

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

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 1 6

edp sciences

BUREAU DES LONGITUDES

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

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2016

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2016.

Agenda astronomique pour 2016.

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 2016.

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

Suppléments à la Connaissance des Temps.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2013.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2013.

Le Calendrier Républicain (réédition en 1994).

L'astronomie au service de tous (2009).

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

Publications éditées par l'Observatoire de Paris

Promenade dans le système solaire (CD-ROM).

Les rendez-vous de Vénus (CD-ROM).

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

Vénus : le 8 juin 2004 (CD-ROM).

Dédié au passage de Vénus sur le disque du Soleil.

© EDP Sciences 2015

ISBN : 978-2-7598-1789-4

Le logiciel ecdt qui accompagne cet ouvrage est téléchargeable à l'adresse suivante :
laboutique.edpsciences.fr/produit/815/9782759817894/Ephemerides%20astronomiques%202016

AVANT-PROPOS

La *Connaissance des Temps* est, de toutes les éphémérides publiées de nos jours, la plus ancienne puisque son premier volume concerne l'année 1679. Cet ouvrage d'éphémérides, à parution annuelle, a eu, depuis sa création, un caractère spécifiquement scientifique. L'évolution, au cours du temps, suivra les progrès de la science, fera place aux nouvelles découvertes, introduira des théories et des concepts nouveaux, fournira les éphémérides des corps célestes avec une précision toujours accrue.

La *Connaissance des Temps* s'est trouvée placée à ses débuts sous des responsabilités diverses, puis pour une longue période sous l'autorité de l'Académie Royale des Sciences. Quand, en 1795, le Bureau des longitudes est créé, la réalisation de la *Connaissance des Temps* lui est attribuée.

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

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

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

François Barlier
Président du Bureau des longitudes

PRÉFACE

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

- des données numériques qui permettent de calculer les positions de nombreux objets du système solaire ;
- des textes scientifiques qui donnent les bases d'astronomie fondamentale et de mécanique céleste nécessaires à la compréhension et à 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-7-2013. 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, a représenté 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 constantes liées aux nouveaux concepts sont données par les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2009 et 2012.
- 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 *eCDT*, téléchargeable à l'adresse

<http://laboutique.edpsciences.fr/produit/815/9782759817894/Ephemerides%20astronomiques%202016>.

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

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

D. Hestroffer

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

J-E. Arlot, M. Birlan

Responsables de la publication

J. Normand

Responsable du logiciel

Collaboration technique : J.-L. Simon, P. Rocher, J. Berthier, J. Normand, Ph. Duhamel, J. Gominet, S. Lemaître-Pottier, H. Manche.

LISTE DES ACRONYMES

AIG	Association internationale de géodésie (voir aussi IAG)
BCRS	Barycentric Celestial Reference System
BEP	Basic Earth Parameters
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie
BRS	Barycentric Reference System
CCDS	Comit consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches godynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRS	Celestial Intermediate Reference System
CNES	Centre national d'études spatiales
DGRS	Dynamical Geocentric Reference System
DORIS	Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite
EOP	Earth Orientation Parameters
ERA	Earth Rotation Angle
ET	Ephemeris Time (voir aussi TE)
FCN	Free Core Nutation
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 coordonné barycentrique
TCG	Temps coordonné 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.

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

Les serveurs sur Internet

<http://www.imcce.fr>

<http://www.imcce.eu>

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

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

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

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	I. iii
Préface	I. v
Liste des acronymes	I. vii
Notations	I. ix
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. 9

1.4. Données concernant les corps du système solaire I. 16

1.5. Autres constantes et unités I. 31

1.6. Bibliographie. I. 34

2. Échelles de temps I. 39

2.1. Introduction. Le temps et les astronomes I. 39

2.2. Évolution des échelles de temps I. 40

2.3. Le temps universel (TU ou UT, Universal Time) I. 42

2.4. Le temps atomique international (TAI) I. 43

2.5. Le temps universel coordonné (UTC, Universal Time Coordinated) I. 46

2.6. Le temps des éphémérides (TE ou ET, Ephemeris Time) I. 49

2.7. Les échelles de temps relativistes I. 50

2.8. Bibliographie I. 55

3. Systèmes de référence I. 63

3.1. Introduction aux systèmes de référence I. 63

3.2. Systèmes de référence relativistes I. 65

3.3. Systèmes de référence dynamiques I. 72

3.4. Le système de référence céleste international ICRS I. 80

3.5. Le système international de référence terrestre ITRS I. 86

3.6. Passage du système de référence céleste géocentrique au système de référence terrestre I. 94

3.7. Bibliographie I. 109

4. Rotation de la Terre	I. 115
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 115
4.2. La précession	I. 121
4.3. Modèles de nutation	I. 127
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 137
4.5. Bibliographie	I. 146
5. Changements de coordonnées	I. 149
5.1. Notions préliminaires	I. 149
5.2. Coordonnées usuelles	I. 151
5.3. Formules de changements de coordonnées	I. 156
5.4. Application des résolutions de l'UAI 2001 aux changements de coordonnées	I. 164
5.5. Bibliographie	I. 168
6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 169
6.1. Introduction	I. 169
6.2. TT-TDB	I. 170
6.3. Ajustement aux observations planétaires	I. 171
6.4. Paramètres ajustés dans INPOP10a	I. 171
6.5. Précisions et incertitudes sur les orbites des planètes	I. 172
6.6. La Lune	I. 178
6.7. Bibliographie	I. 181
7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 183
7.1. Introduction	I. 183
7.2. Modèle dynamique	I. 183
7.3. Ajustement aux observations	I. 184
7.4. Représentation des solutions	I. 186
7.5. Bibliographie	I. 188
8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 189
8.1. Présentation des éphémérides	I. 189
8.2. Sources des éphémérides	I. 193
8.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 194
8.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 196
8.5. Précision des éphémérides	I. 198
8.6. Bibliographie	I. 202

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2016	II. 1
Temps sidéral, nutation	II. 3
Temps sidéral, nutation en longitude et obliquité	II. 4
Angle de rotation de la Terre	II. 9
Angle de rotation de la Terre, équation des origines	II. 10
Système céleste intermédiaire	II. 15
Coordonnées du CIP X et Y, Angle s	II. 16
Soleil	II. 21
Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite, déclinaison, temps de passage	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30
Lune	II. 35
Ascension droite, déclinaison, distance	II. 36
Planètes principales	II. 53
Coordonnées héliocentriques	II. 54
Mercure	II. 54
Vénus	II. 58
Mars	II. 60
Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune	II. 61
Coordonnées géocentriques	II. 62
Mercure	II. 62
Vénus	II. 66
Mars	II. 70
Jupiter	II. 74
Saturne	II. 78
Uranus	II. 82
Neptune	II. 86
Pluton et astéroïdes	II. 91
Coordonnées géocentriques	II. 92
Pluton	II. 92
Cérès	II. 93
Pallas	II. 94
Junon	II. 95

Vesta	II. 96
Satellites de Mars	II. 97
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations Est	II. 98
Phobos	II. 98
Déimos	II. 106
Satellites de Jupiter	II. 109
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 110
Io	II. 110
Europe	II. 114
Ganymède	II. 116
Callisto	II. 117
Satellites de Saturne	II. 119
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 120
Mimas	II. 120
Encelade	II. 126
Téthys	II. 130
Dioné	II. 133
Rhéa	II. 135
Titan	II. 136
Hypériorion	II. 137
Japet	II. 137
Satellites d'Uranus	II. 139
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 140
Miranda	II. 140
Ariel	II. 144
Umbriel	II. 147
Titania	II. 149
Obéron	II. 150
Calendrier	II. 151
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides	II. 155
Composition du Bureau des longitudes	II. 158

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. 115
Chapitre 5. Changements de coordonnées	I. 149
Chapitre 6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 169
Chapitre 7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 183
Chapitre 8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 189

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

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

1.1. INTRODUCTION

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

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

- IERS 2003, les données issues du système de référence standard défini par le Service international de rotation de la Terre (IERS, International Earth rotation and Reference systems Service) ;
- IERS 2009/2012, le système de constantes astronomiques publiées dans le rapport du groupe de travail sur les standards numériques en astronomie fondamentale de l'UAI (Luzum et al. 2011) complété par la résolution B2 de l'UAI2012 concernant la redéfinition de l'unité astronomique ;

- Seidelmann et al. 2002, 2005, 2007, les données publiées par le *groupe de travail* commun à l'UAI et à l'Association internationale de géodésie (IAG, International Association of Geodesy) sur les coordonnées cartographiques et les éléments rotationnels des planètes et des satellites ;
- Fukushima 2000, les propositions du *groupe de travail* de l'UAI sur les constantes astronomiques ;

1.2. SYSTÈMES D'UNITÉS

1.2.1. Système fondamental

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 d’unités.

L’unité de masse est la masse du Soleil.

Une nouvelle définition a été adoptée pour l’unité astronomique par la Résolution B2 de l’UAI en 2012. Par cette définition l’unité astronomique est une unité conventionnelle de longueur égale à 149 597 870 700 m exactement.

La définition antérieure de l’unité de longueur l’établissait comme étant 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 ⁽¹⁾.

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 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 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

⁽¹⁾ La valeur de k , adoptée par l’UAI en 1938 (UAI, 1939) est de $k=0.017\,202\,098\,95$.

m_G les unités de temps et de longueur compatibles avec l'emploi du TT, on a :

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

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

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

On donne dans la table 1.6 les valeurs de L_G et L_B .

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

1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

1.3.1. Origine des temps

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

L'époque standard a été définie pour l'UAI 1976, comme le premier janvier 2000 à 12 heures de l'échelle de temps utilisée (*cf.* chapitre 2). Elle correspond au début du jour julien 2 451 545.0, et est désignée par J2000.0 (UAI, 1977). Dans la suite de cet ouvrage, nous la noterons J2000. Par définition, le début d'une année julienne est séparé de l'époque standard par un nombre entier d'années juliennes. Ainsi, le début de l'année julienne 1995, désigné par 1995.0, correspond au jour julien $2\,451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75$, soit le 1 janvier 1995 à 6 heures.

1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

La table 1.6 fournit les valeurs des constantes astronomiques dans le système UAI 2009/2012 et dans les systèmes IERS2003 et IERS2010.

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 2009 et UAI 2012, et les éphémérides DE405/LE405 (Standish, 1998).

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 en général très mal déterminées. À titre indicatif les masses des trois plus gros astéroïdes données dans le système UAI 2009 et UAI 2012 sont, exprimées en masse solaire :

$$4.72 \times 10^{-10} \pm 3 \times 10^{-12} \text{ pour Cérés}$$

$$1.03 \times 10^{-10} \pm 3 \times 10^{-12} \text{ pour Pallas}$$

$$1.35 \times 10^{-10} \pm 3 \times 10^{-12} \text{ pour Vesta}$$

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 2009 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 astronomiques dans les systèmes de l'UAI 2009/2012 et IERS 2003/2010.

	UAI 2009/2012	IERS 2003/2010
Constante naturelle		
Vitesse de la lumière, c	299 792 458 m s ⁻¹	
Constantes auxiliaires		
Unité astronomique, ua	149 597 870 700 m	
1-d(TT)/d(TCG), L_G	6.969 290 134 × 10 ⁻¹⁰	
1-d(TDB)/d(TCB), L_B	1.550 519 768 × 10 ⁻⁸	
TDB-TCB à T ₀ , TDB ₀	-6.55 × 10 ⁻⁵	
ERA à J2000, θ_0	0.779 057 273 2640 rev.	
Taux de variation ERA, $d\theta/dt$	1.002 737 811 911 354 48 rev. (jour UT1) ⁻¹	
Constante mesurable		
Constante de la gravitation, G	6.674 28 × 10 ⁻¹¹ ± 67 × 10 ⁻¹⁶ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	
Autres constantes		
Valeur moyenne de 1-d(TCG)/d(TCB), L_C	1.480 826 867 41 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷	
Constante héliocentrique de la gravitation, GS	1.327 124 420 99 × 10 ²⁰ ± 1 × 10 ¹⁰ m ³ s ⁻² (TCB) 1.327 124 400 41 × 10 ²⁰ ± 1 × 10 ¹⁰ m ³ s ⁻² (TDB)	
Rayon équatorial de la Terre, R		6 378 136.6 ± 0.1 m
Facteur d'ellipticité géopotential de la Terre, J_2		0.001 082 6359 ± 1 × 10 ⁻¹⁰
Vitesse de changement du facteur d'ellipticité de la Terre, \dot{J}_2	-3.0 × 10 ⁻⁹ ± 6 × 10 ⁻¹⁰ cycles ⁻¹	
Constante géocentrique de la gravitation, GM	3.986 004 418 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻² ± 8 × 10 ⁵ (TCB) 3.986 004 415 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻² ± 8 × 10 ⁵ (TT) 3.986 004 356 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻² ± 8 × 10 ⁵ (TDB)	
Potentiel de gravité à la surface du géoïde, W		62 636 856.0 ± 0.5 m ² s ⁻²
Vitesse angulaire moyenne de rotation de la Terre, ω		7.292 115 × 10 ⁻⁵ rad s ⁻¹ (TT)
Obliquité de l'écliptique pour J2000, ε_0	23° 26' 21".406 ± 0".001	23° 26' 21".4059 ± 0".003
Temps de lumière pour l'unité de distance, τ_A	499.004 782 s	499.004 783 8061 ± 2 × 10 ⁻⁸ s

Table 1.6. (fin).

	UAI 2009/2012	IERS 2003/2010
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, μ	$0.012\,300\,0371 \pm 4 \times 10^{-10}$	$0.012\,300\,0383 \pm 5 \times 10^{-10}$
Masse du Soleil, $GS/G = S$	1.9884×10^{30} kg	
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	
Aplatissement de la Terre, f	$0.003\,352\,81 = 1/298.257$	$1/298.256\,42 \pm 1/0.00001$
Constante de la précession par siècle julien pour J2000, p	$5\,028''.796\,195(\text{TDB})$	
Constante de la nutation pour J2000, N_0	$9''.2052331$	
Parallaxe solaire, $\pi_0 = \arcsin(R/A)$	$8''.794\,148$	
Constante de l'aberration pour J2000, κ	$20''.495\,52$	

Table 1.7. Rapport de la masse du Soleil aux masses des planètes principales dans les systèmes UAI 2009 (Luzum et al, 2011), UAI 2012 et DE421. Les valeurs numériques entre parenthèses donnent les erreurs estimées.

	UAI2009 – UAI2012	DE421
Mercure	6 023 600(300)	6 023 597.400
Vénus	408 523.719(8)	408 523.719
Terre	332 946.048 7(7)	332 946.048 166
Lune		27 068 703.185 436
Mars	3 098 703.59(2)	3 098 703.590
Jupiter + satellites galiléens	1 047.348 644(2)	1 047.3486
Saturne + satellites	3 497.9018(1)	3 497.902
Uranus + satellites	22 902.98(3)	22 902.982
Neptune + satellites	19 412.26(3)	19 412.237
(134 340) Pluton + satellites	136 566 000(28 000)	135 836 683.768
(136 199) Eris	119 100 000(1 400 000)	

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

		UAI 1976	Jacobson 2001 (a) Jacobson et al. 2006 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	4.70×10^{-5}	4.703×10^{-5} (a)
	Europe	2.56×10^{-5}	2.527×10^{-5} (a)
	Ganymède	7.84×10^{-5}	7.803×10^{-5} (a)
	Callisto	5.6×10^{-5}	5.666×10^{-5} (a)
Saturne	Titan	2.41×10^{-4}	2.367×10^{-4} (b)
	Titan	2.41×10^{-4}	2.367×10^{-4} (b)
Neptune	Triton	2×10^{-3}	2.09×10^{-4} (c)

Table 1.9. Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil, en kilomètres, dans les systèmes UAI 1976, Seidelmann et al. 2002, et Archinal et al. 2010.

	UAI 1976	Archinal et al. 2010
Mercure	2 439	2 439.7 ± 1.0
Vénus	6 052	6 051.8 ± 1.0
Terre	6 378.140	6 378.1366 ± 0.0001
Mars	3 397.2	3 396.19 ± 0.1
Jupiter	71 398	71 492 ± 4 ⁽¹⁾
Saturne	60 000	60 268 ± 4 ⁽¹⁾
Uranus	25 400	25 559 ± 4 ⁽¹⁾
Neptune	24 300	24 764 ± 15 ⁽¹⁾
Pluton	2 500	1 195 ± 5
Lune	1 738	1 737.4 ± 1
Soleil	696 000	696 000

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

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

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

UAI 1976		Fukushima 1990 (a); EGM 2008 (b); Konopliv et al. 2006 (c); Jacobson 2001 (d); Campbell et Anderson 1989 (e); Owen et al. 1991 (f);	
Vénus			
J ₂		+ 0.000 006	(a)
Terre			
J ₂	+ 0.001 082 63	+ 0.001 082 6355	(b)
J ₃	- 0.000 002 54	- 0.000 002 5324	(b)
J ₄	- 0.000 001 61	- 0.000 001 6199	(b)
Mars			
J ₂	+ 0.001 964	+ 0.001 9566	(c)
J ₃	+ 0.000 036	+ 0.000 0315	(c)
J ₄		- 0.000 0154	(c)
C ₂₂	- 0.000 055	- 0.000 0546	(c)
S ₂₂	+ 0.000 031	+ 0.000 0316	(c)
S ₃₁	+ 0.000 026	+ 0.000 0272	(c)
Jupiter			
J ₂	+ 0.014 75	+ 0.014 7350	(d)
J ₃		+ 0.000 0002	(d)
J ₄	- 0.000 58	- 0.000 5888	(d)
J ₆		+ 0.000 0278	(d)
Saturne			
J ₂	+ 0.016 45	+ 0.016 290.71	(e)
J ₄	- 0.001 0	- 0.000 935.83	(e)
J ₆		+ 0.000 086.14	(e)
Uranus			
J ₂	+ 0.012	+ 0.003 339	(a)
J ₄		- 0.000 032	(a)
Neptune			
J ₂	+ 0.004	+ 0.003 41	(f)
J ₄		- 0.000 03	(f)

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

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

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

1.4. DONNÉES CONCERNANT LES CORPS DU SYSTÈME SOLAIRE

1.4.1. Éléments orbitaux des planètes, de Pluton et satellites découverts avant 1990

Nous donnons dans la table 1.12 les éléments orbitaux des planètes principales et de Pluton⁽¹⁾ pour les variables a (demi-grand axe de l'orbite), λ (longitude moyenne), k ($e \cos \varpi$, où e est l'excentricité de l'orbite et ϖ , la longitude du périhélie), h ($e \sin \varpi$), q ($\sin \frac{I}{2} \cos \Omega$, où I est l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique et Ω la longitude du nœud de l'orbite sur l'écliptique) et p ($\sin \frac{I}{2} \sin \Omega$). Ces éléments sont rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques inertiels (*cf.* 3.3.2) J2000. Ce sont les parties constantes des éléments moyens donnés par Simon et al. (1994) pour les planètes principales et par Simon et al. (2013) 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
Mercure	0.387 098 31	252.250 905 52	0.044 660 60	0.200 723 31	0.040 615 63	0.045 635 50
Vénus	0.723 329 82	181.979 800 85	–0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 10	0.028 822 86
Terre	1.000 001 02	100.466 456 83	–0.003 740 82	0.016 284 48	0	0
Mars	1.523 679 34	355.432 999 58	0.085 365 60	–0.037 899 73	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	34.351 518 74	0.046 985 75	0.012 003 88	–0.002 065 60	0.011 183 75
Saturne	9.554 909 19	50.077 444 30	–0.002 959 99	0.055 429 61	–0.008 717 47	0.019 891 48
Uranus	19.218 446 06	314.055 005 11	–0.045 951 32	0.005 637 91	0.001 859 15	0.006 486 17
Neptune	30.110 386 87	304.348 665 48	0.005 999 78	0.006 692 42	–0.010 291 48	0.011 516 84
Pluton	39.544 617 14	238.663 915 15	–0.178 738 96	–0.173 404 72	–0.051 702 31	0.139 779 92

Dans la table 1.13 figurent les périodes de révolution sidérale P des planètes principales et de Pluton ainsi que leurs périodes de rotation T . Ces dernières sont calculées d'après les expressions définissant la position du méridien origine sur chaque planète (Seidemann et al., 2002, 2007).

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

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

J2000 (E), soit par rapport à l'équateur de la planète (e). Dans cette table figurent en outre, les noms des découvreurs des satellites et des anneaux ainsi que la date de leur découverte : en particulier les découvertes par Voyager 1 des anneaux de Jupiter (Johnson et al., 1979) et de l'anneau D de Saturne (Smith et al., 1981), et celles par Pioneer 11 des anneaux F et G (Gehrels et al., 1980).

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

Planètes	P (jours)	T	
Mercure	87.969	58.646 225	(¹)
Vénus	224.701	243.018 484	(¹) (²)
Terre	365.256	23.934 471	(³)
Mars	686.980	24.622 962	(³)
Jupiter	4 332.59	9.924 912	(³) (⁴) (⁵)
Saturne	10 759.2	10.656 222	(³) (⁴)
Uranus	30 688.5	17.240 000	(²) (³) (⁴)
Neptune	60 182.3	16.110 000	(³) (⁴)
Pluton	90 469.7	153.293 352	(²) (³)

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

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

Les éléments moyens des satellites de Mars sont tirés de Lainey (2007).

Pour Jupiter, les éléments publiés pour les anneaux sont donnés par Nicholson et Matthews (1991). Les éléments des satellites proches JXVI et JXV sont donnés par Nicholson et Matthews (1991) et ceux de JXIV par Synnott (1984). Les éléments des quatre satellites galiléens sont dus à Lainey (2004). Les éléments des satellites lointains sont dus à Emelyanov (2005) et Emelyanov & Kanter (2005).

Pour Saturne, les éléments publiés sont tirés de Esposito et al. (1984) pour les anneaux sauf l'anneau F dont les éléments sont tirés de Synnott et al. (1983). Les éléments des satellites principaux sont tirés de Vienne & Duriez (1995) et Duriez & Vienne (1997), ceux des satellites internes SXV à SXVIII de Jacobson (2008), et ceux des satellites co-orbitaux SXII à SXIV de Oberti & Vienne (2003).

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

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

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

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

Table 1.14. Éléments orbitaux des satellites découverts avant 1990.

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Terre							
Lune		383.398	0.055 546	5.156 69	(E)	27.3217	
Mars							
Phobos		9.38	0.0152	1.1	(e)	0.3191	Hall 1877
Déimos		23.46	0.0002	0.9/2.7	(e)	1.2626	Hall 1877
Jupiter							
Anneaux		122/129					Voyager 1 1979
Métis	XVI	128.0	≤ 0.005	0.06	(e)	0.294 779	Voyager 1/2 1979–1980
Adrastéia	XV	129.0	≤ 0.005	≤ 0.1	(e)	0.298 260	Voyager 1 1979–1980
Amalthée	V	181.4	0.003	0.4	(e)	0.498 179	Barnard 1892
Thébé	XIV	221.9	0.018	0.8	(e)	0.6745	Voyager 1 1979–1980
Io	I	421.9	0.004	0.01/0.06	(e)	1.7706 138	Galilée 1610
Europe	II	671.1	0.009	0.40/0.52	(e)	3.551 183	Galilée 1610
Ganymède	III	1 070.4	0.002	0.06/0.33	(e)	7.154 142	Galilée 1610
Callisto	IV	1 882.7	0.007	0.15/0.74	(e)	16.689 018	Galilée 1610
Léda	XIII	11 147	0.116/0.210	23.9/30.8	(e^8)	240.4	Kowal 1974
Himalia	VI	11 442	0.111/0.209	24.7/32.7	(e^8)	250.1	Perrine 1904–1905
Lysithéa	X	11 702	0.079/0.155	23.8/31.3	(e^8)	258.6	Nicholson 1938
Elara	VII	11 716	0.152/0.272	25.5/32.0	(e^8)	259.1	Perrine 1904–1905
Ananké	XII	21 078	0.077/0.459	141.3/154.9	(e^8)	624.9	Nicholson 1951
Pasiphaé	VIII	23 188	0.127/0.417	159.0/169.3	(e^8)	720.6	Melotte 1908
Carmé	XI	23 280	0.132/0.414	140.6/172.4	(e^8)	726.3	Nicholson 1938
Sinopé	IX	23 731	0.106/0.428	149.9/161.3	(e^8)	746.0	Nicholson 1914
Saturne							
Anneau D		67/74			(1)		Voyager 1 1981
Anneau C		74.6/92.0	0	0	(e^1)		Bond 1851
Anneau B		92.0/117.6			(1)		Galilée 1610
Anneau A		122.2/136.8			(1)		Galilée 1610
Anneau F		140.2	0.0026		(1)		Pioneer 11 1980

Table 1.14. (suite).

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

Table 1.14. (fin).

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

(e) Équateur de la planète.

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

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

⁽³⁾ Équateur céleste J2000.

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

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

⁽⁶⁾ Équateur céleste J2000. Éléments moyens sur 50 ans.

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

⁽⁸⁾ Valeurs moyennes (a , P) ou extremums (e , I) sur l’intervalle [1900, 2050].

1.4.2. Éléments osculateurs des satellites découverts après 1990

On donne dans la table 1.15, lorsqu’ils sont connus, les éléments osculateurs des satellites des planètes et planètes naines découverts depuis 1990.

Ces variables sont : a (la demi-grand axe de l’orbite), e (l’excentricité), I (l’inclinaison de l’orbite du satellite par rapport à l’écliptique J2000), ω (l’argument de la latitude du périhélie), Ω (la longitude du nœud de l’orbite sur l’écliptique J2000) et P (la période de révolution sidérale).

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

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

Nom	N°	a (10 ³ km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
Thémisto	XVIII	7 398	0.206	45.38	238.86	202.12	130.00	2000	1/04/01	M2000-Y16
Carmo	XLVI	17 056	0.295	55.15	83.28	45.26	455.07	2003	10/06/03	M2003-G67
Euporia	XXXIV	19 456	0.128	145.70	87.45	67.56	554.43	2001	22/11/02	M2003-C53
Jocaste	XXIV	20 424	0.389	150.37	80.01	271.32	596.29	2000	18/10/01	M2001-W07
Thyoné	XXIX	20 770	0.283	148.29	86.28	244.59	611.52	2001	22/11/02	M2002-V06
Mnémé	XL	20 823	0.223	148.51	62.18	19.66	613.88	2003	27/12/03	M2004-B42
Harpalycé	XXII	20 836	0.165	147.31	129.87	39.97	614.45	2000	18/10/01	M2001-U21
Hélicé	XLV	20 923	0.157	156.12	285.54	100.93	618.28	2003	10/06/03	M2003-E29
Euanthé	XXXIII	20 983	0.143	146.03	314.60	268.85	620.96	2001	22/11/02	M2003-A23
Hermippé	XXX	21 048	0.248	149.78	304.58	347.22	623.84	2001	22/11/02	M2002-V06
Orthosia	XXXV	21 263	0.240	141.95	223.56	222.85	633.44	2001	10/06/03	M2003-D36
Praxidicé	XXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Thelxinoé	XLII	21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
Aetna	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Calé	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Callichoré	XLIV	22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	2003	10/06/03	M2003-E29
Taygète	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldéné	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Calycé	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Hersé	L	23 035	0.199	164.16	355.68	329.01	714.23	2003	10/06/03	M2009-S76
Mégaclyté	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
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
Pasithée	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isonoé	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	XXXVIII	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
Dia	LI	12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	CBET4075
S/2003 J 2		28 494	0.380	151.83	167.11	4.73	982.61	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 3		18 291	0.241	143.73	98.23	240.36	505.36	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 4		23 196	0.204	144.86	193.98	190.71	721.71	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 5		24 020	0.210	165.01	122.05	198.68	760.51	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 9		22 382	0.269	164.46	327.85	61.47	684.05	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 10		24 185	0.214	164.09	185.20	173.41	768.36	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 12		18 952	0.376	145.76	23.36	62.94	532.99	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 15		22 012	0.113	140.85	41.58	243.05	667.17	2003	10/06/03	M2003-G17
S/2003 J 16		20 434	0.269	148.62	82.43	23.62	596.76	2003	10/06/03	M2003-G18

Table 1.15. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
S/2010 J 1		23 252	0.320	163.22	225.37	322.11	724.34	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2010 J 2		20 253	0.308	150.36	70.76	35.04	588.82	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2011 J 1		22 290	0.250	163.58	111.14	303.17	679.93	2011	14/03/12	CBET3002
S/2011 J 2		23 267	0.387	151.85	322.20	88.66	725.06	2011	14/03/12	CBET3002
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
Pallèné	XXXIII	211					1.14	2004		IAUC 8389
Kiviuq	XXIV	11 319	0.166	48.39	91.26	351.82	449.60	2000	18/10/01	M2001-T07
Ijiraq	XXII	11 359	0.359	49.18	70.73	150.97	452.00	2000	18/10/01	M2001-T06
Paaliaq	XX	14 985	0.462	45.86	241.98	350.03	684.86	2000	18/10/01	M2001-T06
Skathi	XXVII	15 472	0.212	148.71	207.65	285.51	718.51	2000	18/10/01	M2001-T23
Albiorix	XXVI	16 496	0.452	37.40	59.55	109.01	791.01	2000	18/10/01	M2001-T07
Bebhionn	XXXVII	17 154	0.333	40.75	9.71	193.15	820.13	2004	30/01/05	M2005-J13
Skoll	XLVII	17 474	0.422	155.62	206.42	296.79	862.37	2006	06/03/06	M2006-M48
Erriapus	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarqeq	LII	17 910	0.108	49.90	65.59	91.95	894.91	2007	10/04/07	M2007-G38
Tarvos	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
Hyrrokkin	XLIV	18 168	0.360	153.3	268.52	47.34	914.29	2006	26/06/06	M2006-M44
Siarnaq	XXIX	18 201	0.380	48.50	65.94	63.72	916.80	2000	18/10/01	M2001-U42
Mundilfari	XXV	18 413	0.212	169.80	299.99	79.92	932.80	2000	18/10/01	M2001-T07
Greip	LI	18 654	0.317	172.85	138.77	343.63	951.20	2006	10/05/07	M2007-G29
Jarnsaxa	L	19 013	0.192	163.16	234.70	21.10	978.75	2006	28/02/07	M2007-D79
Bergelmir	XXXVIII	19 104	0.130	157.39	146.04	215.48	985.95	2004	14/02/06	M2006-C55
Suttungr	XXIII	19 186	0.145	174.65	73.01	252.94	992.16	2000	18/10/01	M2001-T06
Narvi	XXXI	19 244	0.313	136.39	175.00	184.35	996.71	2003	14/07/04	M2004-D41
Hati	XLIII	19 709	0.308	163.13	30.57	323.73	1 033.05	2004	14/02/06	M2006-C74
Thrymr	XXX	19 958	0.565	174.91	86.56	246.25	1 052.63	2000	18/10/01	M2001-X20
Farbauti	XL	19 985	0.175	158.36	351.16	146.07	1 054.78	2004	13/02/06	M2006-C72
Aegir	XXXVI	20 466	0.225	167.41	264.24	196.13	1 093.12	2004	10/02/06	M2006-C55
Bestla	XXXIX	20 519	0.745	147.38	82.19	290.32	1 097.35	2004	10/02/06	M2006-C55
Fenrir	XLI	21 931	0.105	162.83	124.32	239.48	1 212.53	2004	13/02/06	M2006-C72
Surtur	XLVIII	22 289	0.369	166.92	329.29	257.60	1 242.36	2006	06/07/06	M2006-N06
Kari	XLV	22 321	0.340	148.38	181.70	290.65	1 245.06	2006	06/03/06	M2006-M48
Loge	XLVI	22 984	0.142	166.54	46.81	344.12	1 300.95	2006	06/03/06	M2006-M48
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Fornjot	XLII	24 484	0.166	167.88	331.86	271.23	1 430.37	2004	14/02/06	M2006-C74

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										
Polydeuces	XXXIV							2004		IAUC 8432
S/2004 S 3		140.58					0.621	2004		IAUC 8432
S/2004 S 4								2004		IAUC 8401
S/2004 S 7		20 577	0.554	165.60	100.47	346.26	1 101.99	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 12		19 906	0.396	164.04	96.53	313.62	1 048.54	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 13		18 056	0.261	167.38	6.32	221.46	905.85	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 17		19 099	0.226	166.88	175.79	19.99	985.45	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2006 S 1		18 930	0.130	154.23	138.79	340.70	972.41	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2006 S 3		21 076	0.471	150.82	190.86	220.51	1142.37	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2007 S 2		16 523	0.218	176.68	62.04	113.11	792.96	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2007 S 3		19 179	0.151	177.01	284.03	96.94	991.66	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2009 S 1		117						2009		IAUC 9091
Uranus										
Cupidon	XXVII	74.8					0.618	2003		IAUC 8209
Perdita	XXV	76.4					0.638	1999		IAUC 7171
Mab	XXVI	97.7					0.923	2003		IAUC 8209
Francisco	XXII	4 270	0.143	147.61	123.19	103.06	266.57	2001	27/12/03	M2003-T29
Caliban	XVI	7 169	0.082	139.68	339.46	174.99	579.44	1997	6/07/98	IAUC 6870
Stéphano	XX	7 942	0.146	141.54	29.84	189.50	675.71	1999	13/09/00	IAUC 7473
Trinculo	XXI	8 571	0.208	166.33	160.60	199.06	758.06	2001	22/11/02	M2002-S64
Sycorax	XVII	12 214	0.509	152.67	18.01	255.81	1 288.55	1997	6/07/98	IAUC 6869
Marguerite	XXIII	14 649	0.783	50.65	77.97	18.01	1 693.88	2003	27/12/03	M2003-T58
Prospero	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Sétébos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
Ferdinand	XXIV	20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
Neptune										
Halimède	IX	16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
Sao	XI	22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
Laomédie	XII	22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
Néso	XIII	47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
Psamatée	X	49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19
S/2004 N 1		105					0.95	2004		CBET 3586
Pluton										
Nix	II	49.4					25.3	2005		IAUC 8625
Hydre	III	64.7					38.2	2005		IAUC 8625
Kerberos	IV	59					32.1	2011		IAUC 9221
Styx	V	42					20.2	2012		IAUC 9253

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

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

1.4.3. 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 cinq premiers satellites. Les masses des planètes sont évaluées en enlevant à la masse du système planète-satellites, la somme des masses connues des satellites du système (Table 1.18). Les masses sont données dans deux systèmes d'unités : le système astronomique (unité = masse solaire) et le système SI (unité = kg). Ces quantités sont calculées à partir des données des paragraphes 1.3.2 et 1.3.3 et de la table 1.18.

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

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.

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 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, Hypérion, Phœbé et Néréide ;
- Campbell et Anderson (1989) pour Titan ;
- Tyler et al. (1982) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa et Japet ;
- Thomas et al. (1989) pour les petits satellites d’Uranus Cordélia et Ophélie ;
- Jacobson et al. (1992) pour les anciens satellites d’Uranus (Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Obéron) ;
- Banfield et Murray (1992) pour les six petits satellites de Neptune ;
- Owen et al. (1991) pour Triton ;
- Tholen et Buie (1997) pour Charon.

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

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

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

Table 1.18. Masses des principaux satellites.

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Terre				
Lune		$3.694\ 3037 \times 10^{-8}$	$1.230\ 0038 \times 10^{-2}$	$4.902\ 8006 \times 10^{12}$
Mars				
Phobos		5.12×10^{-15}	1.58×10^{-8}	8.47×10^5
Déimos		1.13×10^{-15}	3.5×10^{-9}	1.20×10^5
Jupiter				
Métis	XVI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Adrastéia	XV	9.5×10^{-15}	1×10^{-11}	1.3×10^6
Amalthée	V	3.6×10^{-12}	3.8×10^{-9}	4.8×10^8
Thébé	XIV	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Io	I	4.49×10^{-8}	4.705×10^{-5}	5.96×10^{12}
Europe	II	2.41×10^{-8}	2.527×10^{-5}	3.20×10^{12}
Ganymède	III	7.45×10^{-8}	7.804×10^{-5}	9.89×10^{12}
Callisto	IV	5.41×10^{-8}	5.668×10^{-5}	7.18×10^{12}
Léda	XIII	2.9×10^{-15}	3×10^{-12}	3.8×10^5
Himalia	VI	4.8×10^{-12}	5.0×10^{-9}	6.3×10^8
Lysithéa	X	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Elara	VII	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Ananké	XII	1.9×10^{-14}	2×10^{-11}	2.5×10^6
Carmé	XI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Pasiphaé	VIII	9.5×10^{-14}	1×10^{-10}	1.3×10^7
Sinopé	IX	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Saturne				
Anneaux C		4.9×10^{-13}	1.7×10^{-9}	6.4×10^7
Anneaux B		1.2×10^{-11}	4.2×10^{-8}	1.6×10^9
Anneaux A		3.1×10^{-12}	1.1×10^{-8}	4.2×10^8
Mimas	I	2.29×10^{-11}	8.00×10^{-8}	3.04×10^9
Encelade	II	3.7×10^{-11}	1.3×10^{-7}	4.9×10^9
Téthys	III	3.4×10^{-10}	1.2×10^{-6}	4.5×10^{10}
Dioné	IV	5.29×10^{-10}	1.85×10^{-6}	7.0×10^{10}
Rhéa	V	1.16×10^{-9}	4.06×10^{-6}	1.54×10^{11}
Titan	VI	6.7652×10^{-8}	2.3670×10^{-4}	8.9782×10^{12}
Hypérion	VII	8.6×10^{-12}	3×10^{-8}	1.1×10^9

Table 1.18. (fin).

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Saturne				
Japet	VIII	7.99×10^{-10}	2.79×10^{-6}	1.06×10^{11}
Phœbé	IX	2×10^{-13}	7×10^{-10}	2.7×10^7
Uranus				
Cordélia	VI	7.0×10^{-15}	1.6×10^{-10}	9.3×10^5
Ophélie	VII	1.3×10^{-14}	2.9×10^{-10}	1.7×10^6
Miranda	V	0.33×10^{-10}	0.76×10^{-6}	4.4×10^9
Ariel	I	6.80×10^{-10}	1.56×10^{-5}	90.3×10^9
Umbriel	II	5.89×10^{-10}	1.35×10^{-5}	78.2×10^9
Titania	III	17.73×10^{-10}	4.061×10^{-5}	235.3×10^9
Obéron	IV	15.15×10^{-10}	3.471×10^{-5}	201.1×10^9
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. (fin).

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Saturne							
Rhéea	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
Hypérion	VII	133±8	164 - 130 - 107	0.017	1.7	14.19	0.19/0.25
Japet	VIII	718±8	718 - 718 - 718	1.59	1.3	10.2/11.9	0.5 ⁽¹⁾
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 vaut :

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

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 :

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

Le gauss

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

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

Le gamma

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

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

L'atmosphère

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

L'inch

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

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

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

Le jansky

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

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

1.6. BIBLIOGRAPHIE

- Archinal, B.A., A'Hearn, M.F., Bowell, E., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2011, *Celest. Mech.* **109**, 101.
- Arlot, J.-E., Bec-Borsenberger, A., et al. : 2003, Improvement of the ephemerides of Phoebe, 9th satellite of Saturn, from new observations made from 1995 to 2000, *Astron. Astrophys.* **411**, 309.
- Aksnes, K. : 1978, The motion of Jupiter XIII (Leda), 1974-2000, *Astron. J.* **83**, 1249.
- Banfield, D., Murray, N. : 1992, A dynamical history of the inner Neptunian satellites, *Icarus* **99**, 390.
- Bec-Borsenberger, A. : 2004, Communication privée.
- BIPM : 1998, *Le Système International d'unités (SI)*, Pavillon de Breteuil, Sèvres.
- Blaauw, A., Gum, C.S., et al : 1960, The new IAU system of galactic coordinates (1958 revision), *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **121**, 123.
- Bond, W.C. : 1851, On the new ring of Saturn, *Astron. J.* **2**, 5.
- Bretagnon, P. : 2002, Communication privée.
- Buratti, B., Veverka, J. : 1984, Voyager photometry of Rhea, Dione, Tethys, Enceladus and Mimas, *Icarus* **58**, 254.
- Bureau des longitudes : 1981, La physique, *Encyclopédie scientifique de l'univers IV*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : 1986, Les étoiles, le système solaire, *Encyclopédie scientifique de l'univers II*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1995, Éphémérides des satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1996, Éphémérides des satellites faibles de Jupiter et de Saturne, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bursa, M. : 1992, Parameters of common relevance of astronomy, geodesy and geodynamics, *Bull. Géod.* **66**, 193.
- Campbell, J.K., Anderson, J.D. : 1989, Gravity field of the Saturnian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **97**, 1485.
- Campbell, J.K., Synnot, S.P. : 1985, Gravity field of the Jovian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **90**, 364.
- Chapront-Touzé, M. : 1988, ESAPHO : a semi-analytical theory for the orbital motion of Phobos, *Astron. Astrophys.* **200**, 255.
- Chapront-Touzé, M. : 1990, Orbits of the Martian satellites from ESAPHO and ESADE theories, *Astron. Astrophys.* **240**, 159.
- Christy, J.W., Harrington, R.S. : 1978, The satellite of Pluto, *Astron. J.* **83**, 1005.
- Cohen, E.R., Taylor, B.N. : 1986, The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, *Codata Bulletin* **63**.

- Dickey, J.O. : 1989, Intercomparisons between kinematic and dynamical systems, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht, 305.
- Dourneau, G. : 1993, Orbital elements of the eight major satellites of Saturn determined from a fit of their theories of motion to observations from 1886 to 1985, *Astron. Astrophys.* **267**, 292.
- Duriez L., Vienne A. : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.*, **324**, 366.
- Elliot, J.L., Dunham, E., Millis, R.L. : 1977, Discovering the rings of Uranus, *Sky and Telescope* **53**, 412.
- Emelyanov, N.V. : 2005, Ephemerides of the outer Jovian satellites, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Emelyanov, N.V., Kanter, A.A. : 2005, Orbits of new outer planetary satellites based on observations, *Sol. Sys. Research* **39**, 112.
- Esposito, L.W., Dilley, J.P., Fountain, J.W. : 1980, Photometry and polarimetry of Saturn's rings from Pioneer Saturn, *J. Geophys. Res.* **85**, 5948.
- Esposito, L.W., Cuzzi, J.N., et al. : 1984, Saturn's rings, in *Saturn*, T. Gehrels and M.S. Matthews eds., 473.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feibelman, W.A. : 1967, Concerning the "D" ring of Saturn, *Nature* **214**, 793.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Les solutions planétaires de l'IMCCE, bilan et perspectives. *Notes scientifiques et techniques de l'Institut de mécanique céleste* S81.
- Fountain, J.W., Larson, S.M. : 1978, Saturn's ring and nearby faint satellites, *Icarus* **36**, 92.
- French, R.G., Elliot, J.L., et al. : 1988, Uranian ring orbits from Earth-based and Voyager, occultation observations, *Icarus* **73**, 349.
- Fukushima, T. : 1990, System of astronomical units and constants, *IAU-WGRS/SGAC Circ.* **13**.
- Fukushima, T. : 2000, Report on astronomical constants, Proc. IAU Coll. **180**, 417.
- Gehrels, T., Baker, L.R., et al. : 1980, Imaging photopolarimeter on Pioneer Saturn, *Science* **207**, 434.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1980, The satellite of Pluto, II, *Astron. J.* **85**, 442.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al., 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1981, The satellite of Pluto, III, *Astron. J.* **86**, 442.
- Hubbard, W., Brahic, A., et al. : 1986, Occultation detection of a Neptunian ring-like arc, *Nature* **319**, 636.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* **13**, D.D. McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS Technical note* **32**, D.D. McCarthy ed., U. S. naval observatory, G. Petit ed., BIPM.
- IERS : 2010, IERS Conventions (2010), *IERS Technical note* **36**, G. Petit ed., BIPM, B. Luzum ed., U. S. naval observatory.
- Jacobson, R.A. : 1990, The orbits of the satellites of Neptune, *Astron. Astrophys.* **231**, 241.

- Jacobson, R.A., Campbell, J.K., et al. : 1992, The masses of Uranus and its major satellites from Voyager tracking data and Earth-based Uranian satellite data, *Astron. J.* **103**, 2068.
- Jacobson, R.A., Riedel, J.E., Taylor, A.H. : 1991, The orbits of Triton and Nereid from spacecraft and Earth-based observations, *Astron. Astrophys.* **247**, 565.
- Jacobson, R.A. : 2001, The Gravity Field of the Jovian System and the Orbits of the Regular Jovian Satellites, *Bull. Amer. Astron. Soc.* **33**, 1039.
- Jacobson, R.A., Antreasian, P., Bordi, J.J., et al. : 2006, The Gravity Field of the Saturnian System from Satellite Observations and Spacecraft Tracking Data *Astron. J.* **132**, 2520.
- Jacobson, R.A., Spitale, J., Porco, C.C., et al. : 2008, Revised Orbits of Saturn's Small Inner Satellites, *Astron. J.* **135**, 261.
- Jacobson, R.A. : 2009, The Orbits of the Neptunian Satellites and the Orientation of the Pole of Neptune, *Astron. J.* **137**, 4322.
- Johnson, T., Becklin, E.E., et al. : 1979, Jupiter, *Circ. UAI* **3338**.
- Kerr, F.J., Lynden-Bell, D. : 1986, Review of galactic constants, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **221**, 1023.
- Konopliv, A.S., Yoder, C.F., Standish, E.M., et al. : 2006, A global solution for the Mars static and seasonal gravity, Mars orientation, Phobos and Deimos masses, and Mars ephemeris *Icarus* **128**, 23.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons, *Astron. Astrophys.*, **465**, 1075.
- Lainey, V., Duriez, V., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion, *Astron. Astrophys.*, **420**, 1171.
- Lieske, J.H. : 1980, Improved ephemerides of the Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **82**, 340.
- Lieske, J.H. : 1987, Galilean satellites evolution : observational evidence for secular changes in mean motions, *Astron. Astrophys.* **176**, 146.
- Luzum, B., Capitaine, N., et al. : 2011, The IAU 2009 system of astronomical constants : the report of the IAU working group on numerical standards for Fundamental Astronomy, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **110**, 293.
- Melbourne, W., Anderle, R., et al. : 1983, Project MERIT standards, *U.S. Naval Observatory, Circ.* **167**.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **80**, 205.
- Murray, C.A. : 1989, The transformation of coordinates between the systems of B1950.0 and J2000.0 and the principal galactic axes referred to J2000.0, *Astron. Astrophys.* **218**, 325.
- Nicholson, P.D., Cooke, M.L., et al. : 1990, Five stellar occultations by Neptune : further observations of ring arcs, *Icarus* **87**, 1.
- Nicholson, P.D., Matthews, K. : 1991, Near-infrared observations of the Jovian ring and small satellites, *Icarus* **93**, 331.

- Null, G.W., Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1993, Masses and densities of Pluto and Charon, *Astron. J.* **105**, 2319.
- Oberti, P., Vienne, A. : 2003, An upgraded theory for Helene, Telesto, and Calypso, *Astron. Astrophys.* **397**, 353.
- Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1987, Orbits of the ten small satellites of Uranus, *Astron. J.* **93**, 1268.
- Owen, W.M., Vaughan, R.M., Synnott, S.P. : 1991, Orbits of the six new satellites of Neptune, *Astron. J.* **101**, 1511.
- Pascu, D., Panossian, S.P., et al. : 1992, B, V photometry of Thebe (JXIV), *Icarus* **98**, 38.
- Rocher, P. : 1996, Communication privée.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Seidelmann, P.K., Abalakin, V.K., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2002, *Celest. Mech.* **82**, 83.
- Seidelmann, P.K., Archinal, B.A., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2006, *Celest. Mech.* **98**, 155.
- Showalter, M.R., Cuzzi, J.N., et al. : 1986, Satellite “wakes” and the orbit of the Encke gap moonlet, *Icarus* **66**, 297.
- Showalter, M.R. : 1990, Saturn, *Circ. UAI* **5052**.
- Simon, J.-L., Francou, G., Fienga, A., Manche, H. : 2013, New analytical planetary theories VSOP2013 and TOP2013, *Astron. Astrophys.* **577**, A49.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Smith, B.A., Soderblom, L., et al. : 1981, A new look at the Saturn system : the Voyager 2 images, *Science* **212**, 163.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, JPL IOM **312.F**, 98.
- Stone, E.C., Miner, E.D. : 1982, Voyager 2 encounter with the Saturnian system, *Science* **215**, 499.
- Synnott, S.P. : 1984, Orbits of the small inner satellites of Jupiter, *Icarus* **58**, 178.
- Synnott, S.P., Peters, et al. : 1981, Orbits of the small satellites of Saturn, *Science* **212**, 191.
- Synnott, S.P., Terrile, R.J., et al. : 1983, Orbits of Saturn’s F ring and its shepherding satellites, *Icarus* **53**, 156.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1990, Further analysis of Pluto-Charon mutual event observations - 1990, *BAAS* **22**, 1129.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1997, The orbit of Charon.I. New Hubble Space telescope observations, *Icarus* **125**, 245.
- Tholen, D.J., Buie, M.W., et al. : 2008, Masses of Nix and Hydra, *Astron. J.* **135**, 777.
- Tholen, D.J., Zellner, B. : 1983, Eight-color photometry of Hyperion, Iapetus and Phoebe, *Icarus* **53**, 341.
- Thomas, P., Weitz, C., Veverka, J. : 1989, Small satellites of Uranus : disk integrated photometry and estimated radii, *Icarus* **81**, 92.
- Thuillot, W., Vu, D.T. : 1986, Excentricités et inclinaisons moyennes des orbites des satellites galiléens de Jupiter, *Notes scientifiques et techniques du Bureau des longitudes* **S009**.

- Tyler, G.L., Eshleman, V.R., et al. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- Tyler, G.L., Balmino, G., et al. : 2003, USA_NASA_JPL_MORS_1021, (http://pds-geosciences.wustl.edu/geodata/mgsmrss5sdpv1/mors_1021).
- UAI : 1966, Proceedings of the XIIth general assembly, Hambourg 1964, *Trans. IAU XII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1977, Proceedings of the XVIth general assembly, Grenoble 1976, *Trans. IAU XVI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1982, Proceedings of the XVIIIth general assembly, Patras 1982, *Trans. IAU XVIII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1985, Proceedings of the XIXth general assembly, Delhi 1985, *Trans. IAU XIX B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1992, Proceedings of the XXIst general assembly, Buenos Aires 1991, *Trans. IAU XXI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 2000, Proceedings of the XXIVst general assembly, Manchester 2000, *Trans. IAU XXIV B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.*, **297**, 588.
- Will, C. M. : 2006, The Confrontation between General Relativity and Experiment, (<http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2006-3/>).
- Young, L.A., Olkin, C.B., et al. : 1994, The Charon-Pluto mass ratio from MKO astrometry, *Icarus* **108**, 186.
- Yuan, D-N., Sjongren, W.L. et al. 2001, Gravity Field of Mars : A 75th Degree and Order Model, *J. Geoph. Res.*, **106**, E10.

CHAPITRE 2

ÉCHELLES DE TEMPS

F. MIGNARD

2.1. INTRODUCTION. LE TEMPS ET LES ASTRONOMES

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

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

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

2.2. ÉVOLUTION DES ÉCHELLES DE TEMPS

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

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

Table 2.1. Évolution des échelles de temps.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Le TAI est la base des mesures précises de temps et des comparaisons d’horloges. Il sert en pratique à matérialiser le TT. En revanche le TDT disparaît.
- On voit apparaître le TCB et le TCG ainsi, éventuellement, que les temps-coordonnée liés à d’autres systèmes de masses.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.4. LE TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL (TAI)

2.4.1. Étalons de fréquence. La seconde SI

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

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

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

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

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

horloges font maintenant partie du réseau mondial d'horloges et contribuent à l'exactitude du Temps atomique international.

2.4.2. Réalisation du Temps atomique international

L'étalon de fréquence permet par accumulation des secondes SI de construire une échelle de temps continue, pour autant que l'horloge ou les horloges qui servent à construire cette échelle aient un fonctionnement continu. Une définition a été proposée en 1970 par le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), approuvée la même année par le Comité international des poids et mesures. Finalement la quatorzième conférence générale des poids et mesures, en octobre 1971, a défini la référence temporelle, le Temps atomique international (TAI) :

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

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

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

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

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

2.4.3. Uniformité du TAI

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

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

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 Coordinated), 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.

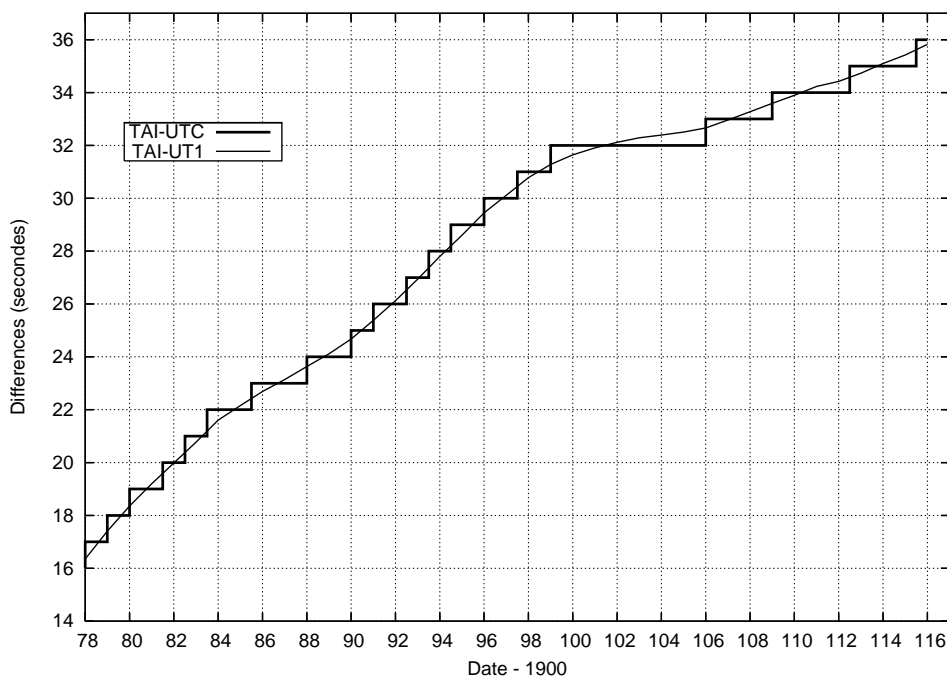
Cependant l'idée de remplacer l'UTC actuel par une échelle continue sans relation à long terme avec le temps solaire moyen ne fait pas l'unanimité, bien que la tendance soit vers une suppression des sauts de seconde avec un décalage de plusieurs années entre la décision et sa mise en œuvre. En France, 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 2016 (selon l'IERS).

Date début	Date fin	TAI – UTC	Date début	Date fin	TAI – UTC
1/01/1972	1/07/1972	10 s	1/01/1988	1/01/1990	24 s
1/07/1972	1/01/1973	11 s	1/01/1990	1/01/1991	25 s
1/01/1973	1/01/1974	12 s	1/01/1991	1/07/1992	26 s
1/01/1974	1/01/1975	13 s	1/07/1992	1/07/1993	27 s
1/01/1975	1/01/1976	14 s	1/07/1993	1/07/1994	28 s
1/01/1976	1/01/1977	15 s	1/07/1994	1/01/1996	29 s
1/01/1977	1/01/1978	16 s	1/01/1996	1/07/1997	30 s
1/01/1978	1/01/1979	17 s	1/07/1997	1/01/1999	31 s
1/01/1979	1/01/1980	18 s	1/01/1999	1/01/2006	32 s
1/01/1980	1/07/1981	19 s	1/01/2006	1/01/2009	33 s
1/07/1981	1/07/1982	20 s	1/01/2009	1/07/2012	34 s
1/07/1982	1/07/1983	21 s	1/07/2012	1/07/2015	35 s
1/07/1983	1/07/1985	22 s	1/07/2015		36 s
1/07/1985	1/01/1988	23 s			

**Fig. 2.1.** Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1978 à 2016.

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 :

$$T = 0 \text{ soit } L_0 = 279^\circ 41' 48''.04 = 279.696\,677\,77.$$

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

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

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

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

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

Rappelons que l'on ne doit pas attacher de signification particulière aux coordonnées x^α ; il ne s'agit au départ que de quatre quantités permettant d'étiqueter un point de l'espace-temps et il y a une grande liberté dans leur choix. Cependant, au travers de l'interprétation des mesures et de la comparaison aux modèles paramétrés par ces coordonnées, on finit par leur donner une signification plus physique en terme de distance, instant d'arrivée d'un signal, etc. Par exemple la coordonnée x^0 , divisée par la vitesse de la lumière c , est le temps t qui serait indiqué par une horloge au repos par rapport au barycentre du système solaire et infiniment éloignée des planètes. Ce temps, appelé temps-coordonnée, diffère de celui lu sur une horloge atomique dans un laboratoire, laquelle fournit le temps propre τ de l'horloge sur sa ligne d'Univers. Le TAI d'un autre côté est construit pour être une coordonnée de repérage temporel mais ne coïncide pas avec le x^0/c de la métrique ci-dessus. Le raccordement entre les échelles TCB, TCG et le TAI est examiné dans la section suivante.

