.836		6	17	2.974	-6.971		10	13	-3.082	6.199
	6	15	2.927	-6.831		7	10	-2.968	6.903		11	6	3.093	-6.193
	7	8	-2.918	6.763		8	3	2.979	-6.902		11	23	-3.087	6.120
	8	1	2.925	-6.754		8	20	-2.973	6.836		12	16	3.098	-6.116
	8	18	-2.916	6.687		9	13	2.984	-6.833		13	9	-3.092	6.039
	9	11	2.922	-6.677		10	6	-2.978	6.766		14	2	3.103	-6.036
	10	3	-2.916	7.434		10	23	2.989	-6.761		14	19	-3.097	5.958
	10	20	2.925	-7.432		11	16	-2.983	6.698		15	12	3.108	-5.954
	11	13	-2.920	7.372		12	9	2.992	-6.689		16	5	-3.101	5.879
12	6	2.928	-7.370	13	2	-2.987	6.625	16	22	3.112	-5.871			
12	23	-2.923	7.308	13	19	2.996	-6.617	17	15	-3.105	5.796			
13	16	2.932	-7.309	14	12	-2.991	6.551	18	8	3.116	-5.786			
14	9	-2.925	7.243	15	5	3.000	-6.545	19	0	-3.111	6.677			
15	2	2.935	-7.244	15	22	-2.994	6.475	19	17	3.124	-6.670			
15	19	-2.928	7.178	16	15	3.004	-6.471	20	10	-3.121	6.608			
16	12	2.938	-7.177	17	8	-2.998	6.398	21	3	3.133	-6.601			
17	5	-2.931	7.113	18	1	3.008	-6.396	21	20	-3.131	6.537			
17	22	2.941	-7.109	18	18	-3.000	6.321	22	13	3.143	-6.533			
18	15	-2.933	7.046	19	11	3.011	-6.318	23	6	-3.140	6.465			
19	8	2.943	-7.041	20	4	-3.003	6.243	23	23	3.153	-6.462			
20	1	-2.936	6.978	20	21	3.013	-6.239	24	16	-3.149	6.392			
20	18	2.944	-6.971	21	14	-3.006	6.167	25	9	3.162	-6.390			
21	11	-2.938	6.907	22	7	3.016	-6.158	26	2	-3.157	6.318			
22	4	2.946	-6.900	23	0	-3.008	6.086	26	19	3.171	-6.315			
22	21	-2.939	6.835	23	17	3.018	-6.076	27	12	-3.166	6.243			
23	14	2.947	-6.831	24	9	-3.013	6.915	28	5	3.179	-6.238			
24	7	-2.940	6.761	25	2	3.024	-6.909	28	22	-3.174	6.170			
25	0	2.949	-6.758	25	19	-3.022	6.849	29	15	3.187	-6.160			
25	17	-2.941	6.686	26	12	3.032	-6.843	30	8	-3.182	6.092			
26	10	2.950	-6.685	27	5	-3.029	6.780	31	1	3.194	-6.082			
27	3	-2.942	6.612	27	22	3.041	-6.778	31	18	-3.190	6.013			
27	20	2.951	-6.609	28	15	-3.037	6.711	Avril	1	11	3.201	-6.004		
28	13	-2.942	6.536	Mars	1	8	3.048		-6.710	2	4	-3.197	5.932	
29	6	2.951	-6.532		2	1	-3.044		6.641	2	21	3.207	-5.923	
29	23	-2.943	6.462	2	18	3.056	-6.640	3	14	-3.203	5.849			
30	16	2.951	-6.452	3	11	-3.050	6.571	4	7	3.214	-5.844			
31	9	-2.943	6.383	4	4	3.063	-6.568	5	0	-3.209	5.765			
Févr.	1	1	2.951	-7.225	4	21	-3.057	6.499	5	17	3.220	-5.761		
	1	18	-2.947	7.167	5	14	3.069	-6.494	6	10	-3.214	5.681		

MIRANDA 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Avril	7 3	3.226	-5.676	Mai	8 22	-3.413	5.918	Juin	9 17	3.589	-6.279
	7 20	-3.219	5.598		9 15	3.427	-5.914		10 10	-3.586	6.211
	8 13	3.231	-5.590		10 8	-3.422	5.835		11 3	3.599	-6.204
	9 6	-3.224	5.511		11 1	3.435	-5.832		11 20	-3.597	6.131
	9 22	3.237	-6.515		11 18	-3.430	5.752		12 13	3.610	-6.124
	10 15	-3.234	6.452		12 11	3.443	-5.747		13 6	-3.606	6.049
	11 8	3.248	-6.443		13 4	-3.437	5.670		13 23	3.619	-6.046
	12 1	-3.245	6.380		13 21	3.451	-5.661		14 16	-3.614	5.967
	12 18	3.259	-6.371		14 14	-3.444	5.584		15 9	3.628	-5.963
	13 11	-3.256	6.305		15 7	3.457	-5.574		16 2	-3.622	5.883
	14 4	3.269	-6.299		16 0	-3.451	5.499		16 19	3.636	-5.878
	14 21	-3.267	6.230		16 17	3.463	-5.485		17 12	-3.629	5.801
	15 14	3.279	-6.224		17 10	-3.457	5.410		18 5	3.642	-5.791
	16 7	-3.276	6.153		18 3	3.468	-5.396		18 22	-3.635	5.715
	17 0	3.290	-6.150		18 20	-3.462	5.319		19 15	3.648	-5.703
	17 17	-3.285	6.074		19 13	3.473	-5.309		20 8	-3.641	5.629
	18 10	3.299	-6.072		20 6	-3.466	5.226		21 1	3.652	-5.615
19 3	-3.294	5.996	20 22	3.479	-6.323	21 18	-3.645	5.539			
19 20	3.308	-5.991	21 15	-3.477	6.251	22 11	3.656	-5.526			
20 13	-3.303	5.918	22 8	3.492	-6.248	23 4	-3.648	5.447			
21 6	3.316	-5.909	23 1	-3.488	6.174	23 21	3.659	-5.438			
21 23	-3.311	5.837	23 18	3.503	-6.171	24 14	-3.651	5.353			
22 16	3.324	-5.827	24 11	-3.499	6.096	25 7	3.661	-5.346			
23 9	-3.319	5.755	25 4	3.514	-6.091	26 0	-3.652	5.259			
24 2	3.331	-5.744	25 21	-3.509	6.019	26 17	3.663	-5.254			
24 19	-3.326	5.671	26 14	3.524	-6.009	27 9	-3.657	6.335			
25 12	3.338	-5.660	27 7	-3.519	5.938	28 2	3.673	-6.331			
26 5	-3.333	5.584	28 0	3.533	-5.927	28 19	-3.667	6.257			
26 22	3.344	-5.577	28 17	-3.528	5.856	29 12	3.682	-6.251			
27 15	-3.338	5.496	29 10	3.541	-5.845	30 5	-3.676	6.180			
28 8	3.350	-5.490	30 3	-3.536	5.771	Juill.	30 22	3.690	-6.169		
29 1	-3.343	5.407	30 20	3.548	-5.761		1 15	-3.684	6.098		
29 18	3.356	-5.402	31 13	-3.544	5.684		2 8	3.697	-6.086		
30 11	-3.348	5.319	Juin	1 6	3.556		-5.678	3 1	-3.691	6.015	
Mai	1 3	3.363		-6.377	1 23	-3.550	5.596	3 18	3.703	-6.004	
	1 20	-3.360		6.307	2 16	3.562	-5.591	4 11	-3.697	5.929	
	2 13	3.375		-6.301	3 9	-3.555	5.508	5 4	3.708	-5.920	
	3 6	-3.372	6.235	4 2	3.568	-5.502	5 21	-3.702	5.842		
	3 23	3.386	-6.225	4 19	-3.560	5.420	6 14	3.713	-5.836		
	4 16	-3.383	6.158	5 12	3.573	-5.412	7 7	-3.705	5.753		
	5 9	3.397	-6.148	6 5	-3.564	5.329	8 0	3.717	-5.748		
	6 2	-3.394	6.080	6 22	3.577	-5.319	8 17	-3.708	5.664		
	6 19	3.407	-6.072	7 15	-3.568	5.240	9 10	3.720	-5.658		
	7 12	-3.404	6.000	8 8	3.579	-5.225	10 3	-3.709	5.576		
	8 5	3.417	-5.992	9 0	-3.575	6.290	10 20	3.721	-5.566		