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

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

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

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

où

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

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

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

qui conduit par intégration à l'équation suivante :

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

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

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

Pour intégrer cette équation il faut tout d'abord particulariser le mouvement de l'horloge par une trajectoire paramétrée au moyen des coordonnées t et x^i , puis exprimer le potentiel $U(\mathbf{x})$ provenant des planètes et de la Lune en chaque point. Sans entrer dans le détail, on voit déjà que pour une horloge placée au géocentre, le terme principal sera une dérive séculaire entre les deux échelles puisque la valeur moyenne de la fonction à intégrer n'est pas nulle. En prenant pour la Terre une orbite circulaire de rayon $a = 1$ UA on obtient pour l'action du Soleil, $U/c^2 \sim GM_{\odot}/a c^2 \sim 9,872 \times 10^{-9}$ et $v^2/2c^2 \sim 4,935 \times 10^{-9}$, soit $\langle d\tau/dt \rangle \sim 1 - 1,4807 \times 10^{-8}$. La valeur exacte de cette constante dépend de l'éphéméride utilisée pour l'intégration, du temps d'intégration et de la procédure de calcul pour obtenir cette moyenne. Il reste donc une certaine ambiguïté dans sa définition et sa valeur. Selon la durée de l'intervalle un terme à longue période peut devenir un terme séculaire et donc contribuer à la valeur moyenne. Ceci est particulièrement évident dans le cas où l'on effectue des intégrations numériques des mouvements car ôter les termes séculaires ne peut se faire qu'en effectuant des moyennes sur des intervalles de temps dont la longueur est arbitrairement choisie. L'estimation la plus récente (Irwin et Fukushima, 1999) donne,

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

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

$$\text{TDB} = \text{TCB} - L_B(\text{JD}_{\text{TCB}} - 2\,443\,144,5003725) \times 86\,400 + \text{TDB}_0$$

où $\text{TDB}_0 = -6.55 \times 10^{-5}\text{s}$ est une nouvelle constante de définition introduite pour maintenir la continuité avec les formules en usage.

Avec cette définition on conserve,

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

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.

$$\text{TCB} - \text{TCG} = L_C \times (\text{JD} - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 + P + \mathbf{v}_E \cdot \mathbf{r}/c^2, \quad L_c = 1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$$

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.

$$\begin{aligned} TCB - TDB &= L_B \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 - TDB_0 ; \\ TDB_0 &= -6.55 \times 10^{-5} \text{s} ; L_B = 1.550\,519\,768 \times 10^{-8} \\ TCG - TT &= L_G \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 ; L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10} \\ TT(\text{TAI}) &= \text{TAI} + 32.184 \text{s} \\ TDB &= TT + P \end{aligned}$$

2.8. BIBLIOGRAPHIE

- Brumberg, V.A. : 1991, *Essential relativistic celestial mechanics*, Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New-York.
- Danjon, A. : 1953, *Astronomie générale*, Sennac éd., Paris, réédité en 1980, Blanchard éd.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Analytical and numerical studies of asteroid perturbations on solar system planet dynamics, *Astron. Astrophys.* **429**, 361.
- Guinot, B. : 1989, General principles of the measure of time : astronomical time, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht.
- IAUWG : 1977, Joint report of the working group of IAU commission 4 on precession, planetary ephemerides, units and time scales, *Trans. IAU*, **XVI B**, Reidel, Dordrecht, 56.
- IAUWG : 1992, Recommendations from the working group on reference systems. Resolution A4, *Trans. IAU*, **XXI B**, Reidel, Dordrecht.
- Irwin, A., Fukushima, T. : 1999 A numerical time ephemeris for the Earth, *Astron. Astrophys.* **348**, 642.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Soffel, M.H. : 1989, Relativity in astrometry, *Celestial mechanics and geodesy*, Springer-Verlag.
- Standish, E. M. : 1998, Time scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28-40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- USNO : 1992, *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, P.K. Seidelmann ed., University science books, Mill Valley, California.

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

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	0	1656.674 564	628.307 5850	6.240 0542	1.00	49	0	0.040 184	-0.711 3547	3.565 9756	883.27
2	0	22.417 471	575.338 4885	4.296 9774	1.09	50	0	0.036 955	315.468 7085	5.071 8014	1.99
3	0	13.839 792	1 256.615 1700	6.196 9044	0.50	51	0	0.036 564	508.862 8840	3.324 6790	1.23
4	0	4.770 086	52.969 0965	0.444 4016	11.86	52	0	0.036 507	80.182 0931	6.248 8660	7.84
5	0	4.676 740	606.977 6755	4.021 1951	1.04	53	0	0.034 867	52.257 7418	5.210 0641	12.02
6	0	2.256 707	21.329 9095	5.543 1133	29.46	54	0	0.033 529	943.776 2935	2.404 7142	0.67
7	0	1.694 205	-0.352 3118	5.025 1327	1783.42	55	0	0.033 477	606.266 3208	4.144 9873	1.04
8	0	1.554 905	7 771.377 1468	5.198 4666	0.08	56	0	0.032 438	607.689 0302	0.749 3174	1.03
9	0	1.276 839	786.041 9392	5.988 8223	0.80	57	0	0.032 423	882.739 0270	5.541 4736	0.71
10	0	1.193 379	522.369 3920	3.649 8237	1.20	58	0	0.030 215	708.489 6781	3.389 6103	0.89
11	0	1.115 322	393.020 9696	1.422 7451	1.60	59	0	0.029 862	1 213.955 3509	1.770 1810	0.52
12	0	0.794 185	1 150.676 9770	2.322 3131	0.55	60	0	0.029 247	-7 143.069 5618	4.183 1792	0.09
13	0	0.600 309	157.734 3542	2.678 2719	3.98	61	0	0.028 244	-628.659 8968	5.069 6635	1.00
14	0	0.496 817	620.829 4251	5.696 7018	1.01	62	0	0.027 567	627.955 2732	5.040 8460	1.00
15	0	0.486 306	588.492 6847	0.520 0072	1.07	63	0	0.025 196	174.801 6413	2.901 8833	3.59
16	0	0.468 597	624.494 2814	5.866 3988	1.01	64	0	0.024 816	-119.444 7010	1.087 1369	5.26
17	0	0.447 061	2.629 8320	3.615 7965	238.92	65	0	0.022 567	613.351 2653	3.307 9848	1.02
18	0	0.435 206	-39.814 9003	4.349 3383	15.78	66	0	0.022 509	1 044.738 7840	1.460 7262	0.60
19	0	0.432 392	7.478 1599	2.435 8983	84.02	67	0	0.021 691	1 414.349 5242	5.952 6580	0.44
20	0	0.375 510	550.755 3239	4.103 4768	1.14	68	0	0.020 937	842.924 1266	0.652 3034	0.75
21	0	0.243 085	-77.552 2611	3.651 8379	8.10	69	0	0.020 322	41.948 4644	3.735 4306	14.98
22	0	0.230 685	585.647 7659	4.773 8526	1.07	70	0	0.017 806	7.329 7126	3.475 9751	85.72
23	0	0.203 747	1 203.646 0735	4.333 9878	0.52	71	0	0.017 673	681.276 6815	3.186 1298	0.92
24	0	0.173 435	1 884.922 7550	6.153 7435	0.33	72	0	0.016 155	1 021.328 5546	1.331 1032	0.62
25	0	0.159 080	1 097.707 8805	1.890 0752	0.57	73	0	0.015 974	-235.286 6154	6.145 3094	2.67
26	0	0.143 935	-79.629 8007	5.957 5178	7.89	74	0	0.015 949	-22.041 2642	4.005 2983	28.51
27	0	0.137 927	1 179.062 9089	1.135 9347	0.53	75	0	0.015 078	1 965.104 8481	3.969 4808	0.32
28	0	0.119 979	3.813 3036	4.551 5858	164.77	76	0	0.014 751	134.986 7410	4.308 9333	4.65
29	0	0.118 971	548.677 7843	1.914 5472	1.15	77	0	0.014 318	1 673.046 3690	3.016 0581	0.38
30	0	0.116 120	105.938 1930	0.873 5041	5.93	78	0	0.014 223	1 778.984 5620	2.104 5513	0.35
31	0	0.101 868	-557.314 2802	5.984 5034	1.13	79	0	0.013 671	-53.680 4512	5.971 6726	11.70
32	0	0.098 358	254.431 4420	0.092 7939	2.47	80	0	0.012 462	10.309 2774	1.737 4388	60.95
33	0	0.080 164	20.618 5548	2.095 3777	30.47	81	0	0.012 420	469.047 9836	4.734 0904	1.34
34	0	0.079 645	469.400 2955	2.949 2336	1.34	82	0	0.011 942	803.109 2263	2.053 4147	0.78
35	0	0.075 019	294.246 3423	4.980 9318	2.14	83	0	0.011 847	564.317 8564	5.489 0054	1.11
36	0	0.064 397	574.627 1338	1.280 3087	1.09	84	0	0.011 707	-470.573 2308	2.654 1256	1.34
37	0	0.063 814	576.049 8432	4.167 9017	1.09	85	0	0.011 622	512.060 1146	4.863 9319	1.23
38	0	0.062 617	2.077 5395	2.654 3948	302.43	86	0	0.010 962	0.359 0429	2.196 5677	1749.98
39	0	0.058 844	42.659 8191	4.839 6501	14.73	87	0	0.010 825	55.356 9403	0.842 7150	11.35
40	0	0.054 139	1 726.015 4655	3.411 0911	0.36	88	0	0.010 453	586.359 1206	1.913 7046	1.07
41	0	0.048 373	15.542 0399	2.251 5737	40.43	89	0	0.010 396	95.171 8406	5.717 7996	6.60
42	0	0.048 042	214.616 5416	1.495 8460	2.93	90	0	0.010 099	28.385 9319	1.942 1770	22.13
43	0	0.046 551	-0.098 0321	0.921 5735	6409.31	91	0	0.009 963	14.956 3197	4.870 6906	42.01
44	0	0.042 732	63.278 3739	5.720 6222	9.93	92	0	0.009 858	630.937 4170	1.061 8164	1.00
45	0	0.042 560	16 100.068 5737	1.270 8372	0.04	93	0	0.009 370	14 985.440 0134	0.673 8790	0.04
46	0	0.042 411	627.596 2303	2.869 5670	1.00	94	0	0.008 666	-13.506 5080	3.293 4065	46.52
47	0	0.040 759	1 235.285 2605	3.981 4970	0.51	95	0	0.008 610	334.061 2427	3.661 6989	1.88
48	0	0.040 480	1 572.083 8785	2.546 6101	0.40	96	0	0.008 323	1 176.985 3693	1.229 3920	0.53

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
97	0	0.008 107	1 336.797 2631	3.793 2353	0.47	145	0	0.002 954	-628.300 8540	4.533 4712	1.00
98	0	0.007 959	31.639 1870	2.465 0426	19.86	146	0	0.002 954	628.314 3160	4.447 2038	1.00
99	0	0.007 857	1 216.800 2697	0.525 7335	0.52	147	0	0.002 881	73.587 6514	0.349 2503	8.54
100	0	0.007 505	523.080 7467	4.920 9370	1.20	148	0	0.002 872	2.844 9187	1.158 6930	220.86
101	0	0.007 490	-625.677 7530	3.658 4447	1.00	149	0	0.002 863	1 729.818 2327	5.240 9638	0.36
102	0	0.007 332	3.664 8563	0.114 8587	171.44	150	0	0.002 775	991.769 6875	1.030 0263	0.63
103	0	0.007 147	-24.272 8604	3.661 4870	25.89	151	0	0.002 740	1 831.953 6585	4.320 5195	0.34
104	0	0.007 117	3.802 7673	5.294 2495	165.23	152	0	0.002 646	1 097.355 5686	3.918 2592	0.57
105	0	0.007 019	620.680 9779	0.837 6888	1.01	153	0	0.002 575	2 513.230 3400	6.109 6590	0.25
106	0	0.006 919	668.122 4853	6.018 5015	0.94	154	0	0.002 493	638.616 8624	0.645 0265	0.98
107	0	0.006 858	521.658 0373	0.642 0633	1.20	155	0	0.002 464	20.225 3395	4.698 2031	31.07
108	0	0.006 826	763.294 3260	3.458 6541	0.82	156	0	0.002 409	0.254 2797	5.325 0093	2470.97
109	0	0.006 731	565.029 2111	5.639 9066	1.11	157	0	0.002 401	1 620.077 2725	2.605 5471	0.39
110	0	0.006 603	2 358.125 8177	5.393 1369	0.27	158	0	0.002 397	624.345 8342	3.809 2900	1.01
111	0	0.006 366	416.431 1990	2.262 0818	1.51	159	0	0.002 381	6.373 5898	0.759 1882	98.58
112	0	0.006 304	1 192.625 4414	2.512 9292	0.53	160	0	0.002 366	0.393 2153	6.215 8854	1597.90
113	0	0.006 056	95.559 9742	4.194 5351	6.58	161	0	0.002 353	63.989 7286	3.734 5481	9.82
114	0	0.005 680	2 301.353 9540	4.557 8148	0.27	162	0	0.002 353	624.642 7287	4.781 7198	1.01
115	0	0.005 582	596.668 3980	2.246 1743	1.05	163	0	0.002 303	1 807.370 4939	1.089 1004	0.35
116	0	0.005 488	-0.345 5808	0.090 6754	1818.15	164	0	0.002 303	8 399.684 7318	2.013 6864	0.07
117	0	0.005 308	-159.259 6014	2.500 3824	3.95	165	0	0.002 296	649.637 4945	5.061 8107	0.97
118	0	0.005 123	-0.148 4473	2.999 6410	4232.60	166	0	0.002 229	49.155 7929	1.571 0071	12.78
119	0	0.005 119	643.849 6249	1.486 5392	0.98	167	0	0.002 199	-24.583 1646	5.956 1523	25.56
120	0	0.005 096	1 137.170 4690	2.547 1078	0.55	168	0	0.002 186	45.490 9367	1.402 1015	13.81
121	0	0.004 892	543.699 3015	1.475 4156	1.16	169	0	0.002 183	116.247 4704	6.179 6117	5.41
122	0	0.004 841	533.390 0241	0.437 0781	1.18	170	0	0.002 169	1 101.510 6477	4.845 2977	0.57
123	0	0.004 648	158.907 2895	1.275 8471	3.95	171	0	0.002 103	-707.937 3857	5.756 6416	0.89
124	0	0.004 553	1 149.965 6223	5.554 9983	0.55	172	0	0.002 085	3.516 4090	1.405 1585	178.68
125	0	0.004 521	429.233 0833	6.140 6358	1.46	173	0	0.002 024	1 471.231 7116	2.752 0359	0.43
126	0	0.004 349	1 151.388 3317	2.181 7454	0.55	174	0	0.001 897	2 248.384 8574	4.167 9325	0.28
127	0	0.004 193	723.479 4256	4.869 0914	0.87	175	0	0.001 896	-312.838 8765	4.914 2316	2.01
128	0	0.004 164	1 249.137 0101	5.650 9319	0.50	176	0	0.001 894	105.226 8383	5.817 1674	5.97
129	0	0.004 148	-11.020 6321	3.016 1734	57.01	177	0	0.001 847	1 087.398 6030	2.903 4779	0.58
130	0	0.004 080	-705.859 8461	3.690 3601	0.89	178	0	0.001 825	-373.876 1430	0.545 8288	1.68
131	0	0.004 044	473.203 0627	1.398 7848	1.33	179	0	0.001 810	-8 886.005 7071	0.487 3548	0.07
132	0	0.003 919	1 252.801 8664	5.823 3197	0.50	180	0	0.001 745	24 428.760 0007	3.626 3952	0.03
133	0	0.003 742	723.867 5592	4.691 9762	0.87	181	0	0.001 737	629.018 9397	5.280 8201	1.00
134	0	0.003 625	620.977 8724	1.473 7606	1.01	182	0	0.001 729	389.418 1830	1.264 9766	1.61
135	0	0.003 500	26.308 3923	1.892 1007	23.88	183	0	0.001 649	3 144.167 7570	1.952 0493	0.20
136	0	0.003 354	-9 095.555 1695	1.942 6562	0.07	184	0	0.001 602	1 431.416 8113	4.203 6648	0.44
137	0	0.003 279	584.936 4112	4.893 3844	1.07	185	0	0.001 472	459.091 0180	4.164 9133	1.37
138	0	0.003 270	7.626 6071	1.517 1899	82.39	186	0	0.001 421	2.035 5319	2.419 8866	308.68
139	0	0.003 202	2 751.146 7874	0.531 6731	0.23	187	0	0.001 416	922.553 9273	4.996 4084	0.68
140	0	0.003 129	683.664 5253	0.003 8441	0.92	188	0	0.001 408	1 098.419 2352	2.732 0848	0.57
141	0	0.003 074	94.917 5609	5.185 8787	6.62	189	0	0.001 391	-863.594 2004	0.593 8915	0.73
142	0	0.003 053	23 314.131 4403	3.029 0293	0.03	190	0	0.001 388	-0.704 6237	1.166 1459	891.71
143	0	0.003 024	8 328.691 4270	2.355 5561	0.08	191	0	0.001 376	1 096.996 5258	5.152 9143	0.57
144	0	0.003 002	617.286 9529	2.797 8228	1.02	192	0	0.001 335	-26.660 7042	3.995 7640	23.57

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
193	0	0.001 321	1 820.933 0264	2.624 8664	0.35	241	0	0.000 674	1 494.531 6174	6.270 5105	0.42
194	0	0.001 297	2 122.839 2024	0.382 6035	0.30	242	0	0.000 673	106.649 5477	3.876 5124	5.89
195	0	0.001 297	2 354.323 0505	3.063 8052	0.27	243	0	0.000 662	2 515.860 1720	1.794 0584	0.25
196	0	0.001 288	-199.074 5017	3.913 0229	3.16	244	0	0.000 660	62.567 0192	5.864 0919	10.04
197	0	0.001 284	1 057.540 6683	5.306 5382	0.59	245	0	0.000 647	1 185.621 8652	3.397 1331	0.53
198	0	0.001 278	7.181 2653	4.713 4865	87.49	246	0	0.000 646	1 140.367 6996	3.852 9595	0.55
199	0	0.001 238	480.420 9276	5.503 3797	1.31	247	0	0.000 641	8 346.715 6353	3.210 7273	0.08
200	0	0.001 176	27.703 4994	3.335 5190	22.68	248	0	0.000 631	576.761 1979	4.026 5323	1.09
201	0	0.001 169	604.034 7246	5.841 7190	1.04	249	0	0.000 630	3.602 7867	0.156 3685	174.40
202	0	0.001 155	-1.422 7094	3.042 7008	441.64	250	0	0.000 618	2 200.391 4635	2.466 4270	0.29
203	0	0.001 145	605.873 1054	1.169 4839	1.04	251	0	0.000 611	-14 357.132 4284	2.424 9797	0.04
204	0	0.001 077	17.516 6060	1.844 9131	35.87	252	0	0.000 609	1 017.725 7680	0.437 1223	0.62
205	0	0.001 070	-15 471.760 9887	1.827 6245	0.04	253	0	0.000 607	-3.961 7508	2.839 0216	158.60
206	0	0.001 039	554.008 5789	2.769 7535	1.13	254	0	0.000 603	-6 514.761 9768	4.140 0836	0.10
207	0	0.001 004	-17.067 2871	0.755 0081	36.81	255	0	0.000 601	41.237 1097	3.984 2254	15.24
208	0	0.000 991	470.111 6502	4.387 0018	1.34	256	0	0.000 576	1 108.728 5126	4.760 2931	0.57
209	0	0.000 987	-626.230 0454	2.656 4870	1.00	257	0	0.000 575	1 204.357 4282	4.216 4924	0.52
210	0	0.000 979	554.719 9336	5.448 3760	1.13	258	0	0.000 574	7 214.062 8666	1.758 1909	0.09
211	0	0.000 954	628.209 5529	0.882 2135	1.00	259	0	0.000 567	363.462 1025	1.649 2647	1.73
212	0	0.000 954	-628.405 6171	0.968 4809	1.00	260	0	0.000 559	1 119.037 7900	5.783 2364	0.56
213	0	0.000 940	603.724 4204	6.197 4281	1.04	261	0	0.000 553	1 241.658 8503	4.772 1580	0.51
214	0	0.000 908	13.154 1962	2.521 2575	47.77	262	0	0.000 550	490.730 2050	0.864 0243	1.28
215	0	0.000 907	3 537.188 7266	3.370 1960	0.18	263	0	0.000 531	648.926 1398	1.681 8888	0.97
216	0	0.000 890	1 391.601 9110	5.601 4983	0.45	264	0	0.000 520	3 930.209 6962	4.788 0029	0.16
217	0	0.000 885	1 171.295 5318	3.280 4149	0.54	265	0	0.000 520	1 034.429 5065	2.445 5978	0.61
218	0	0.000 884	-155.104 5223	1.088 8317	4.05	266	0	0.000 515	1 863.592 8455	3.945 3459	0.34
219	0	0.000 876	501.750 8371	3.969 9026	1.25	267	0	0.000 509	84.608 2835	3.053 8746	7.43
220	0	0.000 852	19.907 2001	2.189 6050	31.56	268	0	0.000 495	734.245 7780	3.817 2858	0.86
221	0	0.000 845	-43.371 1738	4.749 2452	14.49	269	0	0.000 494	962.368 8277	3.022 6451	0.65
222	0	0.000 819	866.224 0324	5.991 2478	0.73	270	0	0.000 493	1 842.262 9359	1.676 9393	0.34
223	0	0.000 814	1 765.478 0540	4.627 1226	0.36	271	0	0.000 491	22.434 4796	0.878 3728	28.01
224	0	0.000 806	1 511.046 6120	5.142 8767	0.42	272	0	0.000 486	-32.350 5417	4.061 6739	19.42
225	0	0.000 806	30.927 8323	6.054 0644	20.32	273	0	0.000 485	670.256 0494	0.210 5809	0.94
226	0	0.000 798	14.807 8724	5.909 2251	42.43	274	0	0.000 484	1 726.726 8202	3.290 5891	0.36
227	0	0.000 798	51.546 3871	5.151 9625	12.19	275	0	0.000 481	574.945 2732	4.309 5920	1.09
228	0	0.000 773	-413.691 0434	0.022 0678	1.52	276	0	0.000 480	595.957 0433	5.031 3510	1.05
229	0	0.000 764	-612.765 5451	2.236 3463	1.03	277	0	0.000 480	575.731 7038	1.142 3486	1.09
230	0	0.000 738	613.499 7126	2.242 6689	1.02	278	0	0.000 478	126.556 7479	5.487 3146	4.96
231	0	0.000 737	532.678 6694	4.923 8316	1.18	279	0	0.000 472	-1 256.967 4818	5.112 1333	0.50
232	0	0.000 732	237.916 4474	2.501 8134	2.64	280	0	0.000 472	-1.815 9247	1.999 7076	346.00
233	0	0.000 726	542.987 9468	6.039 6069	1.16	281	0	0.000 470	1 202.934 7188	1.405 6112	0.52
234	0	0.000 723	1 725.663 1536	6.068 7196	0.36	282	0	0.000 466	1 256.262 8582	4.959 5816	0.50
235	0	0.000 710	2 876.692 4424	5.672 6177	0.22	283	0	0.000 465	1 725.304 1108	0.353 4963	0.36
236	0	0.000 706	1 255.903 8153	2.824 8489	0.50	284	0	0.000 463	573.915 7791	1.411 2230	1.09
237	0	0.000 704	1 352.175 1442	2.300 9913	0.46	285	0	0.000 461	617.998 3076	0.513 6693	1.02
238	0	0.000 694	349.603 2826	2.668 3091	1.80	286	0	0.000 458	1 213.243 9962	1.880 1038	0.52
239	0	0.000 689	468.688 9408	6.224 2711	1.34	287	0	0.000 449	1 160.986 2544	4.179 9896	0.54
240	0	0.000 678	-548.125 4919	6.249 6667	1.15	288	0	0.000 432	1 685.848 2533	1.179 2564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μ s)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μ s)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
289	0	0.000 432	2 042.657 1092	6.003 8292	0.31	337	0	0.000 268	-22 685.823 8553	0.069 4338	0.03
290	0	0.000 430	1 351.787 0106	0.685 8275	0.46	338	0	0.000 268	614.801 0770	5.152 6663	1.02
291	0	0.000 426	605.554 9661	4.274 4765	1.04	339	0	0.000 267	1 044.027 4293	4.730 1085	0.60
292	0	0.000 416	-747.752 2860	1.082 3563	0.84	340	0	0.000 265	16 728.376 1587	4.369 3024	0.04
293	0	0.000 399	1.497 7854	2.094 4419	419.50	341	0	0.000 264	6 656.748 5864	4.601 1012	0.09
294	0	0.000 389	1.725 2277	1.395 7532	364.19	342	0	0.000 264	1 887.552 5870	1.417 2634	0.33
295	0	0.000 387	1 045.450 1387	2.541 1826	0.60	343	0	0.000 262	83.896 9288	1.327 7203	7.49
296	0	0.000 384	1 193.336 7961	5.827 7815	0.53	344	0	0.000 260	81.355 0284	2.389 4389	7.72
297	0	0.000 383	2 195.415 7609	3.747 3764	0.29	345	0	0.000 256	-364.635 0377	0.506 3648	1.72
298	0	0.000 374	1 799.603 1168	3.388 7165	0.35	346	0	0.000 250	1 649.636 1396	0.898 7698	0.38
299	0	0.000 368	-575.690 8003	0.731 3743	1.09	347	0	0.000 240	1 248.988 5629	5.684 5490	0.50
300	0	0.000 363	-64.087 7607	5.071 8210	9.80	348	0	0.000 236	211.876 3860	1.733 5788	2.97
301	0	0.000 362	2 908.881 1416	3.215 9770	0.22	349	0	0.000 234	586.752 3359	5.575 2091	1.07
302	0	0.000 362	-453.505 9437	1.583 8496	1.39	350	0	0.000 234	511.348 7599	1.716 0907	1.23
303	0	0.000 352	574.986 1767	3.000 2980	1.09	351	0	0.000 228	3 301.902 1112	4.656 9855	0.19
304	0	0.000 342	613.202 8180	4.322 2386	1.02	352	0	0.000 227	628.700 8003	2.911 8916	1.00
305	0	0.000 341	1 214.666 7056	4.700 6580	0.52	353	0	0.000 225	1 646.033 3530	2.596 4518	0.38
306	0	0.000 338	606.584 4601	0.877 7761	1.04	354	0	0.000 223	1 980.094 5956	3.069 3274	0.32
307	0	0.000 336	-238.889 4020	5.353 7960	2.63	355	0	0.000 222	590.570 2242	3.731 9903	1.06
308	0	0.000 332	2 019.909 4960	1.652 9014	0.31	356	0	0.000 222	1 182.316 1639	1.942 3866	0.53
309	0	0.000 331	1 805.292 9543	0.566 7906	0.35	357	0	0.000 220	-13.562 5325	1.765 4303	46.33
310	0	0.000 331	607.370 8908	4.007 8812	1.03	358	0	0.000 216	630.385 1245	3.862 9423	1.00
311	0	0.000 330	1 055.759 4161	3.710 0437	0.60	359	0	0.000 211	575.656 6279	3.789 3928	1.09
312	0	0.000 329	626.884 8756	3.033 8277	1.00	360	0	0.000 209	-1 098.880 8158	2.636 1401	0.57
313	0	0.000 325	1 567.108 1759	2.178 8505	0.40	361	0	0.000 209	575.020 3491	1.661 9435	1.09
314	0	0.000 325	2 059.724 3963	0.180 0444	0.31	362	0	0.000 208	-22.752 6189	4.127 8838	27.62
315	0	0.000 323	1 259.245 0020	1.072 2628	0.50	363	0	0.000 206	7.032 8180	5.934 0761	89.34
316	0	0.000 318	70.993 3048	5.941 2071	8.85	364	0	0.000 205	-627.948 5421	1.829 3627	1.00
317	0	0.000 318	13.851 7497	2.253 2530	45.36	365	0	0.000 205	628.666 6279	1.742 8823	1.00
318	0	0.000 311	691.585 9589	1.693 5742	0.91	366	0	0.000 204	22.747 6133	5.636 1927	27.62
319	0	0.000 305	938.800 5909	0.578 3402	0.67	367	0	0.000 203	158.195 9348	5.549 8536	3.97
320	0	0.000 304	-182.317 5189	3.409 0352	3.45	368	0	0.000 200	564.219 8243	1.016 1158	1.11
321	0	0.000 301	10.994 5689	0.510 9221	57.15	369	0	0.000 200	680.565 3268	0.868 2210	0.92
322	0	0.000 301	4 323.230 6658	6.205 3112	0.15	370	0	0.000 198	2 593.412 4331	3.832 7031	0.24
323	0	0.000 301	608.082 2455	2.135 3962	1.03	371	0	0.000 197	-7.084 9445	4.690 7025	88.68
324	0	0.000 299	31 642.882 8673	5.384 5937	0.02	372	0	0.000 197	53.362 3118	1.048 9829	11.77
325	0	0.000 297	2 407.292 1470	1.997 2494	0.26	373	0	0.000 195	406.121 9215	3.308 4634	1.55
326	0	0.000 294	-37.737 3608	3.708 7842	16.65	374	0	0.000 191	1 066.068 6935	5.405 5160	0.59
327	0	0.000 292	74.299 0061	2.714 3336	8.46	375	0	0.000 191	41.555 2491	4.401 1656	15.12
328	0	0.000 292	1 234.573 9058	4.096 0941	0.51	376	0	0.000 191	614.455 8353	5.020 3934	1.02
329	0	0.000 290	977.910 8676	1.812 3204	0.64	377	0	0.000 190	2 929.661 5390	4.175 6585	0.21
330	0	0.000 290	309.788 3823	4.075 2916	2.03	378	0	0.000 189	523.792 1014	5.245 3130	1.20
331	0	0.000 285	-53.321 4083	4.687 3132	11.78	379	0	0.000 189	15.377 8810	4.812 3726	40.86
332	0	0.000 284	563.606 5017	5.655 3858	1.11	380	0	0.000 188	1 311.972 1103	2.032 1958	0.48
333	0	0.000 280	1 235.996 6152	0.710 8725	0.51	381	0	0.000 188	147.886 6574	5.686 8658	4.25
334	0	0.000 280	2 823.723 3459	5.304 8291	0.22	382	0	0.000 187	4 716.251 6355	1.354 3719	0.13
335	0	0.000 276	2.429 8514	0.770 2994	258.58	383	0	0.000 187	1 191.914 0867	2.629 4566	0.53
336	0	0.000 271	1 309.584 2665	3.208 9122	0.48	384	0	0.000 185	-20.936 6942	4.694 7566	30.01

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μ s)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μ s)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
385	0	0.000 184	-493.320 8440	3.327 4769	1.27	430	0	0.000 131	621.126 3197	0.085 0770	1.01
386	0	0.000 181	1 077.089 3256	1.999 4821	0.58	431	0	0.000 130	-588.844 9965	4.527 6811	1.07
387	0	0.000 180	608.400 3849	0.602 1822	1.03	432	0	0.000 130	1 129.347 0674	0.939 0394	0.56
388	0	0.000 180	-34.892 4420	2.490 9021	18.01	433	0	0.000 129	169.216 5670	0.351 4073	3.71
389	0	0.000 175	512.771 4693	4.728 4433	1.23	434	0	0.000 129	-8.582 7299	2.540 6351	73.21
390	0	0.000 171	654.615 9773	1.182 8080	0.96	435	0	0.000 128	938.095 9673	3.223 8443	0.67
391	0	0.000 169	2 099.539 2966	2.169 0806	0.30	436	0	0.000 128	-652.580 4454	3.803 4200	0.96
392	0	0.000 168	1 672.335 0143	0.027 8606	0.38	437	0	0.000 126	565.740 5658	5.146 5923	1.11
393	0	0.000 167	14.659 4252	0.759 9691	42.86	438	0	0.000 126	588.140 3728	5.577 5025	1.07
394	0	0.000 166	2 314.155 8383	3.454 1327	0.27	439	0	0.000 126	1 130.058 4221	3.485 2807	0.56
395	0	0.000 165	-766.863 7425	4.298 2121	0.82	440	0	0.000 123	1 940.279 6953	4.538 0744	0.32
396	0	0.000 163	1 778.273 2073	4.960 5931	0.35	441	0	0.000 123	210.703 4508	1.728 6273	2.98
397	0	0.000 162	968.359 4581	5.720 0924	0.65	442	0	0.000 123	606.659 5361	4.517 0995	1.04
398	0	0.000 162	625.462 6663	1.435 1321	1.00	443	0	0.000 121	3 694.923 0808	6.072 3321	0.17
399	0	0.000 161	12.747 1797	2.862 5747	49.29	444	0	0.000 121	13.703 3024	4.539 1082	45.85
400	0	0.000 159	1 673.757 7237	3.600 6915	0.38	445	0	0.000 121	-54.391 8059	6.109 4295	11.55
401	0	0.000 158	16 309.618 0361	2.957 1285	0.04	446	0	0.000 120	5.259 6640	0.948 5163	119.46
402	0	0.000 157	619.724 8551	1.284 3759	1.01	447	0	0.000 119	1 002.790 3196	3.217 4312	0.63
403	0	0.000 154	9.597 9227	3.366 8906	65.46	448	0	0.000 119	632.120 8886	2.547 4963	0.99
404	0	0.000 152	-572.950 6447	0.734 1175	1.10	449	0	0.000 119	2 280.573 5566	2.869 0406	0.28
405	0	0.000 151	427.451 8311	4.404 3591	1.47	450	0	0.000 118	2 274.340 9380	4.881 1231	0.28
406	0	0.000 151	1 662.737 0915	3.985 7021	0.38	451	0	0.000 117	607.295 8148	0.366 3246	1.03
407	0	0.000 149	1 172.006 8865	0.659 7219	0.54	452	0	0.000 117	-624.504 8177	5.379 5190	1.01
408	0	0.000 148	-641.814 0930	3.384 1050	0.98	453	0	0.000 115	-52.575 8812	5.895 2222	11.95
409	0	0.000 148	15.104 7670	3.799 1096	41.60	454	0	0.000 115	6.522 0371	3.504 9148	96.34
410	0	0.000 146	-417.604 1342	4.660 0085	1.50	455	0	0.000 114	72.876 2967	0.520 7918	8.62
411	0	0.000 146	1 108.017 1579	3.369 6954	0.57	456	0	0.000 113	5 109.272 6051	2.791 4831	0.12
412	0	0.000 146	-7.775 0544	3.121 5766	80.81	457	0	0.000 113	-787.567 1864	2.725 7711	0.80
413	0	0.000 146	579.274 1761	0.708 4266	1.08	458	0	0.000 113	733.072 8427	0.656 3721	0.86
414	0	0.000 146	448.781 7406	4.815 2970	1.40	459	0	0.000 113	-627.755 2926	2.788 9041	1.00
415	0	0.000 144	-66.475 6045	5.381 3669	9.45	460	0	0.000 112	1 609.767 9950	3.589 0263	0.39
416	0	0.000 143	670.967 4041	4.317 6256	0.94	461	0	0.000 109	417.142 5537	4.033 3381	1.51
417	0	0.000 142	8 378.354 8222	2.936 3147	0.07	462	0	0.000 109	136.866 0253	0.014 7305	4.59
418	0	0.000 141	621.933 9952	0.679 0687	1.01	463	0	0.000 108	-1 253.985 3380	3.716 1338	0.50
419	0	0.000 140	1 845.107 8547	0.642 0491	0.34	464	0	0.000 107	1 606.218 4526	4.066 5200	0.39
420	0	0.000 139	2 353.970 7386	2.028 1954	0.27	465	0	0.000 107	534.101 3788	0.288 2319	1.18
421	0	0.000 138	21.011 7702	2.564 2161	29.90	466	0	0.000 106	562.184 2923	1.815 3233	1.12
422	0	0.000 138	601.646 8808	6.096 1890	1.04	467	0	0.000 104	-56.882 1874	2.205 7345	11.05
423	0	0.000 138	628.159 1377	2.797 4503	1.00	468	0	0.000 104	981.460 4100	1.959 9672	0.64
424	0	0.000 138	197.549 2546	2.314 6085	3.18	469	0	0.000 103	632.110 3523	2.440 4211	0.99
425	0	0.000 135	620.532 5306	1.638 0540	1.01	470	0	0.000 103	90.981 8733	2.812 7454	6.91
426	0	0.000 134	1 234.180 6904	2.598 5768	0.51	471	0	0.000 101	624.791 1760	3.441 3470	1.01
427	0	0.000 133	6 447.199 1241	6.056 4041	0.10	472	0	0.000 101	179.064 2638	1.965 7460	3.51
428	0	0.000 133	-533.135 7444	5.409 7019	1.18	473	0	0.000 101	269.973 4819	5.481 6032	2.33
429	0	0.000 131	1 361.380 4277	4.005 7329	0.46	474	0	0.000 101	11.143 0161	5.711 0337	56.39

Table 2.3. (fin).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	1	10.215 672	628.307 5850	4.249 0320	1.00	46	1	0.000 305	564.317 8564	1.362 6344	1.11
2	1	0.170 681	1 256.615 1700	4.205 9042	0.50	47	1	0.000 303	41.948 4644	5.286 4738	14.98
3	1	0.026 967	21.329 9095	3.400 2905	29.46	48	1	0.000 299	469.047 9836	6.235 8721	1.34
4	1	0.026 592	52.969 0965	5.836 0474	11.86	49	1	0.000 297	681.276 6815	1.583 0127	0.92
5	1	0.021 057	-0.352 3118	6.262 7383	1783.42	50	1	0.000 293	521.658 0373	2.319 9513	1.20
6	1	0.007 800	522.369 3920	4.670 3442	1.20	51	1	0.000 289	586.359 1206	0.095 1976	1.07
7	1	0.005 915	2.629 8320	1.083 0447	238.92	52	1	0.000 266	315.468 7085	2.487 4479	1.99
8	1	0.005 476	157.734 3542	4.534 8002	3.98	53	1	0.000 259	1 235.285 2605	1.991 9358	0.51
9	1	0.003 442	-39.814 9003	5.980 0774	15.78	54	1	0.000 257	80.182 0931	3.425 6115	7.84
10	1	0.003 359	550.755 3239	5.980 1623	1.14	55	1	0.000 250	643.849 6249	2.994 7798	0.98
11	1	0.003 209	1 884.922 7550	4.162 9135	0.33	56	1	0.000 244	1 044.738 7840	2.347 1392	0.60
12	1	0.002 920	585.647 7659	0.623 8119	1.07	57	1	0.000 243	523.080 7467	3.084 7528	1.20
13	1	0.002 776	15.542 0399	3.745 3181	40.43	58	1	0.000 205	708.489 6781	0.526 3239	0.89
14	1	0.002 519	574.627 1338	2.980 3305	1.09	59	1	0.000 189	803.109 2263	3.569 0037	0.78
15	1	0.002 498	576.049 8432	2.467 9137	1.09	60	1	0.000 180	-7 143.069 5618	2.192 2960	0.09
16	1	0.002 300	-79.629 8007	1.174 4118	7.89	61	1	0.000 178	0.393 2153	5.180 4337	1597.90
17	1	0.002 177	20.618 5548	3.854 7875	30.47	62	1	0.000 174	627.955 2732	0.087 4840	1.00
18	1	0.001 792	-77.552 2611	1.092 0660	8.10	63	1	0.000 174	584.936 4112	0.417 5584	1.07
19	1	0.001 379	42.659 8191	2.699 8320	14.73	64	1	0.000 170	-159.259 6014	3.997 0977	3.95
20	1	0.001 328	606.266 3208	5.845 8019	1.04	65	1	0.000 169	-470.573 2308	4.641 7792	1.34
21	1	0.001 287	607.689 0302	5.333 4257	1.03	66	1	0.000 168	3.813 3036	4.164 5294	164.77
22	1	0.001 215	105.938 1930	6.222 8745	5.93	67	1	0.000 164	842.924 1266	2.180 6196	0.75
23	1	0.001 177	1 203.646 0735	2.292 8321	0.52	68	1	0.000 163	763.294 3260	4.968 4457	0.82
24	1	0.001 108	-0.711 3547	5.154 7250	883.27	69	1	0.000 146	429.233 0833	1.356 0981	1.46
25	1	0.001 014	469.400 2955	4.044 0138	1.34	70	1	0.000 144	1 149.965 6223	0.974 3879	0.55
26	1	0.001 008	52.257 7418	0.749 3203	12.02	71	1	0.000 144	2.035 5319	3.895 4394	308.68
27	1	0.000 936	548.677 7843	3.416 0814	1.15	72	1	0.000 137	1 414.349 5242	3.987 5766	0.44
28	1	0.000 863	627.596 2303	4.562 0602	1.00	73	1	0.000 136	1 151.388 3317	0.495 5723	0.55
29	1	0.000 859	1 097.707 8805	2.777 1526	0.57	74	1	0.000 134	723.479 4256	0.090 4543	0.87
30	1	0.000 816	-22.041 2642	5.806 8915	28.51	75	1	0.000 126	683.664 5253	1.509 0694	0.92
31	1	0.000 775	254.431 4420	1.603 1971	2.47	76	1	0.000 117	10.309 2774	2.838 4968	60.95
32	1	0.000 767	214.616 5416	3.000 2004	2.93	77	1	0.000 116	416.431 1990	3.408 3878	1.51
33	1	0.000 710	7.478 1599	0.443 7258	84.02	78	1	0.000 109	606.977 6755	3.617 9427	1.04
34	1	0.000 618	-53.680 4512	1.302 6428	11.70	79	1	0.000 101	-625.677 7530	0.661 8265	1.00
35	1	0.000 609	174.801 6413	4.403 7652	3.59	80	1	0.000 101	1 778.984 5620	0.286 3502	0.35
36	1	0.000 598	-119.444 7010	2.583 4726	5.26	81	1	0.000 101	63.989 7286	1.610 7621	9.82
37	1	0.000 582	508.862 8840	4.827 7235	1.23						
38	1	0.000 526	55.356 9403	2.336 1073	11.35	1	2	0.043 230	628.307 5850	2.642 8937	1.00
39	1	0.000 494	-628.659 8968	0.268 3052	1.00	2	2	0.004 065	0.000 0000	4.712 3890	
40	1	0.000 477	134.986 7410	5.808 6367	4.65	3	2	0.001 226	1 256.615 1700	2.438 1406	0.50
41	1	0.000 469	-24.272 8604	5.154 8906	25.89	4	2	0.000 195	21.329 9095	1.642 1870	29.46
42	1	0.000 423	95.171 8406	0.931 1722	6.60	5	2	0.000 169	52.969 0965	4.510 9593	11.86
						6	2	0.000 134	-0.352 3118	1.502 2103	1783.42
43	1	0.000 340	-235.286 6154	2.552 1899	2.67						
44	1	0.000 321	-0.704 6237	1.863 7965	891.71						
45	1	0.000 306	943.776 2935	4.226 4206	0.67	1	3	0.000 143	628.307 5850	1.131 4536	1.00

CHAPITRE 3

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

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

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

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

3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

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

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

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

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

respectivement. Cependant les transformations relativistes reliant le TDB au TT d'une part, et les coordonnées spatiales barycentriques aux coordonnées géocentriques d'autre part, sont utilisées dans des observations de haute précision (VLBI, LLR (Lunar Laser Ranging), etc). Dans la dernière décennie du vingtième siècle, les résolutions de l'UAI adoptées en 1991 furent complétées à chaque assemblée générale de l'UAI. La résolution C7 (UAI, 1994), définissant l'époque J2000 et la durée du siècle julien en TT, recommandait aussi le développement de nouvelles éphémérides en TCB et TCG. La résolution B6 (UAI, 1997) recommandait encore une fois l'usage de systèmes de référence barycentrique et géocentrique en accord avec la résolution A4 (UAI, 1992), c'est-à-dire sans introduire les facteurs d'échelle de longueur et de masse qu'entraîne l'utilisation du TDB et du TT à la place du TCB et du TCG, respectivement. La vingt-quatrième assemblée générale adopta la résolution B1 (UAI, 2001) qui impliquait des utilisations plus importantes de certains aspects de la GRT dans la théorie des systèmes de référence astronomiques (Petit, 2000). Enfin, la vingt-sixième assemblée générale, dans sa résolution 3 (UAI, 2006), redéfinit le TDB comme fonction linéaire de TCB, évitant ainsi la possibilité de réalisations multiples de TDB. On peut voir à ce sujet les commentaires de Brumberg et Groten (2001), l'explication détaillée de Soffel et al. (2003), la discussion sur les applications pratiques de cette résolution dans (IERS, 2002), et enfin le chapitre 2 de cet ouvrage.

3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

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

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

• Deuxièmement, les concepts classiques de l’astronomie fondamentale et du système de constantes astronomiques sont basés sur la mécanique newtonienne avec son temps et son espace absolus. Dans l’astronomie newtonienne, de tels concepts sont invariants lors de transformations du barycentre au géocentre et inversement. De telles invariances n’ont plus cours en astronomie relativiste. Afin d’éviter des confusions, on doit aller plus loin que le cadre des systèmes ICRS et ITRS.

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

3.2.3. Description mathématique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec l'équation du temps relativiste

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

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

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

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

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

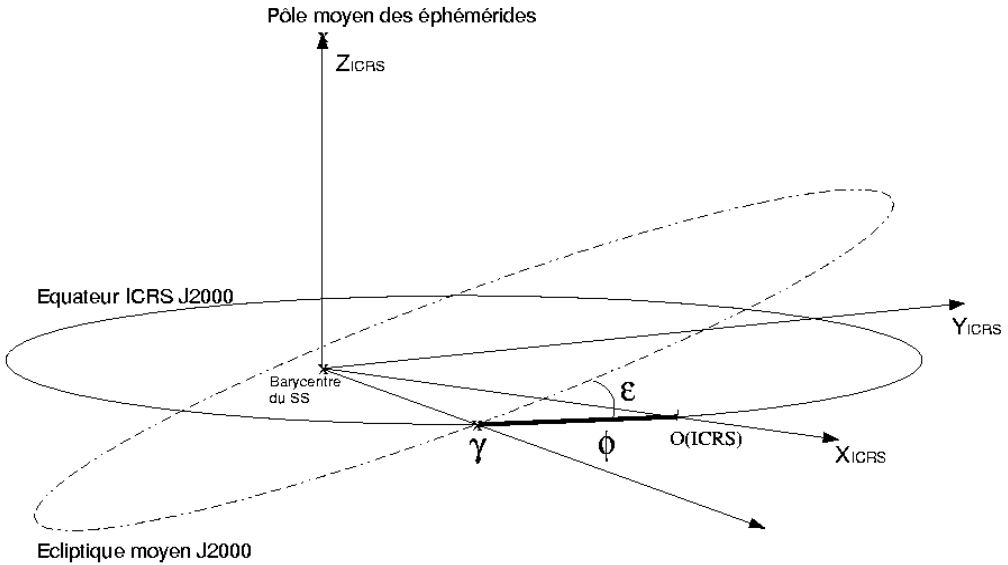


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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

3.3.2. Définitions

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

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

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

Notons qu'à l'époque où les moyens d'observation 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,

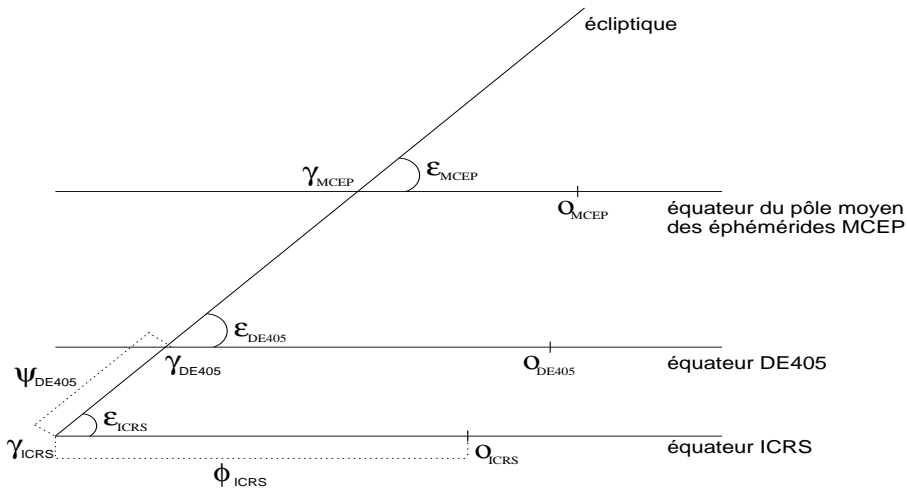


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d'après Chapront et al., 2002).

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

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

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

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

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

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

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

3.4.2. Les recommandations de l'UAI

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

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

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

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

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

3.4.3. Définition de l'ICRS

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

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

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

L'UAI a recommandé que l'origine des ascensions droites de l'ICRS soit proche de l'équinoxe dynamique J2000. Dans l'analyse VLBI, il n'est pas possible de séparer l'origine des ascensions droites, de la longitude de la ligne de base de l'interféromètre car l'origine des ascensions droites n'est pas fixée. L'axe Ox du système ICRS a été fixé implicitement dans sa première réalisation par l'adoption des ascensions droites des vingt-trois radiosources extragalactiques primaires (Arias et al., 1988). Ces coordonnées ont été dérivées d'un ensemble de catalogues VLBI compilés en adoptant pour l'ascension droite du quasar 3C273B la valeur de Hazard et al. (1971) dans le système FK5 (12h 29m 06.6997s en J2000).

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

3.4.4. Maintenance de l'ICRS

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

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

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

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

3.4.5. Accessibilité à l'ICRS

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

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

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

Les paramètres d'orientation de la Terre calculés par l'IERS permettent d'établir le rattachement entre l'ICRF et le système de référence terrestre international ITRS (International Terrestrial Reference System) avec une exactitude de 0.1 mas. On se reportera au paragraphe 4.4 pour plus de détails.

3.4.6. Le repère de référence céleste international ICRF

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

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

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

Les observations en dessous de 6° de hauteur sont rejetées. Le modèle linéaire de troposphère est complété par l'estimation de gradients. En ce qui concerne la position du pôle céleste, des corrections aux modèles UAI 1976 de la précession et UAI 1980 de la nutation ont été apportées dans l'analyse.

Des études préliminaires ont permis de détecter les sources les plus adaptées pour définir l'orientation des axes du repère. Dans un cas idéal, avec un grand nombre de données, ces sources ne doivent pas présenter de changement de position. Pour classer les sources radio de l'ICRF1,

des critères ont été définis en fonction de la qualité des données, l'historique des observations, la cohérence entre les coordonnées dérivées des différents sous-ensembles de données et les effets de structure radio des sources.

Le nombre total de sources radio extragalactiques dans la première réalisation de l'ICRF1 est 608. Deux cent douze sources ont satisfait tous les critères de sélection pour être dans la catégorie *sources de définition*. Deux cent quatre-vingt-quatorze sources n'ayant pas satisfait à un ou plusieurs critères sont des *sources candidates*. Cent deux sources ont montré d'importants changements dans leurs positions. Elles ont été néanmoins conservées dans le repère comme *autres sources*, quelques unes étant nécessaires pour rattacher l'ICRS à d'autres systèmes de référence. La médiane des incertitudes des coordonnées des sources de définition dans l'ICRF1 est de ± 0.35 mas en ascension droite et ± 0.40 mas en déclinaison. L'analyse VLBI appliquée au calcul des coordonnées des sources de l'ICRF a donné des positions dans un système très proche de l'ICRS. La partie finale de l'établissement du repère conventionnel est son alignement à l'ICRS. Pour effectuer cet alignement on a utilisé un modèle basé sur celui qui a été développé à l'IERS pour la comparaison de catalogues VLBI (Arias et al., 1988). L'analyse de l'orientation du système quand on considère des ensembles différents de sources radio indique que les axes de l'ICRS sont stables au niveau de 0.020 mas.

Le processus de maintenance de l'ICRS prévoit des améliorations du repère chaque fois qu'elles sont justifiées par un progrès dans la précision des coordonnées, de même que par une augmentation du nombre de sources dans le repère. Deux extensions de l'ICRF1 ont été construites.

Les deux extensions de l'ICRF1 ont eu pour objectif de densifier le repère avec l'apport de coordonnées de nouvelles sources. Les sources de définition, de même que leurs coordonnées, restent celles de l'ICRF1. La première extension de l'ICRF1, ICRF-Ext.1 a été élaborée en 1998 et elle ajoute les coordonnées de cinquante neuf nouvelles sources au repère (IERS, 1999). La deuxième extension, ICRF-Ext.2 (Fey et al., 2004) est une révision du repère qui le densifie avec les positions de cent neuf sources radio.

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

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

3.4.8. Futur de l'ICRS

L'extension de l'ICRF à d'autres fréquences est un besoin permanent. Elle ne pourra se faire qu'avec l'ajout d'observations réalisées dans des fréquences autres qu'optiques et radio, dans des programmes astrométriques de routine. Le catalogue stellaire Hipparcos réalise l'ICRS dans les fréquences optiques. En raison des incertitudes dans les mouvements propres stellaires, il est nécessaire aussi de réaliser des opérations de maintenance sur le rattachement optique-radio. Des grands projets d'astrométrie spatiale vont sans doute y contribuer. La mission Gaia peut être considérée comme une extension de la mission Hipparcos, toutes deux ont les mêmes caractéristiques en ce qui concerne le concept d'astrométrie globale. Le projet prévoit l'observation de 10^9 étoiles, et ses objectifs concernent des applications astrométriques et astrophysiques. La prochaine décennie nous permettra d'utiliser ces nouvelles observations.

3.5. LE SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE TERRESTRE ITRS

3.5.1. Introduction

La géodésie, science de la forme de la Terre, repose sur le positionnement de points sur la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. La détermination des positions de points nécessite en premier lieu des mesures (ou observations) sur ces points, utilisant des techniques classiques (terrestres) ou spatiales, faisant appel à des objets célestes, artificiels ou naturels. En second lieu, les mesures sont traitées par des modèles mathématiques et physiques, permettant ainsi la détermination des coordonnées des points. Les coordonnées ainsi obtenues ne sont donc ni des quantités observables ni absolues et doivent par conséquent être rapportées à une référence. C'est ainsi qu'on appelle Système de Référence Terrestre (SRT), un objet mathématique, satisfaisant une définition idéale et, dans lequel les coordonnées des points seront exprimées. Pour réaliser ce système (c'est à dire le rendre accessible aux utilisateurs), on fait appel à un Repère de Référence Terrestre (RRT) constituant la matérialisation physique du SRT.

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

L'utilisation des techniques spatiales depuis une vingtaine d'années a bouleversé le positionnement sur la surface de la Terre. En effet, les incertitudes initialement de l'ordre du décimètre sont maintenant de l'ordre du centimètre, voire de quelques millimètres.

Toutefois, chaque technique et chaque stratégie d'analyse définit et réalise son propre système. Ainsi, assiste-t-on à des réalisations diverses de systèmes de référence, présentant des biais et systématismes les uns par rapport aux autres. Ce constat a conduit les instances internationales et en particulier l'Union Astronomique Internationale (UAI), l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) et l'Association internationale de géodésie (AIG) à adopter, en 1991, l'ITRS

(International Terrestrial Reference System) en tant que système de référence terrestre unique, pour toutes les applications relatives à la science de la Terre.

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

L'idée de base de l'ITRF est de combiner les positions de stations (et leurs vitesses), calculées par différents centres d'analyse en utilisant les observations des techniques spatiales telles que l'interférométrie à très longue base (VLBI) la télémétrie laser sur satellite (SLR) le Global Positioning System (GPS) et le Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite (DORIS).

3.5.2. Concepts et définitions des systèmes de référence terrestres

Un système de référence terrestre (SRT) est un système de référence spatial tournant avec la Terre dans son mouvement diurne dans l'espace. Dans ce système, les positions de points localisés sur la surface de la Terre solide possèdent des coordonnées sujettes à des variations temporelles dues à des effets géophysiques (en particulier tectoniques ou de marées terrestres et océaniques).

Afin de suivre la terminologie adoptée depuis une vingtaine d'années par la communauté géodésique et astronomique (Kovalevsky et al., 1989 ; Boucher, 2001) on distingue trois types de systèmes de référence terrestres : le système de référence idéal, le système de référence conventionnel et le repère de référence conventionnel. On note ainsi que le SRT n'est théoriquement pas accessible, et on utilise sa réalisation physique, appelée Repère de Référence Terrestre (RRT).

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

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

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

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

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

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

$$X_2 = T + \lambda \mathcal{R} \cdot X_1 \tag{3.5.2}$$

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) suivante, supposée linéaire pour des jeux de coordonnées issus des techniques de géodésie spatiale (les différences d'origine sont de quelques centaines de mètres, et celles d'échelle et d'orientation sont inférieures à 10^{-5} ⁽¹⁾) :

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

avec :

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

où I est la matrice unité.

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

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

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 :

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

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

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

3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre

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

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

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

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

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

Les observations des techniques de géodésie spatiale ne contenant pas tous les paramètres nécessaires pour établir un RRT, des informations externes supplémentaires sont donc nécessaires pour compléter la définition du RRT. En termes d'équations normales, habituellement construites à partir des observations, cette situation est reflétée par le fait que la matrice normale, N , est singulière, puisqu'elle a un défaut de rang correspondant au nombre de paramètres du repère non réduits par les observations. Afin de pallier ce défaut de rang, les centres d'analyse cumulent des contraintes appliquées sur une partie ou sur l'ensemble des stations du réseau traité :

- contraintes détachables : solutions pour lesquelles les positions/vitesses des stations sont contraintes à des valeurs externes avec une incertitude $\sigma \approx 10^{-5}$ m pour les positions et 10^{-5} m/an pour les vitesses.
- contraintes lâches : solutions pour lesquelles les incertitudes appliquées aux contraintes sont $\sigma \geq 1$ m pour les positions et ≥ 10 cm/an pour les vitesses.

- contraintes minimales qui servent uniquement à définir le RRT avec un minimum d'information. Pour plus de détails sur les concepts et l'utilisation des contraintes minimales, voir par exemple, (Sillard et Boucher, 2001 ; Altamimi et al., 2001, 2003b).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.5.3.2. Réalisation par combinaison de repères de référence individuels

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

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

La combinaison consiste en l'estimation :

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

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

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

3.5.4. Le Système International de Référence Terrestre ITRS

3.5.4.1. Historique

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

dernière étant le BTS87, quand, en 1988, l'IERS a été créé par l'Union Internationale de Géodésie et de Géophysique et l'Union Astronomique International.

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

3.5.4.2. Définition de l'ITRF

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

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

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

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

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

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

L'ITRF2000 est une solution étendue et améliorée dans le but de servir de référence à la fois pour le géo-référencement et les applications en science de la Terre. En plus des sites primaires, VLBI,

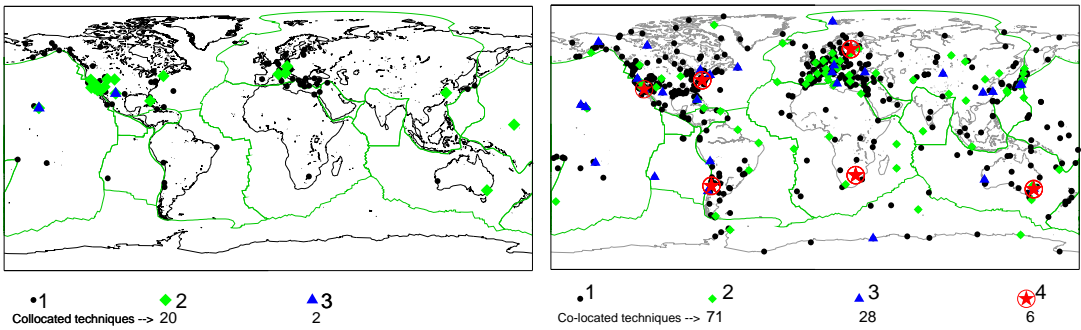


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

SLR, GPS et DORIS, l'ITRF2000 comprend une densification par des réseaux GPS régionaux, en Alaska, Antarctique, Asie, Europe, les deux Amériques et dans le Pacifique.

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

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

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

3.5.5. L'ITRF2005

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.6.1. Introduction

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

Cette transformation de coordonnées s'effectue en deux étapes. La première étape, qui correspond au passage d'un système de référence centré au barycentre du système solaire à un système de référence centré au centre de masse de la Terre, a été décrite en 3.2. dans le cadre de la forme générale de la transformation entre les systèmes de référence relativistes notés BCRS et GCRS. Cette transformation prend en compte les effets de parallaxe annuelle et d'aberration annuelle à la date d'observation, ainsi que l'effet de déflexion de la lumière dans le champ gravitationnel des corps du système solaire (excepté la Terre). Cela permet de passer des coordonnées d'un objet céleste

données par un catalogue ou par une éphéméride à ses coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS, appelés couramment coordonnées *apparentes* (cf. 3.3). La deuxième étape, qui correspond au passage des coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS aux coordonnées dans le système de référence de référence terrestre ITRS, prend en compte l'orientation de la Terre dans le système de référence céleste à la date d'observation.

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

3.6.2. Expression générale de la transformation

Les directions d'étoiles ou de quasars observés depuis la Terre à une certaine date se rapportent directement à un axe intermédiaire très proche de l'axe instantané de rotation. On est ainsi amené à introduire, dans le passage entre les systèmes de référence ITRS et GCRS, un système de référence céleste instantané dit *intermédiaire*, défini de façon conventionnelle de façon à exprimer au mieux les quantités observées au cours des réductions d'observations. Ainsi, pour effectuer le passage du GCRS à l'ITRS, on passe d'abord des axes du système de référence céleste géocentrique dans lequel les coordonnées des directions des objets célestes sont calculées aux axes du système de référence intermédiaire instantané. Ce passage inclut (i) une rotation indépendante du temps entre le GCRS et le système de référence équatorial moyen à l'époque de référence t_o et (ii) une rotation pour passer du système de référence équatorial moyen de l'époque t_o au système de référence intermédiaire animé du mouvement de précession et de nutation. L'axe Ox de ce système de référence intermédiaire est arbitraire, les ascensions droites d'étoiles ou de quasars étant déterminées de façon relative. Pour exprimer les coordonnées angulaires d'un astre dans le système de référence terrestre il faut ensuite tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle intermédiaire à partir de l'origine choisie ainsi que du déplacement de ce pôle par rapport à la Terre.

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

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

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

- le mouvement du pôle, ou déplacement du pôle intermédiaire par rapport au système de référence terrestre, dans $W(t)$;
- l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle, c'est-à-dire le long de l'équateur de la date, dans $R(t)$;

– le déplacement céleste du pôle intermédiaire, c'est-à-dire la précession-nutation, ainsi que l'écart entre le système de référence équatorial moyen de l'époque de référence et le système de référence céleste, dans $C(t)$.

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

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

Il existe deux options équivalentes pour la transformation (3.6.1) suivant l'origine utilisée pour compter l'angle de rotation de la Terre, soit l'équinoxe pour l'expression classique du temps sidéral, soit l'*origine non-tournante* (NRO, Non Rotating Origin), définie par Guinot en 1979 (*cf.* 3.6.4.4). Le choix de l'équinoxe vrai de la date comme origine sur l'équateur instantané avait des raisons historiques. Une origine des coordonnées célestes définie à partir de mesures de positions d'étoiles dérive dans le temps du fait de la mauvaise connaissance des mouvements propres. C'est pourquoi on a préféré, dans le passé, déterminer cette origine à partir des mouvements des corps du système solaire dont la théorie fait tout naturellement intervenir l'écliptique et l'équinoxe. L'usage de l'équinoxe dans la réduction d'observations n'a par contre aucun intérêt particulier lorsque ces observations ne sont pas directement sensibles à la position de l'écliptique (observations d'étoiles, de quasars, de satellites artificiels, etc.) et l'axe Ox du système de référence intermédiaire de la date peut alors être choisi indépendamment de l'équinoxe. Le choix d'un axe dirigé vers l'origine non-tournante permet alors de clarifier les concepts intervenant dans la transformation (3.6.1) et d'améliorer l'exactitude de ses différentes composantes. L'utilisation de la NRO a été recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI adoptée en 2000.

3.6.3. Les résolutions 2000 et 2006 de l'UAI relatives à la transformation entre les systèmes de référence terrestre et céleste

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

Résolution UAI 2000 B1.7 : Définition du pôle céleste intermédiaire

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

La résolution B1.7 précise que le mouvement du CIP dans le GCRS est obtenu par le modèle de précession-nutation UAI 2000 pour des périodes supérieures à deux jours, corrigées des corrections

additionnelles dépendant du temps et fournies par l'IERS à partir d'observations astro-géodésiques. De même, le mouvement du CIP dans l'ITRS est fourni par l'IERS à partir d'observations astro-géodésiques et des modèles incluant des variations à hautes fréquences.

Résolution UAI 2000 B1.8 : Définition et usage des origines céleste et terrestre

Cette résolution recommande d'utiliser comme origines sur l'équateur du CIP, les origines non-tournantes à la fois par rapport au GCRS et à l'ITRS. Ces origines étaient appelées respectivement *origine céleste des éphémérides* (CEO, Celestial Ephemeris Origin) et *origine terrestre des éphémérides* (TEO, Terrestrial Ephemeris Origin). Finalement, lors de sa vingt-sixième assemblée générale en 2006, l'UAI a adopté dans sa résolution B2 que la désignation «intermédiaire» soit utilisée pour décrire les systèmes de référence céleste et terrestre. Ainsi les origines non-tournantes pour le GCRS et l'ITRS sont nommées respectivement *origine céleste intermédiaire* (CIO, Celestial Intermediate Origin) et *origine terrestre intermédiaire* (TIO, Terrestrial Intermediate Origin), par souci d'homogénéisation avec le terme «intermédiaire» utilisé pour le pôle (UAI, 2006).

L'*angle de rotation de la Terre* (ERA, Earth Orientation Angle) est défini comme étant l'angle entre le TIO et le CIO, mesuré positivement dans le sens rétrograde, le long de l'équateur du CIP. La résolution B1.8 recommande que UT1 soit linéairement proportionnel à l'ERA et que la transformation entre le GCRS et l'ITRS soit spécifiée par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l'ITRS et l'ERA. La relation linéaire entre l'ERA, noté θ , et UT1 est celle donnée par Capitaine et al. (2000) :

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

où t est la date julienne en UT1.

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

3.6.4. Les paramètres d'orientation de la Terre

3.6.4.1. Définition des paramètres à utiliser

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

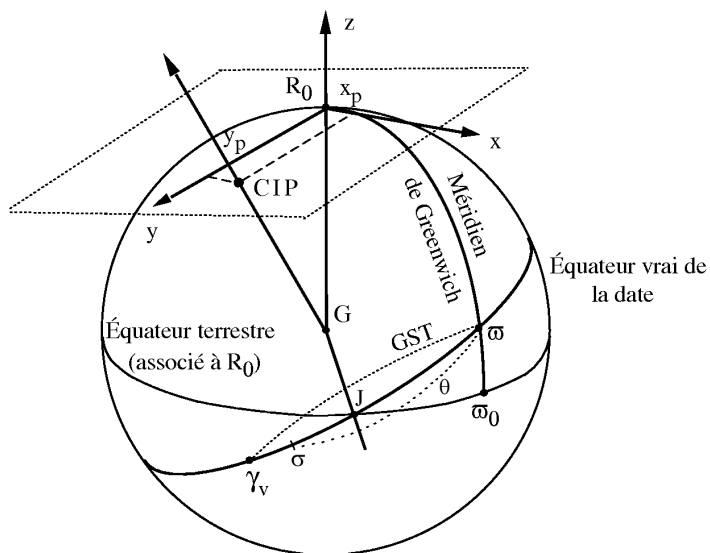


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d’orientation de la Terre.

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 proportionalité entre θ et UT1. Elles s’obtiennent par la détermination de UT1 – TAI à partir d’observations.

La figure 3.6.1 illustre la définition des paramètres qui décrivent l’orientation de la Terre à

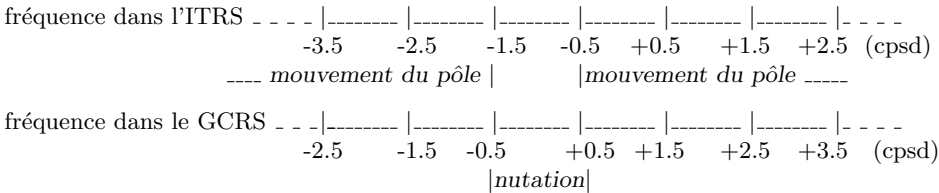
utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5; il coupe la sphère terrestre en R_0 . ϖ_0 est l'origine des longitudes, ϖ est l'intersection du méridien origine avec l'équateur vrai de la date, σ est le CIO sur l'équateur de la date, γ_v est l'équinoxe vrai de la date et J, le nœud de l'équateur de la date sur l'équateur terrestre. L'ERA est l'angle $\theta = \varpi\sigma$ et GST est l'angle $\varpi\gamma_v$.

3.6.4.2. Définition du CIP

Selon la résolution B1.7 de l'UAI (2000), le CIP est un pôle intermédiaire, proche du pôle instantané de rotation, séparant, par convention, le mouvement du pôle de l'ITRS dans le GCRS en deux composantes :

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

Cette définition est résumée par le schéma suivant :



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

3.6.4.3. Bases de la nouvelle définition du Temps universel UT1

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

sur le système de référence FK5 qui a été remplacé, au 1 janvier 1998, par le système de référence ICRS, décrit au paragraphe 3.4.

La nouvelle définition de UT1 adoptée par la résolution B1.8 de l'UAI (2000) utilise l'origine non-tournante sur l'équateur mobile. Cette origine a été choisie pour refléter le plus simplement possible la rotation de la Terre par rapport à un système de référence céleste tout en étant en continuité avec la définition historique de UT. Elle a l'avantage, d'une part, de rendre les concepts plus clairs, et, d'autre part, de simplifier les calculs.

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

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

La première condition exige l'utilisation d'une origine cinématiquement non-tournante sur l'équateur mobile et les suivantes sont remplies par un choix approprié des valeurs numériques des coefficients.

3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

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

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

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

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

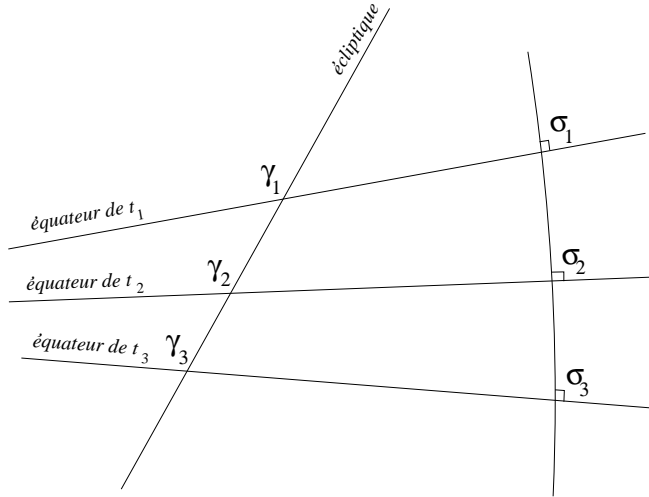


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

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

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

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 :

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

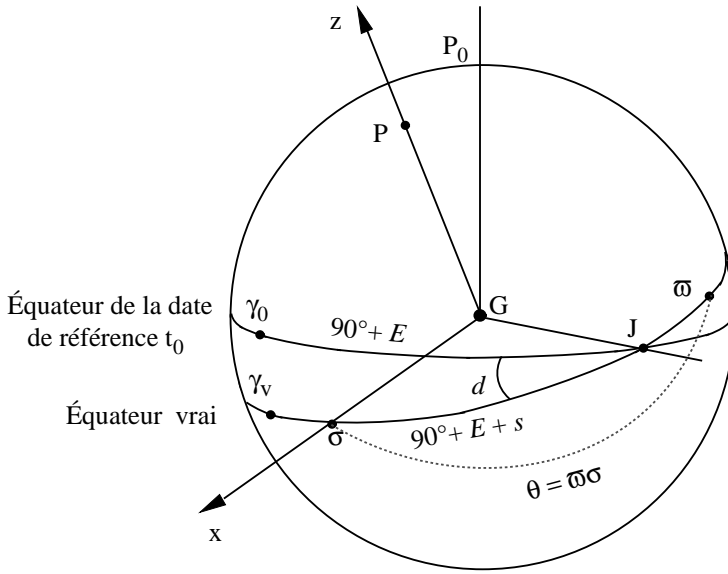


Fig. 3.6.3. Définition de l’origine “non-tournante”.

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 : $cJ = \varpi J$, c’est-à-dire $s' = cJ - \varpi J = 0$ (cf. Fig. 3.6.1).

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

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

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

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

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

$$UT1 = (1/k) (\theta + a_0). \tag{3.6.8}$$

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.

θ –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 systèmes de référence GCRS et ITRS centrés au centre de masse de la Terre G s’exprime sous la forme (3.6.1) en fonction de matrices de transformation qui dépendent de l’origine utilisée sur l’équateur du CIP. Notons W' , R' , C' les matrices de transformation lorsque l’on utilise les origines non-tournantes CIO et TIO, comme le recommande la résolution B1.8 (UAI, 2000).

Désignons par x_p et y_p les coordonnées terrestres du CIP défini en 3.6.4.2. Du fait de la proximité de l’axe des z du système de référence terrestre et de l’axe du CIP, ces coordonnées, appelées *coordonnées du pôle*, sont des coordonnées angulaires différentielles par rapport au pôle terrestre origine. Par convention, elles sont comptées respectivement, le long du méridien terrestre origine, positivement vers Greenwich pour x_p et le long d’un axe perpendiculaire à ce méridien, positivement vers la longitude 90° ouest pour y_p . La matrice qui permet de tenir compte du mouvement du pôle

dans le système de référence terrestre, est le produit de deux matrices de rotation (autour de l'axe Gx pour la coordonnée y_p et de l'axe Gy pour la coordonnée x_p). L'utilisation de l'origine non-tournante dans le système de référence terrestre amène à introduire la quantité s' définie par l'équation (3.6.6). Cette rotation autour de l'axe Gz s'ajoute aux deux rotations précédentes, et l'effet total du déplacement terrestre de l'axe du CIP se traduit par la matrice de rotation :

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

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

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

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

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

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

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

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

3.6.5.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où t est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c 'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay l, l', F, D, Ω), des longitudes des planètes $L_{Me}, L_{Ve}, L_E, L_{Ma}, L_J, L_{Sa}, L_U, L_{Ne}$ et de la précession p_A . Ces développements ont été déduits des expressions de X et Y (Capitaine, 1990) en fonction des quantités classiques de précession-nutation ; ils sont compatibles avec le modèle de nutation UAI 2000A et incluent les décalages à J2000 par rapport aux axes du GCRS (ξ_0, η_0 pour le CIP et da_0 pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 3.1. Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4}''$ sur les

EOP, il faut ajouter à ces valeurs, les corrections sur la position du pôle céleste, $dX = d\psi \sin \varepsilon$ et $dY = d\varepsilon$, diffusées par l'IERS par rapport au modèle UAI.

La valeur de la quantité s à utiliser dans la matrice $C''(t)$ s'obtient à partir du développement de s en fonction du temps obtenu par (3.6.4) en utilisant les expressions (3.6.18) et (3.6.19) pour X et Y ; elle s'écrit avec une exactitude de $10 \mu\text{as}$ (Capitaine et al., 2003a ; Wallace & Capitaine, 2006) :

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

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

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

3.6.6.1. Expression des matrices de rotation

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

L'application de la résolution B1.8 (UAI, 2000) impose à la matrice W'' d'avoir la même expression (3.6.10) que dans le cas précédent.

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

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

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

$$C''(t) = \underbrace{R_1(-\varepsilon_A - \Delta\varepsilon)R_3(-\Delta\psi)R_1(\varepsilon_A)}_{\text{nutation}} \underbrace{R_3(\chi_A)R_1(-\omega_A)R_3(-\psi_A)R_1(\epsilon_0)}_{\text{précession}} \underbrace{R_1(-\eta_0)R_2(\xi_0)R_3(d\alpha_0)}_{\text{décalage à J2000}} \quad (3.6.22)$$

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.

Table 3.6.1. Termes périodiques les plus importants dans les développements des coordonnées $X(t)$ (partie supérieure) et $Y(t)$ (partie inférieure) du CIP dans le GCRS (unité $10^{-6}''$).

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

3.6.6.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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

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

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

3.6.6.3. Comparaison avec l'expression 1982 de GMST

L'expression de GMST (Greenwich Mean Sidereal Time) compatible avec le modèle UAI 2000/2006 de précession-nutation est donnée en fonction de l'ERA par la première ligne de l'expression (3.6.23); elle est exprimée en secondes de degré puisque GST et ERA sont des angles. Pour comparer cette expression à celle d'Aoki et al. (1982), on l'exprime en fonction de UT1 en utilisant la relation (3.6.3) et on convertit l'expression obtenue en secondes de temps. On obtient ainsi, avec une résolution de $0.1 \mu\text{s}$:

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

où t_u et t sont, respectivement, les dates en UT1 et en TT, exprimées en siècles juliens à partir de J2000.

Ou bien, de façon équivalente :

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

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

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

3.7. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107 (B10)**, 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003a, The impact of a No-Net-Rotation Condition on ITRF2000, *Geophys. Res. Lett.* **30 (2)**, 1064, doi :10.1029/2002GL016279.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003b, ITRF2000 : From Theory to Implementation, *Proceedings of IAG V Hotine Marussi symposium*.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand J., Garayt, B., Boucher, C. : 2007, ITRF2005 : A New release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *J. Geophys. Res.*, **112**, B09401, doi : 10.1029/2007JB004949.
- Aoki, S., Guinot, B., et al. : 1982, The New Definition of Universal Time, *Astron. Astrophys.* **105**, 359.
- Argus, D.F., Gordon, R.G. : 1991, No-net rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.* **18**, 2038.
- Arias, E.F., Bouquillon, S. : 2004, Representation of the International Celestial Reference System (ICRS) by different sets of selected radio sources, *Astron. Astrophys.* **422**, 1105.
- Arias, E.F., Charlot, P., et al. : 1995, The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRF, *Astron. Astrophys.* **303**, 604.
- Arias, F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, Comparison of VLBI celestial reference frames, *Astron. Astrophys.* **199**, 357.
- Arias, E.F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, An extragalactic celestial reference frame consistency with the BIH terrestrial system (1987), BIH Annual Report for 1988, D-113, observatoire de Paris.
- Boucher, C. : 1989, Current intercomparisons between CTS's in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolacek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 324.
- Boucher, C. : 2001, Terrestrial coordinate systems and frames, in *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, MacMillan.
- Boucher, C., Altamimi, Z. : 1985, Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame, *The MERIT/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames* Vol. **2**, Mueller, I.I ed., OSU/DGS, Columbus, Ohio, USA.
- Bretagnon, P. : 1982, 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.
- 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.
- Folkner, W.M., Williams, J.G., and Boggs, D.H. : 2009, The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421, IPN Progress Report 42-178, August 15, 2009.
http://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-178/178C.pdf
- Fricke, W. : 1982, Determination of the Equinox and Equator of the FK5, *Astron. Astrophys.* **107**, L13.
- Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T. et al. : 1988, Fifth Fundamental Catalogue (FK5), Veröff. Astron. Rechen-Institut Heidelberg 32, Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Guinot B. : 1979, Basic problems in the kinematics of the rotation of the Earth, in Time and the Earth's Rotation, IAU Symposium N 82, McCarthy D.D, Pilkington D.H. eds, D. Reidel, pp. 7-18.
- Guinot, B. : 2000, Time systems and time frames, the epochs, in *J2000, a fundamental epoch for origins of reference systems and astronomical models* (Journées 2000), Capitaine, N. ed., observatoire de Paris, 209.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al. : 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* 13, McCarthy ed., observatoire de Paris, 148.
- IERS : 1996, IERS Conventions (1996), *IERS technical note* 21, McCarthy ed., observatoire de

Paris.

- IERS : 1999, : First extension of the ICRF, ICRF-Ext.1, *1998 IERS Annual Report*, Gambis, D. ed., observatoire de Paris, 87.
- IERS : 2002, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, *IERS technical note 29*, Capitaine, N., Gambis, D., McCarthy, D.D., Petit, G., Ray, J., Richter, B., Rothacher, M., Standish, E.M., Vondrak, J. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS technical note 32*, McCarthy, D.D., Petit, G. eds, Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- IERS : 2009, The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry, *IERS technical note 35*, Fey A., Gordon, D., Jacobs, C. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.
- Kinoshita, H., Aoki, S. : 1983, The definition of the ecliptic, *Celest. Mech.* **31**, 329.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1981, in *Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics*, Gaposchkin E.M., Kolaczek, B. eds., Reidel, 375.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolaczek, B. : 1989, in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolaczek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 1.
- Kovalevsky, J., Lindegren, L., et al. : 1997, The Hipparcos catalogue as a realisation of the extragalactic reference system, *Astron. Astrophys.* **323**, 620.
- Lambert, S., Bizouard, C. : 2002, Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Frame, *Astron. Astrophys.* **394**, 317.
- Lieske, J.H., Lederle, T., Fricke, W., Morando, B. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame based on VLBI Observations of Extragalactic Radio Sources, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon P. : 2002, High frequency nutation, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2001*, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 28.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation-precession : New nutation series for non-rigid Earth, and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res. (Solid Earth)* **107 (B4)**.
- McCarthy, D. D. and Luzum, B. J. : 2003, An Abridged Model of the Precession-Nutation of the Celestial Pole, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **85**, 35.
- Minster, J.B., Jordan, T.H. : 1978, Present-day plate motions, *J. Geophys. Res.*
- Moons, M. : 1984, Planetary perturbations of the libration of the Moon, *Celest. Mech.* **34**, 263
- Moisson, X. : 1999, Solar system planetary motion to third order of the masses, *Astron. Astrophys.* **341**, 318.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Morrison, L.V., Argyle, R.W., et al. : 1990, Comparison of FK5 with Bordeaux and Carlsberg

- Meridian Circle Observations, *Astron. Astrophys.* **240**, 173.
- Morrison, L.V., Buontempo, M.E., Fabricius, C., Helmer, L. : 1992, First meridian circle observations of Pluto, *Astron. Astrophys.* **262**, 347.
- Newhall, XX, Standish, E.M., Williams, J.G. : 1983, DE102 : a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries, *Astron. Astrophys.* **125**, 150.
- Petit, G. : 2000, Report of the BIPM/IAU Joint Committee on relativity for space-time references systems and metrology, in *Proceedings of the IAU Colloquium* 180, Johnston, K.J., McCarthy, D.D., Luzum, B.J. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington, 275.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.
- Schwan, H. : 1983, *Veröffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg* **30**, 47.
- Schwann, H. : 1988, Precession and Galactic Rotation in the System of the FK5, *Astron. Astrophys.* **198**, 116.
- Sillard, P., Boucher, C. : 2001, Review of Algebraic Constraints in Terrestrial Reference Frame Datum Definition, *Journal of Geodesy* **75**, 63.
- Soffel, M., Klioner, S.A., et al. : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Souchay, J., Feissel, et al. : 1995, Precession and Nutation for a Non-rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **299**, 277.
- Standish, E.M. : 1981, Two differing definitions of the dynamical equinox and the mean obliquity, *Astron. Astrophys.* **101**, L17.
- Standish, E.M. : 1982, DE200, magnetic tape.
- Standish, E.M., Newhall, X.X., Williams, J.G., Folkner, W.F. : 1995, JPL planetary and lunar ephemerides, DE403/LE403, JPLIOM **314.10**.
- Standish, E.M. : 1998a, Times scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- Standish, E.M. : 1998b, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312, F-98-048**.
- Standish, E.M. : 1998c, Orientation of the JPL Ephemerides onto the international celestial reference frame, in *IV International Workshop on positional and celestial mechanics*, Lopez Garcia et al. eds, Valencia, Spain.
- UAI : 1991, Reference Systems, in *Proceedings of the IAU Colloquium* 127, Hughes, J.A., Smith, C.A. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington.
- UAI : 1992, Resolutions of the twenty-first General Assembly, *IAU Information Bull.* **67**.
- UAI : 1994, Resolutions of the twenty-second General Assembly, *IAU Information Bull.* **74**.
- UAI : 1997, Resolutions of the twenty-third General Assembly, *IAU Information Bull.* **81**.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28–40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).

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

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

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

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

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

CHAPITRE 4

ROTATION DE LA TERRE

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

4.1. INTRODUCTION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES ET OBSERVATIONS

4.1.1. Introduction

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

L'observation astrométrique des corps célestes (par exemple de la Lune, des étoiles, etc.) depuis le sol s'effectue à partir de 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 86 400 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.

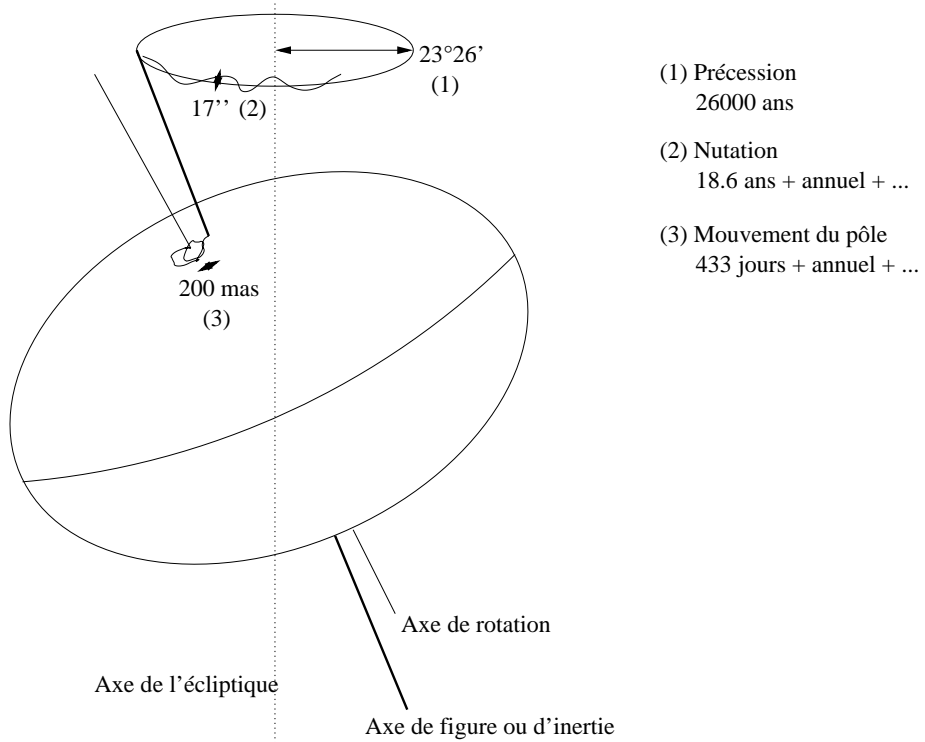


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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 :

$$\tilde{m} + \frac{i}{e\Omega_0} \dot{\tilde{m}} = \frac{i\tilde{\Gamma}}{Ae\Omega_0^2} - \frac{i\dot{\tilde{c}} - \Omega_0\tilde{c}}{Ae\Omega_0} - \frac{i\dot{\tilde{h}} - \Omega_0\tilde{h}}{Ae\Omega_0^2}, \quad (4.1.6)$$

$$m_3 = \int \frac{\Gamma_3}{C\Omega_0} dt - \frac{c_{33}}{C} - \frac{h_3}{C\Omega_0} + C^{te},$$

où $e = (C - A)/A$ est l'aplatissement dynamique de la Terre, et $e\Omega_0$ n'est autre que la fréquence d'Euler, correspondant à une période de 305 jours. Ces équations donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre en fonction d'une excitation qui apparaît sous la forme d'un moment de force extérieur (Γ_i) ou bien d'un déplacement de masse surfacique ou interne (moment cinétique relatif h_i), ou encore sous forme de déformations (les termes c_{ij} du tenseur d'inertie). Toutefois, ces variations c_{ij} sont causées en partie par des mouvements de masses produits par une force externe ou interne ou inertielle (gravitation lunisolaire, effet de charge océanique, atmosphérique, effet centrifuge induit par les variations de la vitesse de rotation, etc.). Le membre de droite prend le nom de fonction d'excitation. La partie indépendante du couple,

comprenant donc les déformations et le moment cinétique relatif, est souvent notée $\tilde{\chi}$ pour la partie équatoriale et χ_3 pour la partie axiale.

4.1.3.2. Le mouvement du pôle

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

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

4.1.3.3. La durée du jour

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

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

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

4.1.3.4. La précession-nutation

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

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

où ψ est l'angle entre l'origine des longitudes sur l'écliptique moyen de l'époque de référence (équinoxe moyen) et le nœud ascendant de l'équateur sur l'écliptique, θ est l'inclinaison entre l'équateur et l'écliptique (comptée à partir de l'équateur), et ϕ est la longitude écliptique de l'origine du repère terrestre. Ces deux angles sont reliés aux angles de nutation classiques ψ et ϵ suivant $\Delta\Psi \sin \theta = \Delta\psi \sin \epsilon$ et $\Delta\theta = -\Delta\epsilon$. La précession est constituée par la partie polynomiale des variations de Ψ et θ . Leur partie périodique constitue la nutation.

4.2. LA PRÉCESSION

4.2.1. Quantités liées à la précession

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

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

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

On note :

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

4.2.2. Modèles de précession

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

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

En 2003, trois nouveaux formulaires de la précession ont été donnés par Bretagnon et al. (2003), Capitaine et al. (2003) et Fukushima (2003). Ils ont été comparés par Capitaine et al. (2004) et sont étudiés par le working group de l'UAI sur la précession, chargé de proposer une théorie de la précession compatible avec le modèle UAI 2000A.

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

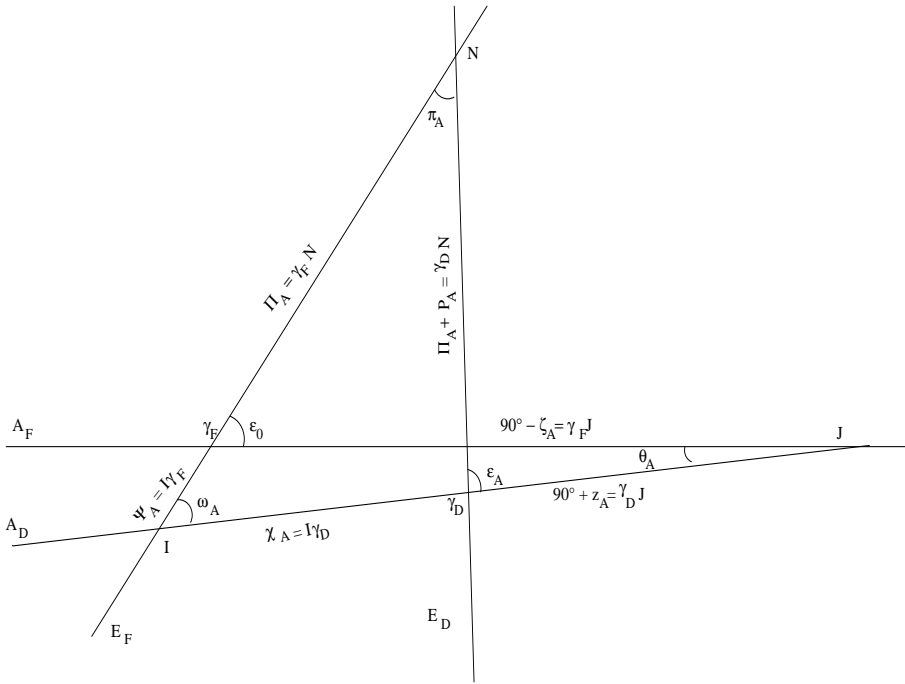


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ce modèle est issu de la théorie de la rotation de la Terre SMART97 (Bretagnon et al., 1998). Cette théorie est une solution analytique des trois angles d'Euler (précession en longitude, précession en obliquité, angle de rotation de la Terre) orientant la Terre rigide par rapport au repère inertiel J2000. Les perturbations lunaires, solaires et planétaires sont introduites globalement dans les équations sous leur forme analytique. Les théories utilisées sont les solutions VSOP87 (Bretagnon et 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

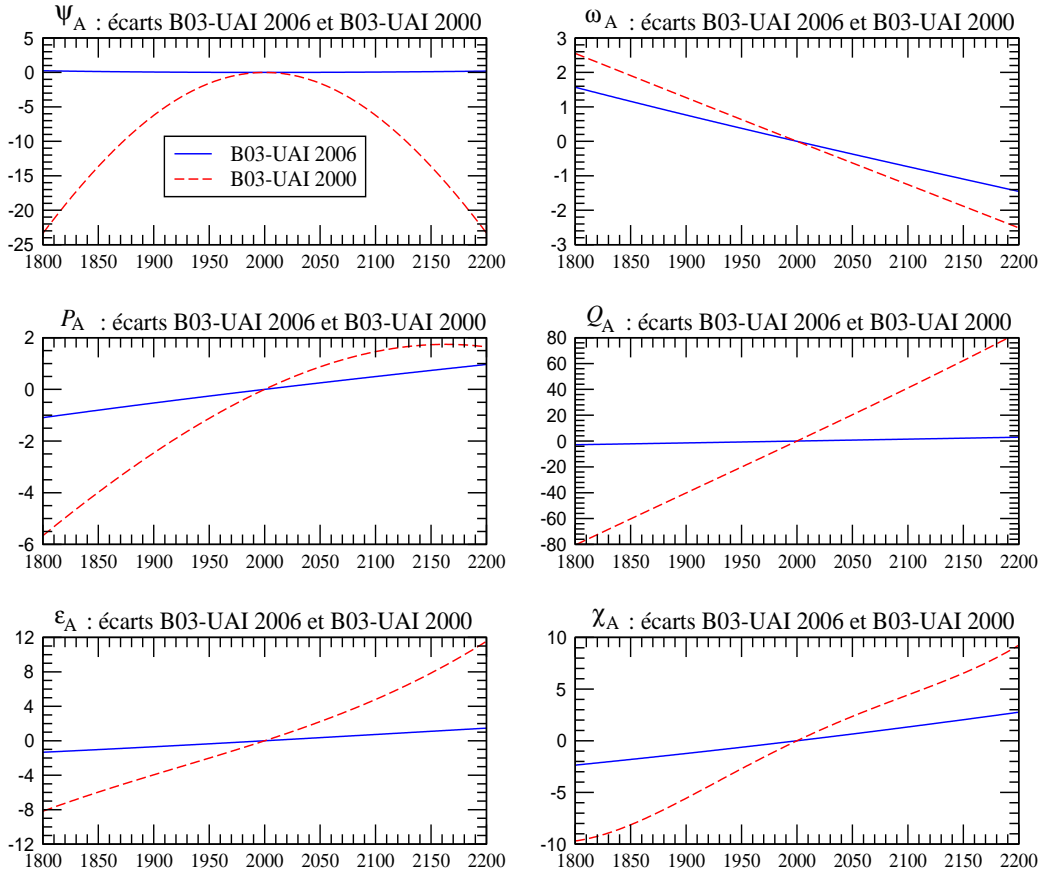


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ϵ_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001'').

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 :

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_A}{dt} &= 50\,384.81507''/\text{millier d'années juliennes} \\ \epsilon_0 &= 84381.406'' \end{aligned} \tag{4.2.7}$$

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

⁽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 forces qui agissent sur la Terre et aux différentes interfaces à l'intérieur de la Terre, et d'autre part, les variations temporelles du moment cinétique des différentes couches à l'intérieur de la Terre. Celui-ci fait intervenir, pour chaque couche, les répartitions des masses à l'intérieur de la couche dans des surfaces déformées et la rotation propre de cette couche. Ces équations appelées *équations de Liouville* (cf. 4.1.3.1) permettent d'obtenir la position de l'axe de rotation instantané dans le repère terrestre (le mouvement du CIP est déduit par des relations simples pour chacune des fréquences en jeu). Les théoriciens utilisent des approximations linéaires en de petites quantités dans les équations pour résoudre le système.

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

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

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

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

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

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

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ces équations décrivent les variations des vecteurs vitesse angulaire 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 $30 \mu\text{s}$ par rapport à la somme de chacune des contributions prises individuellement. Ce qui montre l'utilité d'un tel traitement pour l'obtention de solutions de grande précision.

- Un nouveau pas significatif a été l'amélioration des paramètres du modèle de Terre qui influence les nutations par ajustement par moindres carrés, des amplitudes de nutation calculées théoriquement et de la constante de la précession, sur les valeurs très précises obtenues à partir des observations. Ceci était une continuation logique de l'ajustement de e par Wahr et de l'estimation de e_f par Gwinn et al. (1986) sur la base des observations disponibles à l'époque.

4.3.5. Réduction des équations de bilan du moment cinétique et mise en œuvre du modèle géophysique

Une version simplifiée des équations de bilan du moment cinétique suffit à donner une idée concrète de ce qui a été discuté précédemment. Nous ignorons la graine dans un premier temps. Dans ce cas, l'équation de bilan du moment cinétique par rapport à un repère terrestre s'écrit

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{H} = \boldsymbol{\Gamma}, \quad (4.3.5)$$

où $\boldsymbol{\Gamma}$ est le moment des forces agissant sur le corps, ici la Terre dans son ensemble, et \mathbf{H} est son moment angulaire tel que $\mathbf{H} = [C] \cdot \boldsymbol{\Omega} + [C_f] \cdot \boldsymbol{\omega}_f$, où $[C]$ et $[C_f]$ sont respectivement les tenseurs d'inertie de la Terre dans son ensemble et du noyau fluide seul. Le second terme est dû au mouvement de l'axe instantané de rotation du noyau par rapport à celui du manteau. Si les deux premières composantes de l'équation vectorielle sont décrites à l'aide des composantes de $\boldsymbol{\omega} = \Omega_o \mathbf{m}$ et $\boldsymbol{\omega}_f = \Omega_o \mathbf{m}_f$, en négligeant les termes de second ordre, on retrouve dans les équations obtenues (*équations de Liouville*) les termes hors diagonale c_{13} et c_{23} du tenseur d'inertie, en plus des deux premiers éléments diagonaux de $[C]$. Ces derniers sont égaux puisque l'on suppose une symétrie axiale, les termes hors diagonale étant nuls en l'absence de perturbations extérieures. En multipliant la seconde équation par i et en l'ajoutant à la première, on obtient une équation simple pour les quantités complexes $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$ et $\tilde{m}_f \equiv m_{f1} + im_{f2}$, $\tilde{c}_3 \equiv c_{13} + ic_{23}$ et $\tilde{c}_3^f \equiv c_{13}^f + ic_{23}^f$. Pour toutes ces quantités, l'indice ou l'exposant f se rapporte au noyau fluide. Pour les mouvements de l'axe instantané de rotation de fréquence σ cpsd, $\tilde{m} = \tilde{m}(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{m}_f = \tilde{m}_f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{c}_3 = c_3(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{c}_3^f = c_3^f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$ et l'équation s'écrit finalement

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

Pour les termes principaux de nutation décrits en 4.3.1, le moment de force est presque entièrement dû à l'action de la partie tessérale de terme de degré deux (harmonique sphérique de degré 2 et d'ordre 1) du potentiel en e : $\tilde{\Gamma}(\sigma) = -ieA\tilde{\phi}(\sigma)$.

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

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

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

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

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

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

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

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

Les deux premiers points conduisent à l'expression

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

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

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

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

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

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

Comme il a été vu plus haut, les valeurs de e et e_f calculées à partir des modèles de Terre en équilibre hydrostatique ont dû être ajustées (d'environ 5% dans les travaux les plus récents) pour que les résultats des théories de nutation soient compatibles avec les observations. Or, grâce à l'amélioration de la qualité des observations de la nutation, les paramètres de la Terre, connus avec une précision limitée à partir des anciennes données observationnelles, peuvent être ajustés à des valeurs différentes de celles utilisées dans ces modèles de Terre, comme PREM. D'autre part, aucune estimation des paramètres K^{CMB} et K^{ICB} n'était disponible. Ayant ces remarques à l'esprit, Mathews et al. (2002) ont utilisé un ajustement par moindres carrés des quantités prédites par la théorie de nutation (dans son approximation linéaire) à des données observationnelles de nutation de très haute précision auxquelles ont été retirées les contributions non linéaires par optimisation des valeurs des BEP sélectionnés.

4.3.6. Estimation de la constante de la précession et formules pour les séries de la nutation

La valeur estimée de la constante de précession du modèle MHB2000 est obtenue directement à partir de la valeur de l'ellipticité e estimée précédemment. Comme pour les amplitudes de la nutation, on utilise au départ la solution d'un système d'équations mis en place avec des valeurs optimisées pour les paramètres de la Terre, puis on obtient une fonction de transfert en divisant $\tilde{m}(\sigma)$ par la solution pour la Terre rigide $\tilde{m}_R(\sigma)$ donnée par (4.3.7). Il faut cependant être prudent : la valeur de e obtenue pour une Terre non rigide n'est pas égale à la valeur e_R utilisée pour une Terre rigide. La différence entre ces valeurs nécessite la multiplication de la fonction de transfert déterminée précédemment par $[(e_r - \sigma)/(e + 1)] (e/e_R)$. On obtient ainsi l'amplitude du terme $\tilde{\eta}(\nu)$ pour une Terre non rigide en multipliant l'amplitude du terme $\tilde{\eta}_R(\nu)$ de nutation de la Terre rigide pour l'ellipticité e_R par la fonction de transfert modifiée et calculée pour la fréquence σ (dans l'approximation linéarisée des équations de moments de force). L'estimation de cette amplitude est faite pour chaque fréquence ν des séries de nutation de la Terre rigide. Les amplitudes de la nutation circulaire déterminées à partir du modèle de Terre rigide REN2000 de Souchay et al. (1999) ont été utilisées par Mathews et al. (2002) dans le calcul des amplitudes de la Terre non rigide correspondantes. Le résultat final inclut plusieurs petites corrections. Les premières sont celles, mentionnées précédemment, dues aux contributions des termes non linéaires dans les équations. D'autres modélisent un effet relativiste nommé *nutation géodésique* (voir par exemple Brumberg et al., 1992) ; d'autres, enfin, estimées empiriquement, se rapportent à l'effet des marées thermiques atmosphériques. Les amplitudes progrades et rétrogrades de la nutation sont enfin converties en coefficients de nutation en longitude et obliquité. Une correction due aux termes non linéaires est aussi appliquée à la constante de la précession.

Si tous les paramètres des équations de bilan du moment cinétique avaient été indépendants de la fréquence, on aurait pu calculer les amplitudes pour une Terre non rigide, pour toutes les fréquences, en appliquant les formules de la fonction de transfert aux amplitudes connues pour une Terre rigide, en utilisant les valeurs données par la théorie pour les fréquences des modes de nutation libre et les coefficients correspondants. Mais, puisque les contributions des effets de marées océaniques dans l'estimation des paramètres de la matrice dynamique sont dépendantes des fréquences, nous devons nous contenter d'une formulation approximative peu satisfaisante associée à des corrections à appliquer à certaines amplitudes de nutation. Ces corrections ont été déterminées à partir de la solution exacte des équations de bilan du moment cinétique calculée pour chaque fréquence. La formulation donnée par Mathews et al. (2002) pour la fonction de transfert est :

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

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

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

Une question ouverte concerne l'effet des variations de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même sur la nutation de période 18.6 ans (Bretagnon et al., 2000). De cet effet pourraient résulter de petits termes non linéaires négligés dans les relations cinématiques (4.3.1) et (4.3.2). Depuis, il a été montré (Lambert et Capitaine, 2004) que cet effet pouvait être annulé si l'incrément du vecteur de moment de force induit par la variation de la vitesse de rotation était pris en considération. Par la suite, Lambert & Mathews (2006) ont traité la totalité des termes non linéaires qui complètent les équations de Liouville linéarisées, et calculé leurs effets sur la précession et la nutation.

4.3.7. Fréquences des nutations et mouvement du pôle

Afin de compléter cette description des variations de la rotation de la Terre (autres que celles de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même), nous allons considérer brièvement les variations induites par les déviations de la structure terrestre par rapport à un ellipsoïde axisymétrique. De telles structures sont décrites par l'intermédiaire des coefficients du géopotential (C_{nm}, S_{nm}) où $n = 3, 4, \dots$. Pour tout m différent de zéro, les nutations générées sont en dehors de la bande des basses fréquences. Ces mouvements peuvent aussi être considérés comme des mouvements du pôle de fréquences se trouvant en dehors de la bande de fréquences rétrogrades diurnes qui s'étend de $-(3/2)$ cpsd à $(-1/2)$ cpsd. C'est ce dernier point de vue qui est recommandé par l'UAI (2001). Ce mouvement est celui du pôle défini par ces résolutions, ses coordonnées dans le repère de référence terrestre étant notées $(x_p(t), -y_p(t))$. Les seules composantes spectrales du mouvement ayant des amplitudes supérieures à $1 \mu\text{as}$ correspondent soit à des mouvements de basses fréquences induits par un potentiel de marées d'ordre 3 et de degré 0 agissant sur les coefficients du géopotential ($C_{3,1}$ et $S_{3,1}$), soit à des mouvements du pôle diurnes progrades induits par un potentiel tesséral de degré 2 agissant sur les coefficients de triaxialité $C_{2,2}$ et $S_{2,2}$ (c'est-à-dire représentant les différences entre les deux principaux moments d'inertie équatoriaux). L'amplitude $\tilde{p}(\sigma)$ de la composante circulaire du mouvement du pôle est définie dans le premier cas par $\tilde{p} \equiv x_p - iy_p = \mp i \tilde{p}(\sigma) e^{\pm \Theta_\omega(t)}$, avec $\sigma = \pm(\omega/\Omega_0)$, \pm désignant les mouvements progrades (+) et rétrogrades (-). $\Theta_\omega(t)$ est l'argument de la composante spectrale du potentiel, $\omega = d\Theta_\omega(t)/dt > 0$. Pour les mouvements dus à la triaxialité, tous progrades, l'expression précédente avec un signe + est valable. Dans les deux cas, $\tilde{p}(\sigma) = \tilde{m}(\sigma)/(1 + \sigma)$. Les amplitudes $\tilde{m}(\sigma)$ sont obtenues à partir d'équations de moments de force très simplifiées. Pour de plus amples détails, voir Mathews et Bretagnon (2003).

4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

4.4.1. Introduction

La connaissance de la non-uniformité de la rotation de la Terre permet d'appréhender les phénomènes qui en sont la cause, essentiellement les phénomènes géophysiques externes (mouvements atmosphériques, océaniques, glaciaires ...) et internes (interaction entre les noyaux solide et fluide de la Terre et le manteau). De plus les activités dans les domaines de la navigation, l'astronomie et la géodésie spatiale exigent la connaissance précise des mouvements d'un système de référence terrestre lié à la Terre, et réalisé par le repère de référence terrestre international (ITRF, International Terrestrial Reference Frame ; Altamimi et al., 2011) par rapport à un système de référence non-tournant réalisé par le repère de référence céleste international (International Celestial Reference Frame, ICRF ; Fey et al., 2015). 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.

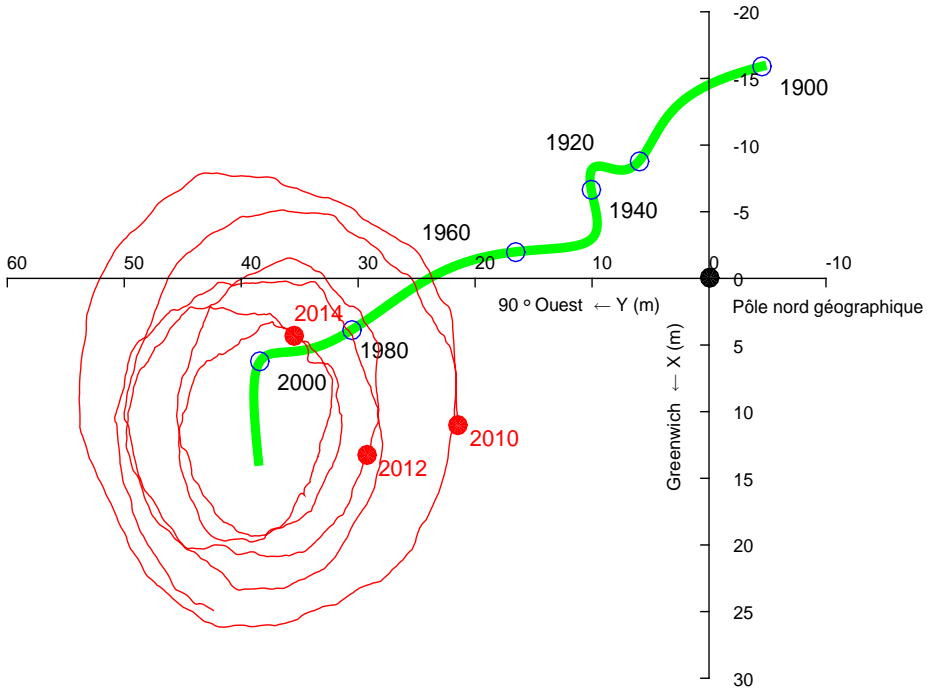


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré.
L'axe des x est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

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).

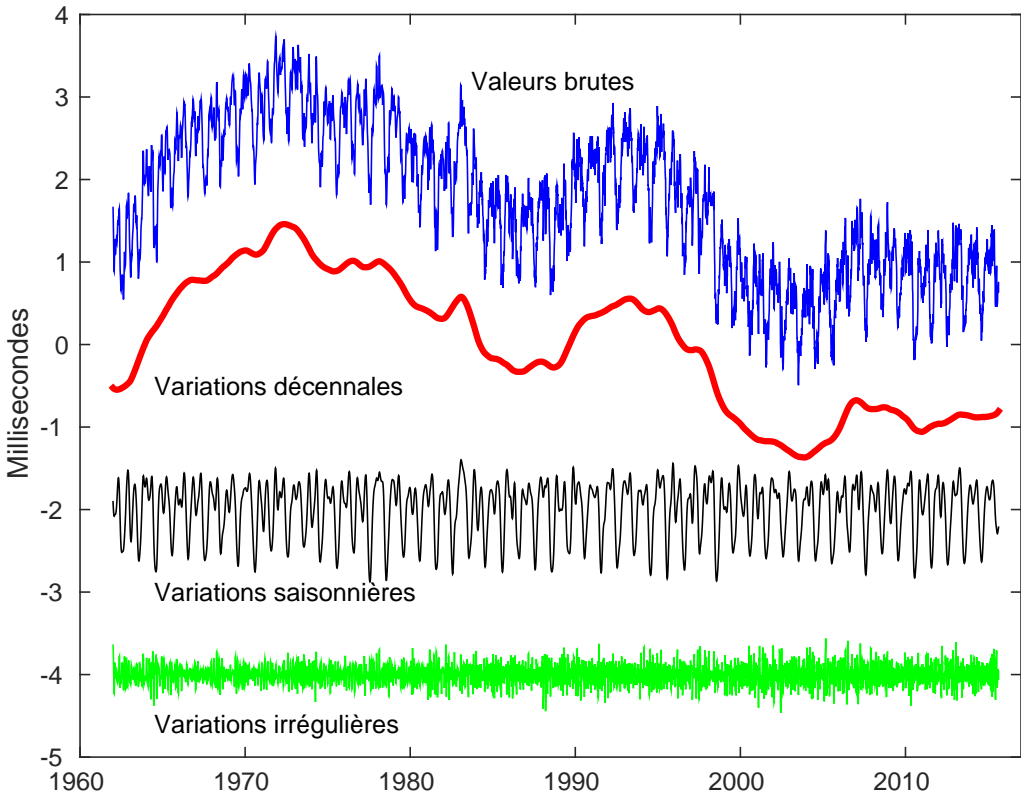


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières.
L'unité est la milliseconde.