MIRANDA 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	11	13	-3.710	5.485	Août	12	8	3.767	-5.943	Sept.	13	3	-3.704	6.319
	12	6	3.721	-5.473		13	1	-3.754	5.859		13	20	3.710	-6.311
	12	23	-3.711	5.394		13	18	3.763	-5.852		14	13	-3.697	6.231
	13	16	3.720	-5.379		14	11	-3.749	5.771		15	6	3.704	-6.225
	14	8	-3.711	6.475		15	4	3.759	-5.759		15	23	-3.688	6.142
	15	1	3.724	-6.465		15	21	-3.744	5.679		16	16	3.696	-6.135
	15	18	-3.719	6.396		16	14	3.752	-5.666		17	9	-3.679	6.052
	16	11	3.732	-6.389		17	6	-3.743	6.760		18	2	3.686	-6.044
	17	4	-3.727	6.314		17	23	3.754	-6.749		18	18	-3.674	7.088
	17	21	3.739	-6.309		18	16	-3.747	6.682		19	11	3.685	-7.078
	18	14	-3.732	6.232		19	9	3.757	-6.671		20	4	-3.674	7.013
	19	7	3.745	-6.228		20	2	-3.749	6.601		20	21	3.684	-7.002
	20	0	-3.737	6.149		20	19	3.760	-6.595		21	14	-3.673	6.936
	20	17	3.750	-6.145		21	12	-3.751	6.519		22	7	3.682	-6.925
	21	10	-3.741	6.065		22	5	3.760	-6.514		23	0	-3.671	6.857
	22	3	3.753	-6.059		22	22	-3.750	6.436		23	17	3.679	-6.846
	22	20	-3.744	5.982		23	15	3.761	-6.432		24	10	-3.668	6.775
23	13	3.755	-5.971	24	8	-3.749	6.353	25	3	3.676	-6.769			
24	6	-3.746	5.895	25	1	3.759	-6.347	25	20	-3.663	6.692			
24	23	3.756	-5.883	25	18	-3.747	6.268	26	13	3.671	-6.687			
25	16	-3.747	5.807	26	11	3.756	-6.260	27	6	-3.658	6.609			
26	9	3.756	-5.795	27	4	-3.744	6.185	27	23	3.666	-6.603			
27	2	-3.747	5.717	27	21	3.752	-6.172	28	16	-3.651	6.526			
27	19	3.755	-5.704	28	14	-3.739	6.097	29	9	3.659	-6.518			
28	12	-3.745	5.624	29	7	3.747	-6.083	30	2	-3.643	6.441			
29	5	3.754	-5.616	30	0	-3.734	6.008	Oct.	30	19	3.651	-6.431		
29	22	-3.742	5.529	30	17	3.741	-5.995		1	12	-3.635	6.358		
30	15	3.751	-5.523	31	10	-3.728	5.917		2	5	3.641	-6.343		
31	7	-3.740	6.613	Sept.	1	3	3.733		-5.905	2	22	-3.626	6.269	
Août	1	0	3.753		-6.611	1	20	-3.719	5.823	3	15	3.631	-6.254	
1	17	-3.745	6.537	2	12	3.729	-6.964	4	8	-3.616	6.180			
2	10	3.759	-6.531	3	5	-3.720	6.890	5	0	3.624	-7.250			
3	3	-3.750	6.458	3	22	3.731	-6.887	5	17	-3.614	7.184			
3	20	3.763	-6.450	4	15	-3.721	6.813	6	10	3.623	-7.176			
4	13	-3.755	6.380	5	8	3.732	-6.808	7	3	-3.612	7.107			
5	6	3.766	-6.367	6	1	-3.720	6.736	7	20	3.621	-7.103			
5	23	-3.758	6.297	6	18	3.731	-6.728	8	13	-3.609	7.030			
6	16	3.768	-6.284	7	11	-3.719	6.656	9	6	3.618	-7.025			
7	9	-3.760	6.212	8	4	3.729	-6.646	9	23	-3.605	6.952			
8	2	3.769	-6.202	8	21	-3.718	6.576	10	16	3.614	-6.946			
8	19	-3.760	6.125	9	14	3.726	-6.563	11	9	-3.601	6.875			
9	12	3.769	-6.117	10	7	-3.714	6.492	12	2	3.609	-6.865			
10	5	-3.759	6.037	11	0	3.722	-6.479	12	19	-3.595	6.794			
10	22	3.769	-6.032	11	17	-3.710	6.407	13	12	3.603	-6.782			
11	15	-3.757	5.948	12	10	3.717	-6.397	14	5	-3.589	6.714			

MIRANDA 2010

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.	14	22	3.595	-6.700	Nov.	10	1	-3.471	7.222	Déc.	6	5	3.399	-6.775
	15	15	-3.582	6.630		10	18	3.479	-7.214		6	22	-3.386	6.703
	16	8	3.588	-6.616		11	11	-3.468	7.146		7	15	3.394	-6.694
	17	1	-3.574	6.544		12	4	3.477	-7.140		8	8	-3.380	6.625
	17	18	3.579	-6.534		12	21	-3.464	7.070		9	1	3.388	-6.612
	18	11	-3.564	6.457		13	14	3.473	-7.064		9	18	-3.375	6.542
	19	4	3.570	-6.448		14	7	-3.460	6.993		10	11	3.382	-6.528
	19	21	-3.554	6.369		15	0	3.469	-6.985		11	4	-3.369	6.461
	20	14	3.560	-6.362		15	17	-3.455	6.918		11	21	3.375	-6.444
	21	6	-3.545	7.325		16	10	3.463	-6.905		12	14	-3.363	6.376
	21	23	3.555	-7.320		17	3	-3.450	6.838		13	7	3.368	-6.359
	22	16	-3.543	7.253		17	20	3.457	-6.824		13	23	-3.357	7.239
	23	9	3.553	-7.245		18	13	-3.444	6.758		14	16	3.366	-7.230
	24	2	-3.541	7.181		19	6	3.450	-6.743		15	9	-3.357	7.168
	24	19	3.550	-7.169		19	23	-3.438	6.676		16	2	3.367	-7.159
	25	12	-3.538	7.105		20	16	3.443	-6.661		16	19	-3.357	7.095
	26	5	3.546	-7.092		21	9	-3.430	6.591		17	12	3.368	-7.088
26	22	-3.535	7.028	22	2	3.436	-6.581	18	5	-3.357	7.022			
27	15	3.541	-7.016	22	19	-3.422	6.505	18	22	3.367	-7.014			
28	8	-3.530	6.949	23	12	3.428	-6.496	19	15	-3.356	6.948			
29	1	3.536	-6.937	24	5	-3.413	6.420	20	8	3.366	-6.938			
29	18	-3.524	6.868	24	22	3.419	-6.411	21	1	-3.355	6.875			
30	11	3.531	-6.860	25	14	-3.408	7.311	21	18	3.365	-6.861			
31	4	-3.517	6.785	26	7	3.418	-7.304	22	11	-3.354	6.799			
31	21	3.524	-6.778	27	0	-3.407	7.240	23	4	3.363	-6.783			
Nov.	1	14	-3.509	6.703	27	17	3.417	-7.231	23	21	-3.352	6.722		
	2	7	3.517	-6.695	28	10	-3.406	7.169	24	14	3.360	-6.706		
	3	0	-3.501	6.621	29	3	3.415	-7.156	25	7	-3.350	6.642		
	3	17	3.508	-6.610	29	20	-3.404	7.095	26	0	3.358	-6.628		
	4	10	-3.492	6.537	30	13	3.413	-7.081	26	17	-3.347	6.561		
	5	3	3.499	-6.524	Déc.	1	6	-3.402	7.019	27	10	3.355	-6.550	
	5	20	-3.484	6.453		1	23	3.410	-7.007	28	3	-3.344	6.479	
	6	13	3.488	-6.437		2	16	-3.399	6.942	28	20	3.352	-6.469	
	7	5	-3.474	7.369		3	9	3.406	-6.930	29	13	-3.340	6.396	
	7	22	3.483	-7.357		4	2	-3.395	6.863	30	6	3.349	-6.386	
	8	15	-3.473	7.297	4	19	3.403	-6.855	30	23	-3.335	6.315		
9	8	3.481	-7.287	5	12	-3.390	6.783	31	16	3.344	-6.301			