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

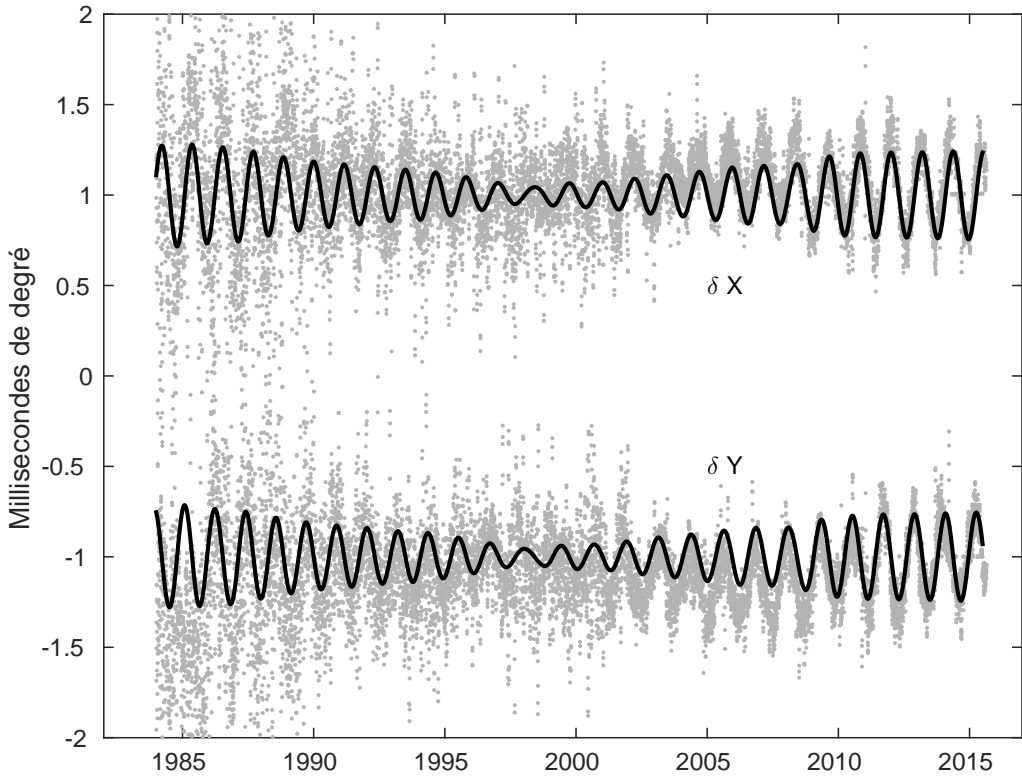


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

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} juillet 2015 à 0h UTC, soit à 1 heure temps légal en France.

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, *Adv. Space Research* **36(3)**, 342.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., & Métivier, L. : 2011, ITRF2008 : an improved solution of the international terrestrial reference frame, *J. Geod.* **85**, 457.
- 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.
- Fey, A. L., Gordon, D., Jacobs, et al. : 2015, The second realisation of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry, *Astron. J.* **150**, 58.
- 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.
- 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 $O\zeta$, intersection de ce plan et du méridien du lieu (Fig. 5.2). L'angle horaire est compté positivement dans le sens rétrograde.

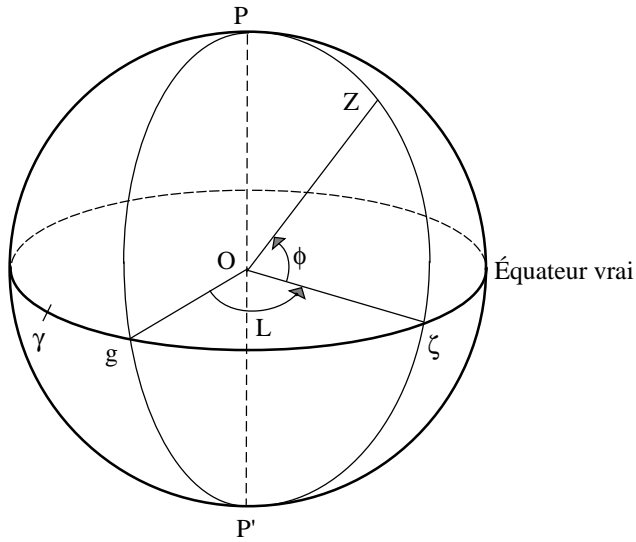


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

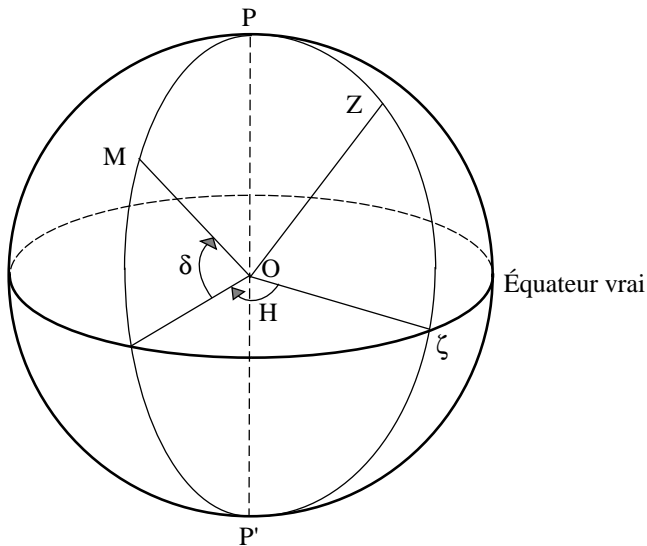


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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

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

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

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

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

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

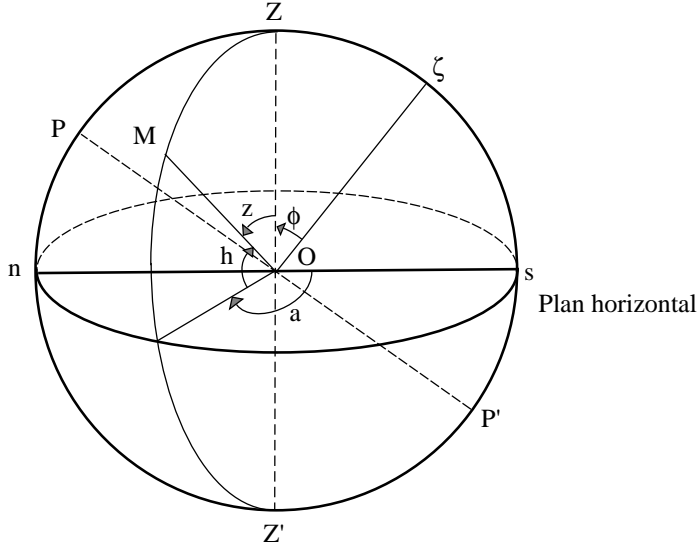


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

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

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

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

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

Table 5.1. Les coordonnées célestes usuelles.

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

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

5.2.2. Coordonnées liées à un repère de référence terrestre

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

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

Coordonnées	Plan de référence	Aberrations
géométriques à σ_F	équiptique ou équateur à σ_F	pas d'aberration
astrométriques à σ_F	équiptique ou équateur à σ_F	calcul du temps de lumière
moyennes à la date t	équiptique ou équateur moyen à t	astrométriques à σ_F + précession de σ_F à t
apparentes à la date t	équiptique ou équateur moyen à t	moyennes à la date t + nutation + déflexion des rayons lumineux + aberration annuelle + aberration diurne

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

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

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées équiptiques

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

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

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

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

En coordonnées polaires :

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

d'où

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

et

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

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

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

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

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F (dans la pratique J2000) aux coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^A, y_F^A, z_F^A les coordonnées cartésiennes et par α_F et δ_F l'ascension droite et la déclinaison. $x_D^A, y_D^A, z_D^A, \alpha_D$ et δ_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On écrit :

$$\begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

où P est la matrice de précession. On peut passer du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) de deux manières.

1) *Première méthode.* On effectue successivement les trois rotations $R_3(-\zeta_A)$, $R_2(\theta_A)$, $R_3(-z_A)$ ou, ce qui est équivalent, les trois rotations $R_3(90^\circ - \zeta_A)$, $R_1(\theta_A)$, $R_3(-90^\circ - z_A)$. La matrice de précession P s'écrit alors :

$$P = R_3(-z_A) R_2(\theta_A) R_3(-\zeta_A) = R_3(-90^\circ - z_A) R_1(\theta_A) R_3(90^\circ - \zeta_A). \quad (5.15)$$

On déduit de ces produits de matrices les relations suivantes entre les ascensions droites et les déclinaisons :

$$\begin{aligned} \cos \delta_D \sin(\alpha_D - z_A) &= \cos \delta_F \sin(\alpha_F + \zeta_A), \\ \cos \delta_D \cos(\alpha_D - z_A) &= \cos \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) - \sin \theta_A \sin \delta_F, \\ \sin \delta_D &= \sin \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) + \cos \theta_A \sin \delta_F. \end{aligned} \quad (5.16)$$

z_A , ζ_A et θ_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

Si le temps t écoulé entre σ_F et σ_D est court et si l'astre n'est pas voisin du pôle, on peut utiliser les relations approchées suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \alpha_F + (m + n \sin \bar{\alpha} \tan \bar{\delta}) t, \\ \delta_D &= \delta_F + n \cos \bar{\alpha} t, \end{aligned} \quad (5.17)$$

avec

$$t = (\text{jour julien } \sigma_D - \text{jour julien } \sigma_F) / 365\,250.$$

$\bar{\alpha}$ et $\bar{\delta}$ sont des valeurs approchées des coordonnées équatoriales moyennes de la date $\frac{1}{2}(\sigma_D + \sigma_F)$. La précession en ascension droite, m , est le coefficient de t dans l'expression de $z_A + \zeta_A$ déduite des polynômes de la table 4.2.1. La précession en déclinaison, n , est le coefficient de t dans l'expression de θ_A donnée par ces mêmes polynômes.

2) *Deuxième méthode.* On effectue successivement les quatre rotations $R_1(\varepsilon_0)$, $R_3(-\psi_A)$, $R_1(-\omega_A)$ et $R_3(\chi_A)$. La matrice de précession P s'écrit alors :

$$P = R_3(\chi_A) R_1(-\omega_A) R_3(-\psi_A) R_1(\varepsilon_0). \quad (5.18)$$

ψ_A , ω_A et χ_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 ; ε_0 , obliquité de l'écliptique en J2000, est la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour ε_A .

La première méthode n'utilise que trois rotations et conduit à des formules exactes (5.16) ou approchées (5.17) relativement simples mais elle utilise les variables z_A , ζ_A et θ_A qui sont déduites des variables ψ_A , ω_A , ε_A et χ_A et qui sont, de plus, singulières (θ_A et $z_A + \zeta_A$ s'annulent en J2000). Il est donc préférable d'utiliser la deuxième méthode qui est celle que l'on utilise pour les éphémérides publiées dans la *Connaissance des Temps*.

5.3.3. Relations entre les coordonnées écliptiques moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F aux coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^E, y_F^E, z_F^E les coordonnées cartésiennes et par λ_F et β_F la longitude et la latitude. $x_D^E, y_D^E, z_D^E, \lambda_D$ et β_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On passe du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) en effectuant successivement les trois rotations $R_3(\Pi_A), R_1(\pi_A), R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A)$:

$$\begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} = R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A) R_1(\pi_A) R_3(\Pi_A) \begin{pmatrix} x_F^E \\ y_F^E \\ z_F^E \end{pmatrix} \quad (5.19)$$

On déduit de ces produits de matrices les relations suivantes entre les longitudes et les latitudes :

$$\begin{aligned} \cos \beta_D \cos(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \beta_F \cos(\Pi_A - \lambda_F), \\ \cos \beta_D \sin(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) - \sin \pi_A \sin \beta_F, \\ \sin \beta_D &= \sin \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) + \cos \pi_A \sin \beta_F. \end{aligned} \quad (5.20)$$

π_A, Π_A et \mathcal{P}_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

5.3.4. Relations entre les coordonnées écliptiques moyennes de la date et les coordonnées écliptiques vraies

Pour les coordonnées écliptiques moyennes de la date, on désigne par x_D^E, y_D^E, z_D^E les coordonnées cartésiennes et par λ_D et β_D la longitude et la latitude. Les coordonnées écliptiques vraies sont notées $x_V^E, y_V^E, z_V^E, \lambda_V$ et β_V . Le système d'axes vrai se déduit du système d'axes moyen (Fig. 4.2) par la rotation $R_3(-\Delta\psi)$. Donc,

$$\begin{pmatrix} x_V^E \\ y_V^E \\ z_V^E \end{pmatrix} = R_3(-\Delta\psi) \begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} \quad (5.21)$$

et

$$\begin{aligned} \lambda_V &= \lambda_D + \Delta\psi, \\ \beta_V &= \beta_D, \end{aligned} \quad (5.22)$$

où $\Delta\psi$ est calculé à partir des tables de la nutation.

5.3.5. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de la date et les coordonnées équatoriales vraies

Pour les coordonnées équatoriales moyennes de la date, on désigne par x_D^A , y_D^A , z_D^A les coordonnées cartésiennes et par α_D et δ_D l'ascension droite et la déclinaison. Les coordonnées équatoriales vraies sont notées x_V^A , y_V^A , z_V^A , α_V et δ_V . On écrit :

$$\begin{pmatrix} x_V^A \\ y_V^A \\ z_V^A \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix}, \quad (5.23)$$

où N est la matrice de nutation. On passe du système d'axes moyen au système d'axes vrai en effectuant successivement les rotations $R_1(\varepsilon_A)$, $R_3(-\Delta\psi)$, $R_1(-\varepsilon'_A)$, en posant :

$$\varepsilon'_A = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon.$$

La matrice de nutation s'écrit donc :

$$N = R_1(-\varepsilon'_A) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon_A). \quad (5.24)$$

On déduit de ces produits de matrices

$$\begin{aligned} \cos \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\psi \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\psi (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\psi \cos \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\varepsilon \sin \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \cos \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \delta_D + \sin \Delta\psi \sin \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \sin \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \end{aligned} \quad (5.25)$$

où $\Delta\psi$ et $\Delta\varepsilon$ sont calculés à partir des tables de la nutation et ε_A à partir de l'un des polynômes de la table 4.2.1 qui lui correspondent.

Si $\tan \delta_D$ n'est pas trop grand, on peut utiliser les formules approchées suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha_V &= \alpha_D + \Delta\psi (\cos \varepsilon_A + \sin \varepsilon_A \sin \alpha_D \tan \delta_D) - \Delta\varepsilon \cos \alpha_D \tan \delta_D, \\ \delta_V &= \delta_D + \Delta\psi \sin \varepsilon_A \cos \alpha_D + \Delta\varepsilon \sin \alpha_D. \end{aligned} \quad (5.26)$$

5.3.6. Relations entre les coordonnées horaires et les coordonnées horizontales pour un même lieu

Désignons par x^H , y^H , z^H les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horaire. L'axe Ox de ce système se confond avec $O\zeta$ et l'axe Oz avec OP (Fig. 5.2). Désignons par x^h , y^h , z^h les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horizontal, au sens des astronomes. L'axe Oz de ce système se confond avec OZ (Fig. 5.3).

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

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

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

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

D'où :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

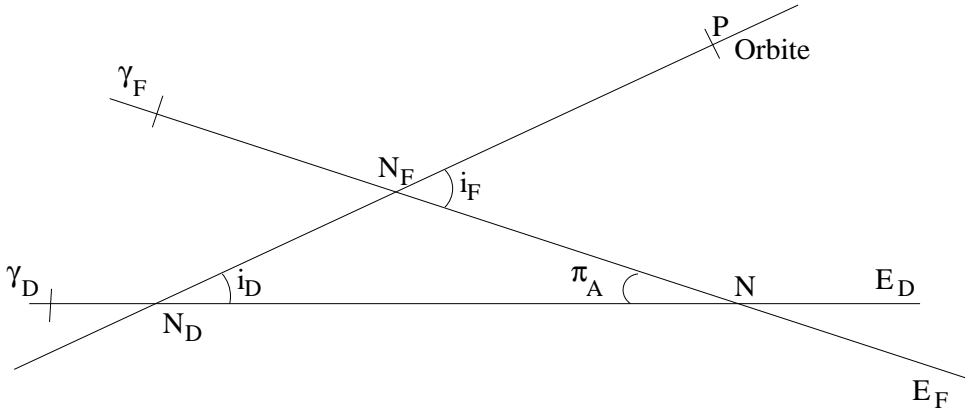


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.3.8. Changement de repère de référence

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

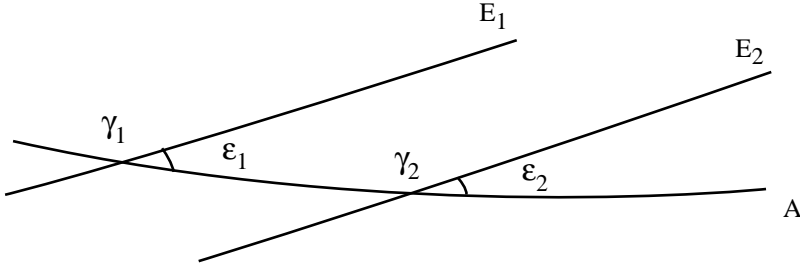


Fig. 5.5. Changement de repère.

On note :

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

$x_{F,i}^E, y_{F,i}^E, z_{F,i}^E$, les coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_F dans le même repère.

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

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

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

et :

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

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

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

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

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

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

5.4. APPLICATION DES 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) : $\eta_0 = -0.006819''$, $\zeta_0 = -0.016617''$. 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 :

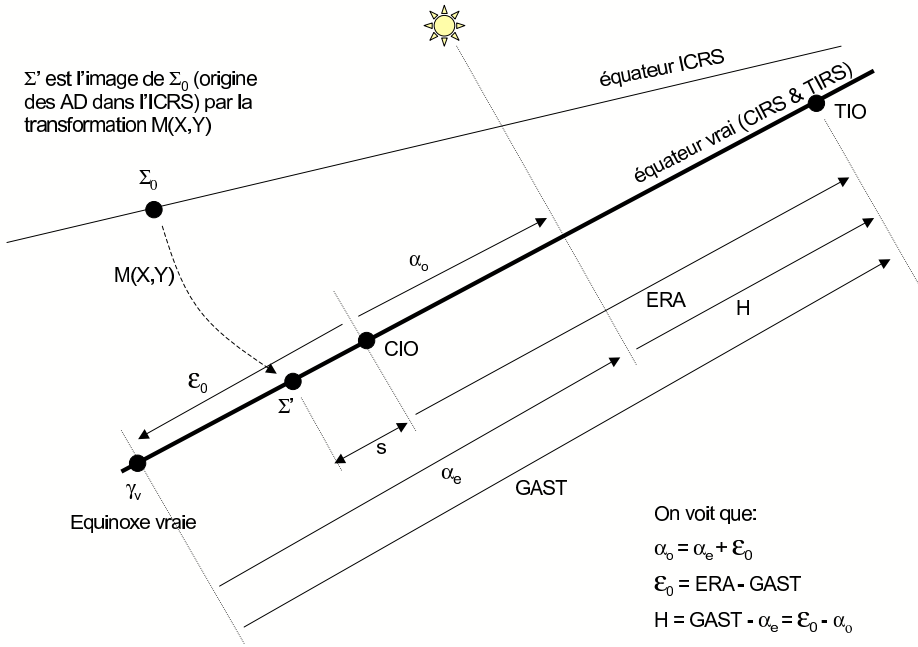


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- 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 observer 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, H. MANCHE

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 des théories INPOP (Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris) élaborées à l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides. Pour cette édition 2012 et les suivantes, la théorie INPOP10a ajustée aux observations (Fienga et al., 2011) a été utilisée pour les calculs des positions du Soleil, des planètes, de Pluton et de la Lune.

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 huit planètes, Pluton, le Soleil, les astéroïdes et autres planètes-naines), incluant forces newtoniennes et effets relativistes PPN (Moyer, 2000), les effets liés à la non-sphéricité de certains corps (Soleil, Terre, Lune), ainsi que ceux induits par leurs déformations par marées solides. L'ajustement d'INPOP a été effectué sur un grand nombre (environ 118 000 pour les planètes, 18 600 pour la Lune) d'observations terrestres et spatiales.

On compte à l'heure actuelle trois versions d'INPOP accessibles aux utilisateurs. Chaque version a fait l'objet d'une publication : INPOP06 a été décrit dans (Fienga et al. 2008) et était utilisé dans les versions précédentes de la *Connaissance des temps* depuis 2007, INPOP08 dans (Fienga et al. 2009) et plus récemment, INPOP10a a été présenté dans (Fienga et al. 2011). Alors qu'INPOP06 conservait un modèle dynamique et des méthodes d'ajustement assez proches des éphémérides américaines du JPL (par exemple DE405), INPOP08 a développé des approches spécifiques reprises en partie dans INPOP10a. Le modèle de forces a peu évolué entre les trois éphémérides mais des modifications importantes dans les méthodes d'ajustement et dans les choix des paramètres à ajuster ainsi que dans les données utilisées lors de l'ajustement constituent les principaux éléments d'évolution apportés d'une solution planétaire à l'autre.

Notons qu'à partir d'INPOP08, a été ajouté au sein de l'intégration planétaire, le calcul de la différence TT-TDB par intégration numérique en même temps que celles des équations du mouvement des planètes, de la Lune et des astéroïdes, ainsi que celles régissant les évolutions des orientations de la Terre et de la Lune.

6.2. TT-TDB

À partir d'INPOP08, un effort important a été mis en œuvre en ce qui concerne la cohérence entre les métriques relativistes utilisées pour la description du mouvement dans l'ICRS et les échelles de temps utilisées pour la datation des observations. INPOP devant être utilisé pour l'exploitation scientifique et la navigation de la mission GAIA, il a été important de clarifier plusieurs points. Nous avons notamment changé notre définition de l'échelle de temps TDB afin de suivre les recommandations de l'UAI (Soffel et al., 2003) sur la définition du TDB. On se reportera au chapitre 2 pour plus d'informations. Nous avons pu vérifier que l'implémentation de cette nouvelle définition du TDB par rapport au temps atomique TAI et TT n'avait aucun impact dans l'ajustement des éphémérides planétaires aux observations. D'autre part, le calcul de la différence entre TDB et TT étant effectué à chaque itération d'INPOP et donc à chaque ajustement, les nouvelles éphémérides planétaires ont une cohérence complète entre l'échelle de temps du mouvement des planètes (TDB) et celle de datation des observations (TT). La relation TDB-TT issue des ajustements d'INPOP est fournie aux utilisateurs sous la forme de coefficients de Chebychev.

6.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS PLANÉTAIRES

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. Sont données en dernières colonnes des estimations de la précision externe d'INPOP10a et d'INPOP06 pour chaque type d'observations. Ces valeurs reflètent la qualité du modèle dynamique mis en place, de l'ajustement effectué et des observations utilisées.

Aux observations utilisées dans INPOP06, se sont ajoutées des données issues des suivis des sondes Mars Express et Venus Express fournies par l'ESA depuis 2007 (Fienga et al. 2009), des survols de sondes de 1980 à 2010 de Mercure, Jupiter, Uranus et Neptune, ainsi que des données obtenues au cours de la mission Cassini autour de Saturne et de ses satellites. Grâce à ces observations, les orbites des planètes extérieures ont été contraintes avec une meilleure précision que pour INPOP06 de même que l'apport des données VEX ont permis une grande amélioration de la précision sur l'orbite de Vénus. Les données MEX ont permis d'étendre l'intervalle d'ajustement de l'orbite de Mars à plus d'une dizaine d'années avec une précision inférieure à 3 mètres. Dans ce contexte de très grande précision dans les mesures, le choix des paramètres à ajuster est un point clé pour la qualité des éphémérides. Dans la table 6.2 sont résumés les choix effectués par différentes éphémérides planétaires.

6.4. PARAMÈTRES AJUSTÉS DANS INPOP10a

6.4.1. Les astéroïdes

La modélisation des perturbations induites par les astéroïdes de la ceinture principale sur les orbites des planètes est un facteur dégradant la qualité des éphémérides en particulier lors d'extrapolations en dehors de la période d'ajustement. Les périodes d'ajustement sont données dans la table 6.2. Dans cette table, sont aussi résumées les différentes modélisations utilisées par différentes éphémérides planétaires. Pour INPOP10a, nous avons identifié parmi 24635 objets de la base de données astorb (<http://www.naic.edu/~nolan/astorb.html>), 161 astéroïdes pour lesquels il existe une forte probabilité de produire des perturbations sur les distances Terre-planètes intérieures, supérieures à quelques mètres sur l'intervalle de temps couvert par les données. Le reste des perturbations induites par les autres objets peut être représenté par le biais d'un anneau d'astéroïdes dont le rayon est fixé et la masse ajustée par (Kuchynka et al. 2010). Les astéroïdes sélectionnés ont leur mouvement intégré individuellement dans INPOP et leurs perturbations sont prises en compte pour toutes les planètes. Afin d'éviter d'ajuster des paramètres trop fortement

corrélés, nous avons décidé de fixer 16 masses parmi les astéroïdes identifiés et d'estimer les autres masses avec une méthode d'ajustement sous contraintes (Lawson and Hanson 1995). Nous avons fait le choix pour INPOP10a de ne plus recourir à l'utilisation de classes taxonomiques et d'ajuster le maximum de masses individuelles en considérant que la méthode d'ajustement sous contraintes identifie au mieux des observations disponibles les perturbations à ajuster individuellement, le reste des perturbations étant modélisé par l'anneau. Ce qui explique pourquoi dans la table 6.2 INPOP10a est l'éphéméride planétaire présentant le plus grand nombre de masses directement ajustées pour un nombre d'astéroïdes individualisés le plus faible.

Les valeurs des masses d'astéroïdes ajustées dans INPOP10a se trouvent dans la table 6.6. Dans la table 6.4, sont présentées celles des cinq plus gros astéroïdes perturbateurs.

6.4.2. Les autres paramètres ajustés aux observations planétaires

On peut retrouver dans la table 6.3, les paramètres principaux de l'ajustement d'INPOP10a. Le rapport de masses entre la Terre et la Lune noté EMRAT est estimé de même que l'aplatissement dynamique du Soleil J_2 . À la différence des éphémérides planétaires précédentes, la masse du Soleil est directement ajustée aux observations pour une valeur fixée de l'unité astronomique. Ce nouvel ajustement a été mis en place pour, d'une part, avoir accès à la donnée physique du taux de perte de masse du Soleil et d'autre part pour permettre une cohérence dans l'utilisation des unités de temps et de distance compatibles avec l'utilisation des échelles de temps relativistes TCB et TDB.

6.5. PRÉCISIONS ET INCERTITUDES SUR LES ORBITES DES PLANÈTES

Comme on l'a vu dans la table 6.1, la précision externe d'INPOP10a sur les intervalles d'ajustement montre une grande amélioration par rapport à INPOP06. En dehors des intervalles d'ajustement, des comparaisons entre plusieurs éphémérides planétaires de modèles dynamiques différents mais de périodes d'ajustement proches permettent d'estimer la précision interne des solutions planétaires. La table 6.5 donne les précisions internes d'INPOP10a et d'INPOP06 exprimées en ascensions droites, déclinaisons et distances géocentriques des planètes et barycentriques de la Terre obtenue par comparaisons avec INPOP08 et DE421 (Folkner et al. 2008). On retrouve sur un siècle la nette amélioration apportée par les observations VEX à l'orbite de Vénus de même que celles induites sur les orbites de Jupiter et Saturne par l'utilisation des observations de survol de ces planètes par plusieurs sondes sur environ 10 ans. Pour les planètes dont les observations de survol ont été effectuées sur une période plus courte comme pour Mercure, Uranus et Neptune, l'amélioration sur le court terme (la période observée) ne se répercute pas sur le long terme (un siècle). INPOP10a présente alors la même qualité que INPOP06. Pour Mars, l'ajustement sous contrainte induit de très bons résultats sur la période d'ajustement mais une dégradation de l'orbite plus rapide que celle d'INPOP06.

Table 6.1. Observations planétaires utilisées pour l'ajustement d'INPOP10a.

Planète	Type des données	Intervalle de temps	Nombre d'observations	INPOP10a	INPOP06
Mercure	Radar	1971-1998	444	1 km	1.5 km
	survol Messenger (α, δ)	2008-2009	3	2 mas	5 mas
	survol Messenger distance	2008-2009	3	2 m	500 m
	survol Mariner distance	1974-1975	2	100 m	250 m
Vénus	Radar	1964-1990	511	1.5 km	2 km
	VEX	2006-2010	22145	4 m	300 m
	Sonde spatiale VLBI	1990-2007	22	5 mas	5 mas
Mars	Viking lander radar	1976-1983	1256	35 m	50 m
	MEX	2006-2010	24262	1.5 m	50 m
	MGJ/MO radar	1999-2007	10474	2 m	10 m
	Sonde spatiale VLBI	1989-2007	96	0.4 mas	0.5 mas
Jupiter	Sonde spatiale VLBI	1996-1998	24	10 mas	20 mas
	Survol (α, δ)	1974-2000	5	20 mas	20 mas
	Survol distance	1974-2000	5	2 km	4 km
	CCD ou transit (α, δ)	1914-2008	6216	400 mas	300 mas
Saturne	CCD ou transit (α, δ)	1914-2008	7824	300 mas	400 mas
	Cassini (α, δ)	2004-2007	31	5 mas	40 mas
	Cassini distance	2004-2007	31	20 m	30 km
	Cassini VLBI	2004-2009	10	0.5 mas	40 mas
Uranus	CCD ou transit (α, δ)	1914-2008	4340	300 mas	400 mas
	Survol (α, δ)	1986	1	30 mas	70 mas
	Survol distance	1986	1	80 m	300 km
Neptune	CCD ou transit (α, δ)	1914-2008	4340	300 mas	400 mas
	Survol (α, δ)	1989	1	10 mas	50 mas
	Survol distance	1986	1	5 m	1000 km
Pluton	CCD ou transit (α, δ)	1914-2008	2449	600 mas	800 mas
	Occultation	2005-2009	13	50 mas	100 mas

Table 6.2. Paramètres ajustés pour différentes éphémérides. x indique que le paramètre n'est pas présent dans la solution, A qu'il est ajusté et *fixe* qu'il est fixé dans la solution planétaire. *K11* est la référence pour (Konopliv et al. 2011).

Paramètres	INPOP06	INPOP10a	DE405	DE421	K11
Planètes	9	9	9	9	9
Astéroïdes individualisés	300	161	300	343	343
Masses ajustées	5	145	3	8	20
Masses fixées	0	16	0	59	47
Masse de l'anneau	A	fixe	x	x	x
Densités taxonomiques pour N astéroïdes	A	x	A	A	A
	295		267	276	276
AU	fixe	fixe	A	A	fixe
EMRAT	fixe	A	A	A	A
GM soleil	fixe	A	fixe	fixe	A
J2 soleil	A	A	fixe	fixe	fixe
Intervalle d'ajustement	1914-2005.5	1914-2010.0	1914-1998.0	1914-2008.0	1914-2009.5
Nbr. Total de paramètres ajustés	63	202	59	67	79

Table 6.3. Paramètres physiques planétaires ajustés dans INPOP. Comparaisons avec d'autres valeurs. *K11* est la référence pour (Konopliv et al. 2011).

	INPOP06 $\pm 1\sigma$	INPOP08 $\pm 1\sigma$	INPOP10a $\pm 1\sigma$	K11 $\pm 1\sigma$
$(\text{EMRAT}-81.3000) \times 10^{-4}$	F	(5.4 ± 0.5)	(5.7 ± 0.010)	(5.694 ± 0.015)
$J2_{\odot} \times 10^{-7}$	(2.46 ± 0.40)	(1.82 ± 0.47)	(2.40 ± 0.25)	
$\text{GM}_{\odot} - \text{GM}_{\odot}^{\text{DE405}} [\text{km}^3 \cdot \text{s}^{-2}]$	0.0 ± 50 (F)	0.0 ± 50 (F)	37.013 ± 1	24.013 ± 10
$\text{AU}-\text{AU}^{\text{IERS03}} [\text{m}]$	F	8.2 ± 0.11	0.0 (F)	
$\text{AU} [\text{m}]$ from GM_{\odot}	F	13.9 ± 0.3	9.0 ± 3	

Table 6.4. Masses des cinq plus gros astéroïdes ajustées dans INPOP10a. Les valeurs de la colonne *Rencontres proches* sont issues des déterminations de masses par rencontres proches entre astéroïdes publiées par (Baer et al. 2011). *K11* est la référence pour (Konopliv et al. 2011).

	INPOP06	Rencontres proches	INPOP10a	K11
Ceres [$10^{-12} \times M_{\odot}$]	475.6 ± 0.4	475.70 ± 0.7	475.8 ± 2.8	467.9 ± 3.0
Pallas [$10^{-12} \times M_{\odot}$]	102.5 ± 1.0	101.0 ± 6.5	111.4 ± 2.8	103.4 ± 2.5
Vesta [$10^{-12} \times M_{\odot}$]	134.8 ± 3.0	130.0 ± 0.5	133.1 ± 1.7	131.0 ± 2.0
Iris [$10^{-12} \times M_{\odot}$]	5.8 ± 0.1	8.1 ± 0.5	7.7 ± 1.1	5.53 ± 1.3
Bamberga [$10^{-12} \times M_{\odot}$]	4.6 ± 0.3		4.7 ± 0.4	5.34 ± 1.0

Table 6.5. Précision interne d'INPOP10a (colonnes 2, 3 et 4) et INPOP06 (colonnes 5, 6 et 7) sur un siècle obtenue par comparaison à DE421 et INPOP08. Ces estimations sont données en ascension droite (α), déclinaison (δ) et distance (ρ) géocentriques pour les planètes et en longitude, latitude et distance barycentriques pour la Terre.

Planètes	INPOP10a			INPOP06		
	α	δ	ρ	α	δ	ρ
	mas	mas	km	mas	mas	km
Mercure	5	6	1	4	3	1
Vénus	4	2	0.3	7	6	1.5
Mars	30	15	10	20	10	5
Jupiter	10	30	3	20	20	15
Saturne	0.8	0.4	3	90	60	200
Uranus	200	100	1000	300	100	700
Neptune	400	100	3000	200	100	3000
Pluton	3000	1000	80000	1000	600	140000
	long	lat	ρ	long	lat	ρ
	mas	mas	km	mas	mas	km
Terre	3	1.5	0.4	3	2	0.8

Table 6.6. Masses des astéroïdes ajustées dans INPOP10a. La colonne indiquée *IAU* donne le numéro IAU de l'astéroïde. Dans les colonnes suivantes sont données les masses obtenues en unité de masse solaire ainsi que l'incertitude sur ces estimations. Si un *F* est indiqué, c'est que la masse a été fixée et non ajustée.

IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	σ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	σ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	σ $10^{-12}M_{\odot}$
1	475.836	2.849	84	0.275	0.204	381	4.615	0.400
2	111.394	2.808	89	4.181	2.083	386	11.825	0.210
4	133.137	1.683	94	15.847	11.522	387	2.674	0.310
7	7.772	1.142	105	1.109	(F)	404	1.718	1.522
324	4.692	0.379	107	18.205	4.647	410	3.476	2.380
3	11.604	1.313	112	0.990	3.410	416	1.643	1.560
6	7.084	1.212	117	8.659	0.100	419	0.997	0.554
8	4.072	0.631	126	0.237	2.910	420	7.417	0.460
9	5.700	(F)	127	4.402	0.440	442	0.098	0.010
10	44.500	(F)	128	4.583	2.772	444	7.992	5.581
11	1.886	1.029	129	4.336	1.846	445	1.744	0.390
12	3.774	1.679	130	11.152	8.032	449	0.791	0.703
13	8.200	(F)	132	0.207	1.360	451	20.978	14.797
14	4.130	(F)	135	0.917	0.884	455	0.596	0.060
15	18.856	1.617	138	0.248	0.130	469	3.647	3.140
16	11.212	5.174	139	5.896	3.315	471	6.359	0.360
18	1.845	(F)	141	4.146	2.902	481	2.908	0.730
19	6.380	(F)	144	4.566	2.977	485	0.686	0.220
20	2.850	(F)	145	2.266	(F)	488	6.234	5.539
21	1.275	1.170	147	6.185	0.240	491	2.425	0.980
24	2.826	1.902	148	2.459	0.840	503	1.434	0.170
25	0.002	0.002	150	9.085	0.420	505	2.008	1.931
26	0.376	0.450	156	3.263	1.864	511	19.903	4.068
28	4.652	0.990	163	1.008	0.340	516	0.720	0.668
29	5.920	(F)	164	0.467	0.390	532	2.895	0.759
31	3.130	(F)	165	9.761	0.100	554	1.575	1.277
33	3.117	0.370	168	8.599	0.950	582	0.215	0.590
34	1.816	1.703	173	6.743	5.668	584	0.414	0.290
36	2.170	1.909	187	2.484	1.075	602	5.107	0.240
38	2.872	2.748	192	0.719	(F)	604	0.728	0.140
39	8.799	0.510	194	8.803	2.921	626	2.691	3.280

Table 6.6. (suite).

IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	σ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	σ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	σ $10^{-12}M_{\odot}$
41	9.213	2.631	200	5.387	0.810	665	0.351	0.200
42	1.854	1.070	204	0.302	0.910	675	6.058	1.200
43	0.753	0.430	210	1.713	0.550	679	0.359	0.100
45	2.860	(F)	211	3.801	0.660	680	1.352	0.020
46	3.525	2.630	212	6.639	0.530	690	6.428	0.140
47	5.387	0.230	216	0.564	0.460	702	6.859	5.606
48	20.106	14.987	217	0.765	0.030	704	18.600	(F)
50	1.833	1.344	221	2.951	0.170	735	1.081	0.340
51	0.726	0.421	234	0.221	0.730	739	0.584	0.540
52	42.304	8.056	240	2.067	1.912	747	6.032	2.306
53	2.830	2.515	253	0.904	0.650	751	3.552	0.260
54	2.237	1.113	266	2.085	0.210	758	0.468	0.040
56	2.321	1.812	268	0.786	0.680	760	0.668	0.662
59	2.587	1.795	304	0.576	0.563	769	3.174	0.320
60	0.402	0.375	306	0.268	0.290	784	1.882	0.160
61	1.454	1.400	322	0.936	0.020	786	1.416	1.401
63	2.022	1.685	328	4.889	0.130	804	2.513	1.820
65	7.173	4.256	337	0.543	0.080	914	1.183	0.120
67	0.516	0.050	344	0.342	0.188	949	0.872	0.310
72	1.668	4.270	345	2.195	0.230	1013	0.086	0.720
74	3.082	2.696	346	3.182	0.090	1015	2.398	0.340
77	0.874	0.340	354	2.451	(F)	1021	2.585	0.060
78	3.232	2.319	365	2.937	0.480	1036	0.084	0.160
81	3.111	2.671	372	4.443	(F)	1171	0.908	0.100

6.6. LA LUNE

Le modèle dynamique de la Lune développé pour INPOP10a et son ajustement aux observations ont été présentés dans (Manche et al. 2010).

6.6.1. Modèle dynamique

Entre INPOP06 et INPOP10a, peu de modifications ont été apportées au modèle dynamique.

Pour tenir compte des interactions entre certains corps (dont la Lune) et la partie non-sphérique du potentiel gravitationnel de la Terre, il est nécessaire de connaître son orientation. Celle-ci est intégrée numériquement en même temps que les équations du mouvement de tous les autres corps, puis ajustée au pôle céleste intermédiaire (CIP) défini au chapitre 3 traitant des Systèmes de références. Dans INPOP06, les moments exercés sur la Terre se limitaient à ceux induits par son aplatissement dynamique J_2 . Avec INPOP10a, les moments induits par les coefficients J_3 et J_4 ont été ajoutés ; leur effet est cependant faible après réajustement sur le CIP.

Sont aussi pris en compte, dans INPOP10a, des moments géodésiques relativistes induisant une dérive de 1,92 secondes de degré par siècle dans la précession (appelée précession géodésique).

De la même manière, la connaissance de l'orientation de la Lune est nécessaire pour la prise en compte des effets liés à la non-sphéricité de son potentiel. Ses angles d'Euler sont aussi numériquement intégrés en même temps que les équations du mouvement des corps. Comme pour la Terre, la prise en compte des moments géodésiques a été ajoutée dans la version INPOP10a par rapport à INPOP06.

6.6.2. Observations

Les changements les plus importants concernent les contraintes apportées par ajustement sur la trajectoire et l'orientation de la Lune. Pour INPOP06, elles étaient obtenues par réajustement sur la solution DE405 du Jet Propulsion Laboratory (Standish, 1998) des conditions initiales (à J2000) du vecteur Terre-Lune et les temps de déphasages intervenant dans les effets de marées. De cette manière, les distances Terre-Lune calculées à partir d'INPOP06 restent proches de celles de DE405 sur une période de 50 ans autour de J2000.

Avec INPOP10a (et depuis INPOP08), la trajectoire et l'orientation de la Lune sont directement contraintes par les observations de télémétrie laser sur la Lune (ou LLR pour Lunar Laser Ranging). Ces observations consistent à mesurer les temps de parcours aller-retour de photons entre une station terrestre et un réflecteur déposé à la surface de la Lune. Les données LLR prises en compte pour contraindre INPOP10a proviennent de quatre locations : Grasse (France), Mc Donald (Texas, USA), Apollo (Nouveau Mexique, USA) et Haleakala (Hawaï, USA). Les cinq réflecteurs sur la Lune

ont été déposés par les missions habitées américaines Apollo ou automatiques franco-russes Luna. Il s'agit de miroirs "coins de cubes", qui ont la propriété de réfléchir la lumière dans la direction d'où elle a été émise. Seuls quatre d'entre-eux ont été utilisés ; le cinquième n'ayant été retrouvé que récemment, les données le concernant n'étaient pas disponibles à la date de construction d'INPOP10a. Les mesures LLR ont commencé en 1969 et se poursuivent aujourd'hui ; leur précision n'a cessé de s'améliorer avec le temps, passant de quelques dizaines de centimètres à environ un centimètre actuellement. Pour traiter ces données, il est donc nécessaire de modéliser avec précision les temps de parcours des photons. L'intégration numérique des équations du mouvement permet d'avoir accès aux trajectoires des centres de masse de la Terre et de la Lune dans l'ICRF, ainsi qu'à l'orientation de la Lune. En raison de la non-rigidité de la Terre, la position de la station par rapport à son centre de masse varie au cours du temps et doit être déterminée en tenant compte de divers effets géophysiques :

- la tectonique des plaques
- les effets de marées solides générées par le Soleil et la Lune
- la marée polaire, variations du vecteur instantané de rotation de la Terre provoquant sa déformation
- la pression atmosphérique, dont les variations induisent des déplacements verticaux de la croûte terrestre
- la charge océanique, due aux variations des hauteurs de mers qui induisent des variations de pression au niveau du plancher océanique, et provoquent ainsi des déformations qui se répercutent jusqu'à l'intérieur des continents.

De la même manière, les positions des réflecteurs par rapport au centre de masse de la Lune tiennent compte des effets de marées solides générés par le Soleil et la Terre ainsi que de la déformation de la Lune induite par les variations de son vecteur instantané de rotation.

Enfin, dans le temps de parcours des photons sont pris en compte le retard provoqué par l'atmosphère terrestre, ainsi que celui provoqué par la déviation relativiste des rayons lumineux au voisinage d'un corps massif (effet Shapiro).

Au total, 59 paramètres ont été ajustés aux données LLR, leur liste est donnée dans la table 6.8. Ils interviennent dans les équations du mouvement (comme par exemple les conditions initiales du vecteur Terre-Lune, les angles d'Euler de la Lune ou les temps de déphasage dans les effets de marées) ou dans le temps de parcours des photons (comme les positions géocentriques des stations ou sélénocentriques des réflecteurs). Les résidus pour chacune des stations sont donnés dans la table 6.7.

Table 6.7. Résidus LLR de la solution INPOP10a. Les écart-types des résidus sont exprimés en centimètres, N désigne le nombre d'observations utilisées lors des ajustements.

Station	Période	Écart-type	N
Grasse	1984-1986	16.0	1158
Grasse	1987-1995	6.4	3415
Grasse	1995-2010	4.0	4861
Mc Donald	1969-1986	31.8	3489
MLRS1 (Mc Donald)	1982-1985	73.3	405
MLRS1 (Mc Donald)	1985-1988	7.3	163
MLRS2 (Mc Donald)	1988-1996	4.3	1148
MLRS2 (Mc Donald)	1996-2008	4.8	1768
Haleakala	1984-1990	8.1	734
Apollo	2006-2009	4.9	640

Table 6.8. Liste des 59 paramètres ajustés aux données LLR. LP150Q est le modèle de potentiel lunaire de Konopliv et al., 2001. EGM96 est le modèle de potentiel terrestre de Tapley et al., 1996.

Nom	Nombre de composantes ajustées
Somme des "masses" $G(M_T + M_L)$ de la Terre et la Lune	1
Conditions initiales du vecteur Terre-Lune	6
Conditions initiales des angles d'Euler de la Lune	6
Temps de déphasage τ_{21} et τ_{22} (marées terrestres)	2 ⁽¹⁾
Coefficients du potentiel de la Lune ($2 \leq \text{degré} \leq 4$)	7 ⁽²⁾
Coefficients zonaux du potentiel de la Terre (degrés 2 et 3)	2
Moment d'inertie normalisé C/MR^2 de la Lune	1
Nombre de Love k_2 de la Lune	1
Temps de déphasage τ_M (marées lunaires)	1
Coordonnées ITRF des stations	18 (3 par station)
Coordonnées sélénocentriques des réflecteurs	12 (3 par réflecteur)
Biais dans les mesures de Grasse entre décembre 1996 et juin 1998	1
Biais dans les mesures de Mc Donald entre octobre 1972 et août 1975	1

(1) Les 14 autres sont fixés par LP150Q.

(2) C_{40} est fixé par EGM96.

6.7. BIBLIOGRAPHIE

- Baer J., Chesley, S.R., Matson, R.D. : 2011, Astrometric Masses of 26 Asteroids and Observations on Asteroid Porosity, *Astron. J.* **141**, 143.
- Fienga, A., Manche, H., et al. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *Astron. Astrophys.* **477**, 315.
- Fienga, A., Laskar, J., et al. : 2009, INPOP08, a 4-D planetary ephemeris : from asteroid and time-scale computations to ESA Mars Express and Venus Express contributions, *Astron. Astrophys.* **507**, 1675.
- Fienga, A., Laskar, J., et al. : 2011, INPOP10a and its applications in fundamental physics. *Celest. Mech.*, **111**, 363.
- Folkner, W.M., Williams, J.G., Boggs, D.H. : 2008, JPL planetary and lunar ephemerides, DE421, JPL IOM **343R-08-003**.
- Konopliv, A. S., Asmar, et al. : 2001, Recent Gravity Models as a Result of the Lunar Prospector Mission, *Icarus* **150**, 1
- Konopliv, A.S., Asmar, S.W., et al. : 2011, Mars high resolution gravity fields from MRO, Mars seasonal gravity, and other dynamical parameters, *Icarus* **211**, 401.
- Kuchynka, P., Laskar, J., et al. : 2010, A ring as a model of the main belt in planetary ephemerides, *Astron. Astrophys.* **514**, 96.
- Lawson, C.L., Hanson, R.J. : 1995, Solving Least Squares Problems, SIAM, Philadelphia, PA
- Manche H., Fienga A., et al. : 2010, LLR residuals of the latest INPOP solution and constraints on post-Newtonian parameters, in *Systèmes de référence spatio-temporels Journées 2010*.
- Moyer, T.D. : 2000, Formulation for Observed and Computed Values of Deep Space Network Data Types for Navigation, Joseph H. Yuen d, John Wiley & Sons.
- 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.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- Tapley, B. D., Watkins, M. M., et al. : 1996, The Joint Gravity Model 3, *J. Geophys. Res.* **101** , 28029

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,

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

Satellite	Références	Précision (")	globale (km)
Phobos	(Lainey et al. 2007)	0.01	3
Deimos		0.01	3
Io	(Lainey et al. 2004)	0.02	60
Europe		0.02	60
Ganymède		0.02	60
Callisto		0.02	60
Mimas	(Vienne & Duriez 1995)	0.02	130
Encelade	(Vienne & Duriez 1995)	0.02	130
Téthys	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Dione	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Rhéa	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Titan	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Hypériorion	(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

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

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

où N désigne le nombre maximum de conditions initiales et de paramètres à ajuster (c_l). En règle générale, 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 occurring 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 ET M. BIRLAN

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 *eCDT* gratuit, téléchargeable à l'adresse indiquée dans la préface de l'ouvrage. Ce logiciel permet le calcul non seulement des coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi celui des coordonnées horizontales et des levers et couchers des astres.

Dans ce chapitre nous allons décrire ces deux types d'éphémérides et expliquer leur utilisation.

8.1.2. Définitions astronomiques

Comme il a été indiqué en 3.3.2 et 5.2.1.1, les coordonnées d'un astre sont rapportées à l'un des deux *plans fondamentaux*, les plans de l'*équateur* ou de l'*écliptique*. Ces plans sont dits *moyens* lorsqu'ils ne sont affectés que de la précession ; le plan de l'équateur est dit *vrai* lorsqu'il est affecté de la précession et de la nutation. On appelle *équinoxe moyen* le nœud ascendant de l'écliptique

moyen sur l'équateur moyen et *équinoxe vrai* le nœud ascendant de l'écliptique moyen sur l'équateur vrai.

Les *coordonnées moyennes* sont rapportées aux plans fondamentaux moyens et comptées à partir de l'équinoxe moyen ; les *coordonnées vraies* sont rapportées à l'équateur vrai ou à l'écliptique moyen et comptées à partir de l'équinoxe vrai.

Les *coordonnées apparentes* d'un astre sont des coordonnées vraies de cet astre corrigées de l'aberration. Pour les corps du système solaire il s'agit de l'aberration planétaire : on tient compte, dans ce cas, du mouvement relatif de l'astre par rapport au barycentre du système solaire et des vitesses de rotation et de révolution de la Terre. On pourra aussi tenir compte de la déviation relativiste des rayons lumineux.

Les *coordonnées astrométriques* d'un corps du système solaire sont les coordonnées moyennes de ce corps corrigées de l'aberration dans laquelle on a omis l'aberration des fixes. On ne tient donc compte, dans ce cas, que du mouvement de l'astre par rapport au barycentre du système solaire. Conformément aux recommandations de l'Union astronomique internationale (1979) les coordonnées astrométriques ne sont plus affectées des termes constants de l'aberration des fixes, termes qui dépendent de l'orbite terrestre.

Les coordonnées apparentes sont rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date, les coordonnées moyennes et astrométriques sont rapportées à l'équateur (ou l'écliptique) et à l'équinoxe moyens de l'*époque standard* J2000 (jour julien 2 451 545.0).

8.1.3. Échelles de temps

Trois échelles de temps sont utilisées dans les tables de la *Connaissance des Temps* ou dans les éphémérides électroniques : le Temps terrestre TT (*cf.* 2.7.2), le Temps universel TU toujours sous sa forme UT1 (*cf.* 2.3) et le Temps universel coordonné UTC (*cf.* 2.5).

L'échelle de temps utilisée dans les théories des mouvements des corps du système solaire, sources des éphémérides, est le Temps dynamique barycentrique TDB (*cf.* 2.7.2). À la précision des éphémérides, on l'identifiera à l'échelle TT. Les éphémérides de ces corps sont donc tabulées pour des dates en TT.

Le temps sidéral est une fonction à la fois du Temps universel TU et de TT. Nous l'avons calculé par la formule (3.6.25), en prenant $t - t_u = 68$ 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 logiciel 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 – 2012	Juil. 1	66.184 s
2012	Juil. 1 – 2015	Juil. 1	67.184 s
2015	Juil. 1 –		68.184 s

8.1.4. Contenu de l'ouvrage

La *Connaissance des Temps* publie des tables donnant :

- Le temps sidéral vrai au méridien de Greenwich GST pour chaque jour de l'année à 0h TU, et les nutations en longitude $\Delta\psi$ et en obliquité $\Delta\epsilon$ pour chaque jour de l'année à 0h TT (p. II. 4 – II. 7).
- L'angle de rotation de la Terre ERA et l'équation des origines \mathcal{E}_0 pour chaque jour de l'année à 0h TU (p. II. 10 – II. 13).
- Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle s pour chaque jour de l'année à 0h TT (p. II. 16 – II. 19).
- Les éphémérides géocentriques du Soleil, pour chaque jour de l'année à 0h TT :
 - les coordonnées écliptiques du Soleil, longitude, latitude et rayon vecteur géométrique ; la longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000 (p. II. 22 – II. 25) ;
 - les coordonnées équatoriales du Soleil, ascension droite et déclinaison ; ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date (p. II. 26 – II. 29) ;
 - le temps de passage du Soleil, en TT, au méridien des éphémérides, méridien situé à $-1.002\,7379$ (TT – TU) du méridien de Greenwich, les longitudes étant comptées positivement vers l'ouest. C'est aussi le temps de passage au méridien de Greenwich en TU (p. II. 26 – II. 29) ;

– les coordonnées rectangulaires du Soleil X, Y, Z. Ce sont des coordonnées moyennes ; le plan OX, OY est le plan de l'équateur moyen J2000, l'axe OX est dirigé vers l'équinoxe moyen J2000 (p. II. 30 – II. 33).

• Les éphémérides géocentriques de la Lune, *toutes les six heures* (TT) (p. II. 36 – II. 52) :

– les coordonnées équatoriales de la Lune, ascension droite et déclinaison. Ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date ;
– la distance à la Terre, sans correction d'aberration.

• Les éphémérides des planètes principales Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune :

– les coordonnées héliocentriques, longitude, latitude héliocentriques et rayon vecteur. La longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000. Ces coordonnées sont données à 0h TT, *chaque jour de l'année* pour Mercure (p. II. 54 – II. 57), *tous les deux jours* pour Vénus (p. II. 58 – II. 59), *tous les quatre jours* pour Mars (p. II. 60), *tous les seize jours* pour Jupiter et Saturne et *tous les trente-deux jours* pour Uranus et Neptune (p. II. 61) ;

– les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre, *pour chaque jour de l'année* à 0h TT. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration (p. II. 62 – II. 89).

• Les éphémérides de Pluton et des petites planètes Cérés, Pallas, Junon et Vesta, *tous les quatre jours* à 0h TT (p. II. 92 – II. 96) :

– les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées astrométriques rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens J2000. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration.

• Les coordonnées tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes élongations est* pour les satellites de Mars (p. II. 98 – II. 107) et *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes élongations est et ouest* pour les satellites galiléens de Jupiter (p. II. 110 – II. 116), les huit premiers satellites de Saturne (p. II. 118 – II. 135) et des plus grandes élongations nord et sud pour 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 logiciel *eCDT*

Le logiciel interactif permet de calculer toutes les coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* autres que le Temps sidéral, l'angle de rotation de la Terre et l'équation des origines, pour n'importe quelle date TT ou UTC de l'année. Le Temps sidéral ainsi que l'équation des équinoxes, l'angle de rotation de la Terre et l'équation des origines sont calculés pour n'importe quelle date UTC de l'année. Il permet aussi de calculer les *coordonnées horizontales* azimut et hauteur et les *levers et couchers* et *passages au méridien* des astres en des lieux terrestres de longitude et latitude quelconques.

Le logiciel de calcul utilise une représentation des coordonnées sous une forme polynomiale analogue à celle en usage dans les éditions de la *Connaissance des Temps* antérieures à l'édition 2006. La série de polynômes de Tchebychev sur le *eCDT* remonte le temps jusqu'en 1963. Cette représentation est décrite en 8.4.2.

Enfin, on trouve sur ce logiciel, 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 INPOP10 (Fienga et al., 2011) 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, 2013a-d).

8.2.3. Satellites

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

- satellites de Mars : le modèle numérique NOE-4-06 (Lainey et al. 2007) ;
- satellites galiléens : la théorie L1 (Lainey et al. 2004) ;
- huit premiers satellites de Saturne : la théorie TASS1.6 (Vienne et Duriez. 1995) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan et Japet ; la théorie de Duriez et Vienne (1997) pour Hypériorion ;
- cinq premiers satellites d'Uranus : la théorie LA07 (Lainey, 2007, Arlot et al. 2007).

8.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

Les éphémérides de précision de la *Connaissance des Temps* sont maintenant les éphémérides électroniques qui accompagnent l'ouvrage. Les éphémérides tabulées ont surtout pour but de s'assurer du bon usage du logiciel ou de connaître l'allure des variations. Néanmoins, les intervalles de tabulation choisis permettent une interpolation précise pour les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes ainsi que pour le Temps sidéral, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle s .

8.3.1. Interpolation par la formule de Bessel

Désignons par t_0, t_1, t_2, \dots les instants d'évaluation d'une fonction $f(t)$ décrite dans la *Connaissance des Temps* et par f_0, f_1, f_2, \dots les valeurs correspondantes de f . Notons h le pas de tabulation, $h = t_{k+1} - t_k$, constant quel que soit k . Soient $\Delta^{(1)}, \Delta^{(2)}, \Delta^{(3)}, \dots$, les différences premières, secondes, troisièmes, \dots ; elles valent :

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

Formons le tableau des différences :

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

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 :

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

8.3.2. Exemple

Calculer les coordonnées équatoriales apparentes de la Lune pour le 20 janvier 2016 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	4h 30m 28.369s				16° 50' 50.03''			
		858.84				1494.19		
6h	4h 44m 47.211s		1.36		17° 15' 44.22''		-231.29	
		860.20		-0.66		1262.90		-4.14
12h	4h 59m 07.407s		0.70		17° 36' 47.12''		-235.43	
		860.90				1027.47		
18h	5h 13m 28.302s				17° 53' 54.59''			

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 :

$$\alpha(t) = 4\text{h } 44\text{m } 47.21\text{s} + 353.64\text{s} - 0.12\text{s} - 0.002\text{s} = 4\text{h } 50\text{m } 40.73\text{s}$$

$$\delta(t) = 17^\circ 15' 44.22'' + 519.19'' + 28.25'' - 0.015'' = 17^\circ 24' 51.65''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 4\text{h } 50\text{m } 40.72\text{s}$$

$$\delta(t) = 17^\circ 24' 51.65''$$

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 logiciel 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.