ARIEL 2010

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 0	-3.662	11.893	Févr.	25 19	3.754	-10.505	Avril	23 13	-4.096	9.697	
	Janv. 1 7	3.670	-11.580		27 1	-3.754	10.621		24 19	4.111	-9.908	
	2 13	-3.664	11.656		28 7	3.765	-10.782		26 2	-4.109	9.299	
	3 19	3.669	-11.780	Mars	1 14	-3.760	10.292		27 8	4.131	-9.523	
	5 2	-3.656	11.385		2 20	3.778	-10.474		28 14	-4.133	9.684	
	6 8	3.668	-11.528		4 2	-3.776	10.583	Mai	29 20	4.149	-9.905	
	7 14	-3.659	11.598		5 8	3.788	-10.754			1 3	-4.148	9.281
	8 20	3.666	-11.722		6 15	-3.785	10.254			2 9	4.170	-9.518
	10 3	-3.656	11.334		7 21	3.802	-10.439			3 15	-4.170	9.673
	11 9	3.666	-11.470		9 3	-3.800	10.556			4 21	4.186	-9.897
	12 15	-3.659	11.546		10 9	3.810	-10.720		6 4	-4.187	9.276	
	13 21	3.663	-11.667		11 16	-3.813	10.226		7 10	4.207	-9.506	
	15 4	-3.657	11.278		12 22	3.828	-10.407		8 16	-4.209	9.673	
	16 10	3.667	-11.419		14 4	-3.826	10.525		9 22	4.222	-9.891	
	17 16	-3.658	11.491		15 11	3.839	-10.067		11 5	-4.226	9.265	
	18 22	3.664	-11.617		16 17	-3.840	10.194		12 11	4.246	-9.504	
	20 5	-3.659	11.224		17 23	3.857	-10.382		13 17	-4.245	9.665	
	21 11	3.670	-11.365		19 5	-3.852	10.498		14 23	4.260	-9.893	
	22 17	-3.662	11.442		20 12	3.869	-10.036		16 6	-4.263	9.257	
	24 0	3.667	-11.084		21 18	-3.871	10.170		17 12	4.283	-9.498	
	25 6	-3.665	11.175		23 0	3.885	-10.355		18 18	-4.283	9.667	
	26 12	3.674	-11.315		24 6	-3.881	10.477		20 1	4.295	-9.075	
	27 18	-3.666	11.391		25 13	3.900	-10.011		21 7	-4.301	9.256	
	29 1	3.676	-11.035		26 19	-3.902	10.144		22 13	4.319	-9.496	
	30 7	-3.672	11.126		28 1	3.916	-10.335		23 19	-4.319	9.665	
Févr.	31 13	3.682	-11.267		29 8	-3.914	9.783		25 2	4.333	-9.073	
	1 19	-3.672	11.346		30 14	3.934	-9.987		26 8	-4.336	9.252	
	3 2	3.686	-10.985		31 20	-3.934	10.123		27 14	4.356	-9.496	
	4 8	-3.682	11.079	Avril	2 2	3.947	-10.313		28 20	-4.353	9.668	
	5 14	3.690	-11.223		3 9	-3.949	9.761		30 3	4.368	-9.067	
	6 21	-3.683	10.780		4 15	3.968	-9.968	Juin	31 9	-4.372	9.253	
	8 3	3.698	-10.943		5 21	-3.968	10.103			1 15	4.389	-9.499
	9 9	-3.693	11.032		7 3	3.980	-10.299			2 21	-4.388	9.671
	10 15	3.702	-11.180		8 10	-3.985	9.738			4 4	4.402	-9.069
	11 22	-3.698	10.739		9 16	4.003	-9.950			5 10	-4.406	9.251
	13 4	3.712	-10.896		10 22	-4.001	10.090		6 16	4.423	-9.503	
	14 10	-3.707	10.995		12 5	4.017	-9.569		7 22	-4.420	9.679	
	15 16	3.715	-11.137		13 11	-4.021	9.725		9 5	4.435	-9.068	
	16 23	-3.715	10.695		14 17	4.038	-9.931		10 11	-4.437	9.257	
	18 5	3.728	-10.859		15 23	-4.037	10.075		11 17	4.455	-9.505	
	19 11	-3.722	10.952		17 6	4.055	-9.556		12 23	-4.451	9.685	
	20 18	3.734	-10.548		18 12	-4.058	9.705		14 6	4.465	-9.073	
	22 0	-3.733	10.653		19 18	4.075	-9.923		15 12	-4.467	9.257	
	23 6	3.746	-10.820		21 0	-4.072	10.061		16 18	4.484	-9.517	
	24 12	-3.740	10.919		22 7	4.093	-9.539		18 0	-4.480	9.690	

ARIEL 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juin	19 7	4.494	-9.075	Août	14 23	-4.615	10.263	Oct.	10 15	4.388	-11.266
	20 13	-4.495	9.268		16 6	4.618	-9.633		11 22	-4.375	10.645
	21 19	4.512	-9.519		17 12	-4.611	9.831		13 4	4.379	-10.876
	23 1	-4.507	9.706		18 18	4.620	-10.089		14 10	-4.362	11.031
	24 8	4.519	-9.075		20 0	-4.608	10.278		15 16	4.361	-11.239
	25 14	-4.521	9.272		21 6	4.611	-10.521		16 23	-4.344	10.626
	26 20	4.537	-9.534		22 13	-4.600	9.836		18 5	4.349	-10.848
	28 2	-4.531	9.711		23 19	4.609	-10.101		19 11	-4.333	11.003
	29 9	4.543	-9.087		25 1	-4.597	10.281		20 17	4.333	-11.216
	30 15	-4.543	9.276		26 7	4.601	-10.535		22 0	-4.313	10.594
Juill.	1 21	4.560	-9.540	27 14	-4.585	9.837	23 6	4.319	-10.824		
	3 3	-4.554	9.728	28 20	4.595	-10.105	24 12	-4.304	10.971		
	4 10	4.563	-9.088	30 2	-4.583	10.293	25 18	4.305	-11.184		
	5 16	-4.564	9.290	31 8	4.586	-10.535	27 0	-4.285	11.323		
	6 22	4.578	-9.548	Sept.	1 14	-4.570	10.714	28 7	4.288	-10.787	
	8 4	-4.574	9.738		2 21	4.577	-10.105	29 13	-4.275	10.943	
	9 10	4.583	-9.991		4 3	-4.566	10.293	30 19	4.276	-11.145	
	10 17	-4.580	9.294		5 9	4.571	-10.544	Nov.	1 1	-4.258	11.285
	11 23	4.596	-9.563		6 15	-4.553	10.712		2 8	4.259	-10.757
	13 5	-4.589	9.748		7 22	4.558	-10.111		3 14	-4.246	10.902
14 11	4.599	-10.003	9 4		-4.545	10.292	4 20		4.249	-11.113	
15 18	-4.595	9.308	10 10		4.551	-10.542	6 2		-4.230	11.243	
17 0	4.609	-9.571	11 16		-4.535	10.718	7 9		4.230	-10.716	
18 6	-4.604	9.765	12 23		4.533	-10.105	8 15		-4.219	10.867	
19 12	4.611	-10.015	14 5	-4.524	10.294	9 21	4.221		-11.067		
20 19	-4.605	9.314	15 11	4.528	-10.538	11 3	-4.206		11.206		
22 1	4.620	-9.586	16 17	-4.513	10.713	12 9	4.203		-11.390		
23 7	-4.613	9.774	17 23	4.513	-10.947	13 16	-4.192	10.821			
24 13	4.622	-10.032	19 6	-4.497	10.286	14 22	4.196	-11.027			
25 20	-4.611	9.324	20 12	4.504	-10.536	16 4	-4.179	11.157			
27 2	4.627	-9.593	21 18	-4.488	10.705	17 10	4.180	-11.346			
28 8	-4.620	9.789	23 0	4.490	-10.937	18 17	-4.165	10.775			
29 14	4.628	-10.045	24 7	-4.471	10.281	19 23	4.171	-10.978			
30 20	-4.617	10.227	25 13	4.476	-10.526	21 5	-4.157	11.113			
Août	1 3	4.630	-9.606	26 19	-4.463	10.697	22 11	4.155	-11.296		
	2 9	-4.623	9.797	28 1	4.463	-10.928	23 18	-4.142	10.729		
	3 15	4.632	-10.059	29 7	-4.445	11.084	25 0	4.147	-10.929		
	4 21	-4.619	10.242	30 14	4.449	-10.515	26 6	-4.134	11.061		
	6 4	4.630	-9.614	Oct.	1 20	-4.434	10.684	27 12	4.135	-11.246	
	7 10	-4.622	9.811		3 2	4.437	-10.914	28 19	-4.119	10.679	
	8 16	4.631	-10.068		4 8	-4.418	11.071	Déc.	30 1	4.127	-10.879
	9 22	-4.619	10.254		5 15	4.418	-10.496		1 7	-4.113	11.009
	11 5	4.625	-9.626		6 21	-4.406	10.668		2 13	4.115	-11.191
	12 11	-4.619	9.818		8 3	4.408	-10.898		3 20	-4.100	10.628
13 17	4.627	-10.084	9 9		-4.391	11.050	5 2		4.107	-10.826	

ARIEL 2010

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	8	-4.095	10.955	Déc.	16	10	-4.064	10.846	Déc.	26	12	-4.043	10.735
	7	14	4.096	-11.140		17	16	4.067	-11.029		27	18	4.046	-10.910
	8	21	-4.082	10.572		18	23	-4.054	10.461		29	1	-4.036	10.352
	10	3	4.090	-10.772		20	5	4.063	-10.663		30	7	4.046	-10.550
	11	9	-4.078	10.902		21	11	-4.052	10.787		31	13	-4.036	10.673
	12	15	4.081	-11.082		22	17	4.056	-10.970	Janv.	1	19	4.040	-10.858
	13	22	-4.067	10.521		24	0	-4.044	10.410					
	15	4	4.075	-10.714		25	6	4.053	-10.602					

UMBRIEL 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Déc.	31 3	5.117	-16.341	Avril	3 12	-5.520	14.051	Juill.	5 20	6.362	-13.223
Janv.	2 5	-5.118	16.147		5 14	5.530	-13.980		7 21	-6.383	13.651
	4 7	5.109	-16.077		7 16	-5.558	13.725		9 23	6.381	-13.602
	6 8	-5.114	16.267		9 18	5.570	-13.662		12 1	-6.405	13.292
	8 10	5.108	-16.203		11 19	-5.597	13.992		14 3	6.399	-13.245
	10 12	-5.110	16.002		13 21	5.610	-13.946		16 4	-6.418	13.667
	12 14	5.108	-15.947		15 23	-5.641	13.671		18 6	6.415	-13.636
	14 15	-5.108	16.122		18 1	5.653	-13.620		20 8	-6.433	13.301
	16 17	5.108	-16.076		20 3	-5.681	13.330		22 10	6.423	-13.267
	18 19	-5.112	15.863		22 4	5.693	-13.915		24 11	-6.445	13.688
	20 21	5.112	-15.818		24 6	-5.725	13.623		26 13	6.433	-13.660
	22 23	-5.113	15.585		26 8	5.738	-13.594		28 15	-6.450	13.317
	25 0	5.115	-15.954		28 10	-5.769	13.286		30 16	6.436	-14.040
	27 2	-5.121	15.730		30 12	5.778	-13.245	Août	1 18	-6.456	13.708
	29 4	5.124	-15.697	Mai	2 13	-5.813	13.600		3 20	6.439	-13.675
	31 6	-5.130	15.454		4 15	5.822	-13.565		5 21	-6.457	14.089
Févr.	2 8	5.133	-15.420		6 17	-5.858	13.254		7 23	6.437	-14.058
	4 9	-5.141	15.610		8 19	5.865	-13.222		10 1	-6.457	13.729
	6 11	5.143	-15.577		10 20	-5.900	13.580		12 3	6.431	-13.679
	8 13	-5.156	15.340		12 22	5.905	-13.543		14 4	-6.452	14.118
	10 15	5.159	-15.302		15 0	-5.947	13.243		16 6	6.426	-14.063
	12 17	-5.171	15.051		17 2	5.948	-13.195		18 8	-6.442	13.742
	14 19	5.172	-15.012		19 4	-5.987	12.890		20 9	6.413	-14.434
	16 20	-5.190	15.233		21 5	5.988	-13.529		22 11	-6.434	14.134
	18 22	5.191	-15.189		23 7	-6.032	13.235		24 13	6.401	-14.058
	21 0	-5.213	14.956		25 9	6.030	-13.177		26 14	-6.418	14.504
	23 2	5.211	-14.899		27 11	-6.073	12.885		28 16	6.387	-14.429
	25 4	-5.232	14.651		29 12	6.067	-13.518		30 18	-6.400	14.138
	27 5	5.232	-15.093		31 14	-6.114	13.241	Sept.	1 19	6.367	-14.787
Mars	1 7	-5.260	14.863	Juin	2 16	6.109	-13.165		3 21	-6.382	14.505
	3 9	5.258	-14.798		4 18	-6.150	12.886		5 23	6.349	-14.420
	5 11	-5.287	14.570		6 19	6.144	-13.518		8 0	-6.357	14.861
	7 13	5.285	-14.495		8 21	-6.189	13.246		10 2	6.327	-14.775
	9 14	-5.313	14.783		10 23	6.183	-13.166		12 4	-6.333	14.494
	11 16	5.314	-14.715		13 1	-6.222	12.890		14 6	6.302	-14.411
	13 18	-5.346	14.489		15 2	6.215	-13.525		16 7	-6.306	14.839
	15 20	5.346	-14.412		17 4	-6.256	13.261		18 9	6.277	-14.759
	17 22	-5.377	14.183		19 6	6.252	-13.176		20 10	-6.276	15.167
	20 0	5.378	-14.096		21 8	-6.284	12.890		22 12	6.249	-15.098
	22 1	-5.410	14.421		23 9	6.280	-13.549		24 14	-6.247	14.806
	24 3	5.415	-14.346		25 11	-6.315	13.269		26 16	6.220	-14.733
	26 5	-5.446	14.112		27 13	6.311	-13.192		28 17	-6.215	15.125
	28 7	5.452	-14.033		29 15	-6.338	12.900		30 19	6.191	-15.068
	30 9	-5.481	13.785	Juill.	1 16	6.336	-13.573	Oct.	2 21	-6.181	14.752
Avril	1 10	5.488	-14.294		3 18	-6.364	13.276		4 22	6.158	-15.376