• 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

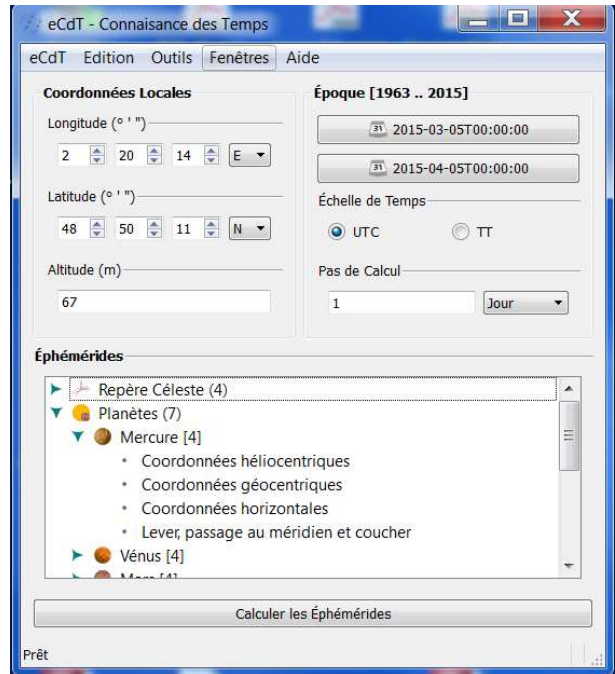


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

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.

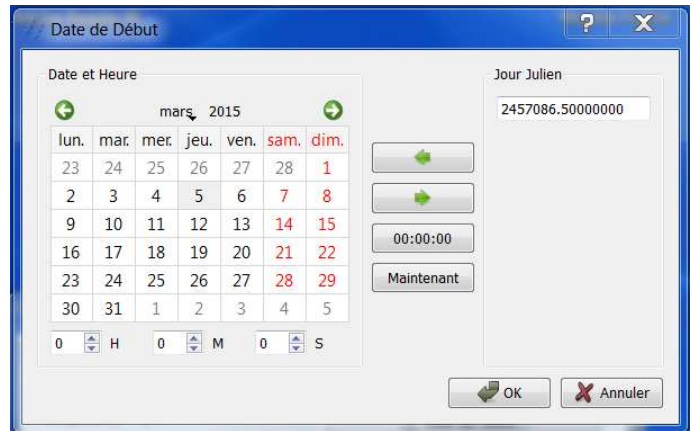


Fig. 8.2. Fenêtre pour choisir la date.

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 et Mac. 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 logiciel 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 logiciel 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 logiciel.

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
	Temps sidéral	19	16	1.7×10^{-5} s
	Équation des équinoxes	19	16	2×10^{-8} s
	Nutations	19	16	3×10^{-7} "
	Équation des origines	10	5	5×10^{-7} "
	Coordonnées du CIP	10	5	2×10^{-7} "
	<i>s</i>	10	5	2×10^{-10} "
Soleil	Longitude	15	16	6×10^{-10} degré
	Latitude	15	16	4×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	16	4×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Temps de passage	15	16	1×10^{-3} "
	Coordonnées rectangulaires	15	16	1×10^{-11} ua
Lune	Ascension droite	9	2	2×10^{-6} s
	Déclinaison	9	2	2×10^{-5} "
	Distance à la Terre	9	2	2×10^{-5} km
Mercure	Longitude	15	16	3×10^{-9} degré
	Latitude	15	16	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	16	2×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	6×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	5×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua

Table 8.2. (fin).

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Vénus	Longitude	15	46	7×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	3×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	8×10^{-12} ua
Mars	Longitude	15	46	2×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	4×10^{-12} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	1×10^{-11} ua
Jupiter	Longitude	15	92	2×10^{-9} degré
	Latitude	15	92	1×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	92	5×10^{-11} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	8×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-11} ua
Saturne	Longitude	15	92	2×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	2×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-9} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua
Uranus	Longitude	15	92	3×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	3×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	2×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	6×10^{-9} ua
Neptune	Longitude	15	92	2×10^{-7} degré
	Latitude	15	92	6×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	8×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-5} s
	Déclinaison	15	16	6×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	3×10^{-8} ua
Pluton	Ascension droite	10	31	3×10^{-5} s
	Déclinaison	10	31	8×10^{-5} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua
Astéroïdes	Ascension droite	10	31	4×10^{-4} s
	Déclinaison	10	31	3×10^{-3} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua

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

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} "
Téthys	"	224	64	7.27×10^{-8} "
Dioné	"	45	16	7.27×10^{-8} "
Rhéa	"	113	64	7.27×10^{-8} "
Titan	"	79	96	7.27×10^{-8} "
Hypérion	"	19	16	1.35×10^{-7} "
Japet	"	103	64	1.35×10^{-7} "
Miranda	Tangentielles (X, Y)	162	16	4.85×10^{-7} rad
Ariel	"	50	8	4.85×10^{-7} "
Umbriel	"	110	64	4.85×10^{-7} "
Titania	"	160	90	4.85×10^{-7} "
Obéron	"	40	16	9.70×10^{-7} "

Table 8.4. Précision globale des éphémérides de la Connaissance des Temps.

Astre	Précision globale
Soleil	0''.05
Lune	0''.03
Mercure	0''.06
Vénus	0''.03
Mars	0''.03
Jupiter	0''.2
Saturne	0''.3
Uranus	0''.6
Neptune	0''.8
Pluton et astéroïdes	2''
Satellites de Mars	0''.01
Satellites galiléens de Jupiter	0''.02
Satellites de Saturne	de 0''.015 à 0''.03
Satellites d'Uranus	de 0''.1 à 0''.2

8.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E. : 1982, New constants for Sampson-Lieske theory of the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **107**, 305.
- Arlot, J.-E., Lainey, V., Thuillot, W. : 2006, Predictions of the mutual events of the Uranian satellites occurring in 2006-2009 *Astron. Astrophys.* **456**, 1173.
- Bureau des longitudes : 1978, *Connaissance des Temps* pour l'an 1979, Gauthier-Villars d., Paris.
- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W., EDP Sciences, Les Ulis.
- Duriez, L. , Vienne, A., : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.* **324**, 366.
- Fienga, A., Laskar, J., Kuchynka, P., Manche, H., et al. : 2011, The INPOP10 planetary ephemeris and its applications in fundamental physics. *Astron. Astrophys.* **111**, 363.
- 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. : 2013a, Ajustement de l'orbite de Cérès, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 99, ISBN 2-910015-68-8.
- Rocher, P. : 2013b, Ajustement de l'orbite de Pallas, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 100, ISBN 2-910015-69-6.
- Rocher, P. : 2013c, Ajustement de l'orbite de Junon, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 101, ISBN 2-910015-70-X.
- Rocher, P. : 2013d, Ajustement de l'orbite de Vesta, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 102, ISBN 2-910015-71-8.
- 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 2016

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

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

TEMPS SIDÉRAL 2016 à 0h TU, NUTATION 2016 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Janv.	0	6	36	25.236 96	-0.799 40	-9.758 81	Févr.	15	9	37	46.778 89	-0.881 40	-9.020 81
	1	6	40	21.789 30	-0.848 88	-9.740 70		16	9	41	43.335 12	-0.867 25	-9.035 74
	2	6	44	18.341 35	-0.903 05	-9.734 70		17	9	45	39.893 10	-0.824 70	-9.038 76
	3	6	48	14.893 88	-0.949 55	-9.740 15		18	9	49	36.451 71	-0.771 58	-9.025 82
	4	6	52	11.447 54	-0.977 42	-9.754 79		19	9	53	33.009 82	-0.726 77	-8.996 71
	5	6	56	8.002 87	-0.978 04	-9.774 97		20	9	57	29.566 44	-0.706 32	-8.954 57
	6	7	0	4.560 19	-0.946 16	-9.795 90		21	10	1	26.120 93	-0.720 65	-8.904 86
	7	7	4	1.119 54	-0.881 18	-9.811 98		22	10	5	22.673 08	-0.773 27	-8.854 02
	8	7	7	57.680 58	-0.788 37	-9.817 57		23	10	9	19.223 08	-0.860 93	-8.808 21
	9	7	11	54.242 62	-0.679 37	-9.808 08		24	10	13	15.771 47	-0.975 01	-8.772 20
	10	7	15	50.804 60	-0.571 28	-9.781 38		25	10	17	12.318 97	-1.103 61	-8.748 82
	11	7	19	47.365 34	-0.483 44	-9.739 03		26	10	21	8.866 38	-1.233 74	-8.738 72
	12	7	23	43.923 83	-0.432 37	-9.686 63		27	10	25	5.414 44	-1.353 25	-8.740 55
	13	7	27	40.479 56	-0.426 44	-9.632 88		28	10	29	1.963 76	-1.452 26	-8.751 39
14	7	31	37.032 73	-0.462 38	-9.587 34	29	10	32	58.514 73	-1.524 04	-8.767 15		
15	7	35	33.584 23	-0.525 58	-9.557 63	Mars	1	10	36	55.067 56	-1.565 56	-8.783 07	
16	7	39	30.135 41	-0.594 13	-9.547 17		2	10	40	51.622 18	-1.577 92	-8.794 15	
17	7	43	26.687 66	-0.645 10	-9.554 32		3	10	44	48.178 23	-1.566 75	-8.795 67	
18	7	47	23.242 07	-0.660 82	-9.572 92		4	10	48	44.735 09	-1.542 44	-8.783 90	
19	7	51	19.799 12	-0.633 27	-9.594 09		5	10	52	41.291 84	-1.519 82	-8.757 04	
20	7	55	16.358 62	-0.565 75	-9.608 59		6	10	56	37.847 42	-1.516 36	-8.716 36	
21	7	59	12.919 76	-0.471 49	-9.609 15		7	11	0	34.400 82	-1.548 46	-8.667 09	
22	8	3	9.481 34	-0.369 83	-9.592 06		8	11	4	30.951 47	-1.625 63	-8.618 19	
23	8	7	6.042 14	-0.281 14	-9.557 85		9	11	8	27.499 54	-1.744 88	-8.580 43	
24	8	11	2.601 13	-0.221 85	-9.510 68		10	11	12	24.046 11	-1.888 70	-8.562 71	
25	8	14	59.157 75	-0.201 29	-9.456 99	11	11	16	20.592 84	-2.029 91	-8.568 26		
26	8	18	55.711 94	-0.220 61	-9.403 72	12	11	20	17.141 37	-2.141 79	-8.593 05		
27	8	22	52.264 04	-0.273 95	-9.356 91	13	11	24	13.692 68	-2.208 15	-8.627 54		
28	8	26	48.814 71	-0.350 75	-9.320 69	14	11	28	10.246 84	-2.227 95	-8.660 44		
29	8	30	45.364 73	-0.438 21	-9.297 03	15	11	32	6.803 11	-2.213 22	-8.682 56		
30	8	34	41.914 89	-0.523 43	-9.285 83	16	11	36	3.360 32	-2.183 15	-8.688 83		
31	8	38	38.465 88	-0.594 90	-9.285 24	17	11	39	59.917 23	-2.157 90	-8.678 61		
Févr.	1	8	42	35.018 29	-0.643 42	-9.292 00	18	11	43	56.472 83	-2.154 14	-8.654 85	
	2	8	46	31.572 47	-0.662 86	-9.301 80	19	11	47	53.026 45	-2.182 62	-8.622 75	
	3	8	50	28.128 57	-0.650 91	-9.309 57	20	11	51	49.577 85	-2.247 49	-8.588 46	
	4	8	54	24.686 44	-0.610 00	-9.309 94	21	11	55	46.127 15	-2.346 66	-8.557 99	
	5	8	58	21.245 60	-0.548 09	-9.297 97	22	11	59	42.674 80	-2.472 87	-8.536 27	
	6	9	2	17.805 19	-0.478 96	-9.270 26	23	12	3	39.221 45	-2.615 32	-8.526 59	
	7	9	6	14.364 12	-0.420 81	-9.226 24	24	12	7	35.767 88	-2.761 46	-8.530 24	
	8	9	10	10.921 20	-0.392 71	-9.169 41	25	12	11	32.314 85	-2.898 85	-8.546 48	
9	9	14	7.475 59	-0.408 67	-9.107 47	26	12	15	28.863 00	-3.016 88	-8.572 80		
10	9	18	4.027 10	-0.471 73	-9.050 73	27	12	19	25.412 79	-3.107 97	-8.605 32		
11	9	22	0.576 40	-0.570 99	-9.008 99	28	12	23	21.964 47	-3.168 41	-8.639 34		
12	9	25	57.124 83	-0.684 35	-8.988 00	29	12	27	18.517 99	-3.198 69	-8.669 92		
13	9	29	53.673 98	-0.785 99	-8.987 48	30	12	31	15.073 05	-3.203 62	-8.692 46		
14	9	33	50.225 13	-0.855 04	-9.001 51	31	12	35	11.629 13	-3.192 07	-8.703 25		

TEMPS SIDÉRAL 2016 à 0h TU, NUTATION 2016 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Avril	1	12	39	8.185 45	-3.176 51	-8.700 18	Mai	17	15	40	29.642 88	-4.639 93	-9.246 15
	2	12	43	4.741 10	-3.171 90	-8.683 47		18	15	44	26.193 20	-4.722 48	-9.270 55
	3	12	47	1.295 15	-3.193 42	-8.656 38		19	15	48	22.744 45	-4.789 81	-9.305 71
	4	12	50	57.846 89	-3.252 71	-8.625 59		20	15	52	19.297 21	-4.832 50	-9.348 43
	5	12	54	54.396 12	-3.353 03	-8.600 50		21	15	56	15.851 84	-4.844 49	-9.394 36
	6	12	58	50.943 41	-3.484 98	-8.591 01		22	16	0	12.408 46	-4.824 03	-9.438 39
	7	13	2	47.490 15	-3.626 21	-8.603 92		23	16	4	8.966 88	-4.774 22	-9.475 44
	8	13	6	44.038 09	-3.747 62	-8.639 49		24	16	8	5.526 61	-4.702 97	-9.501 17
	9	13	10	40.588 74	-3.824 77	-8.690 50		25	16	12	2.086 92	-4.622 15	-9.512 79
	10	13	14	37.142 69	-3.847 96	-8.744 94		26	16	15	58.646 95	-4.545 99	-9.509 78
	11	13	18	33.699 46	-3.825 11	-8.790 87		27	16	19	55.205 81	-4.488 80	-9.494 22
	12	13	22	30.257 80	-3.776 54	-8.820 47		28	16	23	51.762 81	-4.462 18	-9.470 88
	13	13	26	26.816 24	-3.726 28	-8.831 54		29	16	27	48.317 56	-4.472 18	-9.446 68
	14	13	30	23.373 54	-3.694 75	-8.826 68		30	16	31	44.870 20	-4.516 79	-9.429 69
	15	13	34	19.928 89	-3.695 07	-8.811 40		31	16	35	41.421 43	-4.584 45	-9.427 38
16	13	38	16.481 97	-3.732 41	-8.792 30	Juin	1	16	39	37.972 49	-4.654 90	-9.444 46	
17	13	42	13.032 89	-3.805 03	-8.775 65		2	16	43	34.524 90	-4.703 25	-9.480 70	
18	13	46	9.582 08	-3.906 01	-8.766 60		3	16	47	31.080 02	-4.707 39	-9.530 03	
19	13	50	6.130 18	-4.024 92	-8.768 69		4	16	51	27.638 50	-4.656 51	-9.581 63	
20	13	54	2.677 92	-4.149 53	-8.783 59		5	16	55	24.200 00	-4.556 30	-9.623 49	
21	13	57	59.226 09	-4.267 36	-8.811 06		6	16	59	20.763 25	-4.427 43	-9.646 67	
22	14	1	55.775 35	-4.367 23	-8.849 05		7	17	3	17.326 56	-4.297 63	-9.648 25	
23	14	5	52.326 23	-4.440 59	-8.894 00		8	17	7	13.888 40	-4.191 86	-9.631 42	
24	14	9	48.879 03	-4.482 65	-8.941 30		9	17	11	10.447 82	-4.125 61	-9.603 32	
25	14	13	45.433 76	-4.493 06	-8.985 89		10	17	15	7.004 55	-4.103 20	-9.572 25	
26	14	17	41.990 17	-4.476 06	-9.022 96	11	17	19	3.558 91	-4.119 74	-9.545 46		
27	14	21	38.547 74	-4.440 13	-9.048 65	12	17	23	0.111 53	-4.164 58	-9.528 05		
28	14	25	35.105 73	-4.397 16	-9.060 65	13	17	26	56.663 24	-4.224 44	-9.522 76		
29	14	29	31.663 31	-4.361 06	-9.058 83	14	17	30	53.214 86	-4.285 74	-9.530 12		
30	14	33	28.219 61	-4.345 81	-9.045 65	15	17	34	49.767 15	-4.336 05	-9.548 79		
Mai	1	14	37	24.773 94	-4.362 80	-9.026 36	16	17	38	46.320 74	-4.365 12	-9.575 93	
	2	14	41	21.325 96	-4.417 39	-9.008 67	17	17	42	42.876 07	-4.365 76	-9.607 44	
	3	14	45	17.875 94	-4.505 50	-9.001 50	18	17	46	39.433 35	-4.334 64	-9.638 44	
	4	14	49	14.424 82	-4.611 61	-9.012 70	19	17	50	35.992 48	-4.273 10	-9.663 70	
	5	14	53	10.974 13	-4.710 71	-9.045 90	20	17	54	32.553 09	-4.187 50	-9.678 41	
	6	14	57	7.525 54	-4.775 42	-9.098 13	21	17	58	29.114 48	-4.089 01	-9.679 04	
	7	15	1	4.080 22	-4.786 74	-9.159 82	22	18	2	25.675 77	-3.992 18	-9.664 23	
	8	15	5	0.638 30	-4.742 49	-9.218 12	23	18	6	22.236 01	-3.912 57	-9.635 45	
	9	15	8	57.198 83	-4.658 09	-9.261 89	24	18	10	18.794 38	-3.863 47	-9.597 14	
	10	15	12	53.760 23	-4.559 40	-9.285 44	25	18	14	15.350 41	-3.852 51	-9.556 14	
	11	15	16	50.320 92	-4.472 50	-9.289 43	26	18	18	11.904 16	-3.879 05	-9.520 49	
	12	15	20	46.879 72	-4.416 23	-9.279 15	27	18	22	8.456 21	-3.933 20	-9.497 63	
	13	15	24	43.436 12	-4.399 46	-9.261 95	28	18	26	5.007 68	-3.996 94	-9.492 50	
	14	15	28	39.990 10	-4.421 99	-9.245 10	29	18	30	1.559 94	-4.047 74	-9.505 88	
	15	15	32	36.542 11	-4.477 02	-9.234 49	30	18	33	58.114 31	-4.064 19	-9.533 62	
	16	15	36	33.092 77	-4.553 85	-9.234 17	Juill. 1	18	37	54.671 62	-4.032 46	-9.567 18	

TEMPS SIDÉRAL 2016 à 0h TU, NUTATION 2016 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s		
	h	m	s				h	m	s				
Juill.	2	18	41	51.231 95	-3.951 46	-9.595 79	Août	17	21	43	12.791 08	-3.752 09	-8.739 12
	3	18	45	47.794 49	-3.834 17	-9.609 74		18	21	47	9.345 41	-3.769 06	-8.680 88
	4	18	49	44.357 83	-3.703 90	-9.603 41		19	21	51	5.897 12	-3.828 93	-8.623 41
	5	18	53	40.920 37	-3.586 64	-9.576 93		20	21	55	2.446 44	-3.927 67	-8.576 05
	6	18	57	37.480 84	-3.503 16	-9.535 51		21	21	58	58.994 34	-4.049 73	-8.546 36
	7	19	1	34.038 60	-3.464 01	-9.487 22		22	22	2	55.542 25	-4.171 79	-8.537 44
	8	19	5	30.593 67	-3.468 87	-9.440 32		23	22	6	52.091 61	-4.269 94	-8.546 71
	9	19	9	27.146 57	-3.509 13	-9.401 38		24	22	10	48.643 48	-4.327 23	-8.566 68
	10	19	13	23.698 12	-3.571 58	-9.374 36		25	22	14	45.198 16	-4.338 46	-8.587 39
	11	19	17	20.249 20	-3.641 75	-9.360 59		26	22	18	41.755 22	-4.310 82	-8.599 29
	12	19	21	16.800 63	-3.706 09	-9.359 21		27	22	22	38.313 64	-4.261 05	-8.595 72
	13	19	25	13.353 11	-3.753 39	-9.367 65		28	22	26	34.872 10	-4.210 38	-8.574 24
	14	19	29	9.907 13	-3.775 44	-9.382 09		29	22	30	31.429 38	-4.179 17	-8.536 73
	15	19	33	6.462 97	-3.767 65	-9.397 90		30	22	34	27.984 55	-4.182 45	-8.488 53
	16	19	37	3.020 67	-3.729 57	-9.409 97		31	22	38	24.537 17	-4.227 22	-8.436 85
	17	19	40	59.579 96	-3.665 45	-9.413 31		Sept.	1	22	42	21.087 36	-4.311 94
18	19	44	56.140 29	-3.584 48	-9.403 75	2	22		46	17.635 63	-4.427 93	-8.351 03	
19	19	48	52.700 81	-3.500 22	-9.378 90	3	22		50	14.182 79	-4.562 08	-8.326 40	
20	19	52	49.260 54	-3.428 83	-9.339 01	4	22		54	10.729 73	-4.699 86	-8.316 10	
21	19	56	45.818 54	-3.385 83	-9.287 65	5	22		58	7.277 27	-4.827 90	-8.318 70	
22	20	0	42.374 14	-3.381 97	-9.231 41	6	23	2	3.826 04	-4.935 75	-8.330 99		
23	20	4	38.927 21	-3.419 49	-9.178 76	7	23	6	0.376 46	-5.016 74	-8.348 63		
24	20	8	35.478 25	-3.490 24	-9.137 98	8	23	9	56.928 68	-5.068 28	-8.366 80		
25	20	12	32.028 32	-3.576 88	-9.114 81	9	23	13	53.482 61	-5.091 83	-8.380 67		
26	20	16	28.578 79	-3.657 03	-9.110 71	10	23	17	50.037 92	-5.092 77	-8.385 89		
27	20	20	25.130 97	-3.709 22	-9.122 23	11	23	21	46.594 05	-5.080 25	-8.379 08		
28	20	24	21.685 75	-3.718 84	-9.141 75	12	23	25	43.150 25	-5.066 76	-8.358 42		
29	20	28	18.243 35	-3.682 30	-9.159 53	13	23	29	39.705 60	-5.067 05	-8.324 45		
30	20	32	14.803 26	-3.608 20	-9.166 24	14	23	33	36.259 21	-5.095 77	-8.280 75		
31	20	36	11.364 33	-3.514 98	-9.155 50	15	23	37	32.810 43	-5.163 54	-8.234 16		
Août	1	20	40	7.925 15	-3.425 81	-9.125 52	16	23	41	29.359 14	-5.272 29	-8.193 91	
	2	20	44	4.484 41	-3.362 14	-9.079 33	17	23	45	25.905 98	-5.411 75	-8.169 29	
	3	20	48	1.041 23	-3.338 32	-9.023 51	18	23	49	22.452 27	-5.560 11	-8.166 29	
	4	20	51	57.595 34	-3.358 93	-8.966 14	19	23	53	18.999 67	-5.690 40	-8.184 84	
	5	20	55	54.147 02	-3.419 21	-8.914 63	20	23	57	15.549 56	-5.780 13	-8.218 34	
	6	20	59	50.696 97	-3.507 80	-8.874 27	21	0	1	12.102 51	-5.819 56	-8.256 02	
	7	21	3	47.246 07	-3.610 27	-8.847 58	22	0	5	8.658 22	-5.814 14	-8.286 81	
	8	21	7	43.795 21	-3.712 15	-8.834 50	23	0	9	5.215 61	-5.781 11	-8.302 75	
	9	21	11	40.345 14	-3.801 03	-8.832 90	24	0	13	1.773 31	-5.742 87	-8.300 66	
	10	21	15	36.896 43	-3.867 63	-8.839 20	25	0	16	58.330 04	-5.720 59	-8.282 05	
	11	21	19	33.449 44	-3.906 35	-8.848 94	26	0	20	54.884 85	-5.729 73	-8.251 93	
	12	21	23	30.004 25	-3.915 51	-8.857 21	27	0	24	51.437 27	-5.777 98	-8.217 10	
	13	21	27	26.560 71	-3.897 57	-8.859 11	28	0	28	47.987 30	-5.865 10	-8.184 64	
	14	21	31	23.118 41	-3.859 44	-8.850 25	29	0	32	44.535 39	-5.984 12	-8.160 58	
	15	21	35	19.676 66	-3.812 36	-8.827 49	30	0	36	41.082 24	-6.123 35	-8.149 02	
	16	21	39	16.234 55	-3.771 17	-8.789 79	Oct. 1	0	40	37.628 71	-6.268 92	-8.151 67	

TEMPS SIDÉRAL 2016 à 0h TU, NUTATION 2016 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Oct.	2	0	44	34.175 62	-6.407 17	-8.167 88	Nov.	17	3	45	55.638 71	-7.778 26	-8.927 38
	3	0	48	30.723 68	-6.526 63	-8.194 96		18	3	49	52.201 37	-7.659 04	-8.936 29
	4	0	52	27.273 37	-6.619 46	-8.228 83		19	3	53	48.762 39	-7.566 60	-8.926 62
	5	0	56	23.824 91	-6.682 04	-8.264 66		20	3	57	45.320 85	-7.516 01	-8.906 33
	6	1	0	20.378 26	-6.715 10	-8.297 55		21	4	1	41.876 57	-7.510 37	-8.884 15
	7	1	4	16.933 13	-6.723 31	-8.323 08		22	4	5	38.429 91	-7.543 42	-8.867 49
	8	1	8	13.489 02	-6.714 83	-8.337 79		23	4	9	34.981 61	-7.603 35	-8.861 41
	9	1	12	10.045 25	-6.700 65	-8.339 61		24	4	13	31.532 54	-7.675 97	-8.868 41
	10	1	16	6.601 05	-6.693 68	-8.328 37		25	4	17	28.083 56	-7.747 10	-8.888 66
	11	1	20	3.155 58	-6.707 28	-8.306 30		26	4	21	24.635 43	-7.804 17	-8.920 36
	12	1	23	59.708 16	-6.752 86	-8.278 40		27	4	25	21.188 77	-7.837 43	-8.960 14
13	1	27	56.258 43	-6.836 27	-8.252 31	28	4	29	17.743 93	-7.840 84	-9.003 54		
14	1	31	52.806 60	-6.953 80	-8.237 21	29	4	33	14.301 02	-7.812 70	-9.045 53		
15	1	35	49.353 66	-7.089 72	-8.241 23	30	4	37	10.859 87	-7.755 87	-9.081 20		
16	1	39	45.901 16	-7.218 29	-8.268 08	Déc.	1	4	41	7.420 03	-7.677 53	-9.106 39	
17	1	43	42.450 82	-7.311 73	-8.314 54		2	4	45	3.980 86	-7.588 30	-9.118 34	
18	1	47	39.003 76	-7.351 47	-8.370 72		3	4	49	0.541 58	-7.500 81	-9.116 21	
19	1	51	35.560 07	-7.336 14	-8.423 72		4	4	52	57.101 40	-7.427 94	-9.101 37	
20	1	55	32.118 78	-7.281 46	-8.462 61		5	4	56	53.659 66	-7.380 72	-9.077 42	
21	1	59	28.678 35	-7.212 82	-8.481 90		6	5	0	50.215 91	-7.366 22	-9.049 91	
22	2	3	25.237 21	-7.155 71	-8.482 17		7	5	4	46.770 10	-7.385 51	-9.025 77	
23	2	7	21.794 21	-7.128 94	-8.468 50		8	5	8	43.322 62	-7.431 98	-9.012 22	
24	2	11	18.348 79	-7.141 87	-8.448 19		9	5	12	39.874 40	-7.490 65	-9.015 20	
25	2	15	14.900 92	-7.194 84	-8.428 71		10	5	16	36.426 78	-7.539 56	-9.037 41	
26	2	19	11.451 00	-7.281 19	-8.416 33		11	5	20	32.981 25	-7.554 34	-9.076 43	
27	2	23	7.999 73	-7.389 67	-8.415 41	12	5	24	29.538 96	-7.516 01	-9.124 09		
28	2	27	4.547 94	-7.506 78	-8.428 05	13	5	28	26.100 23	-7.419 54	-9.168 16		
29	2	31	1.096 45	-7.618 83	-8.454 13	14	5	32	22.664 25	-7.278 18	-9.196 55		
30	2	34	57.646 01	-7.713 82	-8.491 51	15	5	36	19.229 31	-7.119 72	-9.201 96		
31	2	38	54.197 16	-7.782 80	-8.536 48	16	5	40	15.793 48	-6.975 88	-9.184 51		
Nov.	1	2	42	50.750 20	-7.820 93	-8.584 32	17	5	44	12.355 26	-6.870 92	-9.150 75	
	2	2	46	47.305 15	-7.827 87	-8.630 01	18	5	48	8.914 02	-6.815 56	-9.110 40	
	3	2	50	43.861 75	-7.807 67	-8.668 87	19	5	52	5.469 89	-6.807 28	-9.072 79	
	4	2	54	40.419 54	-7.768 17	-8.697 18	20	5	56	2.023 58	-6.834 64	-9.044 73	
	5	2	58	36.977 85	-7.720 03	-8.712 65	21	5	59	58.576 04	-6.882 19	-9.029 82	
	6	3	2	33.535 94	-7.675 54	-8.714 84	22	6	3	55.128 23	-6.934 17	-9.028 75	
	7	3	6	30.093 04	-7.647 15	-8.705 41	23	6	7	51.680 99	-6.976 77	-9.039 92	
	8	3	10	26.648 50	-7.645 67	-8.688 31	24	6	11	48.234 99	-6.999 26	-9.060 13	
	9	3	14	23.201 90	-7.677 87	-8.669 68	25	6	15	44.790 64	-6.994 58	-9.085 09	
	10	3	18	19.753 24	-7.743 70	-8.657 33	26	6	19	41.348 14	-6.959 75	-9.109 91	
	11	3	22	16.303 11	-7.833 60	-8.659 31	27	6	23	37.907 41	-6.896 12	-9.129 62	
12	3	26	12.852 71	-7.927 78	-8.681 49	28	6	27	34.468 08	-6.809 42	-9.139 70		
13	3	30	9.403 69	-7.999 56	-8.724 73	29	6	31	31.029 56	-6.709 41	-9.136 79		
14	3	34	5.957 58	-8.023 79	-8.783 03	30	6	35	27.591 09	-6.608 78	-9.119 35		
15	3	38	2.515 16	-7.987 76	-8.844 57	31	6	39	24.151 81	-6.521 32	-9.088 11		
16	3	41	59.076 02	-7.898 04	-8.895 91	32	6	43	20.710 95	-6.459 50	-9.046 34		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE

Angle de rotation de la Terre *ERA*, équation des origines *O* II. 10

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2016 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines							
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"						
Janv.	0	98	54	1.481	50	-12	17.072	83	Févr.	15	144	14	18.876	40	-12	22.806	92
	1	99	53	9.685	73	-12	17.153	72		16	145	13	27.080	64	-12	22.946	22
	2	100	52	17.889	97	-12	17.230	31		17	146	12	35.284	88	-12	23.111	56
	3	101	51	26.094	21	-12	17.313	94		18	147	11	43.489	12	-12	23.286	59
	4	102	50	34.298	45	-12	17.414	67		19	148	10	51.693	35	-12	23.453	98
	5	103	49	42.502	68	-12	17.540	42		20	149	9	59.897	59	-12	23.599	00
	6	104	48	50.706	92	-12	17.695	98		21	150	9	8.101	83	-12	23.712	12
	7	105	47	58.911	16	-12	17.881	91		22	151	8	16.306	06	-12	23.790	11
	8	106	47	7.115	39	-12	18.093	38		23	152	7	24.510	30	-12	23.835	94
	9	107	46	15.319	63	-12	18.319	67		24	153	6	32.714	54	-12	23.857	54
	10	108	45	23.523	87	-12	18.545	13		25	154	5	40.918	78	-12	23.865	83
	11	109	44	31.728	11	-12	18.752	00		26	155	4	49.123	01	-12	23.872	73
	12	110	43	39.932	34	-12	18.925	11		27	156	3	57.327	25	-12	23.889	38
	13	111	42	48.136	58	-12	19.056	81		28	157	3	5.531	49	-12	23.924	84
14	112	41	56.340	82	-12	19.150	10	29	158	2	13.735	72	-12	23.985	29		
15	113	41	4.545	05	-12	19.218	39	Mars	1	159	1	21.939	96	-12	24.073	51	
16	114	40	12.749	29	-12	19.281	79		2	160	0	30.144	20	-12	24.188	48	
17	115	39	20.953	53	-12	19.361	33		3	160	59	38.348	44	-12	24.325	03	
18	116	38	29.157	76	-12	19.473	22		4	161	58	46.552	67	-12	24.473	62	
19	117	37	37.362	00	-12	19.624	82		5	162	57	54.756	91	-12	24.620	66	
20	118	36	45.566	24	-12	19.813	09	6	163	57	2.961	15	-12	24.750	10		
21	119	35	53.770	48	-12	20.025	87	7	164	56	11.165	38	-12	24.846	91		
22	120	35	1.974	71	-12	20.245	43	8	165	55	19.369	62	-12	24.902	36		
23	121	34	10.178	95	-12	20.453	08	9	166	54	27.573	86	-12	24.919	22		
24	122	33	18.383	19	-12	20.633	74	10	167	53	35.778	09	-12	24.913	54		
25	123	32	26.587	42	-12	20.778	87	11	168	52	43.982	33	-12	24.910	27		
26	124	31	34.791	66	-12	20.887	41	12	169	51	52.186	57	-12	24.933	94		
27	125	30	42.995	90	-12	20.964	73	13	170	51	0.390	81	-12	24.999	38		
28	126	29	51.200	14	-12	21.020	54	14	171	50	8.595	04	-12	25.107	53		
29	127	28	59.404	37	-12	21.066	59	15	172	49	16.799	28	-12	25.247	35		
30	128	28	7.608	61	-12	21.114	68	16	173	48	25.003	52	-12	25.401	23		
31	129	27	15.812	85	-12	21.175	41	17	174	47	33.207	75	-12	25.550	68		
Févr.	1	130	26	24.017	08	-12	21.257	20	18	175	46	41.411	99	-12	25.680	40	
	2	131	25	32.221	32	-12	21.365	68	19	176	45	49.616	23	-12	25.780	53	
	3	132	24	40.425	56	-12	21.502	95	20	177	44	57.820	47	-12	25.847	28	
	4	133	23	48.629	80	-12	21.666	80	21	178	44	6.024	70	-12	25.882	56	
	5	134	22	56.834	03	-12	21.849	89	22	179	43	14.228	94	-12	25.893	02	
	6	135	22	5.038	27	-12	22.039	62	23	180	42	22.433	18	-12	25.888	60	
	7	136	21	13.242	51	-12	22.219	24	24	181	41	30.637	41	-12	25.880	82	
	8	137	20	21.446	74	-12	22.371	29	25	182	40	38.841	65	-12	25.881	06	
	9	138	19	29.650	98	-12	22.482	89	26	183	39	47.045	89	-12	25.899	07	
	10	139	18	37.855	22	-12	22.551	30	27	184	38	55.250	13	-12	25.941	80	
	11	140	17	46.059	46	-12	22.586	49	28	185	38	3.454	36	-12	26.012	66	
	12	141	16	54.263	69	-12	22.608	77	29	186	37	11.658	60	-12	26.111	18	
	13	142	16	2.467	93	-12	22.641	82	30	187	36	19.862	84	-12	26.232	97	
14	143	15	10.672	17	-12	22.704	79	31	188	35	28.067	07	-12	26.369	86		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2016 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines							
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"						
Avril	1	189	34	36.271	31	-12	26.510	42	Mai	17	234	54	53.666	22	-12	30.976	93
	2	190	33	44.475	55	-12	26.640	92		18	235	54	1.870	46	-12	31.027	49
	3	191	32	52.679	79	-12	26.747	45		19	236	53	10.074	69	-12	31.092	01
	4	192	32	0.884	02	-12	26.819	31		20	237	52	18.278	93	-12	31.179	16
	5	193	31	9.088	26	-12	26.853	52		21	238	51	26.483	17	-12	31.294	47
	6	194	30	17.292	50	-12	26.858	73		22	239	50	34.687	40	-12	31.439	56
	7	195	29	25.496	73	-12	26.855	44		23	240	49	42.891	64	-12	31.611	56
	8	196	28	33.700	97	-12	26.870	36		24	241	48	51.095	88	-12	31.803	24
	9	197	27	41.905	21	-12	26.925	90		25	242	47	59.300	12	-12	32.003	68
	10	198	26	50.109	45	-12	27.030	95		26	243	47	7.504	35	-12	32.199	83
	11	199	25	58.313	68	-12	27.178	23		27	244	46	15.708	59	-12	32.378	58
	12	200	25	6.517	92	-12	27.349	09		28	245	45	23.912	83	-12	32.529	27
	13	201	24	14.722	16	-12	27.521	49		29	246	44	32.117	06	-12	32.646	35
	14	202	23	22.926	39	-12	27.676	69		30	247	43	40.321	30	-12	32.731	70
	15	203	22	31.130	63	-12	27.802	65		31	248	42	48.525	54	-12	32.795	90
16	204	21	39.334	87	-12	27.894	66	Juin	1	249	41	56.729	78	-12	32.857	55	
17	205	20	47.539	11	-12	27.954	29		2	250	41	4.934	01	-12	32.939	51	
18	206	19	55.743	34	-12	27.987	92		3	251	40	13.138	25	-12	33.062	03	
19	207	19	3.947	58	-12	28.005	10		4	252	39	21.342	49	-12	33.235	04	
20	208	18	12.151	82	-12	28.017	06		5	253	38	29.546	72	-12	33.453	31	
21	209	17	20.356	05	-12	28.035	24	6	254	37	37.750	96	-12	33.697	84		
22	210	16	28.560	29	-12	28.069	91	7	255	36	45.955	20	-12	33.943	22		
23	211	15	36.764	53	-12	28.128	91	8	256	35	54.159	44	-12	34.166	53		
24	212	14	44.968	77	-12	28.216	63	9	257	35	2.363	67	-12	34.353	57		
25	213	13	53.173	00	-12	28.333	39	10	258	34	10.567	91	-12	34.500	39		
26	214	13	1.377	24	-12	28.475	30	11	259	33	18.772	15	-12	34.611	48		
27	215	12	9.581	48	-12	28.634	57	12	260	32	26.976	38	-12	34.696	62		
28	216	11	17.785	71	-12	28.800	28	13	261	31	35.180	62	-12	34.767	98		
29	217	10	25.989	95	-12	28.959	68	14	262	30	43.384	86	-12	34.838	03		
30	218	9	34.194	19	-12	29.099	94	15	263	29	51.589	10	-12	34.918	17		
Mai	1	219	8	42.398	42	-12	29.210	62	16	264	28	59.793	33	-12	35.017	80	
	2	220	7	50.602	66	-12	29.286	79	17	265	28	7.997	57	-12	35.143	52	
	3	221	6	58.806	90	-12	29.332	22	18	266	27	16.201	81	-12	35.298	39	
	4	222	6	7.011	14	-12	29.361	14	19	267	26	24.406	04	-12	35.481	17	
	5	223	5	15.215	37	-12	29.396	52	20	268	25	32.610	28	-12	35.686	00	
	6	224	4	23.419	61	-12	29.463	47	21	269	24	40.814	52	-12	35.902	67	
	7	225	3	31.623	85	-12	29.579	42	22	270	23	49.018	75	-12	36.117	79	
	8	226	2	39.828	08	-12	29.746	34	23	271	22	57.222	99	-12	36.317	10	
	9	227	1	48.032	32	-12	29.950	09	24	272	22	5.427	23	-12	36.488	42	
	10	228	0	56.236	56	-12	30.166	93	25	273	21	13.631	47	-12	36.624	74	
	11	229	0	4.440	80	-12	30.372	94	26	274	20	21.835	70	-12	36.726	65	
	12	229	59	12.645	03	-12	30.550	82	27	275	19	30.039	94	-12	36.803	24	
	13	230	58	20.849	27	-12	30.692	47	28	276	18	38.244	18	-12	36.871	05	
	14	231	57	29.053	51	-12	30.798	07	29	277	17	46.448	41	-12	36.950	75	
	15	232	56	37.257	74	-12	30.873	84	30	278	16	54.652	65	-12	37.061	98	
16	233	55	45.461	98	-12	30.929	62	Juill.	1	279	16	2.856	89	-12	37.217	42	

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2016 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Juill.	2	280	15	11.061 13	-12	37.418 06	Août	17	325	35	28.456 03	-12	43.410 21
	3	281	14	19.265 36	-12	37.651 98		18	326	34	36.660 27	-12	43.520 90
	4	282	13	27.469 60	-12	37.897 79		19	327	33	44.864 51	-12	43.592 23
	5	283	12	35.673 84	-12	38.131 65		20	328	32	53.068 74	-12	43.627 89
	6	284	11	43.878 07	-12	38.334 50		21	329	32	1.272 98	-12	43.642 18
	7	285	10	52.082 31	-12	38.496 68		22	330	31	9.477 22	-12	43.656 50
	8	286	10	0.286 55	-12	38.618 48		23	331	30	17.681 46	-12	43.692 75
	9	287	9	8.490 79	-12	38.707 81		24	332	29	25.885 69	-12	43.766 50
	10	288	8	16.695 02	-12	38.776 79		25	333	28	34.089 93	-12	43.882 53
	11	289	7	24.899 26	-12	38.838 70		26	334	27	42.294 17	-12	44.034 20
	12	290	6	33.103 50	-12	38.905 96		27	335	26	50.498 40	-12	44.206 16
	13	291	5	41.307 73	-12	38.988 87		28	336	25	58.702 64	-12	44.378 93
	14	292	4	49.511 97	-12	39.094 94		29	337	25	6.906 88	-12	44.533 83
	15	293	3	57.716 21	-12	39.228 40		30	338	24	15.111 12	-12	44.657 09
	16	294	3	5.920 45	-12	39.389 66		31	339	23	23.315 35	-12	44.742 27
	17	295	2	14.124 68	-12	39.574 79		Sept.	1	340	22	31.519 59	-12
18	296	1	22.328 92	-12	39.775 38	2	341		21	39.723 83	-12	44.810 65	
19	297	0	30.533 16	-12	39.978 97	3	342		20	47.928 06	-12	44.813 84	
20	297	59	38.737 39	-12	40.170 75	4	343		19	56.132 30	-12	44.813 72	
21	298	58	46.941 63	-12	40.336 47	5	344		19	4.336 54	-12	44.822 54	
22	299	57	55.145 87	-12	40.466 27	6	345	18	12.540 78	-12	44.849 90		
23	300	57	3.350 11	-12	40.558 10	7	346	17	20.745 01	-12	44.901 90		
24	301	56	11.554 34	-12	40.619 46	8	347	16	28.949 25	-12	44.980 92		
25	302	55	19.758 58	-12	40.666 25	9	348	15	37.153 49	-12	45.085 62		
26	303	54	27.962 82	-12	40.719 02	10	349	14	45.357 72	-12	45.211 06		
27	304	53	36.167 05	-12	40.797 45	11	350	13	53.561 96	-12	45.348 84		
28	305	52	44.371 29	-12	40.914 94	12	351	13	1.766 20	-12	45.487 50		
29	306	51	52.575 53	-12	41.074 79	13	352	12	9.970 44	-12	45.613 51		
30	307	51	0.779 77	-12	41.269 09	14	353	11	18.174 67	-12	45.713 43		
31	308	50	8.984 00	-12	41.480 91	15	354	10	26.378 91	-12	45.777 50		
Août	1	309	49	17.188 24	-12	41.689 00	16	355	9	34.583 15	-12	45.803 98	
	2	310	48	25.392 48	-12	41.873 69	17	356	8	42.787 38	-12	45.802 30	
	3	311	47	33.596 71	-12	42.021 80	18	357	7	50.991 62	-12	45.792 47	
	4	312	46	41.800 95	-12	42.129 15	19	358	6	59.195 86	-12	45.799 25	
	5	313	45	50.005 19	-12	42.200 10	20	359	6	7.400 10	-12	45.843 24	
	6	314	44	58.209 43	-12	42.245 10	21	0	5	15.604 33	-12	45.933 39	
	7	315	44	6.413 66	-12	42.277 37	22	1	4	23.808 57	-12	46.064 67	
	8	316	43	14.617 90	-12	42.310 18	23	2	3	32.012 81	-12	46.221 28	
	9	317	42	22.822 14	-12	42.354 94	24	3	2	40.217 04	-12	46.382 65	
	10	318	41	31.026 37	-12	42.420 14	25	4	1	48.421 28	-12	46.529 36	
	11	319	40	39.230 61	-12	42.510 92	26	5	0	56.625 52	-12	46.647 24	
	12	320	39	47.434 85	-12	42.628 83	27	6	0	4.829 76	-12	46.729 23	
	13	321	38	55.639 08	-12	42.771 59	28	6	59	13.033 99	-12	46.775 56	
	14	322	38	3.843 32	-12	42.932 88	29	7	58	21.238 23	-12	46.792 63	
	15	323	37	12.047 56	-12	43.102 36	30	8	57	29.442 47	-12	46.791 16	
	16	324	36	20.251 80	-12	43.266 44	Oct.	1	9	56	37.646 70	-12	46.783 89

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2016 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Oct.	2	10	55	45.850 94	-12	46.783 34	Nov.	17	56	16	3.245 85	-12	51.334 83	
	3	11	54	54.055 18	-12	46.800 04		18	57	15	11.450 09	-12	51.570 49	
	4	12	54	2.259 41	-12	46.841 18		19	58	14	19.654 32	-12	51.781 58	
	5	13	53	10.463 65	-12	46.910 07		20	59	13	27.858 56	-12	51.954 25	
	6	14	52	18.667 89	-12	47.006 05		21	60	12	36.062 80	-12	52.085 68	
	7	15	51	26.872 13	-12	47.124 82		22	61	11	44.267 03	-12	52.181 62	
	8	16	50	35.076 36	-12	47.258 90		23	62	10	52.471 27	-12	52.252 91	
	9	17	49	43.280 60	-12	47.398 19		24	63	10	0.675 51	-12	52.312 57	
	10	18	48	51.484 84	-12	47.530 87		25	64	9	8.879 74	-12	52.373 60	
	11	19	47	59.689 07	-12	47.644 66		26	65	8	17.083 98	-12	52.447 54	
	12	20	47	7.893 31	-12	47.729 10		27	66	7	25.288 22	-12	52.543 33	
	13	21	46	16.097 55	-12	47.778 84		28	67	6	33.492 46	-12	52.666 51	
	14	22	45	24.301 79	-12	47.797 27		29	68	5	41.696 69	-12	52.818 65	
	15	23	44	32.506 02	-12	47.798 85		30	69	4	49.900 93	-12	52.997 10	
	16	24	43	40.710 26	-12	47.807 19		Déc.	1	70	3	58.105 17	-12	53.195 28
	17	25	42	48.914 50	-12	47.847 78		2	71	3	6.309 40	-12	53.403 44	
18	26	41	57.118 73	-12	47.937 65	3	72	2	14.513 64	-12	53.609 99			
19	27	41	5.322 97	-12	48.078 04	4	73	1	22.717 88	-12	53.803 13			
20	28	40	13.527 21	-12	48.254 51	5	74	0	30.922 12	-12	53.972 72			
21	29	39	21.731 45	-12	48.443 78	6	74	59	39.126 35	-12	54.112 29			
22	30	38	29.935 68	-12	48.622 45	7	75	58	47.330 59	-12	54.220 86			
23	31	37	38.139 92	-12	48.773 28	8	76	57	55.534 83	-12	54.304 50			
24	32	36	46.344 16	-12	48.887 68	9	77	57	3.739 06	-12	54.376 96			
25	33	35	54.548 39	-12	48.965 34	10	78	56	11.943 30	-12	54.458 39			
26	34	35	2.752 63	-12	49.012 38	11	79	55	20.147 54	-12	54.571 15			
27	35	34	10.956 87	-12	49.039 12	12	80	54	28.351 78	-12	54.732 65			
28	36	33	19.161 11	-12	49.057 97	13	81	53	36.556 01	-12	54.947 49			
29	37	32	27.365 34	-12	49.081 45	14	82	52	44.760 25	-12	55.203 50			
30	38	31	35.569 58	-12	49.120 61	15	83	51	52.964 49	-12	55.475 18			
31	39	30	43.773 82	-12	49.183 62	16	84	51	1.168 72	-12	55.733 43			
Nov.	1	40	29	51.978 05	-12	49.274 95	17	85	50	9.372 96	-12	55.955 98		
	2	41	29	0.182 29	-12	49.394 89	18	86	49	17.577 20	-12	56.133 03		
	3	42	28	8.386 53	-12	49.539 73	19	87	48	25.781 44	-12	56.266 89		
	4	43	27	16.590 77	-12	49.702 27	20	88	47	33.985 67	-12	56.368 05		
	5	44	26	24.795 00	-12	49.872 73	21	89	46	42.189 91	-12	56.450 71		
	6	45	25	32.999 24	-12	50.039 84	22	90	45	50.394 15	-12	56.529 30		
	7	46	24	41.203 48	-12	50.192 16	23	91	44	58.598 38	-12	56.616 52		
	8	47	23	49.407 71	-12	50.319 79	24	92	44	6.802 62	-12	56.722 19		
	9	48	22	57.611 95	-12	50.416 50	25	93	43	15.006 86	-12	56.852 79		
	10	49	22	5.816 19	-12	50.482 37	26	94	42	23.211 10	-12	57.011 06		
	11	50	21	14.020 43	-12	50.526 17	27	95	41	31.415 33	-12	57.195 76		
	12	51	20	22.224 66	-12	50.566 05	28	96	40	39.619 57	-12	57.401 60		
	13	52	19	30.428 90	-12	50.626 51	29	97	39	47.823 81	-12	57.619 66		
	14	53	18	38.633 14	-12	50.730 60	30	98	38	56.028 04	-12	57.838 27		
	15	54	17	46.837 37	-12	50.890 00	31	99	38	4.232 28	-12	58.044 80		
	16	55	16	55.041 61	-12	51.098 64	32	100	37	12.436 52	-12	58.227 78		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2016 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Janv.	0 320.207 18	-10.341 81	0.008 23	Févr.	15 322.700 87	-9.612 78	0.007 60
	1 320.242 43	-10.323 83	0.008 22		16 322.761 30	-9.627 93	0.007 61
	2 320.275 77	-10.317 95	0.008 21		17 322.833 07	-9.631 21	0.007 61
	3 320.312 12	-10.323 53	0.008 21		18 322.909 11	-9.618 55	0.007 60
	4 320.355 85	-10.338 32	0.008 22		19 322.981 90	-9.589 70	0.007 58
	5 320.410 39	-10.358 71	0.008 24		20 323.045 04	-9.547 79	0.007 54
	6 320.477 85	-10.379 88	0.008 25		21 323.094 38	-9.498 26	0.007 50
	7 320.558 50	-10.396 25	0.008 26		22 323.128 51	-9.447 54	0.007 46
	8 320.650 26	-10.402 16	0.008 27		23 323.148 67	-9.401 80	0.007 43
	9 320.748 50	-10.393 02	0.008 26		24 323.158 29	-9.365 83	0.007 40
	10 320.846 44	-10.366 68	0.008 23		25 323.162 09	-9.342 47	0.007 38
	11 320.936 39	-10.324 65	0.008 20		26 323.165 24	-9.332 37	0.007 37
	12 321.011 75	-10.272 52	0.008 16		27 323.172 57	-9.334 23	0.007 37
	13 321.069 16	-10.218 98	0.008 11		28 323.188 01	-9.345 13	0.007 38
	14 321.109 89	-10.173 58	0.008 08		29 323.214 27	-9.360 98	0.007 39
	15 321.139 73	-10.143 97	0.008 05	Mars	1 323.252 56	-9.377 05	0.007 40
	16 321.167 37	-10.133 62	0.008 04		2 323.302 47	-9.388 31	0.007 41
	17 321.201 93	-10.140 90	0.008 05		3 323.361 77	-9.390 04	0.007 41
	18 321.250 47	-10.159 67	0.008 06		4 323.426 34	-9.378 50	0.007 40
	19 321.316 22	-10.181 07	0.008 08		5 323.490 30	-9.351 87	0.007 38
	20 321.397 88	-10.195 87	0.008 09		6 323.546 68	-9.311 40	0.007 35
	21 321.490 23	-10.196 76	0.008 09		7 323.588 96	-9.262 28	0.007 31
	22 321.585 58	-10.180 02	0.008 07		8 323.613 30	-9.213 46	0.007 27
	23 321.675 84	-10.146 13	0.008 04		9 323.620 88	-9.175 74	0.007 24
	24 321.754 44	-10.099 24	0.008 00		10 323.618 61	-9.158 01	0.007 22
	25 321.817 68	-10.045 78	0.007 96		11 323.617 29	-9.163 55	0.007 23
	26 321.865 05	-9.992 68	0.007 92		12 323.627 57	-9.188 39	0.007 25
	27 321.898 86	-9.945 99	0.007 88		13 323.655 91	-9.222 97	0.007 27
	28 321.923 31	-9.909 85	0.007 85		14 323.702 78	-9.256 05	0.007 30
	29 321.943 48	-9.886 27	0.007 83		15 323.763 42	-9.278 39	0.007 31
	30 321.964 48	-9.875 15	0.007 82		16 323.830 22	-9.284 90	0.007 32
	31 321.990 92	-9.874 65	0.007 82		17 323.895 16	-9.274 92	0.007 31
Févr.	1 322.026 47	-9.881 55	0.007 83		18 323.951 61	-9.251 36	0.007 29
	2 322.073 56	-9.891 51	0.007 83		19 323.995 26	-9.219 42	0.007 26
	3 322.133 15	-9.899 49	0.007 84		20 324.024 45	-9.185 24	0.007 24
	4 322.204 28	-9.900 12	0.007 84		21 324.039 98	-9.154 82	0.007 21
	5 322.283 80	-9.888 44	0.007 83		22 324.044 72	-9.133 12	0.007 19
	6 322.366 26	-9.861 02	0.007 80		23 324.042 97	-9.123 43	0.007 19
	7 322.444 41	-9.817 28	0.007 77		24 324.039 70	-9.127 07	0.007 19
	8 322.510 65	-9.760 70	0.007 72		25 324.039 86	-9.143 32	0.007 20
	9 322.559 38	-9.698 93	0.007 67		26 324.047 69	-9.169 66	0.007 22
	10 322.589 37	-9.642 31	0.007 63		27 324.066 20	-9.202 25	0.007 25
	11 322.604 91	-9.600 62	0.007 59		28 324.096 91	-9.236 38	0.007 27
	12 322.614 76	-9.579 66	0.007 58		29 324.139 62	-9.267 12	0.007 30
	13 322.629 20	-9.579 20	0.007 58		30 324.192 44	-9.289 85	0.007 31
	14 322.656 56	-9.593 32	0.007 59		31 324.251 85	-9.300 85	0.007 32