UMBRIEL 2010

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	"	"			
Oct.	7	0	-6.151	15.068	Nov.	7	1	5.890	-15.658	Déc.	8	3	-5.712	15.214
	9	2	6.126	-15.017		9	3	-5.891	15.359		10	5	5.691	-15.120
	11	3	-6.116	15.362		11	5	5.861	-15.297		12	6	-5.690	15.419
	13	5	6.094	-15.321		13	6	-5.860	15.600		14	8	5.673	-15.335
	15	7	-6.082	14.992		15	8	5.830	-15.532		16	10	-5.676	15.065
	17	8	6.057	-15.606		17	10	-5.834	15.250		18	12	5.660	-14.976
	19	10	-6.051	15.285		19	12	5.801	-15.163		20	13	-5.658	15.271
	21	12	6.025	-15.242		21	13	-5.805	15.482		22	15	5.647	-15.192
	23	13	-6.017	15.559		23	15	5.777	-15.399		24	17	-5.648	14.906
	25	15	5.991	-15.518		25	17	-5.778	15.123		26	19	5.639	-14.840
	27	17	-5.984	15.193		27	18	5.749	-15.615		28	21	-5.637	14.534
	29	19	5.956	-15.153		29	20	-5.756	15.353		30	22	5.628	-15.048
	31	20	-5.953	15.463	Déc.	1	22	5.729	-15.259	Janv.	2	0	-5.633	14.756
Nov.	2	22	5.924	-15.412		4	0	-5.730	14.989					
	5	0	-5.920	15.101		6	1	5.707	-15.473					

TITANIA 2010

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Janv.	1 1	-8.352	26.643	Mai	7 16	9.580	-21.536	Sept.	10 21	-10.349	23.798	
	5 9	8.327	-26.598		12 0	-9.655	21.903		15 5	10.311	-23.965	
	9 18	-8.340	26.423		16 9	9.731	-21.573		19 13	-10.258	24.385	
	14 3	8.323	-26.084		20 18	-9.801	21.410		23 21	10.210	-24.516	
	18 11	-8.341	26.218		25 2	9.875	-21.614		28 6	-10.159	24.383	
	22 20	8.333	-25.876		29 11	-9.951	21.497	Oct.	2 14	10.100	-24.540	
	27 5	-8.367	25.747	Juin	2 19	10.003	-21.692		6 22	-10.048	24.872	
	31 14	8.354	-25.343		7 4	-10.084	21.559		11 6	9.987	-25.019	
Févr.	4 23	-8.403	25.226		11 13	10.131	-21.209		15 15	-9.931	24.813	
	9 7	8.398	-25.179		15 21	-10.204	21.641		19 23	9.870	-24.930	
	13 16	-8.453	25.061			20 6	10.244	-21.280		24 7	-9.823	25.262
	18 1	8.461	-24.667		24 14	-10.316	21.792	Nov.	28 15	9.746	-25.326	
	22 10	-8.522	24.584		28 23	10.336	-21.357		2 0	-9.710	25.133	
Mars	26 19	8.536	-24.136	Juill.	3 7	-10.407	21.893		6 8	9.637	-25.198	
	3 4	-8.608	24.069		7 16	10.416	-21.462		10 16	-9.601	25.464	
		7 12	8.628		-24.027		12 0		-10.477	21.994	15 1	9.533
		11 21	-8.705		23.957		16 8	10.480	-22.158	19 9	-9.507	25.341
		16 6	8.742		-23.544		20 17	-10.523	22.150	23 18	9.432	-24.835
	20 15	-8.812	23.461		25 1	10.518	-22.252	28 2	-9.420	25.151		
	25 0	8.862	-23.025		29 10	-10.552	22.261	Déc.	2 10	9.350	-25.110	
Avril	29 9	-8.937	22.956	Août	2 18	10.534	-22.363		6 19	-9.343	24.940	
	2 17	8.990	-22.968		7 2	-10.555	22.942	11 3	9.285	-24.900		
	7 2	-9.070	22.900		11 11	10.536	-22.497	15 12	-9.281	24.761		
	11 11	9.136	-22.514		15 19	-10.529	23.048	19 20	9.231	-24.670		
	15 20	-9.207	22.387		20 3	10.509	-23.168	24 5	-9.238	24.547		
	20 5	9.282	-22.001		24 12	-10.491	23.137	Janv.	28 14	9.195	-23.993	
	24 14	-9.353	21.883		28 20	10.458	-23.245		1 22	-9.209	24.318	
	28 22	9.431	-21.996	Sept.	2 4	-10.432	23.767					
Mai	3 7	-9.507	21.890		6 12	10.394	-23.931					

OBÉRON 2010

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	16	-11.065	35.907	Mai	10	5	12.773	-28.926	Sept.	15	1	-13.680	32.321	
	8	10	11.057	-35.502		16	23	-12.922	28.951		21	18	13.579	-32.554	
	15	5	-11.046	35.014		23	17	13.079	-28.692		28	11	-13.472	32.951	
	21	23	11.069	-34.632		30	11	-13.205	28.709		Oct.	5	4	13.360	-33.067
	28	17	-11.072	34.371		Juin	6	5	13.369			-28.485	11	21	-13.238
Févr.	4	11	11.138	-34.074		12	22	-13.464	29.016		18	14	13.125	-33.514	
	11	6	-11.158	33.509		19	16	13.618	-28.831		25	7	-12.990	33.803	
	18	0	11.256	-33.250		26	10	-13.677	28.802	Nov.	1	0	12.898	-33.839	
	24	19	-11.299	32.628	Juill.	3	3	13.818	-29.220		7	17	-12.757	34.061	
	Mars	3	13	11.422		-32.437	9	21	-13.841		29.172	14	11	12.682	-33.664
	10	8	-11.490	31.807		16	14	13.951	-29.622		21	4	-12.547	33.769	
	17	2	11.630	-31.620		23	8	-13.945	29.507	Déc.	27	21	12.498	-33.825	
	23	21	-11.733	30.999		30	1	14.012	-30.018		4	15	-12.377	33.472	
	30	15	11.881	-30.835	Août	5	18	-13.976	30.404		11	9	12.349	-33.128	
Avril	6	10	-12.007	30.230		12	12	13.995	-30.358		18	2	-12.257	33.105	
	13	4	12.158	-30.015		19	5	-13.944	30.754			24	20	12.249	-32.796
	19	22	-12.308	29.914		25	22	13.915	-31.191		31	14	-12.188	32.376	
	26	16	12.461	-29.696	Sept.	1	15	-13.840	31.578						
Mai	3	11	-12.617	29.198		8	8	13.768	-31.889						

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2010

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	Ven	2455198	1	1	Lun	2455229	32	1	Lun	2455257	60
2	Sam	5199	2	2	Mar	5230	33	2	Mar	5258	61
3	Dim	5200	3	3	Mer	5231	34	3	Mer	5259	62
4	Lun	5201	4	4	Jeu	5232	35	4	Jeu	5260	63
5	Mar	5202	5	5	Ven	5233	36	5	Ven	5261	64
6	Mer	5203	6	6	Sam	5234	37	6	Sam	5262	65
7	Jeu	5204	7	7	Dim	5235	38	7	Dim	5263	66
8	Ven	5205	8	8	Lun	5236	39	8	Lun	5264	67
9	Sam	5206	9	9	Mar	5237	40	9	Mar	5265	68
10	Dim	5207	10	10	Mer	5238	41	10	Mer	5266	69
11	Lun	5208	11	11	Jeu	5239	42	11	Jeu	5267	70
12	Mar	5209	12	12	Ven	5240	43	12	Ven	5268	71
13	Mer	5210	13	13	Sam	5241	44	13	Sam	5269	72
14	Jeu	5211	14	14	Dim	5242	45	14	Dim	5270	73
15	Ven	5212	15	15	Lun	5243	46	15	Lun	5271	74
16	Sam	5213	16	16	Mar	5244	47	16	Mar	5272	75
17	Dim	5214	17	17	Mer	5245	48	17	Mer	5273	76
18	Lun	5215	18	18	Jeu	5246	49	18	Jeu	5274	77
19	Mar	5216	19	19	Ven	5247	50	19	Ven	5275	78
20	Mer	5217	20	20	Sam	5248	51	20	Sam	5276	79
21	Jeu	5218	21	21	Dim	5249	52	21	Dim	5277	80
22	Ven	5219	22	22	Lun	5250	53	22	Lun	5278	81
23	Sam	5220	23	23	Mar	5251	54	23	Mar	5279	82
24	Dim	5221	24	24	Mer	5252	55	24	Mer	5280	83
25	Lun	5222	25	25	Jeu	5253	56	25	Jeu	5281	84
26	Mar	5223	26	26	Ven	5254	57	26	Ven	5282	85
27	Mer	5224	27	27	Sam	5255	58	27	Sam	5283	86
28	Jeu	5225	28	28	Dim	5256	59	28	Dim	5284	87
29	Ven	5226	29					29	Lun	5285	88
30	Sam	5227	30					30	Mar	5286	89
31	Dim	5228	31					31	Mer	5287	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	Jeu	2455288	91	1	Sam	2455318	121	1	Mar	2455349	152
2	Ven	5289	92	2	Dim	5319	122	2	Mer	5350	153
3	Sam	5290	93	3	Lun	5320	123	3	Jeu	5351	154
4	Dim	5291	94	4	Mar	5321	124	4	Ven	5352	155
5	Lun	5292	95	5	Mer	5322	125	5	Sam	5353	156
6	Mar	5293	96	6	Jeu	5323	126	6	Dim	5354	157
7	Mer	5294	97	7	Ven	5324	127	7	Lun	5355	158
8	Jeu	5295	98	8	Sam	5325	128	8	Mar	5356	159
9	Ven	5296	99	9	Dim	5326	129	9	Mer	5357	160
10	Sam	5297	100	10	Lun	5327	130	10	Jeu	5358	161
11	Dim	5298	101	11	Mar	5328	131	11	Ven	5359	162
12	Lun	5299	102	12	Mer	5329	132	12	Sam	5360	163
13	Mar	5300	103	13	Jeu	5330	133	13	Dim	5361	164
14	Mer	5301	104	14	Ven	5331	134	14	Lun	5362	165
15	Jeu	5302	105	15	Sam	5332	135	15	Mar	5363	166
16	Ven	5303	106	16	Dim	5333	136	16	Mer	5364	167
17	Sam	5304	107	17	Lun	5334	137	17	Jeu	5365	168
18	Dim	5305	108	18	Mar	5335	138	18	Ven	5366	169
19	Lun	5306	109	19	Mer	5336	139	19	Sam	5367	170
20	Mar	5307	110	20	Jeu	5337	140	20	Dim	5368	171
21	Mer	5308	111	21	Ven	5338	141	21	Lun	5369	172
22	Jeu	5309	112	22	Sam	5339	142	22	Mar	5370	173
23	Ven	5310	113	23	Dim	5340	143	23	Mer	5371	174
24	Sam	5311	114	24	Lun	5341	144	24	Jeu	5372	175
25	Dim	5312	115	25	Mar	5342	145	25	Ven	5373	176
26	Lun	5313	116	26	Mer	5343	146	26	Sam	5374	177
27	Mar	5314	117	27	Jeu	5344	147	27	Dim	5375	178
28	Mer	5315	118	28	Ven	5345	148	28	Lun	5376	179
29	Jeu	5316	119	29	Sam	5346	149	29	Mar	5377	180
30	Ven	5317	120	30	Dim	5347	150	30	Mer	5378	181
				31	Lun	5348	151				