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2016 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Avril	1	324.312 91	-9.298 00	0.007 32	Mai	17	326.252 59	-9.851 06	0.007 71
	2	324.369 67	-9.281 50	0.007 30		18	326.274 53	-9.875 53	0.007 73
	3	324.416 07	-9.254 58	0.007 28		19	326.302 48	-9.910 79	0.007 75
	4	324.447 47	-9.223 91	0.007 26		20	326.340 21	-9.953 66	0.007 79
	5	324.462 52	-9.198 87	0.007 24		21	326.390 14	-9.999 76	0.007 82
	6	324.464 94	-9.189 38	0.007 23		22	326.452 98	-10.044 03	0.007 86
	7	324.463 59	-9.202 29	0.007 24		23	326.527 52	-10.081 35	0.007 88
	8	324.470 04	-9.237 89	0.007 27		24	326.610 62	-10.107 38	0.007 90
	9	324.494 03	-9.288 99	0.007 31		25	326.697 58	-10.119 32	0.007 91
	10	324.539 48	-9.343 59	0.007 35		26	326.782 74	-10.116 62	0.007 91
	11	324.603 26	-9.389 75	0.007 38		27	326.860 40	-10.101 35	0.007 89
	12	324.677 33	-9.419 62	0.007 41		28	326.925 94	-10.078 24	0.007 87
	13	324.752 14	-9.430 96	0.007 41		29	326.976 91	-10.054 23	0.007 85
	14	324.819 56	-9.426 35	0.007 41		30	327.014 09	-10.037 38	0.007 84
	15	324.874 35	-9.411 27	0.007 39		31	327.042 06	-10.035 17	0.007 84
	16	324.914 43	-9.392 31	0.007 38	Juin	1	327.068 84	-10.052 35	0.007 85
	17	324.940 47	-9.375 76	0.007 36		2	327.104 34	-10.088 72	0.007 88
	18	324.955 21	-9.366 77	0.007 36		3	327.157 37	-10.138 24	0.007 91
	19	324.962 77	-9.368 88	0.007 36		4	327.232 28	-10.190 12	0.007 95
	20	324.968 03	-9.383 80	0.007 37		5	327.326 84	-10.232 32	0.007 98
	21	324.975 92	-9.411 30	0.007 39		6	327.432 87	-10.255 89	0.008 00
	22	324.990 93	-9.449 35	0.007 42		7	327.539 35	-10.257 86	0.008 00
	23	325.016 45	-9.494 39	0.007 46		8	327.636 34	-10.241 39	0.007 98
	24	325.054 42	-9.541 83	0.007 49		9	327.717 65	-10.213 59	0.007 96
	25	325.104 98	-9.586 60	0.007 53		10	327.781 53	-10.182 75	0.007 93
	26	325.166 47	-9.623 90	0.007 56		11	327.829 91	-10.156 13	0.007 91
	27	325.235 53	-9.649 84	0.007 57		12	327.867 01	-10.138 87	0.007 90
	28	325.307 43	-9.662 10	0.007 58		13	327.898 08	-10.133 69	0.007 89
	29	325.376 66	-9.660 54	0.007 58		14	327.928 54	-10.141 16	0.007 90
	30	325.437 63	-9.647 58	0.007 57		15	327.963 32	-10.159 96	0.007 91
Mai	1	325.485 81	-9.628 46	0.007 55		16	328.006 52	-10.187 25	0.007 93
	2	325.519 02	-9.610 89	0.007 54		17	328.061 02	-10.218 97	0.007 96
	3	325.538 87	-9.603 80	0.007 53		18	328.128 14	-10.250 22	0.007 98
	4	325.551 49	-9.615 04	0.007 54		19	328.207 39	-10.275 77	0.008 00
	5	325.566 82	-9.648 30	0.007 56		20	328.296 24	-10.290 80	0.008 01
	6	325.595 76	-9.700 63	0.007 61		21	328.390 27	-10.291 77	0.008 01
	7	325.645 89	-9.762 51	0.007 65		22	328.483 69	-10.277 31	0.007 99
	8	325.718 14	-9.821 08	0.007 70		23	328.570 32	-10.248 85	0.007 97
	9	325.806 41	-9.865 16	0.007 73		24	328.644 85	-10.210 81	0.007 93
	10	325.900 44	-9.889 05	0.007 75		25	328.704 22	-10.170 03	0.007 90
	11	325.989 85	-9.893 37	0.007 75		26	328.748 65	-10.134 54	0.007 87
	12	326.067 12	-9.883 38	0.007 74		27	328.782 07	-10.111 81	0.007 85
	13	326.128 71	-9.866 40	0.007 72		28	328.811 60	-10.106 79	0.007 85
	14	326.174 68	-9.849 71	0.007 71		29	328.846 21	-10.120 30	0.007 86
	15	326.207 69	-9.839 23	0.007 70		30	328.894 42	-10.148 21	0.007 88
	16	326.232 00	-9.839 00	0.007 70	Juill.	1	328.961 78	-10.182 02	0.007 90

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2016 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Juill.	2 329.048 75	-10.210 95	0.007 92	Août	17 331.654 84	-9.363 91	0.007 18
	3 329.150 21	-10.225 27	0.007 93		18 331.703 17	-9.305 86	0.007 14
	4 329.256 90	-10.219 34	0.007 93		19 331.734 44	-9.248 50	0.007 09
	5 329.358 49	-10.193 23	0.007 90		20 331.750 20	-9.201 20	0.007 05
	6 329.446 71	-10.152 14	0.007 87		21 331.756 63	-9.171 53	0.007 03
	7 329.517 32	-10.104 10	0.007 83		22 331.762 99	-9.162 63	0.007 02
	8 329.570 42	-10.057 40	0.007 79		23 331.778 78	-9.171 96	0.007 03
	9 329.609 41	-10.018 61	0.007 76		24 331.810 78	-9.192 06	0.007 04
	10 329.639 53	-9.991 69	0.007 74		25 331.861 11	-9.212 95	0.007 06
	11 329.666 54	-9.978 03	0.007 72		26 331.926 91	-9.225 09	0.007 07
	12 329.695 82	-9.976 76	0.007 72		27 332.001 58	-9.221 80	0.007 06
	13 329.731 84	-9.985 33	0.007 73		28 332.076 68	-9.200 60	0.007 04
	14 329.777 88	-9.999 94	0.007 74		29 332.144 09	-9.163 34	0.007 01
	15 329.835 78	-10.015 96	0.007 75		30 332.197 83	-9.115 34	0.006 97
	16 329.905 74	-10.028 29	0.007 76		31 332.235 07	-9.063 80	0.006 93
	17 329.986 09	-10.031 92	0.007 76	Sept.	1 332.256 42	-9.016 07	0.006 89
	18 330.073 19	-10.022 69	0.007 75		2 332.265 29	-8.978 09	0.006 86
	19 330.161 65	-9.998 16	0.007 73		3 332.266 90	-8.953 47	0.006 84
	20 330.245 05	-9.958 58	0.007 69		4 332.267 00	-8.943 17	0.006 83
	21 330.317 21	-9.907 48	0.007 65		5 332.270 93	-8.945 79	0.006 83
	22 330.373 81	-9.851 45	0.007 60		6 332.282 86	-8.958 12	0.006 84
	23 330.413 95	-9.798 96	0.007 56		7 332.305 45	-8.975 85	0.006 86
	24 330.440 82	-9.758 28	0.007 53		8 332.339 74	-8.994 15	0.006 87
	25 330.461 31	-9.735 18	0.007 51		9 332.385 19	-9.008 18	0.006 88
	26 330.484 31	-9.731 17	0.007 51		10 332.439 66	-9.013 61	0.006 88
	27 330.518 38	-9.742 81	0.007 51		11 332.499 52	-9.007 02	0.006 88
	28 330.569 34	-9.762 53	0.007 53		12 332.559 83	-8.986 58	0.006 86
	29 330.638 67	-9.780 56	0.007 54		13 332.614 70	-8.952 82	0.006 83
	30 330.722 98	-9.787 58	0.007 55		14 332.658 30	-8.909 28	0.006 80
	31 330.814 95	-9.777 18	0.007 53		15 332.686 39	-8.862 79	0.006 76
Août	1 330.905 38	-9.747 54	0.007 51		16 332.698 15	-8.822 59	0.006 72
	2 330.985 74	-9.701 64	0.007 47		17 332.697 64	-8.797 96	0.006 70
	3 331.050 28	-9.646 06	0.007 42		18 332.693 51	-8.794 95	0.006 70
	4 331.097 16	-9.588 86	0.007 38		19 332.696 49	-8.813 51	0.006 72
	5 331.128 24	-9.537 47	0.007 34		20 332.715 54	-8.847 09	0.006 74
	6 331.148 02	-9.497 19	0.007 30		21 332.754 58	-8.884 91	0.006 77
	7 331.162 22	-9.470 55	0.007 28		22 332.811 48	-8.915 91	0.006 80
	8 331.176 62	-9.457 52	0.007 27		23 332.879 42	-8.932 10	0.006 81
	9 331.196 14	-9.456 00	0.007 27		24 332.949 50	-8.930 27	0.006 81
	10 331.224 49	-9.462 40	0.007 27		25 333.013 29	-8.911 91	0.006 79
	11 331.263 91	-9.472 28	0.007 28		26 333.064 63	-8.881 97	0.006 76
	12 331.315 11	-9.480 74	0.007 29		27 333.100 43	-8.847 28	0.006 74
	13 331.377 09	-9.482 87	0.007 29		28 333.120 77	-8.814 90	0.006 71
	14 331.447 16	-9.474 28	0.007 28		29 333.128 39	-8.790 87	0.006 69
	15 331.520 82	-9.451 79	0.007 26		30 333.127 92	-8.779 31	0.006 68
	16 331.592 21	-9.414 35	0.007 23	Oct.	1 333.124 88	-8.781 95	0.006 68

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2016 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Oct.	2 333.124 70	-8.798 15	0.006 70	Nov.	17 335.100 24	-9.565 06	0.007 27
	3 333.131 95	-8.825 27	0.006 72		18 335.202 49	-9.574 35	0.007 28
	4 333.149 77	-8.859 20	0.006 74		19 335.294 15	-9.565 03	0.007 27
	5 333.179 61	-8.895 14	0.006 77		20 335.369 20	-9.545 01	0.007 25
	6 333.221 20	-8.928 19	0.006 80		21 335.426 39	-9.523 05	0.007 23
	7 333.272 71	-8.953 91	0.006 82		22 335.468 17	-9.506 55	0.007 22
	8 333.330 88	-8.968 83	0.006 83		23 335.499 22	-9.500 59	0.007 21
	9 333.391 38	-8.970 88	0.006 83		24 335.525 18	-9.507 69	0.007 22
	10 333.449 05	-8.959 86	0.006 82		25 335.551 68	-9.528 04	0.007 23
	11 333.498 59	-8.937 97	0.006 80		26 335.583 72	-9.559 86	0.007 26
	12 333.535 43	-8.910 21	0.006 78		27 335.625 21	-9.599 79	0.007 29
	13 333.557 22	-8.884 20	0.006 76		28 335.678 55	-9.643 39	0.007 32
	14 333.565 39	-8.869 13	0.006 74		29 335.744 45	-9.685 63	0.007 36
	15 333.566 19	-8.873 15	0.006 75		30 335.821 78	-9.721 59	0.007 38
	16 333.569 82	-8.900 03	0.006 77	Déc.	1 335.907 70	-9.747 10	0.007 40
	17 333.587 34	-8.946 55	0.006 81		2 335.998 00	-9.759 39	0.007 41
	18 333.626 19	-9.002 87	0.006 85		3 336.087 67	-9.757 60	0.007 41
	19 333.686 96	-9.056 10	0.006 89		4 336.171 56	-9.743 08	0.007 39
	20 333.763 42	-9.095 28	0.006 92		5 336.245 30	-9.719 40	0.007 37
	21 333.845 51	-9.114 87	0.006 94		6 336.306 03	-9.692 12	0.007 35
	22 333.923 08	-9.115 43	0.006 93		7 336.353 31	-9.668 16	0.007 33
	23 333.988 64	-9.102 01	0.006 92		8 336.389 74	-9.654 74	0.007 32
	24 334.038 44	-9.081 89	0.006 90		9 336.421 26	-9.657 85	0.007 32
	25 334.072 30	-9.062 53	0.006 89		10 336.456 59	-9.680 19	0.007 33
	26 334.092 87	-9.050 23	0.006 88		11 336.505 43	-9.719 39	0.007 37
	27 334.104 59	-9.049 35	0.006 88		12 336.575 35	-9.767 31	0.007 40
	28 334.112 84	-9.062 02	0.006 89		13 336.668 41	-9.811 74	0.007 44
	29 334.123 04	-9.088 14	0.006 91		14 336.779 39	-9.840 54	0.007 46
	30 334.139 98	-9.125 58	0.006 94		15 336.897 25	-9.846 40	0.007 46
	31 334.167 24	-9.170 65	0.006 97		16 337.009 38	-9.829 37	0.007 44
Nov.	1 334.206 76	-9.218 65	0.007 01		17 337.106 11	-9.795 97	0.007 41
	2 334.258 70	-9.264 53	0.007 05		18 337.183 14	-9.755 91	0.007 38
	3 334.321 44	-9.303 63	0.007 08		19 337.241 44	-9.718 52	0.007 35
	4 334.391 91	-9.332 20	0.007 10		20 337.285 52	-9.690 63	0.007 32
	5 334.465 86	-9.347 95	0.007 11		21 337.321 53	-9.675 86	0.007 31
	6 334.538 41	-9.350 41	0.007 11		22 337.355 72	-9.674 91	0.007 31
	7 334.604 60	-9.341 23	0.007 10		23 337.393 60	-9.686 23	0.007 32
	8 334.660 11	-9.324 33	0.007 09		24 337.439 44	-9.706 62	0.007 33
	9 334.702 24	-9.305 86	0.007 07		25 337.496 07	-9.731 79	0.007 35
	10 334.730 96	-9.293 62	0.007 06		26 337.564 69	-9.756 87	0.007 37
	11 334.750 07	-9.295 67	0.007 06		27 337.644 79	-9.776 88	0.007 39
	12 334.767 39	-9.317 91	0.007 08		28 337.734 09	-9.787 29	0.007 39
	13 334.793 54	-9.361 25	0.007 11		29 337.828 74	-9.784 75	0.007 39
	14 334.838 55	-9.419 73	0.007 16		30 337.923 68	-9.767 66	0.007 37
	15 334.907 51	-9.481 52	0.007 21		31 338.013 45	-9.736 76	0.007 34
	16 334.997 87	-9.533 21	0.007 25		32 338.093 05	-9.695 29	0.007 31

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 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° / "	"	ua		° / "	"	ua		
Janv.	0	278 44 41.92	+7.10	0.983 326 44	Févr.	15	325 30 28.86	+2.94	0.987 567 75
	1	279 45 50.47	+7.19	0.983 313 63		16	326 31 5.75	+2.76	0.987 757 17
	2	280 46 59.39	+7.27	0.983 306 21		17	327 31 40.87	+2.61	0.987 950 50
	3	281 48 8.66	+7.35	0.983 303 95		18	328 32 14.23	+2.49	0.988 147 97
	4	282 49 18.25	+7.41	0.983 306 62		19	329 32 45.84	+2.41	0.988 349 78
	5	283 50 28.09	+7.45	0.983 313 99		20	330 33 15.70	+2.35	0.988 556 06
	6	284 51 38.14	+7.47	0.983 325 85		21	331 33 43.86	+2.31	0.988 766 91
	7	285 52 48.32	+7.46	0.983 341 97		22	332 34 10.35	+2.30	0.988 982 35
	8	286 53 58.57	+7.42	0.983 362 16		23	333 34 35.18	+2.30	0.989 202 37
	9	287 55 8.80	+7.35	0.983 386 22		24	334 34 58.40	+2.30	0.989 426 87
	10	288 56 18.91	+7.25	0.983 414 04		25	335 35 20.04	+2.31	0.989 655 75
	11	289 57 28.81	+7.11	0.983 445 52		26	336 35 40.12	+2.31	0.989 888 83
	12	290 58 38.39	+6.95	0.983 480 66		27	337 35 58.66	+2.30	0.990 125 91
	13	291 59 47.53	+6.77	0.983 519 51		28	338 36 15.67	+2.27	0.990 366 78
14	293 0 56.15	+6.57	0.983 562 23	29	339 36 31.18	+2.22	0.990 611 16		
15	294 2 4.14	+6.36	0.983 609 02	Mars	1	340 36 45.18	+2.15	0.990 858 79	
16	295 3 11.43	+6.15	0.983 660 18		2	341 36 57.67	+2.05	0.991 109 37	
17	296 4 17.96	+5.96	0.983 715 99		3	342 37 8.65	+1.92	0.991 362 58	
18	297 5 23.68	+5.78	0.983 776 79		4	343 37 18.09	+1.76	0.991 618 07	
19	298 6 28.57	+5.62	0.983 842 88		5	344 37 25.98	+1.57	0.991 875 50	
20	299 7 32.63	+5.49	0.983 914 56		6	345 37 32.27	+1.35	0.992 134 50	
21	300 8 35.84	+5.39	0.983 992 07		7	346 37 36.92	+1.10	0.992 394 73	
22	301 9 38.24	+5.31	0.984 075 59		8	347 37 39.84	+0.84	0.992 655 85	
23	302 10 39.85	+5.27	0.984 165 24		9	348 37 40.97	+0.56	0.992 917 62	
24	303 11 40.68	+5.25	0.984 261 06		10	349 37 40.20	+0.28	0.993 179 88	
25	304 12 40.78	+5.26	0.984 363 02	11	350 37 37.44	+0.01	0.993 442 55		
26	305 13 40.15	+5.28	0.984 471 05	12	351 37 32.61	-0.24	0.993 705 71		
27	306 14 38.83	+5.31	0.984 585 00	13	352 37 25.62	-0.47	0.993 969 51		
28	307 15 36.82	+5.35	0.984 704 69	14	353 37 16.41	-0.68	0.994 234 16		
29	308 16 34.12	+5.38	0.984 829 92	15	354 37 4.94	-0.85	0.994 499 91		
30	309 17 30.74	+5.41	0.984 960 46	16	355 36 51.20	-0.98	0.994 767 02		
Févr.	31	310 18 26.65	+5.42	0.985 096 06	17	356 36 35.17	-1.09	0.995 035 72	
	1	311 19 21.85	+5.42	0.985 236 46	18	357 36 16.88	-1.16	0.995 306 24	
	2	312 20 16.30	+5.39	0.985 381 38	19	358 35 56.34	-1.21	0.995 578 72	
	3	313 21 9.97	+5.34	0.985 530 55	20	359 35 33.58	-1.24	0.995 853 30	
	4	314 22 2.83	+5.26	0.985 683 66	21	0 35 8.64	-1.25	0.996 130 06	
	5	315 22 54.82	+5.14	0.985 840 43	22	1 34 41.56	-1.26	0.996 409 03	
	6	316 23 45.88	+4.99	0.986 000 55	23	2 34 12.38	-1.26	0.996 690 20	
	7	317 24 35.94	+4.82	0.986 163 76	24	3 33 41.15	-1.26	0.996 973 52	
	8	318 25 24.90	+4.61	0.986 329 82	25	4 33 7.91	-1.27	0.997 258 89	
	9	319 26 12.69	+4.38	0.986 498 53	26	5 32 32.71	-1.29	0.997 546 17	
	10	320 26 59.18	+4.13	0.986 669 82	27	6 31 55.59	-1.33	0.997 835 21	
	11	321 27 44.27	+3.88	0.986 843 67	28	7 31 16.58	-1.39	0.998 125 78	
	12	322 28 27.87	+3.62	0.987 020 18	29	8 30 35.74	-1.48	0.998 417 65	
	13	323 29 9.87	+3.37	0.987 199 53	30	9 29 53.07	-1.60	0.998 710 55	
14	324 29 50.22	+3.14	0.987 381 96	31	10 29 8.62	-1.74	0.999 004 18		

SOLEIL 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	longitude			latitude	rayon v.	Date	longitude			latitude	rayon v.		
	°	'	''	''	ua		°	'	''	''	ua		
Avril	1	11	28	22.40	-1.92	0.999 298 21	Mai	17	56	18	14.36	-6.74	1.011 318 15
	2	12	27	34.42	-2.12	0.999 592 28		18	57	16	1.38	-6.68	1.011 520 97
	3	13	26	44.68	-2.34	0.999 886 02		19	58	13	46.82	-6.63	1.011 721 32
	4	14	25	53.17	-2.59	1.000 179 01		20	59	11	30.74	-6.59	1.011 919 28
	5	15	24	59.85	-2.85	1.000 470 88		21	60	9	13.20	-6.58	1.012 114 92
	6	16	24	4.69	-3.11	1.000 761 25		22	61	6	54.28	-6.58	1.012 308 23
	7	17	23	7.61	-3.37	1.001 049 83		23	62	4	34.05	-6.61	1.012 499 19
	8	18	22	8.55	-3.62	1.001 336 41		24	63	2	12.60	-6.67	1.012 687 75
	9	19	21	7.41	-3.85	1.001 620 91		25	63	59	49.99	-6.74	1.012 873 79
	10	20	20	4.13	-4.05	1.001 903 36		26	64	57	26.30	-6.85	1.013 057 16
	11	21	18	58.63	-4.21	1.002 183 90		27	65	55	1.61	-6.97	1.013 237 65
	12	22	17	50.89	-4.34	1.002 462 74		28	66	52	35.98	-7.12	1.013 415 00
	13	23	16	40.86	-4.44	1.002 740 10		29	67	50	9.48	-7.27	1.013 588 91
	14	24	15	28.54	-4.50	1.003 016 23		30	68	47	42.15	-7.44	1.013 759 06
	15	25	14	13.95	-4.54	1.003 291 37		31	69	45	14.03	-7.60	1.013 925 05
16	26	12	57.10	-4.55	1.003 565 71	Juin	1	70	42	45.13	-7.75	1.014 086 52	
17	27	11	38.03	-4.55	1.003 839 42		2	71	40	15.47	-7.89	1.014 243 07	
18	28	10	16.78	-4.54	1.004 112 63		3	72	37	45.01	-8.00	1.014 394 36	
19	29	8	53.39	-4.51	1.004 385 43		4	73	35	13.74	-8.09	1.014 540 10	
20	30	7	27.91	-4.49	1.004 657 90		5	74	32	41.59	-8.14	1.014 680 12	
21	31	6	0.40	-4.48	1.004 930 06		6	75	30	8.52	-8.15	1.014 814 32	
22	32	4	30.92	-4.47	1.005 201 89		7	76	27	34.49	-8.14	1.014 942 74	
23	33	2	59.53	-4.49	1.005 473 36		8	77	24	59.45	-8.09	1.015 065 50	
24	34	1	26.29	-4.52	1.005 744 36		9	78	22	23.38	-8.01	1.015 182 78	
25	34	59	51.27	-4.57	1.006 014 78		10	79	19	46.26	-7.92	1.015 294 80	
26	35	58	14.52	-4.65	1.006 284 45	11	80	17	8.11	-7.81	1.015 401 81		
27	36	56	36.10	-4.76	1.006 553 16	12	81	14	28.95	-7.69	1.015 504 04		
28	37	54	56.06	-4.89	1.006 820 68	13	82	11	48.79	-7.57	1.015 601 74		
29	38	53	14.47	-5.05	1.007 086 71	14	83	9	7.68	-7.46	1.015 695 11		
30	39	51	31.35	-5.23	1.007 350 95	15	84	6	25.67	-7.35	1.015 784 36		
Mai	1	40	49	46.74	-5.43	1.007 613 04	16	85	3	42.80	-7.26	1.015 869 67	
	2	41	48	0.67	-5.65	1.007 872 58	17	86	0	59.13	-7.19	1.015 951 22	
	3	42	46	13.14	-5.87	1.008 129 19	18	86	58	14.74	-7.13	1.016 029 14	
	4	43	44	24.14	-6.09	1.008 382 45	19	87	55	29.68	-7.10	1.016 103 57	
	5	44	42	33.64	-6.30	1.008 631 99	20	88	52	44.05	-7.10	1.016 174 59	
	6	45	40	41.59	-6.49	1.008 877 52	21	89	49	57.92	-7.12	1.016 242 26	
	7	46	38	47.94	-6.65	1.009 118 82	22	90	47	11.38	-7.17	1.016 306 58	
	8	47	36	52.62	-6.79	1.009 355 80	23	91	44	24.51	-7.23	1.016 367 49	
	9	48	34	55.57	-6.88	1.009 588 49	24	92	41	37.41	-7.32	1.016 424 91	
	10	49	32	56.74	-6.95	1.009 817 01	25	93	38	50.17	-7.42	1.016 478 66	
	11	50	30	56.09	-6.98	1.010 041 56	26	94	36	2.85	-7.52	1.016 528 51	
	12	51	28	53.62	-6.98	1.010 262 36	27	95	33	15.54	-7.63	1.016 574 20	
	13	52	26	49.32	-6.96	1.010 479 66	28	96	30	28.28	-7.72	1.016 615 39	
	14	53	24	43.21	-6.92	1.010 693 70	29	97	27	41.11	-7.80	1.016 651 75	
	15	54	22	35.32	-6.86	1.010 904 67	30	98	24	54.07	-7.86	1.016 682 91	
	16	55	20	25.69	-6.80	1.011 112 77	Juill.	1	99	22	7.15	-7.89	1.016 708 54

SOLEIL 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua		
Juill.	2	100 19 20.35	-7.89	1.016 728 31	Août	17	144 17 43.95	-3.35	1.012 385 45
	3	101 16 33.64	-7.85	1.016 742 01		18	145 15 24.46	-3.35	1.012 192 31
	4	102 13 46.97	-7.78	1.016 749 46		19	146 13 6.27	-3.37	1.011 997 07
	5	103 11 0.32	-7.68	1.016 750 63		20	147 10 49.46	-3.39	1.011 799 80
	6	104 8 13.63	-7.55	1.016 745 53		21	148 8 34.15	-3.41	1.011 600 51
	7	105 5 26.89	-7.40	1.016 734 28		22	149 6 20.42	-3.42	1.011 399 09
	8	106 2 40.06	-7.23	1.016 717 07		23	150 4 8.36	-3.40	1.011 195 36
	9	106 59 53.14	-7.06	1.016 694 10		24	151 1 58.02	-3.36	1.010 989 09
	10	107 57 6.13	-6.88	1.016 665 62		25	151 59 49.45	-3.29	1.010 779 99
	11	108 54 19.04	-6.70	1.016 631 87		26	152 57 42.70	-3.18	1.010 567 77
	12	109 51 31.89	-6.54	1.016 593 12		27	153 55 37.77	-3.04	1.010 352 16
	13	110 48 44.72	-6.38	1.016 549 60	28	154 53 34.65	-2.87	1.010 132 89	
	14	111 45 57.56	-6.25	1.016 501 57	29	155 51 33.34	-2.67	1.009 909 78	
	15	112 43 10.46	-6.14	1.016 449 26	30	156 49 33.80	-2.44	1.009 682 66	
	16	113 40 23.47	-6.05	1.016 392 91	31	157 47 36.00	-2.20	1.009 451 46	
	17	114 37 36.65	-5.99	1.016 332 72	Sept.	1	158 45 39.91	-1.95	1.009 216 15
	18	115 34 50.07	-5.95	1.016 268 91		2	159 43 45.47	-1.69	1.008 976 78
	19	116 32 3.81	-5.94	1.016 201 63		3	160 41 52.67	-1.43	1.008 733 45
	20	117 29 17.95	-5.95	1.016 131 04		4	161 40 1.47	-1.18	1.008 486 30
	21	118 26 32.58	-5.99	1.016 057 20		5	162 38 11.83	-0.94	1.008 235 54
	22	119 23 47.80	-6.03	1.015 980 14		6	163 36 23.74	-0.72	1.007 981 38
	23	120 21 3.70	-6.09	1.015 899 80		7	164 34 37.19	-0.52	1.007 724 08
	24	121 18 20.37	-6.14	1.015 816 05		8	165 32 52.16	-0.35	1.007 463 89
	25	122 15 37.90	-6.19	1.015 728 69		9	166 31 8.66	-0.21	1.007 201 11
	26	123 12 56.35	-6.22	1.015 637 47		10	167 29 26.68	-0.09	1.006 936 04
	27	124 10 15.79	-6.24	1.015 542 08	11	168 27 46.24	+0.00	1.006 669 01	
	28	125 7 36.26	-6.22	1.015 442 21	12	169 26 7.36	+0.06	1.006 400 33	
	29	126 4 57.77	-6.17	1.015 337 54	13	170 24 30.06	+0.09	1.006 130 36	
	30	127 2 20.32	-6.09	1.015 227 76	14	171 22 54.40	+0.11	1.005 859 43	
	31	127 59 43.91	-5.98	1.015 112 63	15	172 21 20.41	+0.11	1.005 587 87	
	Août	1	128 57 8.51	-5.83	1.014 991 95	16	173 19 48.17	+0.10	1.005 315 96
2		129 54 34.09	-5.66	1.014 865 61	17	174 18 17.77	+0.09	1.005 043 93	
3		130 52 0.62	-5.46	1.014 733 58	18	175 16 49.28	+0.09	1.004 771 91	
4		131 49 28.05	-5.24	1.014 595 89	19	176 15 22.80	+0.11	1.004 499 93	
5		132 46 56.36	-5.01	1.014 452 65	20	177 13 58.42	+0.15	1.004 227 92	
6		133 44 25.52	-4.79	1.014 304 04	21	178 12 36.21	+0.23	1.003 955 72	
7		134 41 55.51	-4.56	1.014 150 25	22	179 11 16.22	+0.33	1.003 683 10	
8		135 39 26.34	-4.34	1.013 991 53	23	180 9 58.50	+0.47	1.003 409 80	
9		136 36 58.00	-4.14	1.013 828 12	24	181 8 43.06	+0.64	1.003 135 54	
10		137 34 30.50	-3.95	1.013 660 30	25	182 7 29.89	+0.84	1.002 860 09	
11		138 32 3.86	-3.78	1.013 488 34	26	183 6 19.00	+1.07	1.002 583 24	
12		139 29 38.10	-3.65	1.013 312 51	27	184 5 10.34	+1.31	1.002 304 80	
13		140 27 13.26	-3.53	1.013 133 11	28	185 4 3.89	+1.57	1.002 024 66	
14		141 24 49.37	-3.45	1.012 950 43	29	186 2 59.61	+1.83	1.001 742 75	
15		142 22 26.48	-3.39	1.012 764 74	30	187 1 57.45	+2.09	1.001 459 05	
16		143 20 4.65	-3.36	1.012 576 33	Oct.	1	188 0 57.36	+2.34	1.001 173 58

SOLEIL 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude	rayon v.	Date	longitude			latitude	rayon v.		
	°	'	"	"	ua		°	'	"	"	ua		
Oct.	2	188	59	59.29	+2.58	1.000 886 44	Nov.	17	234	50	10.98	+6.43	0.988 654 95
	3	189	59	3.21	+2.80	1.000 597 73		18	235	50	40.02	+6.55	0.988 447 25
	4	190	58	9.06	+3.00	1.000 307 64		19	236	51	10.84	+6.69	0.988 244 01
	5	191	57	16.81	+3.18	1.000 016 34		20	237	51	43.46	+6.85	0.988 044 98
	6	192	56	26.43	+3.33	0.999 724 08		21	238	52	17.87	+7.03	0.987 849 92
	7	193	55	37.87	+3.45	0.999 431 11		22	239	52	54.03	+7.21	0.987 658 60
	8	194	54	51.11	+3.54	0.999 137 70		23	240	53	31.93	+7.39	0.987 470 79
	9	195	54	6.14	+3.60	0.998 844 17		24	241	54	11.50	+7.57	0.987 286 33
	10	196	53	22.93	+3.64	0.998 550 85		25	242	54	52.69	+7.72	0.987 105 05
	11	197	52	41.49	+3.65	0.998 258 08		26	243	55	35.45	+7.87	0.986 926 83
	12	198	52	1.81	+3.65	0.997 966 24		27	244	56	19.70	+7.98	0.986 751 59
	13	199	51	23.92	+3.64	0.997 675 72	28	245	57	5.38	+8.08	0.986 579 27	
	14	200	50	47.85	+3.62	0.997 386 89	29	246	57	52.41	+8.14	0.986 409 84	
	15	201	50	13.64	+3.60	0.997 100 08	30	247	58	40.71	+8.18	0.986 243 30	
	16	202	49	41.37	+3.60	0.996 815 57	Déc.	1	248	59	30.20	+8.19	0.986 079 71
	17	203	49	11.11	+3.62	0.996 533 54		2	250	0	20.81	+8.16	0.985 919 14
	18	204	48	42.94	+3.66	0.996 254 04		3	251	1	12.44	+8.12	0.985 761 73
	19	205	48	16.94	+3.74	0.995 977 03		4	252	2	5.03	+8.04	0.985 607 62
	20	206	47	53.16	+3.85	0.995 702 34		5	253	2	58.50	+7.95	0.985 457 04
	21	207	47	31.65	+3.99	0.995 429 76		6	254	3	52.78	+7.85	0.985 310 23
	22	208	47	12.43	+4.16	0.995 159 05		7	255	4	47.80	+7.74	0.985 167 47
	23	209	46	55.51	+4.36	0.994 889 95		8	256	5	43.52	+7.63	0.985 029 08
	24	210	46	40.86	+4.58	0.994 622 23		9	257	6	39.89	+7.52	0.984 895 43
	25	211	46	28.47	+4.80	0.994 355 69		10	258	7	36.88	+7.43	0.984 766 88
	26	212	46	18.29	+5.04	0.994 090 18		11	259	8	34.50	+7.36	0.984 643 81
	27	213	46	10.29	+5.27	0.993 825 56	12	260	9	32.74	+7.32	0.984 526 56	
	28	214	46	4.40	+5.49	0.993 561 76	13	261	10	31.65	+7.31	0.984 415 42	
	29	215	46	0.58	+5.71	0.993 298 74	14	262	11	31.26	+7.33	0.984 310 57	
	30	216	45	58.75	+5.90	0.993 036 49	15	263	12	31.63	+7.38	0.984 212 08	
	31	217	45	58.87	+6.07	0.992 775 05	16	264	13	32.80	+7.46	0.984 119 92	
	Nov.	1	218	46	0.87	+6.22	0.992 514 50	17	265	14	34.81	+7.56	0.984 033 95
2		219	46	4.68	+6.34	0.992 254 96	18	266	15	37.67	+7.67	0.983 953 95	
3		220	46	10.25	+6.43	0.991 996 57	19	267	16	41.40	+7.79	0.983 879 69	
4		221	46	17.51	+6.49	0.991 739 53	20	268	17	45.97	+7.91	0.983 810 89	
5		222	46	26.41	+6.53	0.991 484 06	21	269	18	51.37	+8.02	0.983 747 31	
6		223	46	36.90	+6.54	0.991 230 41	22	270	19	57.54	+8.12	0.983 688 70	
7		224	46	48.93	+6.52	0.990 978 86	23	271	21	4.45	+8.20	0.983 634 83	
8		225	47	2.45	+6.49	0.990 729 73	24	272	22	12.04	+8.25	0.983 585 52	
9		226	47	17.44	+6.44	0.990 483 39	25	273	23	20.24	+8.28	0.983 540 57	
10		227	47	33.88	+6.38	0.990 240 19	26	274	24	28.99	+8.28	0.983 499 82	
11		228	47	51.75	+6.33	0.990 000 54	27	275	25	38.21	+8.25	0.983 463 13	
12		229	48	11.08	+6.29	0.989 764 82	28	276	26	47.82	+8.20	0.983 430 40	
13		230	48	31.88	+6.26	0.989 533 40	29	277	27	57.74	+8.11	0.983 401 53	
14		231	48	54.21	+6.25	0.989 306 56	30	278	29	7.88	+7.99	0.983 376 50	
15		232	49	18.13	+6.28	0.989 084 51	31	279	30	18.14	+7.85	0.983 355 28	
16		233	49	43.70	+6.34	0.988 867 32	32	280	31	28.44	+7.70	0.983 337 93	

SOLEIL 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Janv.	0	18	39	0.791	-23	7	54.05	12	2	49.97	Févr.	15	21	51	56.283	-12	56	30.99	12	14	8.24
	1	18	43	26.002	-23	3	32.93	12	3	18.51		16	21	55	50.184	-12	35	58.11	12	14	5.21
	2	18	47	50.940	-22	58	44.15	12	3	46.75		17	21	59	43.345	-12	15	13.13	12	14	1.44
	3	18	52	15.574	-22	53	27.84	12	4	14.68		18	22	3	35.781	-11	54	16.47	12	13	56.95
	4	18	56	39.875	-22	47	44.17	12	4	42.25		19	22	7	27.504	-11	33	8.55	12	13	51.76
	5	19	1	3.812	-22	41	33.30	12	5	9.45		20	22	11	18.531	-11	11	49.76	12	13	45.89
	6	19	5	27.355	-22	34	55.42	12	5	36.23		21	22	15	8.878	-10	50	20.52	12	13	39.34
	7	19	9	50.473	-22	27	50.73	12	6	2.57		22	22	18	58.563	-10	28	41.20	12	13	32.14
	8	19	14	13.138	-22	20	19.45	12	6	28.44		23	22	22	47.605	-10	6	52.22	12	13	24.32
	9	19	18	35.316	-22	12	21.80	12	6	53.81		24	22	26	36.023	-9	44	53.94	12	13	15.88
	10	19	22	56.979	-22	3	58.03	12	7	18.65		25	22	30	23.837	-9	22	46.78	12	13	6.85
	11	19	27	18.094	-21	55	8.39	12	7	42.92		26	22	34	11.069	-9	0	31.10	12	12	57.24
	12	19	31	38.632	-21	45	53.13	12	8	6.60		27	22	37	57.737	-8	38	7.31	12	12	47.08
	13	19	35	58.564	-21	36	12.53	12	8	29.67		28	22	41	43.862	-8	15	35.79	12	12	36.39
14	19	40	17.865	-21	26	6.86	12	8	52.10	29	22	45	29.465	-7	52	56.93	12	12	25.19		
15	19	44	36.510	-21	15	36.40	12	9	13.86	Mars	1	22	49	14.563	-7	30	11.12	12	12	13.48	
16	19	48	54.479	-21	4	41.45	12	9	34.93		2	22	52	59.178	-7	7	18.76	12	12	1.31	
17	19	53	11.754	-20	53	22.32	12	9	55.30		3	22	56	43.326	-6	44	20.24	12	11	48.67	
18	19	57	28.317	-20	41	39.31	12	10	14.94		4	23	0	27.027	-6	21	15.97	12	11	35.59	
19	20	1	44.153	-20	29	32.77	12	10	33.85		5	23	4	10.298	-5	58	6.32	12	11	22.10	
20	20	5	59.251	-20	17	3.01	12	10	52.01		6	23	7	53.154	-5	34	51.72	12	11	8.20	
21	20	10	13.597	-20	4	10.40	12	11	9.42		7	23	11	35.613	-5	11	32.56	12	10	53.91	
22	20	14	27.181	-19	50	55.26	12	11	26.05		8	23	15	17.689	-4	48	9.24	12	10	39.25	
23	20	18	39.995	-19	37	17.95	12	11	41.91		9	23	18	59.398	-4	24	42.17	12	10	24.24	
24	20	22	52.031	-19	23	18.82	12	11	57.00		10	23	22	40.755	-4	1	11.74	12	10	8.88	
25	20	27	3.283	-19	8	58.22	12	12	11.30	11	23	26	21.777	-3	37	38.34	12	9	53.19		
26	20	31	13.747	-18	54	16.51	12	12	24.81	12	23	30	2.481	-3	14	2.38	12	9	37.19		
27	20	35	23.420	-18	39	14.05	12	12	37.53	13	23	33	42.883	-2	50	24.24	12	9	20.90		
28	20	39	32.300	-18	23	51.22	12	12	49.45	14	23	37	23.001	-2	26	44.31	12	9	4.33		
29	20	43	40.384	-18	8	8.38	12	13	0.59	15	23	41	2.853	-2	3	2.98	12	8	47.50		
30	20	47	47.673	-17	52	5.92	12	13	10.92	16	23	44	42.457	-1	39	20.64	12	8	30.43		
Févr.	31	20	51	54.165	-17	35	44.23	12	13	20.46	17	23	48	21.833	-1	15	37.66	12	8	13.15	
	1	20	55	59.860	-17	19	3.70	12	13	29.19	18	23	52	1.001	-0	51	54.40	12	7	55.67	
	2	21	0	4.759	-17	2	4.74	12	13	37.13	19	23	55	39.983	-0	28	11.24	12	7	38.02	
	3	21	4	8.862	-16	44	47.74	12	13	44.27	20	23	59	18.802	-0	4	28.53	12	7	20.21	
	4	21	8	12.170	-16	27	13.13	12	13	50.62	21	0	2	57.481	0	19	13.39	12	7	2.29	
	5	21	12	14.682	-16	9	21.32	12	13	56.16	22	0	6	36.044	0	42	54.16	12	6	44.26	
	6	21	16	16.400	-15	51	12.73	12	14	0.92	23	0	10	14.515	1	6	33.44	12	6	26.15	
	7	21	20	17.323	-15	32	47.79	12	14	4.88	24	0	13	52.919	1	30	10.89	12	6	7.98	
	8	21	24	17.450	-15	14	6.92	12	14	8.04	25	0	17	31.279	1	53	46.18	12	5	49.79	
	9	21	28	16.783	-14	55	10.57	12	14	10.42	26	0	21	9.620	2	17	18.97	12	5	31.58	
	10	21	32	15.322	-14	35	59.15	12	14	12.01	27	0	24	47.964	2	40	48.91	12	5	13.39	
	11	21	36	13.071	-14	16	33.10	12	14	12.80	28	0	28	26.336	3	4	15.67	12	4	55.24	
	12	21	40	10.034	-13	56	52.83	12	14	12.82	29	0	32	4.756	3	27	38.90	12	4	37.14	
	13	21	44	6.218	-13	36	58.77	12	14	12.06	30	0	35	43.247	3	50	58.27	12	4	19.12	
14	21	48	1.631	-13	16	51.35	12	14	10.53	31	0	39	21.829	4	14	13.43	12	4	1.20		

SOLEIL 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s
Avril	1 0 43 0.521	4 37 24.03	12 3 43.41	Mai	17 3 36 52.875	19 22 27.24	11 56 24.20
	2 0 46 39.343	5 0 29.71	12 3 25.75		18 3 40 51.498	19 35 43.78	11 56 26.54
	3 0 50 18.314	5 23 30.14	12 3 8.25		19 3 44 50.661	19 48 40.27	11 56 29.42
	4 0 53 57.449	5 46 24.95	12 2 50.93		20 3 48 50.362	20 1 16.46	11 56 32.83
	5 0 57 36.765	6 9 13.79	12 2 33.80		21 3 52 50.598	20 13 32.12	11 56 36.77
	6 1 1 16.279	6 31 56.30	12 2 16.87		22 3 56 51.363	20 25 27.01	11 56 41.24
	7 1 4 56.005	6 54 32.12	12 2 0.16		23 4 0 52.652	20 37 0.90	11 56 46.23
	8 1 8 35.957	7 17 0.90	12 1 43.69		24 4 4 54.459	20 48 13.55	11 56 51.74
	9 1 12 16.151	7 39 22.27	12 1 27.46		25 4 8 56.777	20 59 4.75	11 56 57.74
	10 1 15 56.597	8 1 35.89	12 1 11.49		26 4 12 59.596	21 9 34.28	11 57 4.25
	11 1 19 37.309	8 23 41.39	12 0 55.78		27 4 17 2.908	21 19 41.91	11 57 11.25
	12 1 23 18.298	8 45 38.40	12 0 40.36		28 4 21 6.702	21 29 27.44	11 57 18.72
	13 1 26 59.577	9 7 26.57	12 0 25.23		29 4 25 10.967	21 38 50.67	11 57 26.66
	14 1 30 41.161	9 29 5.56	12 0 10.42		30 4 29 15.690	21 47 51.38	11 57 35.06
	15 1 34 23.063	9 50 35.00	11 59 55.93		31 4 33 20.858	21 56 29.39	11 57 43.89
	16 1 38 5.299	10 11 54.57	11 59 41.79	Juin	1 4 37 26.457	22 4 44.51	11 57 53.15
	17 1 41 47.887	10 33 3.94	11 59 28.02		2 4 41 32.470	22 12 36.56	11 58 2.81
	18 1 45 30.844	10 54 2.77	11 59 14.62		3 4 45 38.879	22 20 5.38	11 58 12.85
	19 1 49 14.186	11 14 50.75	11 59 1.61		4 4 49 45.661	22 27 10.81	11 58 23.26
	20 1 52 57.931	11 35 27.56	11 58 49.02		5 4 53 52.795	22 33 52.70	11 58 33.99
	21 1 56 42.095	11 55 52.87	11 58 36.85		6 4 58 0.252	22 40 10.90	11 58 45.04
	22 2 0 26.696	12 16 6.38	11 58 25.13		7 5 2 8.007	22 46 5.27	11 58 56.37
	23 2 4 11.749	12 36 7.77	11 58 13.86		8 5 6 16.033	22 51 35.66	11 59 7.96
	24 2 7 57.269	12 55 56.73	11 58 3.07		9 5 10 24.304	22 56 41.94	11 59 19.79
	25 2 11 43.271	13 15 32.95	11 57 52.76	10	5 14 32.797	23 1 23.99	11 59 31.83
	26 2 15 29.769	13 34 56.12	11 57 42.95		11 5 18 41.489	23 5 41.70	11 59 44.06
	27 2 19 16.775	13 54 5.91	11 57 33.66		12 5 22 50.357	23 9 34.97	11 59 56.46
	28 2 23 4.300	14 13 2.03	11 57 24.89		13 5 26 59.381	23 13 3.72	12 0 9.01
	29 2 26 52.355	14 31 44.14	11 57 16.66		14 5 31 8.540	23 16 7.87	12 0 21.68
	30 2 30 40.949	14 50 11.94	11 57 8.97		15 5 35 17.812	23 18 47.37	12 0 34.45
Mai	1 2 34 30.092	15 8 25.10	11 57 1.83		16 5 39 27.178	23 21 2.17	12 0 47.30
	2 2 38 19.789	15 26 23.30	11 56 55.26		17 5 43 36.615	23 22 52.22	12 1 0.21
	3 2 42 10.048	15 44 6.23	11 56 49.25		18 5 47 46.104	23 24 17.50	12 1 13.16
	4 2 46 0.873	16 1 33.56	11 56 43.81		19 5 51 55.624	23 25 18.00	12 1 26.13
	5 2 49 52.269	16 18 44.98	11 56 38.94		20 5 56 5.153	23 25 53.70	12 1 39.10
	6 2 53 44.237	16 35 40.17	11 56 34.64		21 6 0 14.672	23 26 4.60	12 1 52.04
	7 2 57 36.777	16 52 18.83	11 56 30.91		22 6 4 24.159	23 25 50.71	12 2 4.95
	8 3 1 29.887	17 8 40.63	11 56 27.74		23 6 8 33.594	23 25 12.05	12 2 17.79
	9 3 5 23.561	17 24 45.27	11 56 25.14		24 6 12 42.957	23 24 8.64	12 2 30.55
	10 3 9 17.797	17 40 32.41	11 56 23.09		25 6 16 52.226	23 22 40.50	12 2 43.22
	11 3 13 12.588	17 56 1.76	11 56 21.59		26 6 21 1.383	23 20 47.67	12 2 55.76
	12 3 17 7.933	18 11 12.99	11 56 20.65		27 6 25 10.407	23 18 30.21	12 3 8.16
	13 3 21 3.827	18 26 5.81	11 56 20.27		28 6 29 19.278	23 15 48.17	12 3 20.40
	14 3 25 0.269	18 40 39.93	11 56 20.43		29 6 33 27.977	23 12 41.61	12 3 32.45
	15 3 28 57.259	18 54 55.05	11 56 21.14		30 6 37 36.482	23 9 10.64	12 3 44.29
	16 3 32 54.794	19 8 50.91	11 56 22.39	Juill.	1 6 41 44.770	23 5 15.34	12 3 55.90

SOLEIL 2016 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.	2 6 45 52.815	23 0 55.83	12 4 7.26	 Août	17 9 47 16.210	13 20 45.61	12 3 56.82
	3 6 50 0.593	22 56 12.23	12 4 18.33		18 9 50 59.505	13 1 27.59	12 3 43.31
	4 6 54 8.075	22 51 4.67	12 4 29.09		19 9 54 42.298	12 41 57.22	12 3 29.31
	5 6 58 15.235	22 45 33.28	12 4 39.52		20 9 58 24.606	12 22 14.79	12 3 14.83
	6 7 2 22.046	22 39 38.20	12 4 49.59		21 10 2 6.447	12 2 20.59	12 2 59.90
	7 7 6 28.483	22 33 19.57	12 4 59.27		22 10 5 47.839	11 42 14.92	12 2 44.53
	8 7 10 34.524	22 26 37.53	12 5 8.55		23 10 9 28.800	11 21 58.06	12 2 28.73
	9 7 14 40.148	22 19 32.25	12 5 17.41		24 10 13 9.348	11 1 30.34	12 2 12.53
	10 7 18 45.338	22 12 3.89	12 5 25.82		25 10 16 49.500	10 40 52.05	12 1 55.93
	11 7 22 50.075	22 4 12.62	12 5 33.77		26 10 20 29.270	10 20 3.52	12 1 38.96
	12 7 26 54.345	21 55 58.62	12 5 41.25		27 10 24 8.670	9 59 5.08	12 1 21.63
	13 7 30 58.133	21 47 22.10	12 5 48.24		28 10 27 47.713	9 37 57.07	12 1 3.94
	14 7 35 1.425	21 38 23.25	12 5 54.72		29 10 31 26.411	9 16 39.82	12 0 45.92
	15 7 39 4.208	21 29 2.27	12 6 0.69		30 10 35 4.775	8 55 13.66	12 0 27.57
	16 7 43 6.472	21 19 19.38	12 6 6.13		31 10 38 42.818	8 33 38.93	12 0 8.91
	17 7 47 8.206	21 9 14.80	12 6 11.03		 Sept.	1 10 42 20.551	8 11 55.96
18 7 51 9.400	20 58 48.75	12 6 15.39	2 10 45 57.990	7 50 5.09		11 59 30.70	
19 7 55 10.046	20 48 1.46	12 6 19.20	3 10 49 35.147	7 28 6.65		11 59 11.18	
20 7 59 10.137	20 36 53.17	12 6 22.45	4 10 53 12.039	7 6 0.98		11 58 51.40	
21 8 3 9.667	20 25 24.10	12 6 25.13	5 10 56 48.680	6 43 48.40		11 58 31.38	
22 8 7 8.630	20 13 34.48	12 6 27.26	6 11 0 25.087	6 21 29.25		11 58 11.13	
23 8 11 7.023	20 1 24.56	12 6 28.81	7 11 4 1.277	5 59 3.85		11 57 50.67	
24 8 15 4.846	19 48 54.58	12 6 29.79	8 11 7 37.266	5 36 32.56		11 57 30.02	
25 8 19 2.095	19 36 4.76	12 6 30.20	9 11 11 13.072	5 13 55.69		11 57 9.19	
26 8 22 58.771	19 22 55.38	12 6 30.04	10 11 14 48.712	4 51 13.59		11 56 48.21	
27 8 26 54.873	19 9 26.68	12 6 29.29	11 11 18 24.205	4 28 26.59	11 56 27.08		
28 8 30 50.398	18 55 38.95	12 6 27.97	12 11 21 59.569	4 5 35.01	11 56 5.84		
29 8 34 45.343	18 41 32.46	12 6 26.06	13 11 25 34.824	3 42 39.20	11 55 44.50		
30 8 38 39.704	18 27 7.51	12 6 23.57	14 11 29 9.991	3 19 39.48	11 55 23.08		
31 8 42 33.476	18 12 24.39	12 6 20.48	15 11 32 45.090	2 56 36.17	11 55 1.61		
 Août	1 8 46 26.652	17 57 23.41	12 6 16.79	16 11 36 20.145	2 33 29.59	11 54 40.11	
	2 8 50 19.229	17 42 4.86	12 6 12.51	17 11 39 55.181	2 10 20.04	11 54 18.61	
	3 8 54 11.200	17 26 29.05	12 6 7.62	18 11 43 30.224	1 47 7.83	11 53 57.12	
	4 8 58 2.563	17 10 36.27	12 6 2.12	19 11 47 5.302	1 23 53.27	11 53 35.68	
	5 9 1 53.317	16 54 26.84	12 5 56.02	20 11 50 40.439	1 0 36.64	11 53 14.31	
	6 9 5 43.461	16 38 1.05	12 5 49.31	21 11 54 15.662	0 37 18.27	11 52 53.04	
	7 9 9 32.999	16 21 19.20	12 5 41.99	22 11 57 50.993	0 13 58.48	11 52 31.88	
	8 9 13 21.933	16 4 21.59	12 5 34.07	23 12 1 26.453	- 0 9 22.39	11 52 10.86	
	9 9 17 10.267	15 47 8.55	12 5 25.56	24 12 5 2.062	- 0 32 44.00	11 51 49.99	
	10 9 20 58.007	15 29 40.37	12 5 16.45	25 12 8 37.838	- 0 56 6.01	11 51 29.31	
	11 9 24 45.160	15 11 57.37	12 5 6.76	26 12 12 13.799	- 1 19 28.05	11 51 8.82	
	12 9 28 31.733	14 53 59.87	12 4 56.49	27 12 15 49.963	- 1 42 49.77	11 50 48.54	
	13 9 32 17.734	14 35 48.16	12 4 45.65	28 12 19 26.349	- 2 6 10.82	11 50 28.50	
	14 9 36 3.172	14 17 22.57	12 4 34.25	29 12 23 2.973	- 2 29 30.83	11 50 8.71	
	15 9 39 48.056	13 58 43.41	12 4 22.30	30 12 26 39.853	- 2 52 49.45	11 49 49.18	
	16 9 43 32.398	13 39 50.99	12 4 9.82	 Oct.	1 12 30 17.009	- 3 16 6.31	11 49 29.93

SOLEIL 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s	
Oct.	2 12 33 54.457	- 3 39 21.05	11 49 10.99	Nov.	17 15 30 51.983	-19 1 42.10	11 45 2.21	
	3 12 37 32.215	- 4 2 33.30	11 48 52.36		18 15 35 0.746	-19 16 5.95	11 45 14.83	
	4 12 41 10.301	- 4 25 42.70	11 48 34.07		19 15 39 10.351	-19 30 9.11	11 45 28.28	
	5 12 44 48.733	- 4 48 48.87	11 48 16.13		20 15 43 20.791	-19 43 51.19	11 45 42.58	
	6 12 48 27.527	- 5 11 51.45	11 47 58.56		21 15 47 32.060	-19 57 11.84	11 45 57.70	
	7 12 52 6.702	- 5 34 50.05	11 47 41.37		22 15 51 44.148	-20 10 10.69	11 46 13.63	
	8 12 55 46.274	- 5 57 44.30	11 47 24.59		23 15 55 57.044	-20 22 47.38	11 46 30.37	
	9 12 59 26.262	- 6 20 33.83	11 47 8.24		24 16 0 10.736	-20 35 1.55	11 46 47.90	
	10 13 3 6.682	- 6 43 18.25	11 46 52.32		25 16 4 25.211	-20 46 52.88	11 47 6.21	
	11 13 6 47.553	- 7 5 57.19	11 46 36.87		26 16 8 40.452	-20 58 21.00	11 47 25.27	
	12 13 10 28.894	- 7 28 30.27	11 46 21.90		27 16 12 56.442	-21 9 25.60	11 47 45.07	
	13 13 14 10.723	- 7 50 57.12	11 46 7.43		28 16 17 13.161	-21 20 6.35	11 48 5.59	
	14 13 17 53.062	- 8 13 17.35	11 45 53.48		29 16 21 30.591	-21 30 22.94	11 48 26.81	
	15 13 21 35.935	- 8 35 30.62	11 45 40.08		30 16 25 48.706	-21 40 15.05	11 48 48.70	
	16 13 25 19.363	- 8 57 36.57	11 45 27.25		Déc.	1 16 30 7.485	-21 49 42.38	11 49 11.24
	17 13 29 3.373	- 9 19 34.85	11 45 15.00			2 16 34 26.901	-21 58 44.65	11 49 34.41
	18 13 32 47.988	- 9 41 25.11	11 45 3.37			3 16 38 46.929	-22 7 21.56	11 49 58.17
	19 13 36 33.230	-10 3 6.99	11 44 52.37			4 16 43 7.540	-22 15 32.85	11 50 22.51
	20 13 40 19.118	-10 24 40.13	11 44 42.02			5 16 47 28.707	-22 23 18.25	11 50 47.39
	21 13 44 5.671	-10 46 4.15	11 44 32.34			6 16 51 50.402	-22 30 37.50	11 51 12.79
	22 13 47 52.904	-11 7 18.65	11 44 23.36		7 16 56 12.596	-22 37 30.37	11 51 38.67	
	23 13 51 40.832	-11 28 23.24	11 44 15.08		8 17 0 35.262	-22 43 56.62	11 52 5.02	
	24 13 55 29.469	-11 49 17.53	11 44 7.51		9 17 4 58.372	-22 49 56.04	11 52 31.80	
	25 13 59 18.827	-12 10 1.10	11 44 0.68		10 17 9 21.901	-22 55 28.43	11 52 58.98	
	26 14 3 8.921	-12 30 33.56	11 43 54.58		11 17 13 45.821	-23 0 33.63	11 53 26.53	
	27 14 6 59.760	-12 50 54.49	11 43 49.25		12 17 18 10.108	-23 5 11.47	11 53 54.44	
28 14 10 51.357	-13 11 3.49	11 43 44.67	13 17 22 34.736	-23 9 21.81	11 54 22.68			
29 14 14 43.721	-13 31 0.15	11 43 40.86	14 17 26 59.677	-23 13 4.52	11 54 51.21			
30 14 18 36.861	-13 50 44.06	11 43 37.83	15 17 31 24.906	-23 16 19.51	11 55 20.01			
31 14 22 30.785	-14 10 14.80	11 43 35.59	16 17 35 50.391	-23 19 6.64	11 55 49.06			
Nov.	1 14 26 25.501	-14 29 31.96	11 43 34.14	17 17 40 16.104	-23 21 25.83	11 56 18.33		
	2 14 30 21.014	-14 48 35.13	11 43 33.49	18 17 44 42.016	-23 23 16.98	11 56 47.78		
	3 14 34 17.331	-15 7 23.88	11 43 33.64	19 17 49 8.094	-23 24 40.03	11 57 17.38		
	4 14 38 14.455	-15 25 57.80	11 43 34.61	20 17 53 34.309	-23 25 34.90	11 57 47.11		
	5 14 42 12.390	-15 44 16.47	11 43 36.38	21 17 58 0.628	-23 26 1.56	11 58 16.93		
	6 14 46 11.139	-16 2 19.48	11 43 38.97	22 18 2 27.017	-23 25 59.99	11 58 46.80		
	7 14 50 10.705	-16 20 6.40	11 43 42.38	23 18 6 53.442	-23 25 30.17	11 59 16.68		
	8 14 54 11.090	-16 37 36.82	11 43 46.61	24 18 11 19.869	-23 24 32.10	11 59 46.55		
	9 14 58 12.297	-16 54 50.32	11 43 51.67	25 18 15 46.262	-23 23 5.82	12 0 16.37		
	10 15 2 14.329	-17 11 46.50	11 43 57.56	26 18 20 12.585	-23 21 11.35	12 0 46.10		
	11 15 6 17.188	-17 28 24.95	11 44 4.27	27 18 24 38.801	-23 18 48.75	12 1 15.70		
	12 15 10 20.880	-17 44 45.28	11 44 11.82	28 18 29 4.873	-23 15 58.09	12 1 45.13		
	13 15 14 25.409	-18 0 47.11	11 44 20.21	29 18 33 30.764	-23 12 39.44	12 2 14.36		
	14 15 18 30.780	-18 16 30.07	11 44 29.44	30 18 37 56.435	-23 8 52.91	12 2 43.36		
	15 15 22 36.999	-18 31 53.79	11 44 39.52	31 18 42 21.851	-23 4 38.61	12 3 12.08		
	16 15 26 44.067	-18 46 57.93	11 44 50.44	32 18 46 46.974	-22 59 56.65	12 3 40.50		