CALENDRIER 2010

JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			181	0			212	0			243
1	Jeu	2455379	182	1	Dim	2455410	213	1	Mer	2455441	244
2	Ven	5380	183	2	Lun	5411	214	2	Jeu	5442	245
3	Sam	5381	184	3	Mar	5412	215	3	Ven	5443	246
4	Dim	5382	185	4	Mer	5413	216	4	Sam	5444	247
5	Lun	5383	186	5	Jeu	5414	217	5	Dim	5445	248
6	Mar	5384	187	6	Ven	5415	218	6	Lun	5446	249
7	Jeu	5385	188	7	Sam	5416	219	7	Mar	5447	250
8	Mer	5386	189	8	Dim	5417	220	8	Mer	5448	251
9	Ven	5387	190	9	Lun	5418	221	9	Jeu	5449	252
10	Sam	5388	191	10	Mar	5419	222	10	Ven	5450	253
11	Dim	5389	192	11	Mer	5420	223	11	Sam	5451	254
12	Lun	5390	193	12	Jeu	5421	224	12	Dim	5452	255
13	Mar	5391	194	13	Ven	5422	225	13	Lun	5453	256
14	Mer	5392	195	14	Sam	5423	226	14	Mar	5454	257
15	Jeu	5393	196	15	Dim	5424	227	15	Mer	5455	258
16	Ven	5394	197	16	Lun	5425	228	16	Jeu	5456	259
17	Sam	5395	198	17	Mar	5426	229	17	Ven	5457	260
18	Dim	5396	199	18	Mer	5427	230	18	Sam	5458	261
19	Lun	5397	200	19	Jeu	5428	231	19	Dim	5459	262
20	Mar	5398	201	20	Ven	5429	232	20	Lun	5460	263
21	Mer	5399	202	21	Sam	5430	233	21	Mar	5461	264
22	Jeu	5400	203	22	Dim	5431	234	22	Mer	5462	265
23	Ven	5401	204	23	Lun	5432	235	23	Jeu	5463	266
24	Sam	5402	205	24	Mar	5433	236	24	Ven	5464	267
25	Dim	5403	206	25	Mer	5434	237	25	Sam	5465	268
26	Lun	5404	207	26	Jeu	5435	238	26	Dim	5466	269
27	Mar	5405	208	27	Ven	5436	239	27	Lun	5467	270
28	Mer	5406	209	28	Sam	5437	240	28	Mar	5468	271
29	Jeu	5407	210	29	Dim	5438	241	29	Mer	5469	272
30	Ven	5408	211	30	Lun	5439	242	30	Jeu	5470	273
31	Sam	5409	212	31	Mar	5440	243				
OCTOBRE				NOVEMBRE				DÉCEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			273	0			304	0			334
1	Ven	2455471	274	1	Lun	2455502	305	1	Mer	2455532	335
2	Sam	5472	275	2	Mar	5503	306	2	Jeu	5533	336
3	Dim	5473	276	3	Mer	5504	307	3	Ven	5534	337
4	Lun	5474	277	4	Jeu	5505	308	4	Sam	5535	338
5	Mar	5475	278	5	Ven	5506	309	5	Dim	5536	339
6	Mer	5476	279	6	Sam	5507	310	6	Lun	5537	340
7	Jeu	5477	280	7	Dim	5508	311	7	Mar	5538	341
8	Ven	5478	281	8	Lun	5509	312	8	Mer	5539	342
9	Sam	5479	282	9	Mar	5510	313	9	Jeu	5540	343
10	Dim	5480	283	10	Mer	5511	314	10	Ven	5541	344
11	Lun	5481	284	11	Jeu	5512	315	11	Sam	5542	345
12	Mar	5482	285	12	Ven	5513	316	12	Dim	5543	346
13	Mer	5483	286	13	Sam	5514	317	13	Lun	5544	347
14	Jeu	5484	287	14	Dim	5515	318	14	Mar	5545	348
15	Ven	5485	288	15	Lun	5516	319	15	Mer	5546	349
16	Sam	5486	289	16	Mar	5517	320	16	Jeu	5547	350
17	Dim	5487	290	17	Mer	5518	321	17	Ven	5548	351
18	Lun	5488	291	18	Jeu	5519	322	18	Sam	5549	352
19	Mar	5489	292	19	Ven	5520	323	19	Dim	5550	353
20	Mer	5490	293	20	Sam	5521	324	20	Lun	5551	354
21	Jeu	5491	294	21	Dim	5522	325	21	Mar	5552	355
22	Ven	5492	295	22	Lun	5523	326	22	Mer	5553	356
23	Sam	5493	296	23	Mar	5524	327	23	Jeu	5554	357
24	Dim	5494	297	24	Mer	5525	328	24	Ven	5555	358
25	Lun	5495	298	25	Jeu	5526	329	25	Sam	5556	359
26	Mar	5496	299	26	Ven	5527	330	26	Dim	5557	360
27	Mer	5497	300	27	Sam	5528	331	27	Lun	5558	361
28	Jeu	5498	301	28	Dim	5529	332	28	Mar	5559	362
29	Ven	5499	302	29	Lun	5530	333	29	Mer	5560	363
30	Sam	5500	303	30	Mar	5531	334	30	Jeu	5561	364
31	Dim	5501	304					31	Ven	5562	365

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : William THUILLOT
Directeur adjoint : Daniel HESTROFFER

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : William THUILLOT,
Patrick ROCHER.

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

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : Jean-Eudes ARLOT,
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, Lydia MELLUL.
<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>	Maryse MARTINEZ, Thérèse DEROUAZI, Philippe DUHAMEL, Yohann GOMINET, Agnès PATU.

ÉTUDIANTS pour l'année 2009

<i>Thésitifs :</i>	Guillaume MORIN, Jocelyn COUETDIC, Josselin DESMARS, François FARAGO, Petr KUCHYNKA, Vincent ROBERT, Gwenaél BOUÉ, Julien FROUARD, Pierre INIZAN, David BANCELIN, Laurène BEAUVALET, Thierry COMBOT, Lucie MAQUET, Alin NEDELUCU.
--------------------	--

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2009

Président : André LEBEAU
Vice-Président : Nicole CAPITAINÉ
Secrétaire : Pierre BAÜER

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 CAPITAINÉ, 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.
Stéphane JANICHEWSKI, directeur de la stratégie, des programmes et des relations internationales du CNES, Paris.
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 DIMARCO, directeur du SYRTE, observatoire de Paris.

Secrétaire administratif : Michel TELLIER

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 1 0

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 tangentiels 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 332^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.



37 euros

978-2-7598-0468-9

www.edpsciences.org

 **EDP**
SCIENCES