SOLEIL 2016 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Janv.	0	0.149 501 78	-0.891 709 80	-0.386 566 62	Févr.	15	0.813 958 70	-0.513 108 03	-0.222 444 24
	1	0.166 760 78	-0.889 117 91	-0.385 442 45		16	0.823 850 44	-0.499 956 95	-0.216 743 48
	2	0.183 969 38	-0.886 249 40	-0.384 198 35		17	0.833 488 50	-0.486 653 84	-0.210 976 65
	3	0.201 122 21	-0.883 104 84	-0.382 834 63		18	0.842 870 47	-0.473 202 99	-0.205 145 59
	4	0.218 213 84	-0.879 684 93	-0.381 351 59		19	0.851 994 02	-0.459 608 59	-0.199 252 15
	5	0.235 238 83	-0.875 990 48	-0.379 749 63		20	0.860 856 88	-0.445 874 82	-0.193 298 13
	6	0.252 191 70	-0.872 022 38	-0.378 029 15		21	0.869 456 82	-0.432 005 82	-0.187 285 36
	7	0.269 066 94	-0.867 781 67	-0.376 190 63		22	0.877 791 67	-0.418 005 71	-0.181 215 65
	8	0.285 859 02	-0.863 269 50	-0.374 234 57		23	0.885 859 25	-0.403 878 60	-0.175 090 80
	9	0.302 562 38	-0.858 487 19	-0.372 161 55		24	0.893 657 43	-0.389 628 60	-0.168 912 65
	10	0.319 171 46	-0.853 436 18	-0.369 972 21		25	0.901 184 10	-0.375 259 86	-0.162 683 00
	11	0.335 680 72	-0.848 118 12	-0.367 667 25		26	0.908 437 15	-0.360 776 54	-0.156 403 71
	12	0.352 084 63	-0.842 534 82	-0.365 247 43		27	0.915 414 53	-0.346 182 86	-0.150 076 63
	13	0.368 377 78	-0.836 688 28	-0.362 713 60		28	0.922 114 20	-0.331 483 05	-0.143 703 62
14	0.384 554 82	-0.830 580 67	-0.360 066 66	29	0.928 534 19	-0.316 681 44	-0.137 286 58		
15	0.400 610 56	-0.824 214 29	-0.357 307 57	Mars	1	0.934 672 53	-0.301 782 36	-0.130 827 41	
16	0.416 539 96	-0.817 591 57	-0.354 437 34		2	0.940 527 34	-0.286 790 24	-0.124 328 05	
17	0.432 338 11	-0.810 715 04	-0.351 457 02		3	0.946 096 76	-0.271 709 55	-0.117 790 45	
18	0.448 000 30	-0.803 587 25	-0.348 367 68		4	0.951 379 01	-0.256 544 85	-0.111 216 59	
19	0.463 521 91	-0.796 210 80	-0.345 170 42		5	0.956 372 33	-0.241 300 75	-0.104 608 46	
20	0.478 898 49	-0.788 588 30	-0.341 866 34		6	0.961 075 06	-0.225 981 99	-0.097 968 12	
21	0.494 125 65	-0.780 722 35	-0.338 456 56		7	0.965 485 61	-0.210 593 39	-0.091 297 63	
22	0.509 199 12	-0.772 615 53	-0.334 942 20		8	0.969 602 52	-0.195 139 92	-0.084 599 11	
23	0.524 114 64	-0.764 270 39	-0.331 324 36		9	0.973 424 48	-0.179 626 62	-0.077 874 71	
24	0.538 868 01	-0.755 689 49	-0.327 604 16		10	0.976 950 37	-0.164 058 64	-0.071 126 63	
25	0.553 455 02	-0.746 875 37	-0.323 782 75	11	0.980 179 31	-0.148 441 21	-0.064 357 07		
26	0.567 871 46	-0.737 830 62	-0.319 861 25	12	0.983 110 65	-0.132 779 52	-0.057 568 24		
27	0.582 113 11	-0.728 557 82	-0.315 840 84	13	0.985 743 95	-0.117 078 75	-0.050 762 34		
28	0.596 175 74	-0.719 059 65	-0.311 722 68	14	0.988 078 99	-0.101 343 97	-0.043 941 54		
29	0.610 055 11	-0.709 338 83	-0.307 508 01	15	0.990 115 70	-0.085 580 17	-0.037 108 00		
30	0.623 746 98	-0.699 398 14	-0.303 198 05	16	0.991 854 10	-0.069 792 23	-0.030 263 81		
Févr.	31	0.637 247 14	-0.689 240 47	-0.298 794 08	17	0.993 294 34	-0.053 984 92	-0.023 411 06	
	1	0.650 551 36	-0.678 868 79	-0.294 297 42	18	0.994 436 59	-0.038 162 92	-0.016 551 78	
	2	0.663 655 45	-0.668 286 13	-0.289 709 42	19	0.995 281 10	-0.022 330 85	-0.009 687 99	
	3	0.676 555 24	-0.657 495 66	-0.285 031 45	20	0.995 828 14	-0.006 493 26	-0.002 821 71	
	4	0.689 246 56	-0.646 500 60	-0.280 264 94	21	0.996 078 01	0.009 345 35	0.004 045 10	
	5	0.701 725 28	-0.635 304 31	-0.275 411 35	22	0.996 031 05	0.025 180 50	0.010 910 46	
	6	0.713 987 30	-0.623 910 27	-0.270 472 18	23	0.995 687 63	0.041 007 75	0.017 772 42	
	7	0.726 028 56	-0.612 322 08	-0.265 449 01	24	0.995 048 13	0.056 822 68	0.024 629 03	
	8	0.737 845 04	-0.600 543 49	-0.260 343 45	25	0.994 112 98	0.072 620 88	0.031 478 33	
	9	0.749 432 85	-0.588 578 44	-0.255 157 16	26	0.992 882 61	0.088 397 91	0.038 318 38	
	10	0.760 788 21	-0.576 430 99	-0.249 891 88	27	0.991 357 52	0.104 149 35	0.045 147 25	
	11	0.771 907 49	-0.564 105 36	-0.244 549 39	28	0.989 538 23	0.119 870 78	0.051 962 99	
	12	0.782 787 29	-0.551 605 85	-0.239 131 53	29	0.987 425 31	0.135 557 71	0.058 763 64	
13	0.793 424 39	-0.538 936 86	-0.233 640 13	30	0.985 019 37	0.151 205 69	0.065 547 25		
14	0.803 815 80	-0.526 102 79	-0.228 077 08	31	0.982 321 08	0.166 810 20	0.072 311 86		

SOLEIL 2016 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Avril	1	0.979 331 16	0.182 366 69	0.079 055 51	Mai	17	0.561 065 68	0.771 991 13	0.334 663 12
	2	0.976 050 41	0.197 870 59	0.085 776 20		18	0.546 953 83	0.780 690 62	0.338 435 12
	3	0.972 479 68	0.213 317 25	0.092 471 96		19	0.532 687 04	0.789 167 27	0.342 110 45
	4	0.968 619 94	0.228 701 97	0.099 140 75		20	0.518 269 36	0.797 419 07	0.345 688 22
	5	0.964 472 24	0.244 019 98	0.105 780 55		21	0.503 704 83	0.805 444 02	0.349 167 55
	6	0.960 037 83	0.259 266 46	0.112 389 30		22	0.488 997 49	0.813 240 19	0.352 547 57
	7	0.955 318 11	0.274 436 51	0.118 964 94		23	0.474 151 37	0.820 805 66	0.355 827 44
	8	0.950 314 74	0.289 525 27	0.125 505 40		24	0.459 170 48	0.828 138 52	0.359 006 32
	9	0.945 029 59	0.304 527 90	0.132 008 64		25	0.444 058 84	0.835 236 89	0.362 083 41
	10	0.939 464 73	0.319 439 66	0.138 472 62		26	0.428 820 50	0.842 098 88	0.365 057 89
	11	0.933 622 43	0.334 255 98	0.144 895 40		27	0.413 459 51	0.848 722 60	0.367 928 94
	12	0.927 505 07	0.348 972 40	0.151 275 05		28	0.397 979 97	0.855 106 16	0.370 695 77
	13	0.921 115 13	0.363 584 65	0.157 609 72		29	0.382 386 05	0.861 247 64	0.373 357 59
	14	0.914 455 11	0.378 088 60	0.163 897 60		30	0.366 681 97	0.867 145 16	0.375 913 60
	15	0.907 527 56	0.392 480 22	0.170 136 93		31	0.350 872 06	0.872 796 80	0.378 363 01
16	0.900 335 03	0.406 755 60	0.176 325 98	Juin	1	0.334 960 76	0.878 200 68	0.380 705 05	
17	0.892 880 07	0.420 910 89	0.182 463 07		2	0.318 952 64	0.883 354 95	0.382 938 96	
18	0.885 165 26	0.434 942 33	0.188 546 52		3	0.302 852 44	0.888 257 86	0.385 064 01	
19	0.877 193 17	0.448 846 21	0.194 574 69		4	0.286 665 02	0.892 907 74	0.387 079 52	
20	0.868 966 40	0.462 618 87	0.200 545 97		5	0.270 395 38	0.897 303 10	0.388 984 87	
21	0.860 487 52	0.476 256 68	0.206 458 76		6	0.254 048 61	0.901 442 63	0.390 779 48	
22	0.851 759 17	0.489 756 07	0.212 311 48		7	0.237 629 84	0.905 325 20	0.392 462 87	
23	0.842 783 94	0.503 113 48	0.218 102 55		8	0.221 144 16	0.908 949 91	0.394 034 63	
24	0.833 564 50	0.516 325 36	0.223 830 43		9	0.204 596 67	0.912 315 98	0.395 494 40	
25	0.824 103 49	0.529 388 21	0.229 493 57		10	0.187 992 36	0.915 422 81	0.396 841 88	
26	0.814 403 59	0.542 298 50	0.235 090 44		11	0.171 336 19	0.918 269 89	0.398 076 82	
27	0.804 467 53	0.555 052 72	0.240 619 50		12	0.154 633 02	0.920 856 80	0.399 199 01	
28	0.794 298 04	0.567 647 35	0.246 079 22		13	0.137 887 65	0.923 183 21	0.400 208 26	
29	0.783 897 93	0.580 078 87	0.251 468 09		14	0.121 104 85	0.925 248 83	0.401 104 44	
30	0.773 270 03	0.592 343 72	0.256 784 58		15	0.104 289 32	0.927 053 46	0.401 887 40	
Mai	1	0.762 417 27	0.604 438 34	0.262 027 17	16	0.087 445 71	0.928 596 92	0.402 557 06	
	2	0.751 342 64	0.616 359 13	0.267 194 32	17	0.070 578 63	0.929 879 11	0.403 113 35	
	3	0.740 049 26	0.628 102 46	0.272 284 49	18	0.053 692 65	0.930 899 94	0.403 556 22	
	4	0.728 540 37	0.639 664 70	0.277 296 16	19	0.036 792 30	0.931 659 38	0.403 885 63	
	5	0.716 819 38	0.651 042 20	0.282 227 78	20	0.019 882 06	0.932 157 41	0.404 101 57	
	6	0.704 889 90	0.662 231 36	0.287 077 85	21	0.002 966 38	0.932 394 03	0.404 204 04	
	7	0.692 755 73	0.673 228 67	0.291 844 88	22	-0.013 950 30	0.932 369 25	0.404 193 05	
	8	0.680 420 85	0.684 030 75	0.296 527 44	23	-0.030 863 57	0.932 083 08	0.404 068 62	
	9	0.667 889 38	0.694 634 40	0.301 124 14	24	-0.047 769 00	0.931 535 52	0.403 830 76	
	10	0.655 165 50	0.705 036 59	0.305 633 69	25	-0.064 662 14	0.930 726 57	0.403 479 51	
	11	0.642 253 48	0.715 234 51	0.310 054 86	26	-0.081 538 51	0.929 656 22	0.403 014 89	
	12	0.629 157 53	0.725 225 48	0.314 386 46	27	-0.098 393 54	0.928 324 46	0.402 436 95	
	13	0.615 881 89	0.735 006 97	0.318 627 37	28	-0.115 222 60	0.926 731 34	0.401 745 72	
	14	0.602 430 74	0.744 576 57	0.322 776 52	29	-0.132 020 95	0.924 876 92	0.400 941 30	
	15	0.588 808 24	0.753 931 95	0.326 832 86	30	-0.148 783 77	0.922 761 36	0.400 023 77	
16	0.575 018 51	0.763 070 87	0.330 795 39	Juill.	1	-0.165 506 11	0.920 384 89	0.398 993 28	

SOLEIL 2016 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Juill.	2	-0.182 182 95	0.917 747 90	0.397 850 02	Août	17	-0.822 095 57	0.542 084 85	0.235 004 64
	3	-0.198 809 19	0.914 850 93	0.396 594 23		18	-0.831 733 12	0.529 253 98	0.229 441 75
	4	-0.215 379 73	0.911 694 73	0.395 226 23		19	-0.841 134 66	0.516 273 13	0.223 813 76
	5	-0.231 889 45	0.908 280 19	0.393 746 39		20	-0.850 297 64	0.503 145 59	0.218 122 16
	6	-0.248 333 29	0.904 608 40	0.392 155 17		21	-0.859 219 47	0.489 874 64	0.212 368 41
	7	-0.264 706 27	0.900 680 62	0.390 453 09		22	-0.867 897 49	0.476 463 56	0.206 553 97
	8	-0.281 003 52	0.896 498 21	0.388 640 69		23	-0.876 329 01	0.462 915 69	0.200 680 33
	9	-0.297 220 24	0.892 062 64	0.386 718 58		24	-0.884 511 27	0.449 234 43	0.194 749 01
	10	-0.313 351 78	0.887 375 48	0.384 687 41		25	-0.892 441 50	0.435 423 29	0.188 761 54
	11	-0.329 393 55	0.882 438 33	0.382 547 83		26	-0.900 116 89	0.421 485 93	0.182 719 52
	12	-0.345 341 05	0.877 252 88	0.380 300 56		27	-0.907 534 68	0.407 426 11	0.176 624 59
13	-0.361 189 88	0.871 820 84	0.377 946 30	28	-0.914 692 17	0.393 247 76	0.170 478 45		
14	-0.376 935 69	0.866 143 96	0.375 485 79	29	-0.921 586 71	0.378 954 93	0.164 282 82		
15	-0.392 574 23	0.860 224 04	0.372 919 80	30	-0.928 215 80	0.364 551 80	0.158 039 51		
16	-0.408 101 29	0.854 062 93	0.370 249 10	31	-0.934 577 03	0.350 042 66	0.151 750 33		
17	-0.423 512 76	0.847 662 45	0.367 474 49	Sept.	1	-0.940 668 14	0.335 431 87	0.145 417 14	
18	-0.438 804 58	0.841 024 50	0.364 596 79		2	-0.946 487 03	0.320 723 88	0.139 041 83	
19	-0.453 972 75	0.834 150 94	0.361 616 79		3	-0.952 031 74	0.305 923 17	0.132 626 32	
20	-0.469 013 34	0.827 043 65	0.358 535 34		4	-0.957 300 46	0.291 034 27	0.126 172 53	
21	-0.483 922 42	0.819 704 46	0.355 353 24		5	-0.962 291 52	0.276 061 70	0.119 682 39	
22	-0.498 696 09	0.812 135 23	0.352 071 33	6	-0.967 003 38	0.261 010 02	0.113 157 85		
23	-0.513 330 45	0.804 337 76	0.348 690 42	7	-0.971 434 64	0.245 883 75	0.106 600 86		
24	-0.527 821 56	0.796 313 87	0.345 211 35	8	-0.975 583 99	0.230 687 42	0.100 013 36		
25	-0.542 165 39	0.788 065 37	0.341 634 93	9	-0.979 450 28	0.215 425 57	0.093 397 31		
26	-0.556 357 89	0.779 594 14	0.337 962 03	10	-0.983 032 42	0.200 102 69	0.086 754 65		
27	-0.570 394 91	0.770 902 11	0.334 193 51	11	-0.986 329 48	0.184 723 25	0.080 087 31		
28	-0.584 272 24	0.761 991 30	0.330 330 28	12	-0.989 340 58	0.169 291 71	0.073 397 24		
29	-0.597 985 62	0.752 863 85	0.326 373 30	13	-0.992 064 99	0.153 812 48	0.066 686 36		
30	-0.611 530 75	0.743 522 06	0.322 323 58	14	-0.994 502 04	0.138 289 89	0.059 956 58		
31	-0.624 903 34	0.733 968 38	0.318 182 17	15	-0.996 651 12	0.122 728 23	0.053 209 78		
Août	1	-0.638 099 11	0.724 205 40	0.313 950 20	16	-0.998 511 68	0.107 131 72	0.046 447 82	
	2	-0.651 113 85	0.714 235 92	0.309 628 84	17	-1.000 083 15	0.091 504 50	0.039 672 55	
	3	-0.663 943 45	0.704 062 84	0.305 219 34	18	-1.001 364 96	0.075 850 68	0.032 885 79	
	4	-0.676 583 90	0.693 689 21	0.300 722 98	19	-1.002 356 48	0.060 174 35	0.026 089 36	
	5	-0.689 031 33	0.683 118 19	0.296 141 10	20	-1.003 057 01	0.044 479 64	0.019 285 10	
	6	-0.701 281 98	0.672 353 00	0.291 475 06	21	-1.003 465 85	0.028 770 75	0.012 474 85	
	7	-0.713 332 23	0.661 396 94	0.286 726 24	22	-1.003 582 27	0.013 052 01	0.005 660 50	
	8	-0.725 178 59	0.650 253 35	0.281 896 08	23	-1.003 405 57	-0.002 672 16	-0.001 156 03	
	9	-0.736 817 68	0.638 925 60	0.276 986 00	24	-1.002 935 14	-0.018 397 20	-0.007 972 76	
	10	-0.748 246 21	0.627 417 08	0.271 997 44	25	-1.002 170 46	-0.034 118 46	-0.014 787 70	
11	-0.759 461 02	0.615 731 22	0.266 931 89	26	-1.001 111 13	-0.049 831 17	-0.021 598 81		
12	-0.770 459 01	0.603 871 46	0.261 790 80	27	-0.999 756 91	-0.065 530 52	-0.028 404 02		
13	-0.781 237 21	0.591 841 24	0.256 575 67	28	-0.998 107 69	-0.081 211 62	-0.035 201 26		
14	-0.791 792 73	0.579 644 02	0.251 287 99	29	-0.996 163 54	-0.096 869 55	-0.041 988 42		
15	-0.802 122 76	0.567 283 26	0.245 929 26	30	-0.993 924 67	-0.112 499 37	-0.048 763 40		
16	-0.812 224 59	0.554 762 40	0.240 500 98	Oct.	1	-0.991 391 44	-0.128 096 14	-0.055 524 09	

SOLEIL 2016 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z			
	ua	ua	ua		ua	ua	ua			
Oct.	2	-0.988 564 40	-0.143 654 92	-0.062 268 38	Nov.	17	-0.569 379 54	-0.741 554 34	-0.321 469 59	
	3	-0.985 444 21	-0.159 170 81	-0.068 994 17		18	-0.554 955 38	-0.750 472 70	-0.325 335 55	
	4	-0.982 031 68	-0.174 638 92	-0.075 699 36		19	-0.540 360 75	-0.759 162 75	-0.329 102 40	
	5	-0.978 327 77	-0.190 054 42	-0.082 381 87		20	-0.525 599 64	-0.767 621 51	-0.332 768 87	
	6	-0.974 333 56	-0.205 412 53	-0.089 039 65		21	-0.510 676 18	-0.775 845 96	-0.336 333 69	
	7	-0.970 050 22	-0.220 708 48	-0.095 670 63		22	-0.495 594 64	-0.783 833 15	-0.339 795 62	
	8	-0.965 479 09	-0.235 937 62	-0.102 272 79		23	-0.480 359 41	-0.791 580 15	-0.343 153 42	
	9	-0.960 621 56	-0.251 095 31	-0.108 844 13		24	-0.464 975 04	-0.799 084 13	-0.346 405 90	
	10	-0.955 479 17	-0.266 177 00	-0.115 382 65		25	-0.449 446 18	-0.806 342 34	-0.349 551 90	
	11	-0.950 053 52	-0.281 178 24	-0.121 886 41		26	-0.433 777 59	-0.813 352 12	-0.352 590 28	
	12	-0.944 346 32	-0.296 094 63	-0.128 353 48		27	-0.417 974 15	-0.820 110 90	-0.355 519 96	
	13	-0.938 359 34	-0.310 921 90	-0.134 781 97		28	-0.402 040 80	-0.826 616 22	-0.358 339 88	
	14	-0.932 094 36	-0.325 655 86	-0.141 170 04		29	-0.385 982 62	-0.832 865 76	-0.361 049 05	
	15	-0.925 553 18	-0.340 292 44	-0.147 515 86		30	-0.369 804 73	-0.838 857 27	-0.363 646 51	
	16	-0.918 737 59	-0.354 827 63	-0.153 817 65		Déc.	1	-0.353 512 35	-0.844 588 68	-0.366 131 35
	17	-0.911 649 30	-0.369 257 46	-0.160 073 66			2	-0.337 110 75	-0.850 058 02	-0.368 502 72
	18	-0.904 289 97	-0.383 577 94	-0.166 282 11			3	-0.320 605 26	-0.855 263 47	-0.370 759 82
	19	-0.896 661 21	-0.397 785 02	-0.172 441 23			4	-0.304 001 24	-0.860 203 35	-0.372 901 90
	20	-0.888 764 67	-0.411 874 59	-0.178 549 23			5	-0.287 304 10	-0.864 876 13	-0.374 928 28
	21	-0.880 602 03	-0.425 842 39	-0.184 604 27			6	-0.270 519 24	-0.869 280 43	-0.376 838 32
	22	-0.872 175 06	-0.439 684 12	-0.190 604 49		7	-0.253 652 08	-0.873 415 00	-0.378 631 47	
	23	-0.863 485 68	-0.453 395 37	-0.196 548 02		8	-0.236 708 00	-0.877 278 77	-0.380 307 21	
	24	-0.854 535 95	-0.466 971 72	-0.202 432 97		9	-0.219 692 36	-0.880 870 78	-0.381 865 09	
	25	-0.845 328 08	-0.480 408 72	-0.208 257 43		10	-0.202 610 42	-0.884 190 21	-0.383 304 71	
	26	-0.835 864 44	-0.493 701 91	-0.214 019 52		11	-0.185 467 39	-0.887 236 34	-0.384 625 74	
	27	-0.826 147 56	-0.506 846 87	-0.219 717 34		12	-0.168 268 35	-0.890 008 53	-0.385 827 86	
	28	-0.816 180 12	-0.519 839 20	-0.225 349 04		13	-0.151 018 29	-0.892 506 16	-0.386 910 77	
	29	-0.805 964 94	-0.532 674 57	-0.230 912 74		14	-0.133 722 13	-0.894 728 60	-0.387 874 22	
	30	-0.795 504 99	-0.545 348 67	-0.236 406 63		15	-0.116 384 74	-0.896 675 20	-0.388 717 90	
	31	-0.784 803 37	-0.557 857 30	-0.241 828 88		16	-0.099 011 00	-0.898 345 22	-0.389 441 54	
	Nov.	1	-0.773 863 29	-0.570 196 29		-0.247 177 72	17	-0.081 605 85	-0.899 737 92	-0.390 044 83
2		-0.762 688 11	-0.582 361 60	-0.252 451 41	18	-0.064 174 33	-0.900 852 55	-0.390 527 50		
3		-0.751 281 28	-0.594 349 25	-0.257 648 22	19	-0.046 721 58	-0.901 688 37	-0.390 889 25		
4		-0.739 646 37	-0.606 155 36	-0.262 766 48	20	-0.029 252 84	-0.902 244 74	-0.391 129 85		
5		-0.727 787 04	-0.617 776 16	-0.267 804 54	21	-0.011 773 47	-0.902 521 08	-0.391 249 09		
6		-0.715 707 03	-0.629 207 99	-0.272 760 82	22	0.005 711 12	-0.902 516 92	-0.391 246 78		
7		-0.703 410 17	-0.640 447 29	-0.277 633 74	23	0.023 195 43	-0.902 231 91	-0.391 122 80		
8		-0.690 900 34	-0.651 490 63	-0.282 421 80	24	0.040 673 91	-0.901 665 80	-0.390 877 08		
9		-0.678 181 50	-0.662 334 70	-0.287 123 54	25	0.058 140 96	-0.900 818 49	-0.390 509 57		
10		-0.665 257 63	-0.672 976 32	-0.291 737 54	26	0.075 590 95	-0.899 689 98	-0.390 020 30		
11		-0.652 132 71	-0.683 412 44	-0.296 262 44	27	0.093 018 21	-0.898 280 42	-0.389 409 33		
12		-0.638 810 71	-0.693 640 13	-0.300 696 93	28	0.110 417 03	-0.896 590 09	-0.388 676 79		
13		-0.625 295 57	-0.703 656 56	-0.305 039 74	29	0.127 781 71	-0.894 619 39	-0.387 822 84		
14		-0.611 591 12	-0.713 458 96	-0.309 289 63	30	0.145 106 52	-0.892 368 90	-0.386 847 74		
15		-0.597 701 16	-0.723 044 60	-0.313 445 39	31	0.162 385 73	-0.889 839 34	-0.385 751 76		
16		-0.583 629 39	-0.732 410 67	-0.317 505 78	32	0.179 613 65	-0.887 031 59	-0.384 535 27		

LUNE

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

LUNE 2016 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 11 2 23.718	5 11 2.73	400 283.151	Janv. 11	0 20 13 38.158	-15 49 3.93	375 957.357
	6 11 13 55.288	4 15 43.86	401 020.328		6 20 27 47.284	-15 12 55.82	375 174.121
	12 11 25 22.529	3 19 59.85	401 689.040		12 20 41 54.569	-14 33 21.26	374 441.369
	18 11 36 46.085	2 23 58.12	402 286.144		18 20 55 59.557	-13 50 29.02	373 760.533
1	0 11 48 6.613	1 27 45.80	402 808.866	12	0 21 10 1.867	-13 4 28.87	373 132.636
	6 11 59 24.774	0 31 29.82	403 254.813		6 21 24 1.207	-12 15 31.51	372 558.302
	12 12 10 41.231	- 0 24 43.08	403 621.982		12 21 37 57.367	-11 23 48.46	372 037.775
	18 12 21 56.649	- 1 20 46.29	403 908.769		18 21 51 50.222	-10 29 31.97	371 570.933
2	0 12 33 11.694	- 2 16 33.30	404 113.972	13	0 22 5 39.732	- 9 32 54.92	371 157.313
	6 12 44 27.025	- 3 11 57.66	404 236.797		6 22 19 25.935	- 8 34 10.67	370 796.143
	12 12 55 43.297	- 4 6 52.95	404 276.861		12 22 33 8.948	- 7 33 33.02	370 486.370
	18 13 7 1.157	- 5 1 12.71	404 234.187		18 22 46 48.954	- 6 31 16.11	370 226.695
3	0 13 18 21.243	- 5 54 50.42	404 109.210	14	0 23 0 26.204	- 5 27 34.30	370 015.611
	6 13 29 44.179	- 6 47 39.48	403 902.768		6 23 14 1.002	- 4 22 42.13	369 851.443
	12 13 41 10.575	- 7 39 33.16	403 616.101		12 23 27 33.705	- 3 16 54.25	369 732.383
	18 13 52 41.021	- 8 30 24.56	403 250.841		18 23 41 4.711	- 2 10 25.36	369 656.537
4	0 14 4 16.089	- 9 20 6.60	402 809.009	15	0 23 54 34.452	- 1 3 30.16	369 621.956
	6 14 15 56.323	-10 8 32.01	402 293.000		6 0 8 3.384	0 3 36.70	369 626.679
	12 14 27 42.241	-10 55 33.28	401 705.572		12 0 21 31.986	1 10 40.62	369 668.770
	18 14 39 34.326	-11 41 2.67	401 049.837		18 0 35 0.741	2 17 27.13	369 746.346
5	0 14 51 33.024	-12 24 52.20	400 329.239	16	0 0 48 30.138	3 23 41.85	369 857.613
	6 15 3 38.739	-13 6 53.68	399 547.540		6 1 2 0.658	4 29 10.57	370 000.890
	12 15 15 51.827	-13 46 58.68	398 708.800		12 1 15 32.767	5 33 39.25	370 174.635
	18 15 28 12.591	-14 24 58.57	397 817.355		18 1 29 6.909	6 36 54.00	370 377.462
6	0 15 40 41.275	-15 0 44.56	396 877.792	17	0 1 42 43.495	7 38 41.19	370 608.154
	6 15 53 18.061	-15 34 7.74	395 894.926		6 1 56 22.899	8 38 47.38	370 865.678
	12 16 6 3.061	-16 4 59.12	394 873.770		12 2 10 5.447	9 36 59.42	371 149.187
	18 16 18 56.313	-16 33 9.73	393 819.507		18 2 23 51.410	10 33 4.44	371 458.022
7	0 16 31 57.779	-16 58 30.65	392 737.455	18	0 2 37 40.998	11 26 49.94	371 791.709
	6 16 45 7.340	-17 20 53.12	391 633.036		6 2 51 34.351	12 18 3.80	372 149.951
	12 16 58 24.795	-17 40 8.64	390 511.741		12 3 5 31.536	13 6 34.35	372 532.614
	18 17 11 49.860	-17 56 9.09	389 379.093		18 3 19 32.538	13 52 10.44	372 939.716
8	0 17 25 22.170	-18 8 46.79	388 240.610	19	0 3 33 37.260	14 34 41.53	373 371.405
	6 17 39 1.281	-18 17 54.68	387 101.762		6 3 47 45.519	15 13 57.73	373 827.937
	12 17 52 46.676	-18 23 26.40	385 967.940		12 4 1 57.042	15 49 49.92	374 309.648
	18 18 6 37.770	-18 25 16.39	384 844.411		18 4 16 11.472	16 22 9.81	374 816.936
9	0 18 20 33.921	-18 23 20.06	383 736.282	20	0 4 30 28.369	16 50 50.03	375 350.222
	6 18 34 34.438	-18 17 33.83	382 648.460		6 4 44 47.211	17 15 44.22	375 909.928
	12 18 48 38.594	-18 7 55.25	381 585.620		12 4 59 7.407	17 36 47.12	376 496.441
	18 19 2 45.640	-17 54 23.07	380 552.167		18 5 13 28.302	17 53 54.59	377 110.087
10	0 19 16 54.818	-17 36 57.29	379 552.205	21	0 5 27 49.189	18 7 3.71	377 751.098
	6 19 31 5.375	-17 15 39.22	378 589.510		6 5 42 9.320	18 16 12.80	378 419.584
	12 19 45 16.576	-16 50 31.47	377 667.505		12 5 56 27.922	18 21 21.44	379 115.506
	18 19 59 27.722	-16 21 37.97	376 789.235		18 6 10 44.208	18 22 30.50	379 838.651

LUNE 2016 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	6 24 57.394	18 19 42.07	380 588.604	Févr. 2	0	15 22 55.053	-13 55 51.43	400 178.017
	6	6 39 6.713	18 12 59.51	381 364.736		6	15 35 8.838	-14 32 23.67	399 317.854
	12	6 53 11.426	18 2 27.32	382 166.177		12	15 47 30.032	-15 6 41.90	398 388.860
	18	7 7 10.840	17 48 11.10	382 991.809		18	15 59 58.898	-15 38 38.06	397 394.444
23	0	7 21 4.312	17 30 17.50	383 840.252	3	0	16 12 35.644	-16 8 3.99	396 338.425
	6	7 34 51.267	17 8 54.05	384 709.858		6	16 25 20.420	-16 34 51.48	395 225.018
	12	7 48 31.199	16 44 9.12	385 598.704		12	16 38 13.311	-16 58 52.28	394 058.830
	18	8 2 3.678	16 16 11.79	386 504.600		18	16 51 14.334	-17 19 58.22	392 844.834
24	0	8 15 28.358	15 45 11.71	387 425.084	4	0	17 4 23.434	-17 38 1.21	391 588.357
	6	8 28 44.971	15 11 19.00	388 357.436		6	17 17 40.486	-17 52 53.41	390 295.054
	12	8 41 53.336	14 34 44.15	389 298.685		12	17 31 5.286	-18 4 27.23	388 970.881
	18	8 54 53.351	13 55 37.90	390 245.624		18	17 44 37.561	-18 12 35.52	387 622.070
25	0	9 7 44.992	13 14 11.14	391 194.828	5	0	17 58 16.961	-18 17 11.60	386 255.090
	6	9 20 28.312	12 30 34.80	392 142.670		6	18 12 3.071	-18 18 9.45	384 876.609
	12	9 33 3.433	11 44 59.80	393 085.346		12	18 25 55.408	-18 15 23.74	383 493.460
	18	9 45 30.541	10 57 36.96	394 018.897		18	18 39 53.436	-18 8 50.04	382 112.589
26	0	9 57 49.884	10 8 36.94	394 939.236	6	0	18 53 56.565	-17 58 24.86	380 741.008
	6	10 10 1.763	9 18 10.18	395 842.170		6	19 8 4.168	-17 44 5.76	379 385.748
	12	10 22 6.528	8 26 26.87	396 723.433		12	19 22 15.591	-17 25 51.49	378 053.801
	18	10 34 4.573	7 33 36.92	397 578.713		18	19 36 30.159	-17 3 42.05	376 752.065
27	0	10 45 56.328	6 39 49.93	398 403.678	7	0	19 50 47.196	-16 37 38.74	375 487.289
	6	10 57 42.258	5 45 15.17	399 194.009		6	20 5 6.032	-16 7 44.25	374 266.009
	12	11 9 22.856	4 50 1.62	399 945.426		12	20 19 26.018	-15 34 2.63	373 094.496
	18	11 20 58.639	3 54 17.91	400 653.718		18	20 33 46.538	-14 56 39.36	371 978.695
28	0	11 32 30.145	2 58 12.36	401 314.771	8	0	20 48 7.016	-14 15 41.33	370 924.171
	6	11 43 57.929	2 1 53.00	401 924.596		6	21 2 26.930	-13 31 16.78	369 936.056
	12	11 55 22.561	1 5 27.58	402 479.355		12	21 16 45.817	-12 43 35.25	369 019.000
	18	12 6 44.621	0 9 3.59	402 975.387		18	21 31 3.280	-11 52 47.55	368 177.129
29	0	12 18 4.696	- 0 47 11.71	403 409.235	9	0	21 45 18.991	-10 59 5.65	367 414.004
	6	12 29 23.382	- 1 43 11.28	403 777.666		6	21 59 32.697	-10 2 42.58	366 732.594
	12	12 40 41.278	- 2 38 48.23	404 077.697		12	22 13 44.215	- 9 3 52.31	366 135.250
	18	12 51 58.983	- 3 33 55.82	404 306.615		18	22 27 53.437	- 8 2 49.67	365 623.690
30	0	13 3 17.099	- 4 28 27.42	404 461.999	10	0	22 42 0.324	- 6 59 50.17	365 198.993
	6	13 14 36.223	- 5 22 16.47	404 541.734		6	22 56 4.903	- 5 55 9.93	364 861.601
	12	13 25 56.949	- 6 15 16.45	404 544.036		12	23 10 7.261	- 4 49 5.52	364 611.327
	18	13 37 19.864	- 7 7 20.86	404 467.463		18	23 24 7.543	- 3 41 53.85	364 447.378
31	0	13 48 45.547	- 7 58 23.16	404 310.932	11	0	23 38 5.942	- 2 33 52.04	364 368.379
	6	14 0 14.566	- 8 48 16.75	404 073.733		6	23 52 2.690	- 1 25 17.29	364 372.409
	12	14 11 47.473	- 9 36 54.97	403 755.540		12	0 5 58.058	- 0 16 26.83	364 457.044
	18	14 23 24.806	-10 24 11.03	403 356.420		18	0 19 52.338	0 52 22.25	364 619.399
Févr. 1	0	14 35 7.083	-11 9 58.03	402 876.848	12	0	0 33 45.844	2 0 53.04	364 856.187
	6	14 46 54.796	-11 54 8.88	402 317.709		6	0 47 38.899	3 8 48.92	365 163.769
	12	14 58 48.411	-12 36 36.36	401 680.304		12	1 1 31.828	4 15 53.61	365 538.214
	18	15 10 48.364	-13 17 13.07	400 966.357		18	1 15 24.950	5 21 51.28	365 975.358

LUNE 2016 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	1 29 18.570	6 26 26.56	366 470.864	Févr. 24	0	11 17 42.876	4 14 1.23	401 192.372
	6	1 43 12.973	7 29 24.59	367 020.280		6	11 29 16.729	3 18 17.41	401 769.863
	12	1 57 8.415	8 30 31.12	367 619.095		12	11 40 47.150	2 22 14.16	402 315.048
	18	2 11 5.117	9 29 32.51	368 262.792		18	11 52 14.606	1 25 59.76	402 825.206
14	0	2 25 3.258	10 26 15.77	368 946.902	25	0	12 3 39.572	0 29 42.28	403 297.542
	6	2 39 2.971	11 20 28.61	369 667.045		6	12 15 2.533	- 0 26 30.39	403 729.211
	12	2 53 4.336	12 11 59.45	370 418.978		12	12 26 23.980	- 1 22 30.56	404 117.338
	18	3 7 7.378	13 0 37.51	371 198.622		18	12 37 44.408	- 2 18 10.73	404 459.038
15	0	3 21 12.059	13 46 12.78	372 002.102	26	0	12 49 4.315	- 3 13 23.53	404 751.444
	6	3 35 18.283	14 28 36.08	372 825.768		6	13 0 24.201	- 4 8 1.77	404 991.725
	12	3 49 25.890	15 7 39.09	373 666.216		12	13 11 44.563	- 5 1 58.36	405 177.110
	18	4 3 34.656	15 43 14.40	374 520.301		18	13 23 5.898	- 5 55 6.34	405 304.918
16	0	4 17 44.299	16 15 15.51	375 385.150	27	0	13 34 28.697	- 6 47 18.84	405 372.574
	6	4 31 54.476	16 43 36.87	376 258.162		6	13 45 53.447	- 7 38 29.05	405 377.642
	12	4 46 4.792	17 8 13.91	377 137.011		12	13 57 20.626	- 8 28 30.21	405 317.843
	18	5 0 14.803	17 29 3.07	378 019.638		18	14 8 50.702	- 9 17 15.61	405 191.081
17	0	5 14 24.026	17 46 1.79	378 904.245	28	0	14 20 24.134	-10 4 38.53	404 995.470
	6	5 28 31.942	17 59 8.54	379 789.279		6	14 32 1.363	-10 50 32.28	404 729.351
	12	5 42 38.009	18 8 22.80	380 673.418		12	14 43 42.818	-11 34 50.10	404 391.323
	18	5 56 41.670	18 13 45.06	381 555.551		18	14 55 28.906	-12 17 25.24	403 980.259
18	0	6 10 42.362	18 15 16.84	382 434.757	29	0	15 7 20.015	-12 58 10.90	403 495.331
	6	6 24 39.528	18 13 0.59	383 310.283		6	15 19 16.507	-13 37 0.21	402 936.028
	12	6 38 32.622	18 6 59.72	384 181.516		12	15 31 18.717	-14 13 46.26	402 302.180
	18	6 52 21.125	17 57 18.54	385 047.960		18	15 43 26.950	-14 48 22.08	401 593.973
19	0	7 6 4.548	17 44 2.17	385 909.207	Mars 1	0	15 55 41.478	-15 20 40.66	400 811.969
	6	7 19 42.440	17 27 16.54	386 764.912		6	16 8 2.534	-15 50 34.94	399 957.119
	12	7 33 14.398	17 7 8.27	387 614.766		12	16 20 30.314	-16 17 57.85	399 030.784
	18	7 46 40.068	16 43 44.67	388 458.469		18	16 33 4.970	-16 42 42.31	398 034.740
20	0	7 59 59.151	16 17 13.58	389 295.704	2	0	16 45 46.606	-17 4 41.29	396 971.197
	6	8 13 11.407	15 47 43.36	390 126.115		6	16 58 35.282	-17 23 47.82	395 842.802
	12	8 26 16.654	15 15 22.80	390 949.283		12	17 11 31.005	-17 39 55.06	394 652.648
	18	8 39 14.770	14 40 21.03	391 764.706		18	17 24 33.733	-17 52 56.33	393 404.278
21	0	8 52 5.692	14 2 47.49	392 571.778	3	0	17 37 43.369	-18 2 45.16	392 101.687
	6	9 4 49.415	13 22 51.81	393 369.776		6	17 50 59.766	-18 9 15.42	390 749.318
	12	9 17 25.988	12 40 43.77	394 157.841		12	18 4 22.726	-18 12 21.32	389 352.058
	18	9 29 55.516	11 56 33.25	394 934.970		18	18 17 52.002	-18 11 57.53	387 915.227
22	0	9 42 18.149	11 10 30.16	395 700.006	4	0	18 31 27.300	-18 7 59.25	386 444.565
	6	9 54 34.088	10 22 44.41	396 451.631		6	18 45 8.286	-18 0 22.30	384 946.214
	12	10 6 43.574	9 33 25.83	397 188.362		12	18 58 54.587	-17 49 3.23	383 426.694
	18	10 18 46.885	8 42 44.20	397 908.548		18	19 12 45.800	-17 33 59.37	381 892.875
23	0	10 30 44.338	7 50 49.12	398 610.377	5	0	19 26 41.499	-17 15 8.94	380 351.944
	6	10 42 36.278	6 57 50.07	399 291.873		6	19 40 41.238	-16 52 31.16	378 811.363
	12	10 54 23.078	6 3 56.37	399 950.909		12	19 54 44.565	-16 26 6.27	377 278.829
	18	11 6 5.138	5 9 17.12	400 585.212		18	20 8 51.027	-15 55 55.67	375 762.219

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mars 6 0	20 23 0.178	-15 22 1.94	374 269.536	Mars 17 0	6 53 33.704	17 53 39.02	384 370.556
6	20 37 11.586	-14 44 28.91	372 808.847	6	7 7 15.383	17 40 12.22	385 540.627
12	20 51 24.845	-14 3 21.70	371 388.217	12	7 20 50.096	17 23 19.40	386 686.107
18	21 5 39.576	-13 18 46.73	370 015.640	18	7 34 17.599	17 3 8.03	387 804.974
7 0	21 19 55.437	-12 30 51.78	368 698.961	18 0	7 47 37.707	16 39 46.00	388 895.518
6	21 34 12.129	-11 39 45.94	367 445.807	6	8 0 50.289	16 13 21.55	389 956.321
12	21 48 29.393	-10 45 39.62	366 263.502	12	8 13 55.272	15 44 3.23	390 986.232
18	22 2 47.021	-9 48 44.49	365 158.992	18	8 26 52.641	15 11 59.80	391 984.341
8 0	22 17 4.853	-8 49 13.45	364 138.772	19 0	8 39 42.433	14 37 20.21	392 949.961
6	22 31 22.774	-7 47 20.58	363 208.804	6	8 52 24.735	14 0 13.51	393 882.593
12	22 45 40.721	-6 43 21.02	362 374.458	12	9 4 59.685	13 20 48.85	394 781.905
18	22 59 58.673	-5 37 30.88	361 640.440	18	9 17 27.463	12 39 15.41	395 647.705
9 0	23 14 16.650	-4 30 7.15	361 010.742	20 0	9 29 48.290	11 55 42.35	396 479.911
6	23 28 34.710	-3 21 27.58	360 488.592	6	9 42 2.425	11 10 18.85	397 278.529
12	23 42 52.942	-2 11 50.50	360 076.418	12	9 54 10.160	10 23 14.01	398 043.627
18	23 57 11.459	-1 1 34.76	359 775.822	18	10 6 11.817	9 34 36.88	398 775.307
10 0	0 11 30.396	0 9 0.50	359 587.571	21 0	10 18 7.743	8 44 36.43	399 473.686
6	0 25 49.895	1 19 35.93	359 511.586	6	10 29 58.308	7 53 21.54	400 138.872
12	0 40 10.106	2 29 52.15	359 546.962	12	10 41 43.902	7 1 0.98	400 770.945
18	0 54 31.174	3 39 29.91	359 691.987	18	10 53 24.929	6 7 43.42	401 369.937
11 0	1 8 53.232	4 48 10.22	359 944.177	22 0	11 5 1.810	5 13 37.43	401 935.813
6	1 23 16.397	5 55 34.50	360 300.321	6	11 16 34.974	4 18 51.46	402 468.463
12	1 37 40.759	7 1 24.69	360 756.534	12	11 28 4.860	3 23 33.85	402 967.682
18	1 52 6.376	8 5 23.41	361 308.324	18	11 39 31.911	2 27 52.83	403 433.162
12 0	2 6 33.267	9 7 14.06	361 950.657	23 0	11 50 56.578	1 31 56.52	403 864.485
6	2 21 1.408	10 6 40.94	362 678.032	6	12 2 19.311	0 35 52.94	404 261.116
12	2 35 30.727	11 3 29.30	363 484.559	12	12 13 40.563	-0 20 9.99	404 622.396
18	2 50 1.099	11 57 25.48	364 364.036	18	12 25 0.784	-1 16 4.46	404 947.545
13 0	3 4 32.346	12 48 16.96	365 310.031	24 0	12 36 20.423	-2 11 42.74	405 235.661
6	3 19 4.236	13 35 52.40	366 315.955	6	12 47 39.925	-3 6 57.19	405 485.720
12	3 33 36.481	14 20 1.72	367 375.138	12	12 58 59.728	-4 1 40.26	405 696.586
18	3 48 8.742	15 0 36.09	368 480.903	18	13 10 20.265	-4 55 44.46	405 867.013
14 0	4 2 40.630	15 37 28.00	369 626.626	25 0	13 21 41.961	-5 49 2.40	405 995.660
6	4 17 11.711	16 10 31.23	370 805.802	6	13 33 5.230	-6 41 26.73	406 081.097
12	4 31 41.513	16 39 40.87	372 012.094	12	13 44 30.477	-7 32 50.19	406 121.819
18	4 46 9.532	17 4 53.29	373 239.384	18	13 55 58.092	-8 23 5.55	406 116.265
15 0	5 0 35.241	17 26 6.14	374 481.815	26 0	14 7 28.453	-9 12 5.66	406 062.829
6	5 14 58.096	17 43 18.27	375 733.823	6	14 19 1.923	-9 59 43.42	405 959.880
12	5 29 17.550	17 56 29.72	376 990.167	12	14 30 38.844	-10 45 51.76	405 805.782
18	5 43 33.059	18 5 41.65	378 245.949	18	14 42 19.545	-11 30 23.67	405 598.914
16 0	5 57 44.089	18 10 56.28	379 496.630	27 0	14 54 4.328	-12 13 12.20	405 337.690
6	6 11 50.130	18 12 16.80	380 738.041	6	15 5 53.478	-12 54 10.45	405 020.585
12	6 25 50.702	18 9 47.34	381 966.387	12	15 17 47.251	-13 33 11.56	404 646.154
18	6 39 45.360	18 3 32.85	383 178.244	18	15 29 45.882	-14 10 8.73	404 213.060

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT**ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE**

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars	28 0	15 41 49.573	-14 44 55.25	403 720.095	Avril	8 0	1 41 1.600	7 18 0.75	357 233.192
	6	15 53 58.500	-15 17 24.48	403 166.207		6	1 55 47.542	8 23 12.81	357 426.000
	12	16 6 12.808	-15 47 29.85	402 550.525		12	2 10 36.953	9 26 15.26	357 739.953
	18	16 18 32.607	-16 15 4.92	401 872.383		18	2 25 29.635	10 26 49.62	358 172.367
	29 0	16 30 57.978	-16 40 3.37	401 131.345		9 0	2 40 25.312	11 24 38.35	358 719.706
	6	16 43 28.963	-17 2 19.02	400 327.233		6	2 55 23.631	12 19 25.03	359 377.644
	12	16 56 5.572	-17 21 45.88	399 460.144		12	3 10 24.160	13 10 54.55	360 141.123
	18	17 8 47.781	-17 38 18.14	398 530.484		18	3 25 26.391	13 58 53.23	361 004.428
	30 0	17 21 35.530	-17 51 50.24	397 538.980		10 0	3 40 29.741	14 43 8.93	361 961.270
	6	17 34 28.727	-18 2 16.86	396 486.712		6	3 55 33.563	15 23 31.16	363 004.864
	12	17 47 27.246	-18 9 33.03	395 375.125		12	4 10 37.150	15 59 51.17	364 128.022
	18	18 0 30.934	-18 13 34.08	394 206.053		18	4 25 39.748	16 32 1.94	365 323.241
	31 0	18 13 39.610	-18 14 15.75	392 981.736		11 0	4 40 40.566	16 59 58.26	366 582.786
	6	18 26 53.066	-18 11 34.21	391 704.833		6	4 55 38.793	17 23 36.64	367 898.780
	12	18 40 11.078	-18 5 26.12	390 378.436		12	5 10 33.610	17 42 55.36	369 263.284
	18	18 53 33.402	-17 55 48.67	389 006.080		18	5 25 24.202	17 57 54.29	370 668.374
Avril	1 0	19 6 59.785	-17 42 39.60	387 591.749		12 0	5 40 9.780	18 8 34.92	372 106.211
	6	19 20 29.965	-17 25 57.33	386 139.881		6	5 54 49.588	18 15 0.15	373 569.109
	12	19 34 3.680	-17 5 40.93	384 655.365		12	6 9 22.918	18 17 14.22	375 049.592
	18	19 47 40.671	-16 41 50.22	383 143.538		18	6 23 49.122	18 15 22.58	376 540.444
	2 0	20 1 20.687	-16 14 25.79	381 610.172		13 0	6 38 7.622	18 9 31.69	378 034.754
	6	20 15 3.493	-15 43 29.09	380 061.462		6	6 52 17.913	17 59 48.96	379 525.953
	12	20 28 48.870	-15 9 2.43	378 504.003		12	7 6 19.574	17 46 22.54	381 007.845
	18	20 42 36.623	-14 31 9.08	376 944.764		18	7 20 12.267	17 29 21.18	382 474.631
	3 0	20 56 26.586	-13 49 53.25	375 391.052		14 0	7 33 55.739	17 8 54.15	383 920.923
	6	21 10 18.619	-13 5 20.21	373 850.476		6	7 47 29.823	16 45 11.08	385 341.761
	12	21 24 12.619	-12 17 36.23	372 330.896		12	8 0 54.434	16 18 21.84	386 732.614
	18	21 38 8.516	-11 26 48.73	370 840.371		18	8 14 9.566	15 48 36.45	388 089.387
	4 0	21 52 6.275	-10 33 6.18	369 387.098		15 0	8 27 15.286	15 16 5.03	389 408.412
	6	22 6 5.898	-9 36 38.23	367 979.345		6	8 40 11.731	14 40 57.65	390 686.448
	12	22 20 7.421	-8 37 35.63	366 625.378		12	8 52 59.102	14 3 24.36	391 920.662
	18	22 34 10.913	-7 36 10.30	365 333.382		18	9 5 37.655	13 23 35.06	393 108.626
	5 0	22 48 16.475	-6 32 35.28	364 111.381		16 0	9 18 7.698	12 41 39.52	394 248.290
	6	23 2 24.235	-5 27 4.71	362 967.145		6	9 30 29.583	11 57 47.32	395 337.973
	12	23 16 34.342	-4 19 53.80	361 908.112		12	9 42 43.700	11 12 7.86	396 376.335
	18	23 30 46.965	-3 11 18.79	360 941.293		18	9 54 50.474	10 24 50.32	397 362.363
	6 0	23 45 2.284	-2 1 36.84	360 073.186		17 0	10 6 50.354	9 36 3.68	398 295.340
	6	23 59 20.484	-0 51 5.98	359 309.695		6	10 18 43.815	8 45 56.71	399 174.825
	12	0 13 41.747	0 19 55.00	358 656.052		12	10 30 31.347	7 54 38.00	400 000.628
	18	0 28 6.247	1 31 6.69	358 116.742		18	10 42 13.457	7 2 15.92	400 772.785
	7 0	0 42 34.138	2 42 9.19	357 695.445		18 0	10 53 50.661	6 8 58.70	401 491.530
	6	0 57 5.548	3 52 42.25	357 394.982		6	11 5 23.480	5 14 54.39	402 157.272
	12	1 11 40.571	5 2 25.44	357 217.277		12	11 16 52.442	4 20 10.92	402 770.568
	18	1 26 19.256	6 10 58.34	357 163.326		18	11 28 18.076	3 24 56.08	403 332.098

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Avril 19 0	11 39 40.908	2 29 17.56	403 842.642	Avril 30 0	20 39 8.605	-14 50 39.94	382 755.878
	6 11 51 1.463	1 33 22.98	404 303.052		6 20 52 33.979	-14 11 24.66	381 374.899
	12 12 2 20.260	0 37 19.87	404 714.237		12 21 6 0.407	-13 29 3.15	379 977.693
	18 12 13 37.812	- 0 18 44.28	405 077.130		18 21 19 27.916	-12 43 40.95	378 569.195
20 0	12 24 54.622	- 1 14 42.03	405 392.679	Mai 1 0	21 32 56.577	-11 55 24.33	377 154.738
	6 12 36 11.185	- 2 10 25.96	405 661.817		6 21 46 26.506	-11 4 20.36	375 740.033
	12 12 47 27.983	- 3 5 48.66	405 885.451		12 21 59 57.863	-10 10 36.87	374 331.153
	18 12 58 45.486	- 4 0 42.73	406 064.443		18 22 13 30.848	- 9 14 22.54	372 934.500
21 0	13 10 4.148	- 4 55 0.76	406 199.596	2 0	22 27 5.699	- 8 15 46.85	371 556.779
	6 13 21 24.408	- 5 48 35.33	406 291.638		6 22 40 42.692	- 7 15 0.17	370 204.954
	12 13 32 46.687	- 6 41 19.02	406 341.216		12 22 54 22.133	- 6 12 13.73	368 886.199
	18 13 44 11.388	- 7 33 4.38	406 348.883		18 23 8 4.353	- 5 7 39.67	367 607.847
22 0	13 55 38.890	- 8 23 43.96	406 315.090	3 0	23 21 49.707	- 4 1 31.03	366 377.331
	6 14 7 9.553	- 9 13 10.30	406 240.186		6 23 35 38.564	- 2 54 1.75	365 202.112
	12 14 18 43.710	-10 1 15.93	406 124.409		12 23 49 31.300	- 1 45 26.70	364 089.612
	18 14 30 21.668	-10 47 53.39	405 967.888		18 0 3 28.294	- 0 36 1.59	363 047.135
23 0	14 42 3.709	-11 32 55.25	405 770.647	4 0	0 17 29.916	0 33 56.98	362 081.784
	6 14 53 50.081	-12 16 14.09	405 532.600		6 0 31 36.519	1 44 11.61	361 200.383
	12 15 5 41.003	-12 57 42.56	405 253.568		12 0 45 48.431	2 54 24.20	360 409.389
	18 15 17 36.661	-13 37 13.38	404 933.275		18 1 0 5.943	4 4 15.97	359 714.810
24 0	15 29 37.205	-14 14 39.33	404 571.367	5 0	1 14 29.298	5 13 27.60	359 122.121
	6 15 41 42.750	-14 49 53.34	404 167.419		6 1 28 58.683	6 21 39.40	358 636.192
	12 15 53 53.374	-15 22 48.46	403 720.949		12 1 43 34.217	7 28 31.38	358 261.212
	18 16 6 9.119	-15 53 17.92	403 231.433		18 1 58 15.938	8 33 43.50	358 000.627
25 0	16 18 29.985	-16 21 15.14	402 698.325	6 0	2 13 3.797	9 36 55.82	357 857.085
	6 16 30 55.939	-16 46 33.79	402 121.072		6 2 27 57.645	10 37 48.72	357 832.394
	12 16 43 26.907	-17 9 7.77	401 499.135		12 2 42 57.228	11 36 3.11	357 927.488
	18 16 56 2.782	-17 28 51.30	400 832.013		18 2 58 2.184	12 31 20.66	358 142.412
26 0	17 8 43.420	-17 45 38.93	400 119.261	7 0	3 13 12.034	13 23 24.06	358 476.309
	6 17 21 28.648	-17 59 25.57	399 360.520		6 3 28 26.186	14 11 57.20	358 927.437
	12 17 34 18.261	-18 10 6.52	398 555.533		12 3 43 43.937	14 56 45.38	359 493.183
	18 17 47 12.031	-18 17 37.52	397 704.177		18 3 59 4.478	15 37 35.56	360 170.097
27 0	18 0 9.707	-18 21 54.76	396 806.488	8 0	4 14 26.906	16 14 16.44	360 953.944
	6 18 13 11.022	-18 22 54.93	395 862.680		6 4 29 50.237	16 46 38.69	361 839.751
	12 18 26 15.698	-18 20 35.22	394 873.180		12 4 45 13.421	17 14 34.97	362 821.877
	18 18 39 23.449	-18 14 53.37	393 838.645		18 5 0 35.362	17 38 0.02	363 894.082
28 0	18 52 33.989	-18 5 47.68	392 759.995	9 0	5 15 54.937	17 56 50.70	365 049.606
	6 19 5 47.038	-17 53 17.03	391 638.428		6 5 31 11.023	18 11 5.90	366 281.249
	12 19 19 2.325	-17 37 20.91	390 475.451		12 5 46 22.514	18 20 46.54	367 581.456
	18 19 32 19.596	-17 17 59.43	389 272.898		18 6 1 28.344	18 25 55.41	368 942.397
29 0	19 45 38.619	-16 55 13.30	388 032.949	10 0	6 16 27.508	18 26 37.07	370 356.053
	6 19 58 59.188	-16 29 3.92	386 758.150		6 6 31 19.079	18 22 57.65	371 814.294
	12 20 12 21.129	-15 59 33.31	385 451.426		12 6 46 2.224	18 15 4.70	373 308.955
	18 20 25 44.302	-15 26 44.19	384 116.095		18 7 0 36.215	18 3 6.96	374 831.910

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mai 11	0 7 15 0.433	17 47 14.19	376 375.136	Mai 22	0 16 6 5.879	-15 56 49.67	402 465.826
	6 7 29 14.383	17 27 36.95	377 930.775		6 16 18 31.225	-16 25 34.85	401 930.991
	12 7 43 17.684	17 4 26.41	379 491.188		12 16 31 2.073	-16 51 39.76	401 364.938
	18 7 57 10.075	16 37 54.15	381 049.005		18 16 43 38.284	-17 14 57.77	400 768.685
12	0 8 10 51.412	16 8 12.06	382 597.165	23	0 16 56 19.670	-17 35 22.61	400 143.138
	6 8 24 21.654	15 35 32.09	384 128.953		6 17 9 5.997	-17 52 48.41	399 489.093
	12 8 37 40.868	15 0 6.24	385 638.027		12 17 21 56.986	-18 7 9.74	398 807.241
	18 8 50 49.208	14 22 6.34	387 118.446		18 17 34 52.323	-18 18 21.67	398 098.180
13	0 9 3 46.915	13 41 44.06	388 564.686	24	0 17 47 51.656	-18 26 19.82	397 362.423
	6 9 16 34.305	12 59 10.76	389 971.652		6 18 0 54.606	-18 31 0.42	396 600.412
	12 9 29 11.757	12 14 37.51	391 334.688		12 18 14 0.773	-18 32 20.30	395 812.534
	18 9 41 39.707	11 28 15.00	392 649.583		18 18 27 9.744	-18 30 16.96	394 999.133
14	0 9 53 58.640	10 40 13.57	393 912.567	25	0 18 40 21.095	-18 24 48.60	394 160.537
	6 10 6 9.078	9 50 43.14	395 120.312		6 18 53 34.406	-18 15 54.12	393 297.068
	12 10 18 11.579	8 59 53.27	396 269.921		12 19 6 49.267	-18 3 33.13	392 409.073
	18 10 30 6.722	8 7 53.16	397 358.924		18 19 20 5.283	-17 47 45.98	391 496.939
15	0 10 41 55.109	7 14 51.64	398 385.261	26	0 19 33 22.082	-17 28 33.73	390 561.120
	6 10 53 37.354	6 20 57.22	399 347.271		6 19 46 39.327	-17 5 58.17	389 602.162
	12 11 5 14.084	5 26 18.09	400 243.677		12 19 59 56.717	-16 40 1.77	388 620.726
	18 11 16 45.927	4 31 2.19	401 073.566		18 20 13 13.996	-16 10 47.73	387 617.611
16	0 11 28 13.517	3 35 17.23	401 836.372	27	0 20 26 30.954	-15 38 19.87	386 593.783
	6 11 39 37.484	2 39 10.70	402 531.853		6 20 39 47.436	-15 2 42.70	385 550.395
	12 11 50 58.455	1 42 49.91	403 160.076		12 20 53 3.341	-14 24 1.35	384 488.812
	18 12 2 17.052	0 46 22.06	403 721.387		18 21 6 18.627	-13 42 21.54	383 410.633
17	0 12 13 33.887	- 0 10 5.77	404 216.395	28	0 21 19 33.308	-12 57 49.61	382 317.709
	6 12 24 49.561	- 1 6 26.58	404 645.948		6 21 32 47.459	-12 10 32.46	381 212.162
	12 12 36 4.664	- 2 2 33.39	405 011.105		12 21 46 1.211	-11 20 37.53	380 096.403
	18 12 47 19.772	- 2 58 19.27	405 313.121		18 21 59 14.752	-10 28 12.87	378 973.140
18	0 12 58 35.442	- 3 53 37.24	405 553.412	29	0 22 12 28.324	- 9 33 27.02	377 845.392
	6 13 9 52.216	- 4 48 20.33	405 733.545		6 22 25 42.219	- 8 36 29.12	376 716.489
	12 13 21 10.616	- 5 42 21.49	405 855.202		12 22 38 56.776	- 7 37 28.84	375 590.081
	18 13 32 31.141	- 6 35 33.65	405 920.166		18 22 52 12.379	- 6 36 36.41	374 470.126
19	0 13 43 54.269	- 7 27 49.61	405 930.295	30	0 23 5 29.448	- 5 34 2.66	373 360.890
	6 13 55 20.449	- 8 19 2.13	405 887.500		6 23 18 48.439	- 4 29 58.99	372 266.927
	12 14 6 50.105	- 9 9 3.88	405 793.724		12 23 32 9.831	- 3 24 37.43	371 193.063
	18 14 18 23.627	- 9 57 47.42	405 650.923		18 23 45 34.128	- 2 18 10.59	370 144.373
20	0 14 30 1.377	-10 45 5.25	405 461.046	31	0 23 59 1.846	- 1 10 51.77	369 126.148
	6 14 41 43.677	-11 30 49.82	405 226.018		6 0 12 33.507	- 0 2 54.85	368 143.857
	12 14 53 30.814	-12 14 53.49	404 947.719		12 0 26 9.632	1 5 25.59	367 203.109
	18 15 5 23.035	-12 57 8.62	404 627.975		18 0 39 50.732	2 13 54.38	366 309.603
21	0 15 17 20.542	-13 37 27.55	404 268.539	Juin 1	0 0 53 37.298	3 22 15.69	365 469.072
	6 15 29 23.493	-14 15 42.64	403 871.082		6 1 7 29.789	4 30 13.14	364 687.232
	12 15 41 32.000	-14 51 46.32	403 437.180		12 1 21 28.626	5 37 29.78	363 969.714
	18 15 53 46.124	-15 25 31.11	402 968.306		18 1 35 34.176	6 43 48.20	363 322.001

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Juin 2 0	1 49 46.741	7 48 50.58	362 749.363	Juin 13 0	12 0 45.218	1 9 0.56	401 374.512
6	2 4 6.551	8 52 18.85	362 256.785	6	12 12 7.163	0 11 50.76	402 075.886
12	2 18 33.744	9 53 54.74	361 848.902	12	12 23 26.896	- 0 45 10.24	402 702.643
18	2 33 8.362	10 53 20.00	361 529.933	18	12 34 45.081	- 1 41 55.59	403 254.112
3 0	2 47 50.335	11 50 16.55	361 303.612	14 0	12 46 2.372	- 2 38 18.60	403 729.993
6	3 2 39.474	12 44 26.64	361 173.135	6	12 57 19.411	- 3 34 12.60	404 130.342
12	3 17 35.465	13 35 33.11	361 141.104	12	13 8 36.824	- 4 29 30.99	404 455.560
18	3 32 37.863	14 23 19.57	361 209.479	18	13 19 55.220	- 5 24 7.16	404 706.373
4 0	3 47 46.086	15 7 30.65	361 379.540	15 0	13 31 15.188	- 6 17 54.45	404 883.814
6	4 2 59.425	15 47 52.18	361 651.859	6	13 42 37.298	- 7 10 46.18	404 989.208
12	4 18 17.042	16 24 11.47	362 026.275	12	13 54 2.094	- 8 2 35.56	405 024.149
18	4 33 37.984	16 56 17.46	362 501.890	18	14 5 30.095	- 8 53 15.71	404 990.485
5 0	4 49 1.194	17 24 0.89	363 077.066	16 0	14 17 1.790	- 9 42 39.65	404 890.291
6	5 4 25.531	17 47 14.47	363 749.437	6	14 28 37.638	-10 30 40.26	404 725.853
12	5 19 49.791	18 5 52.97	364 515.929	12	14 40 18.060	-11 17 10.30	404 499.643
18	5 35 12.726	18 19 53.29	365 372.791	18	14 52 3.443	-12 2 2.43	404 214.298
6 0	5 50 33.076	18 29 14.42	366 315.637	17 0	15 3 54.129	-12 45 9.15	403 872.597
6	6 5 49.591	18 33 57.48	367 339.487	6	15 15 50.417	-13 26 22.90	403 477.438
12	6 21 1.056	18 34 5.59	368 438.824	12	15 27 52.558	-14 5 36.03	403 031.816
18	6 36 6.319	18 29 43.77	369 607.655	18	15 40 0.750	-14 42 40.85	402 538.798
7 0	6 51 4.309	18 20 58.77	370 839.569	18 0	15 52 15.137	-15 17 29.66	402 001.502
6	7 5 54.053	18 7 58.88	372 127.805	6	16 4 35.808	-15 49 54.77	401 423.074
12	7 20 34.696	17 50 53.77	373 465.321	12	16 17 2.789	-16 19 48.59	400 806.665
18	7 35 5.508	17 29 54.19	374 844.859	18	16 29 36.047	-16 47 3.69	400 155.410
8 0	7 49 25.889	17 5 11.83	376 259.012	19 0	16 42 15.486	-17 11 32.80	399 472.407
6	8 3 35.376	16 36 59.06	377 700.291	6	16 55 0.948	-17 33 8.95	398 760.697
12	8 17 33.639	16 5 28.71	379 161.186	12	17 7 52.214	-17 51 45.49	398 023.247
18	8 31 20.477	15 30 53.95	380 634.227	18	17 20 49.005	-18 7 16.20	397 262.930
9 0	8 44 55.813	14 53 28.01	382 112.036	20 0	17 33 50.986	-18 19 35.32	396 482.510
6	8 58 19.687	14 13 24.12	383 587.384	6	17 46 57.771	-18 28 37.66	395 684.631
12	9 11 32.242	13 30 55.33	385 053.233	12	18 0 8.928	-18 34 18.65	394 871.798
18	9 24 33.717	12 46 14.44	386 502.782	18	18 13 23.987	-18 36 34.42	394 046.375
10 0	9 37 24.436	11 59 33.89	387 929.501	21 0	18 26 42.444	-18 35 21.83	393 210.569
6	9 50 4.798	11 11 5.70	389 327.167	6	18 40 3.777	-18 30 38.54	392 366.431
12	10 2 35.264	10 21 1.44	390 689.892	12	18 53 27.447	-18 22 23.06	391 515.847
18	10 14 56.348	9 29 32.20	392 012.143	18	19 6 52.915	-18 10 34.77	390 660.544
11 0	10 27 8.610	8 36 48.57	393 288.769	22 0	19 20 19.647	-17 55 13.93	389 802.084
6	10 39 12.648	7 43 0.66	394 515.007	6	19 33 47.127	-17 36 21.69	388 941.876
12	10 51 9.085	6 48 18.10	395 686.504	12	19 47 14.865	-17 14 0.13	388 081.177
18	11 2 58.569	5 52 50.06	396 799.318	18	20 0 42.409	-16 48 12.17	387 221.106
12 0	11 14 41.764	4 56 45.27	397 849.924	23 0	20 14 9.348	-16 19 1.63	386 362.652
6	11 26 19.344	4 0 12.09	398 835.222	6	20 27 35.323	-15 46 33.13	385 506.693
12	11 37 51.990	3 3 18.51	399 752.528	12	20 41 0.034	-15 10 52.11	384 654.008
18	11 49 20.387	2 6 12.20	400 599.575	18	20 54 23.240	-14 32 4.75	383 805.299

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ′ ″	km		h m s	° ′ ″	km		
Juin	24 0	21 7 44.767	-13 50 17.91	382961.209	Juill.	5 0	7 26 2.567	17 48 45.23	373984.010
	6	21 21 4.507	-13 5 39.16	382122.343		6	7 40 33.800	17 27 0.40	375048.254
	12	21 34 22.424	-12 18 16.63	381289.294		12	7 54 56.133	17 1 30.42	376160.871
	18	21 47 38.545	-11 28 19.03	380462.663		18	8 9 8.965	16 32 26.88	377316.732
	25 0	22 0 52.969	-10 35 55.60	379643.084		6 0	8 23 11.820	16 0 2.08	378510.399
	6	22 14 5.858	- 9 41 16.04	378831.249		6	8 37 4.345	15 24 28.88	379736.169
	12	22 27 17.436	- 8 44 30.50	378027.928		12	8 50 46.308	14 46 0.46	380988.122
	18	22 40 27.986	- 7 45 49.54	377233.996		18	9 4 17.594	14 4 50.18	382260.168
	26 0	22 53 37.843	- 6 45 24.13	376450.452		7 0	9 17 38.200	13 21 11.43	383546.096
	6	23 6 47.394	- 5 43 25.58	375678.439		6	9 30 48.223	12 35 17.52	384839.622
	12	23 19 57.069	- 4 40 5.58	374919.259		12	9 43 47.855	11 47 21.52	386134.435
	18	23 33 7.335	- 3 35 36.15	374174.393		18	9 56 37.370	10 57 36.20	387424.240
	27 0	23 46 18.693	- 2 30 9.67	373445.511		8 0	10 9 17.117	10 6 13.96	388702.805
	6	23 59 31.667	- 1 23 58.85	372734.477		6	10 21 47.509	9 13 26.77	389964.001
	12	0 12 46.802	- 0 17 16.76	372043.361		12	10 34 9.017	8 19 26.12	391201.839
	18	0 26 4.654	0 49 43.19	371374.433		18	10 46 22.155	7 24 23.02	392410.508
	28 0	0 39 25.782	1 56 47.25	370730.166		9 0	10 58 27.478	6 28 27.98	393584.405
	6	0 52 50.742	3 3 41.33	370113.222		6	11 10 25.576	5 31 51.02	394718.167
	12	1 6 20.077	4 10 10.99	369526.446		12	11 22 17.059	4 34 41.67	395806.701
	18	1 19 54.305	5 16 1.47	368972.846		18	11 34 2.561	3 37 9.00	396845.203
	29 0	1 33 33.916	6 20 57.71	368455.569		10 0	11 45 42.729	2 39 21.65	397829.180
	6	1 47 19.357	7 24 44.39	367977.881		6	11 57 18.221	1 41 27.87	398754.474
	12	2 1 11.021	8 27 5.96	367543.130		12	12 8 49.700	0 43 35.53	399617.272
	18	2 15 9.239	9 27 46.71	367154.713		18	12 20 17.833	- 0 14 7.82	400414.122
	30 0	2 29 14.268	10 26 30.84	366816.042		11 0	12 31 43.286	- 1 11 34.90	401141.943
	6	2 43 26.279	11 23 2.57	366530.496		6	12 43 6.722	- 2 8 38.70	401798.036
	12	2 57 45.350	12 17 6.22	366301.380		12	12 54 28.799	- 3 5 12.37	402380.085
	18	3 12 11.449	13 8 26.37	366131.877		18	13 5 50.168	- 4 1 9.24	402886.168
Juill.	1 0	3 26 44.437	13 56 47.99	366025.003		12 0	13 17 11.466	- 4 56 22.76	403314.754
	6	3 41 24.050	14 41 56.61	365983.557		6	13 28 33.322	- 5 50 46.45	403664.707
	12	3 56 9.903	15 23 38.45	366010.074		12	13 39 56.349	- 6 44 13.87	403935.281
	18	4 11 1.484	16 1 40.67	366106.779		18	13 51 21.142	- 7 36 38.59	404126.121
	2 0	4 25 58.156	16 35 51.48	366275.544		13 0	14 2 48.277	- 8 27 54.14	404237.255
	6	4 40 59.165	17 6 0.38	366517.848		6	14 14 18.310	- 9 17 54.02	404269.090
	12	4 56 3.643	17 31 58.27	366834.738		12	14 25 51.771	-10 6 31.64	404222.404
	18	5 11 10.627	17 53 37.62	367226.801		18	14 37 29.162	-10 53 40.31	404098.336
	3 0	5 26 19.068	18 10 52.63	367694.136		14 0	14 49 10.956	-11 39 13.23	403898.374
	6	5 41 27.855	18 23 39.29	368236.334		6	15 0 57.590	-12 23 3.50	403624.346
	12	5 56 35.835	18 31 55.45	368852.466		12	15 12 49.465	-13 5 4.06	403278.406
	18	6 11 41.834	18 35 40.85	369541.075		18	15 24 46.940	-13 45 7.78	402863.015
	4 0	6 26 44.681	18 34 57.12	370300.179		15 0	15 36 50.328	-14 23 7.38	402380.931
	6	6 41 43.234	18 29 47.70	371127.274		6	15 48 59.896	-14 58 55.50	401835.186
	12	6 56 36.400	18 20 17.80	372019.351		12	16 1 15.856	-15 32 24.74	401229.070
	18	7 11 23.156	18 6 34.22	372972.915		18	16 13 38.365	-16 3 27.65	400566.107

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Juill. 16	0 16 26 7.519	-16 31 56.79	399 850.039	Juill. 27	0 2 16 9.410	9 19 53.89	369 723.689
	6 16 38 43.354	-16 57 44.79	399 084.798		6 2 30 0.592	10 17 45.89	369 676.809
	12 16 51 25.841	-17 20 44.41	398 274.483		12 2 43 56.958	11 13 25.37	369 662.426
	18 17 4 14.886	-17 40 48.58	397 423.336		18 2 57 58.671	12 6 38.64	369 681.036
17	0 17 17 10.328	-17 57 50.51	396 535.715	28	0 3 12 5.816	12 57 12.38	369 733.262
	6 17 30 11.941	-18 11 43.74	395 616.064		6 3 26 18.391	13 44 53.66	369 819.844
	12 17 43 19.436	-18 22 22.22	394 668.889		12 3 40 36.300	14 29 30.07	369 941.622
	18 17 56 32.464	-18 29 40.41	393 698.727		18 3 54 59.352	15 10 49.82	370 099.516
18	0 18 9 50.621	-18 33 33.35	392 710.117	29	0 4 9 27.255	15 48 41.83	370 294.507
	6 18 23 13.450	-18 33 56.76	391 707.571		6 4 23 59.614	16 22 55.87	370 527.610
	12 18 36 40.455	-18 30 47.10	390 695.545		12 4 38 35.937	16 53 22.68	370 799.846
	18 18 50 11.103	-18 24 1.65	389 678.410		18 4 53 15.635	17 19 54.06	371 112.216
19	0 19 3 44.838	-18 13 38.58	388 660.424	30	0 5 7 58.030	17 42 23.01	371 465.664
	6 19 17 21.088	-17 59 37.02	387 645.705		6 5 22 42.364	18 0 43.79	371 861.054
	12 19 30 59.275	-17 41 57.04	386 638.206		12 5 37 27.811	18 14 52.07	372 299.131
	18 19 44 38.828	-17 20 39.78	385 641.688		18 5 52 13.490	18 24 44.95	372 780.493
20	0 19 58 19.196	-16 55 47.38	384 659.703	31	0 6 6 58.482	18 30 21.00	373 305.561
	6 20 11 59.850	-16 27 23.03	383 695.570		6 6 21 41.846	18 31 40.35	373 874.550
	12 20 25 40.301	-15 55 30.98	382 752.358		12 6 36 22.637	18 28 44.62	374 487.440
	18 20 39 20.105	-15 20 16.46	381 832.876		18 6 50 59.925	18 21 36.92	375 143.956
21	0 20 52 58.869	-14 41 45.68	380 939.660	Août 1	0 7 5 32.810	18 10 21.83	375 843.543
	6 21 6 36.261	-14 0 5.82	380 074.962		6 7 20 0.439	17 55 5.26	376 585.351
	12 21 20 12.012	-13 15 24.91	379 240.752		12 7 34 22.021	17 35 54.41	377 368.219
	18 21 33 45.920	-12 27 51.82	378 438.716		18 7 48 36.839	17 12 57.63	378 190.669
22	0 21 47 17.853	-11 37 36.19	377 670.256	2	0 8 2 44.259	16 46 24.30	379 050.894
	6 22 0 47.748	-10 44 48.35	376 936.505		6 8 16 43.738	16 16 24.67	379 946.763
	12 22 14 15.611	-9 49 39.25	376 238.328		12 8 30 34.829	15 43 9.75	380 875.819
	18 22 27 41.517	-8 52 20.42	375 576.346		18 8 44 17.182	15 6 51.14	381 835.290
23	0 22 41 5.605	-7 53 3.86	374 950.948	3	0 8 57 50.544	14 27 40.90	382 822.094
	6 22 54 28.073	-6 52 2.04	374 362.311		6 9 11 14.762	13 45 51.37	383 832.860
	12 23 7 49.181	-5 49 27.78	373 810.426		12 9 24 29.770	13 1 35.13	384 863.942
	18 23 21 9.234	-4 45 34.21	373 295.124		18 9 37 35.593	12 15 4.79	385 911.441
24	0 23 34 28.588	-3 40 34.77	372 816.099	4	0 9 50 32.336	11 26 32.94	386 971.230
	6 23 47 47.638	-2 34 43.10	372 372.937		6 10 3 20.179	10 36 12.03	388 038.980
	12 0 1 6.811	-1 28 13.04	371 965.149		12 10 15 59.370	9 44 14.30	389 110.187
	18 0 14 26.563	-0 21 18.60	371 592.193		18 10 28 30.218	8 50 51.72	390 180.202
25	0 0 27 47.368	0 45 46.10	371 253.509	5	0 10 40 53.084	7 56 15.94	391 244.267
	6 0 41 9.716	1 52 46.82	370 948.542		6 10 53 8.378	7 0 38.23	392 297.539
	12 0 54 34.100	2 59 29.24	370 676.771		12 11 5 16.549	6 4 9.47	393 335.127
	18 1 8 1.009	4 5 39.00	370 437.730		18 11 17 18.080	5 7 0.13	394 352.126
26	0 1 21 30.925	5 11 1.68	370 231.034	6	0 11 29 13.484	4 9 20.26	395 343.644
	6 1 35 4.309	6 15 22.88	370 056.394		6 11 41 3.296	3 11 19.50	396 304.839
	12 1 48 41.593	7 18 28.19	369 913.634		12 11 52 48.071	2 13 7.08	397 230.945
	18 2 2 23.176	8 20 3.28	369 802.704		18 12 4 28.377	1 14 51.82	398 117.306

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT**ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE**

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	''	km		h	m	s	°	'	''	km
Août	7 0	12 16	4.794	0	16	42.19	398 959.403	Août	18 0	21 28	36.504	-12	47	0.35	375 670.807
	6	12 27	37.909	-0	41	13.71	399 752.880		6	21 42	23.871	-11	57	17.67	374 664.014
	12	12 39	8.314	-1	38	48.10	400 493.573		12	21 56	10.397	-11	4	47.99	373 709.131
	18	12 50	36.603	-2	35	53.46	401 177.532		18	22 9	55.953	-10	9	42.32	372 809.897
	8 0	13 2	3.367	-3	32	22.57	401 801.046		19 0	22 23	40.469	-9	12	12.49	371 969.621
	6	13 13	29.198	-4	28	8.42	402 360.663		6	22 37	23.932	-8	12	31.14	371 191.160
	12	13 24	54.678	-5	23	4.17	402 853.211		12	22 51	6.389	-7	10	51.65	370 476.902
	18	13 36	20.385	-6	17	3.17	403 275.815		18	23 4	47.941	-6	7	28.01	369 828.754
	9 0	13 47	46.885	-7	9	58.87	403 625.913		20 0	23 18	28.736	-5	2	34.79	369 248.138
	6	13 59	14.735	-8	1	44.83	403 901.275		6	23 32	8.973	-3	56	27.03	368 735.991
	12	14 10	44.475	-8	52	14.65	404 100.011		12	23 45	48.889	-2	49	20.13	368 292.777
	18	14 22	16.631	-9	41	21.97	404 220.585		18	23 59	28.757	-1	41	29.85	367 918.495
	10 0	14 33	51.709	-10	29	0.43	404 261.828		21 0	0 13	8.879	-0	33	12.12	367 612.701
	6	14 45	30.195	-11	15	3.67	404 222.940		6	0 26	49.579	0	35	16.94	367 374.536
	12	14 57	12.550	-11	59	25.28	404 103.506		12	0 40	31.198	1	43	41.16	367 202.750
	18	15 8	59.209	-12	41	58.79	403 903.493		18	0 54	14.083	2	51	44.36	367 095.741
	11 0	15 20	50.575	-13	22	37.68	403 623.259		22 0	1 7	58.584	3	59	10.45	367 051.592
	6	15 32	47.021	-14	1	15.36	403 263.554		6	1 21	45.041	5	5	43.47	367 068.112
	12	15 44	48.882	-14	37	45.15	402 825.520		12	1 35	33.784	6	11	7.64	367 142.875
	18	15 56	56.451	-15	12	0.34	402 310.692		18	1 49	25.115	7	15	7.48	367 273.271
	12 0	16 9	9.982	-15	43	54.14	401 720.994		23 0	2 3	19.310	8	17	27.81	367 456.545
	6	16 21	29.679	-16	13	19.74	401 058.731		6	2 17	16.605	9	17	53.86	367 689.844
	12	16 33	55.698	-16	40	10.34	400 326.590		12	2 31	17.193	10	16	11.28	367 970.257
	18	16 46	28.144	-17	4	19.14	399 527.625		18	2 45	21.213	11	12	6.24	368 294.859
	13 0	16 59	7.064	-17	25	39.44	398 665.250		24 0	2 59	28.746	12	5	25.49	368 660.749
	6	17 11	52.451	-17	44	4.65	397 743.224		6	3 13	39.811	12	55	56.39	369 065.082
	12	17 24	44.240	-17	59	28.35	396 765.637		12	3 27	54.354	13	43	27.00	369 505.105
	18	17 37	42.307	-18	11	44.38	395 736.893		18	3 42	12.253	14	27	46.16	369 978.182
	14 0	17 50	46.470	-18	20	46.88	394 661.691		25 0	3 56	33.307	15	8	43.51	370 481.819
	6	18 3	56.494	-18	26	30.39	393 544.999		6	4 10	57.243	15	46	9.60	371 013.681
	12	18 17	12.087	-18	28	49.90	392 392.034		12	4 25	23.709	16	19	55.95	371 571.611
	18	18 30	32.911	-18	27	40.96	391 208.231		18	4 39	52.284	16	49	55.07	372 153.633
	15 0	18 43	58.581	-18	22	59.73	389 999.213		26 0	4 54	22.475	17	16	0.58	372 757.963
	6	18 57	28.675	-18	14	43.11	388 770.763		6	5 8	53.729	17	38	7.23	373 383.008
	12	19 11	2.739	-18	2	48.74	387 528.782		12	5 23	25.439	17	56	10.91	374 027.363
	18	19 24	40.295	-17	47	15.17	386 279.258		18	5 37	56.951	18	10	8.76	374 689.803
	16 0	19 38	20.852	-17	28	1.84	385 028.223		27 0	5 52	27.577	18	19	59.14	375 369.274
	6	19 52	3.911	-17	5	9.19	383 781.714		6	6 6	56.606	18	25	41.64	376 064.875
	12	20 5	48.979	-16	38	38.69	382 545.728		12	6 21	23.319	18	27	17.09	376 775.845
	18	20 19	35.572	-16	8	32.89	381 326.181		18	6 35	46.996	18	24	47.55	377 501.542
	17 0	20 33	23.230	-15	34	55.43	380 128.863		28 0	6 50	6.934	18	18	16.26	378 241.421
	6	20 47	11.523	-14	57	51.04	378 959.395		6	7 4	22.457	18	7	47.57	378 995.010
	12	21 1	0.057	-14	17	25.58	377 823.180		12	7 18	32.924	17	53	26.94	379 761.886
	18	21 14	48.484	-13	33	46.01	376 725.367		18	7 32	37.745	17	35	20.81	380 541.652

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Août	29 0	7 46 36.385	17 13 36.56	381 333.906	Sept.	9 0	16 41 57.314	-16 53 25.86	402 063.631
	6	8 0 28.373	16 48 22.38	382 138.224		6	16 54 23.746	-17 15 35.15	401 345.784
	12	8 14 13.305	16 19 47.21	382 954.126		12	17 6 55.772	-17 34 55.59	400 553.199
	18	8 27 50.850	15 48 0.64	383 781.060		18	17 19 33.413	-17 51 21.52	399 687.714
	30 0	8 41 20.749	15 13 12.77	384 618.375	10 0	17 32 16.650	-18 4 47.45	398 751.589	
	6	8 54 42.818	14 35 34.16	385 465.304	6	17 45 5.423	-18 15 8.10	397 747.503	
	12	9 7 56.945	13 55 15.73	386 320.942	12	17 57 59.629	-18 22 18.47	396 678.558	
	18	9 21 3.089	13 12 28.64	387 184.233	18	18 10 59.128	-18 26 13.83	395 548.278	
	31 0	9 34 1.276	12 27 24.21	388 053.954	11 0	18 24 3.741	-18 26 49.85	394 360.607	
	6	9 46 51.596	11 40 13.87	388 928.705	6	18 37 13.257	-18 24 2.60	393 119.896	
	12	9 59 34.197	10 51 9.07	389 806.901	12	18 50 27.432	-18 17 48.65	391 830.901	
	18	10 12 9.280	10 0 21.20	390 686.766	18	19 3 45.996	-18 8 5.10	390 498.763	
Sept.	1 0	10 24 37.097	9 8 1.56	391 566.333	12 0	19 17 8.657	-17 54 49.68	389 128.997	
	6	10 36 57.943	8 14 21.31	392 443.439	6	19 30 35.105	-17 38 0.77	387 727.467	
	12	10 49 12.150	7 19 31.40	393 315.736	12	19 44 5.022	-17 17 37.52	386 300.363	
	18	11 1 20.087	6 23 42.55	394 180.691	18	19 57 38.083	-16 53 39.85	384 854.172	
	2 0	11 13 22.150	5 27 5.27	395 035.597	13 0	20 11 13.965	-16 26 8.56	383 395.645	
	6	11 25 18.760	4 29 49.75	395 877.584	6	20 24 52.354	-15 55 5.34	381 931.760	
	12	11 37 10.360	3 32 5.91	396 703.634	12	20 38 32.949	-15 20 32.86	380 469.677	
	18	11 48 57.409	2 34 3.40	397 510.593	18	20 52 15.469	-14 42 34.79	379 016.697	
	3 0	12 0 40.379	1 35 51.53	398 295.193	14 0	21 5 59.658	-14 1 15.81	377 580.207	
	6	12 12 19.755	0 37 39.35	399 054.070	6	21 19 45.291	-13 16 41.71	376 167.626	
	12	12 23 56.026	- 0 20 24.42	399 783.779	12	21 33 32.176	-12 28 59.34	374 786.351	
	18	12 35 29.690	- 1 18 11.32	400 480.826	18	21 47 20.159	-11 38 16.64	373 443.692	
	4 0	12 47 1.244	- 2 15 33.17	401 141.682	15 0	22 1 9.127	-10 44 42.68	372 146.813	
	6	12 58 31.188	- 3 12 22.04	401 762.811	6	22 14 59.005	- 9 48 27.57	370 902.663	
	12	13 10 0.019	- 4 8 30.27	402 340.692	12	22 28 49.762	- 8 49 42.52	369 717.916	
	18	13 21 28.230	- 5 3 50.41	402 871.846	18	22 42 41.410	- 7 48 39.77	368 598.904	
	5 0	13 32 56.310	- 5 58 15.20	403 352.857	16 0	22 56 33.996	- 6 45 32.53	367 551.552	
	6	13 44 24.741	- 6 51 37.61	403 780.402	6	23 10 27.609	- 5 40 34.98	366 581.324	
	12	13 55 53.994	- 7 43 50.73	404 151.269	12	23 24 22.369	- 4 34 2.13	365 693.160	
	18	14 7 24.532	- 8 34 47.83	404 462.387	18	23 38 18.429	- 3 26 9.83	364 891.431	
	6 0	14 18 56.803	- 9 24 22.30	404 710.847	17 0	23 52 15.965	- 2 17 14.61	364 179.889	
	6	14 30 31.243	-10 12 27.62	404 893.924	6	0 6 15.174	- 1 7 33.63	363 561.633	
	12	14 42 8.270	-10 58 57.39	405 009.102	12	0 20 16.267	0 2 35.44	363 039.082	
	18	14 53 48.285	-11 43 45.25	405 054.098	18	0 34 19.462	1 12 54.52	362 613.948	
	7 0	15 5 31.669	-12 26 44.93	405 026.878	18 0	0 48 24.978	2 23 5.27	362 287.232	
	6	15 17 18.779	-13 7 50.18	404 925.681	6	1 2 33.024	3 32 49.16	362 059.223	
	12	15 29 9.950	-13 46 54.81	404 749.037	12	1 16 43.798	4 41 47.66	361 929.503	
	18	15 41 5.489	-14 23 52.63	404 495.786	18	1 30 57.474	5 49 42.30	361 896.971	
	8 0	15 53 5.675	-14 58 37.52	404 165.097	19 0	1 45 14.193	6 56 14.87	361 959.868	
	6	16 5 10.754	-15 31 3.34	403 756.479	6	1 59 34.063	8 1 7.47	362 115.818	
	12	16 17 20.940	-16 1 4.02	403 269.803	12	2 13 57.145	9 4 2.74	362 361.867	
	18	16 29 36.413	-16 28 33.52	402 705.312	18	2 28 23.446	10 4 43.87	362 694.542	

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Sept. 20	0 2 42 52.921	11 2 54.82	363 109.902	Oct. 1	0 12 33 29.015	- 1 9 30.58	401 559.339
	6 2 57 25.458	11 58 20.37	363 603.601		6 12 44 58.449	- 2 6 56.48	402 131.689
	12 3 12 0.880	12 50 46.24	364 170.952		12 12 56 26.775	- 3 3 54.02	402 673.678
	18 3 26 38.942	13 39 59.23	364 806.996		18 13 7 54.436	- 4 0 15.21	403 183.615
21	0 3 41 19.330	14 25 47.23	365 506.563	2	0 13 19 21.867	- 4 55 52.20	403 659.685
	6 3 56 1.660	15 7 59.40	366 264.339		6 13 30 49.492	- 5 50 37.30	404 099.964
	12 4 10 45.483	15 46 26.14	367 074.930		12 13 42 17.724	- 6 44 22.96	404 502.423
	18 4 25 30.285	16 20 59.21	367 932.922		18 13 53 46.960	- 7 37 1.79	404 864.947
22	0 4 40 15.501	16 51 31.72	368 832.937	3	0 14 5 17.584	- 8 28 26.54	405 185.344
	6 4 55 0.513	17 17 58.23	369 769.683		6 14 16 49.963	- 9 18 30.10	405 461.365
	12 5 9 44.668	17 40 14.66	370 738.005		12 14 28 24.445	-10 7 5.47	405 690.721
	18 5 24 27.282	17 58 18.38	371 732.922		18 14 40 1.361	-10 54 5.81	405 871.102
23	0 5 39 7.657	18 12 8.10	372 749.664	4	0 14 51 41.019	-11 39 24.40	406 000.193
	6 5 53 45.087	18 21 43.93	373 783.704		6 15 3 23.708	-12 22 54.64	406 075.704
	12 6 8 18.876	18 27 7.24	374 830.780		12 15 15 9.690	-13 4 30.05	406 095.384
	18 6 22 48.344	18 28 20.65	375 886.913		18 15 26 59.206	-13 44 4.29	406 057.046
24	0 6 37 12.846	18 25 27.94	376 948.421	5	0 15 38 52.469	-14 21 31.16	405 958.592
	6 6 51 31.772	18 18 33.96	378 011.927		6 15 50 49.667	-14 56 44.56	405 798.036
	12 7 5 44.568	18 7 44.54	379 074.358		12 16 2 50.958	-15 29 38.56	405 573.526
	18 7 19 50.731	17 53 6.41	380 132.949		18 16 14 56.473	-16 0 7.36	405 283.372
25	0 7 33 49.827	17 34 47.08	381 185.231	6	0 16 27 6.313	-16 28 5.33	404 926.066
	6 7 47 41.487	17 12 54.74	382 229.023		6 16 39 20.550	-16 53 27.00	404 500.308
	12 8 1 25.413	16 47 38.18	383 262.420		12 16 51 39.225	-17 16 7.06	404 005.030
	18 8 15 1.378	16 19 6.68	384 283.772		18 17 4 2.350	-17 36 0.44	403 439.421
26	0 8 28 29.228	15 47 29.92	385 291.671	7	0 17 16 29.910	-17 53 2.24	402 802.946
	6 8 41 48.878	15 12 57.89	386 284.922		6 17 29 1.860	-18 7 7.82	402 095.371
	12 8 55 0.310	14 35 40.85	387 262.529		12 17 41 38.127	-18 18 12.79	401 316.785
	18 9 8 3.571	13 55 49.20	388 223.662		18 17 54 18.617	-18 26 13.04	400 467.620
27	0 9 20 58.767	13 13 33.45	389 167.638	8	0 18 7 3.210	-18 31 4.75	399 548.670
	6 9 33 46.058	12 29 4.17	390 093.892		6 18 19 51.769	-18 32 44.46	398 561.109
	12 9 46 25.657	11 42 31.94	391 001.951		12 18 32 44.136	-18 31 9.05	397 506.510
	18 9 58 57.820	10 54 7.28	391 891.412		18 18 45 40.143	-18 26 15.78	396 386.859
28	0 10 11 22.842	10 4 0.66	392 761.911	9	0 18 58 39.612	-18 18 2.38	395 204.568
	6 10 23 41.057	9 12 22.43	393 613.104		6 19 11 42.356	-18 6 26.98	393 962.485
	12 10 35 52.826	8 19 22.84	394 444.640		12 19 24 48.189	-17 51 28.24	392 663.906
	18 10 47 58.536	7 25 11.97	395 256.143		18 19 37 56.928	-17 33 5.32	391 312.578
29	0 10 59 58.598	6 29 59.77	396 047.185	10	0 19 51 8.396	-17 11 17.97	389 912.702
	6 11 11 53.436	5 33 56.01	396 817.275		6 20 4 22.425	-16 46 6.51	388 468.936
	12 11 23 43.492	4 37 10.28	397 565.838		12 20 17 38.866	-16 17 31.91	386 986.384
	18 11 35 29.217	3 39 52.01	398 292.203		18 20 30 57.588	-15 45 35.82	385 470.592
30	0 11 47 11.069	2 42 10.43	398 995.585	11	0 20 44 18.482	-15 10 20.59	383 927.536
	6 11 58 49.510	1 44 14.60	399 675.085		6 20 57 41.465	-14 31 49.35	382 363.598
	12 12 10 25.005	0 46 13.38	400 329.674		12 21 11 6.484	-13 50 6.00	380 785.548
	18 12 21 58.019	- 0 11 44.52	400 958.190		18 21 24 33.516	-13 5 15.28	379 200.511

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Oct. 12	0 21 38 2.572	-12 17 22.81	377 615.935	Oct. 23	0 8 15 48.398	16 26 7.26	381 590.030
	6 21 51 33.694	-11 26 35.12	376 039.547		6 8 29 24.584	15 53 53.16	382 940.657
	12 22 5 6.961	-10 32 59.68	374 479.307		12 8 42 50.638	15 18 43.90	384 269.772
	18 22 18 42.483	- 9 36 44.94	372 943.354		18 8 56 6.657	14 40 50.98	385 573.659
13	0 22 32 20.405	- 8 38 0.36	371 439.945	24	0 9 9 12.814	14 0 25.83	386 849.002
	6 22 46 0.900	- 7 36 56.41	369 977.389		6 9 22 9.352	13 17 39.75	388 092.879
	12 22 59 44.172	- 6 33 44.64	368 563.981		12 9 34 56.575	12 32 43.90	389 302.751
	18 23 13 30.446	- 5 28 37.60	367 207.919		18 9 47 34.839	11 45 49.20	390 476.441
14	0 23 27 19.972	- 4 21 48.93	365 917.228	25	0 10 0 4.550	10 57 6.35	391 612.122
	6 23 41 13.014	- 3 13 33.26	364 699.679		6 10 12 26.149	10 6 45.77	392 708.291
	12 23 55 9.844	- 2 4 6.23	363 562.706		12 10 24 40.111	9 14 57.64	393 763.753
	18 0 9 10.742	- 0 53 44.44	362 513.316		18 10 36 46.936	8 21 51.87	394 777.587
15	0 0 23 15.982	0 17 14.65	361 558.017	26	0 10 48 47.144	7 27 38.10	395 749.133
	6 0 37 25.827	1 28 32.75	360 702.731		6 11 0 41.271	6 32 25.74	396 677.954
	12 0 51 40.523	2 39 50.89	359 952.726		12 11 12 29.860	5 36 23.95	397 563.821
	18 1 6 0.285	3 50 49.50	359 312.547		18 11 24 13.466	4 39 41.68	398 406.675
16	0 1 20 25.291	5 1 8.58	358 785.958	27	0 11 35 52.640	3 42 27.67	399 206.610
	6 1 34 55.675	6 10 27.81	358 375.896		6 11 47 27.937	2 44 50.49	399 963.838
	12 1 49 31.510	7 18 26.78	358 084.431		12 11 58 59.907	1 46 58.52	400 678.669
	18 2 4 12.808	8 24 45.14	357 912.746		18 12 10 29.094	0 49 0.01	401 351.483
17	0 2 18 59.503	9 29 2.79	357 861.121	28	0 12 21 56.032	- 0 8 56.91	401 982.707
	6 2 33 51.448	10 31 0.11	357 928.941		6 12 33 21.247	- 1 6 44.25	402 572.787
	12 2 48 48.409	11 30 18.16	358 114.705		12 12 44 45.252	- 2 4 14.09	403 122.174
	18 3 3 50.056	12 26 38.85	358 416.062		18 12 56 8.544	- 3 1 18.63	403 631.294
18	0 3 18 55.965	13 19 45.22	358 829.846	29	0 13 7 31.606	- 3 57 50.11	404 100.537
	6 3 34 5.615	14 9 21.54	359 352.131		6 13 18 54.903	- 4 53 40.86	404 530.236
	12 3 49 18.390	14 55 13.54	359 978.293		12 13 30 18.882	- 5 48 43.27	404 920.651
	18 4 4 33.583	15 37 8.58	360 703.077		18 13 41 43.967	- 6 42 49.78	405 271.957
19	0 4 19 50.408	16 14 55.70	361 520.676	30	0 13 53 10.562	- 7 35 52.90	405 584.233
	6 4 35 8.008	16 48 25.82	362 424.814		6 14 4 39.047	- 8 27 45.18	405 857.450
	12 4 50 25.467	17 17 31.73	363 408.824		12 14 16 9.776	- 9 18 19.24	406 091.469
	18 5 5 41.827	17 42 8.16	364 465.735		18 14 27 43.077	-10 7 27.77	406 286.030
20	0 5 20 56.107	18 2 11.78	365 588.360	31	0 14 39 19.250	-10 55 3.52	406 440.756
	6 5 36 7.317	18 17 41.17	366 769.373		6 14 50 58.564	-11 40 59.33	406 555.148
	12 5 51 14.479	18 28 36.73	368 001.388		12 15 2 41.259	-12 25 8.16	406 628.588
	18 6 6 16.647	18 35 0.60	369 277.036		18 15 14 27.542	-13 7 23.05	406 660.344
21	0 6 21 12.920	18 36 56.57	370 589.031	Nov. 1	0 15 26 17.586	-13 47 37.19	406 649.579
	6 6 36 2.461	18 34 29.89	371 930.233		6 15 38 11.530	-14 25 43.91	406 595.354
	12 6 50 44.507	18 27 47.14	373 293.704		12 15 50 9.480	-15 1 36.71	406 496.643
	18 7 5 18.382	18 16 56.07	374 672.759		18 16 2 11.503	-15 35 9.28	406 352.345
22	0 7 19 43.506	18 2 5.41	376 061.002	2	0 16 14 17.633	-16 6 15.53	406 161.295
	6 7 33 59.397	17 43 24.73	377 452.369		6 16 26 27.868	-16 34 49.59	405 922.286
	12 7 48 5.677	17 21 4.26	378 841.151		12 16 38 42.173	-17 0 45.87	405 634.083
	18 8 2 2.069	16 55 14.74	380 222.017		18 16 51 0.478	-17 23 59.05	405 295.443

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 3	0 17 3 22.682	-17 44 24.13	404 905.136	Nov. 14	0 2 50 36.955	11 38 42.16	356 737.234
	6 17 15 48.653	-18 1 56.43	404 461.970		6 3 5 47.271	12 36 3.91	356 560.028
	12 17 28 18.236	-18 16 31.65	403 964.806		12 3 21 4.841	13 30 15.03	356 509.690
	18 17 40 51.249	-18 28 5.84	403 412.592		18 3 36 29.084	14 20 56.92	356 586.729
4	0 17 53 27.490	-18 36 35.46	402 804.382	15	0 3 51 59.277	15 7 52.23	356 790.687
	6 18 6 6.743	-18 41 57.38	402 139.361		6 4 7 34.562	15 50 45.16	357 120.138
	12 18 18 48.779	-18 44 8.93	401 416.875		12 4 23 13.951	16 29 21.66	357 572.716
	18 18 31 33.362	-18 43 7.84	400 636.453		18 4 38 56.340	17 3 29.66	358 145.144
5	0 18 44 20.255	-18 38 52.33	399 797.836	16	0 4 54 40.528	17 32 59.30	358 833.286
	6 18 57 9.224	-18 31 21.08	398 901.002		6 5 10 25.234	17 57 42.98	359 632.204
	12 19 10 0.043	-18 20 33.25	397 946.192		12 5 26 9.127	18 17 35.51	360 536.229
	18 19 22 52.499	-18 6 28.47	396 933.936		18 5 41 50.848	18 32 34.11	361 539.041
6	0 19 35 46.397	-17 49 6.88	395 865.077	17	0 5 57 29.044	18 42 38.38	362 633.749
	6 19 48 41.565	-17 28 29.11	394 740.795		6 6 13 2.389	18 47 50.24	363 812.983
	12 20 1 37.860	-17 4 36.26	393 562.629		12 6 28 29.618	18 48 13.78	365 068.986
	18 20 14 35.167	-16 37 29.98	392 332.497		18 6 43 49.548	18 43 55.08	366 393.701
7	0 20 27 33.407	-16 7 12.38	391 052.718	18	0 6 59 1.099	18 35 2.05	367 778.865
	6 20 40 32.539	-15 33 46.14	389 726.026		6 7 14 3.313	18 21 44.13	369 216.094
	12 20 53 32.559	-14 57 14.42	388 355.586		12 7 28 55.366	18 4 12.11	370 696.967
	18 21 6 33.508	-14 17 40.95	386 945.003		18 7 43 36.574	17 42 37.85	372 213.105
8	0 21 19 35.467	-13 35 10.01	385 498.333	19	0 7 58 6.400	17 17 14.03	373 756.242
	6 21 32 38.560	-12 49 46.45	384 020.084		6 8 12 24.451	16 48 13.92	375 318.289
	12 21 45 42.957	-12 1 35.72	382 515.221		12 8 26 30.477	16 15 51.19	376 891.394
	18 21 58 48.867	-11 10 43.91	380 989.152		18 8 40 24.359	15 40 19.68	378 467.996
9	0 22 11 56.544	-10 17 17.76	379 447.730	20	0 8 54 6.107	15 1 53.26	380 040.864
	6 22 25 6.279	-9 21 24.71	377 897.227		6 9 7 35.841	14 20 45.66	381 603.136
	12 22 38 18.401	-8 23 12.91	376 344.317		12 9 20 53.788	13 37 10.37	383 148.351
	18 22 51 33.275	-7 22 51.31	374 796.047		18 9 34 0.263	12 51 20.55	384 670.470
10	0 23 4 51.296	-6 20 29.65	373 259.802	21	0 9 46 55.661	12 3 28.96	386 163.897
	6 23 18 12.884	-5 16 18.54	371 743.263		6 9 59 40.445	11 13 47.91	387 623.486
	12 23 31 38.484	-4 10 29.47	370 254.356		12 10 12 15.133	10 22 29.21	389 044.555
	18 23 45 8.556	-3 3 14.83	368 801.196		18 10 24 40.288	9 29 44.20	390 422.880
11	0 23 58 43.571	-1 54 48.00	367 392.024	22	0 10 36 56.513	8 35 43.71	391 754.698
	6 0 12 24.003	-0 45 23.30	366 035.134		6 10 49 4.435	7 40 38.11	393 036.699
	12 0 26 10.319	0 24 43.97	364 738.800		12 11 1 4.705	6 44 37.30	394 266.015
	18 0 40 2.977	1 35 17.57	363 511.190		18 11 12 57.987	5 47 50.75	395 440.211
12	0 0 54 2.409	2 46 0.29	362 360.280	23	0 11 24 44.953	4 50 27.52	396 557.267
	6 1 8 9.012	3 56 34.08	361 293.767		6 11 36 26.279	3 52 36.34	397 615.559
	12 1 22 23.142	5 6 40.04	360 318.975		12 11 48 2.641	2 54 25.58	398 613.845
	18 1 36 45.093	6 15 58.58	359 442.763		18 11 59 34.708	1 56 3.33	399 551.238
13	0 1 51 15.094	7 24 9.51	358 671.440	24	0 12 11 3.144	0 57 37.46	400 427.184
	6 2 5 53.287	8 30 52.20	358 010.674		6 12 22 28.601	-0 0 44.39	401 241.443
	12 2 20 39.720	9 35 45.79	357 465.418		12 12 33 51.718	-0 58 54.76	401 994.060
	18 2 35 34.336	10 38 29.36	357 039.834		18 12 45 13.119	-1 56 46.31	402 685.340

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Nov.	25 0	12 56 33.410	- 2 54 11.81	403 315.825	Déc.	6 0	21 57 47.094	-11 31 53.40	386 145.372
	6	13 7 53.178	- 3 51 4.11	403 886.266		6	22 10 35.046	-10 40 5.40	384 916.128
	12	13 19 12.991	- 4 47 16.10	404 397.595		12	22 23 23.328	- 9 46 0.83	383 661.117
	18	13 30 33.389	- 5 42 40.72	404 850.904		18	22 36 12.307	- 8 49 47.51	382 383.342
26 0	13 41 54.892	- 6 37 10.90	405 247.414	7 0	22 49 2.392	- 7 51 33.71	381 086.195		
	6	13 53 17.992	- 7 30 39.57	405 588.452	6	23 1 54.039	- 6 51 28.20	379 773.463	
	12	14 4 43.149	- 8 22 59.65	405 875.427	12	23 14 47.741	- 5 49 40.25	378 449.335	
	18	14 16 10.797	- 9 14 4.04	406 109.804	18	23 27 44.024	- 4 46 19.68	377 118.394	
27 0	14 27 41.334	-10 3 45.60	406 293.082	8 0	23 40 43.447	- 3 41 36.91	375 785.615		
	6	14 39 15.124	-10 51 57.21	406 426.772	6	23 53 46.592	- 2 35 42.96	374 456.351	
	12	14 50 52.495	-11 38 31.69	406 512.372	12	0 6 54.058	- 1 28 49.52	373 136.311	
	18	15 2 33.734	-12 23 21.91	406 551.355	18	0 20 6.460	- 0 21 8.98	371 831.542	
28 0	15 14 19.088	-13 6 20.72	406 545.144	9 0	0 33 24.414	0 47 5.56	370 548.388		
	6	15 26 8.761	-13 47 21.04	406 495.096	6	0 46 48.536	1 55 40.22	369 293.458	
	12	15 38 2.911	-14 26 15.85	406 402.491	12	1 0 19.427	3 4 20.36	368 073.578	
	18	15 50 1.653	-15 2 58.21	406 268.515	18	1 13 57.669	4 12 50.55	366 895.736	
29 0	16 2 5.049	-15 37 21.34	406 094.251	10 0	1 27 43.808	5 20 54.60	365 767.028		
	6	16 14 13.119	-16 9 18.61	405 880.668	6	1 41 38.346	6 28 15.56	364 694.586	
	12	16 26 25.831	-16 38 43.62	405 628.616	12	1 55 41.728	7 34 35.77	363 685.512	
	18	16 38 43.107	-17 5 30.21	405 338.819	18	2 9 54.327	8 39 36.97	362 746.801	
30 0	16 51 4.820	-17 29 32.50	405 011.875	11 0	2 24 16.427	9 43 0.35	361 885.258		
	6	17 3 30.801	-17 50 44.99	404 648.254	6	2 38 48.215	10 44 26.70	361 107.420	
	12	17 16 0.837	-18 9 2.53	404 248.301	12	2 53 29.759	11 43 36.60	360 419.472	
	18	17 28 34.677	-18 24 20.42	403 812.237	18	3 8 20.998	12 40 10.54	359 827.160	
Déc.	1 0	17 41 12.035	-18 36 34.39	403 340.174	12 0	3 23 21.730	13 33 49.24	359 335.717	
	6	17 53 52.595	-18 45 40.72	402 832.115	6	3 38 31.599	14 24 13.78	358 949.780	
	12	18 6 36.015	-18 51 36.19	402 287.970	12	3 53 50.086	15 11 5.99	358 673.323	
	18	18 19 21.939	-18 54 18.16	401 707.570	18	4 9 16.510	15 54 8.63	358 509.592	
2 0	18 32 9.995	-18 53 44.55	401 090.680	13 0	4 24 50.024	16 33 5.75	358 461.051		
	6	18 44 59.810	-18 49 53.92	400 437.017	6	4 40 29.624	17 7 42.94	358 529.337	
	12	18 57 51.011	-18 42 45.40	399 746.273	12	4 56 14.156	17 37 47.62	358 715.228	
	18	19 10 43.237	-18 32 18.77	399 018.132	18	5 12 2.338	18 3 9.27	359 018.624	
3 0	19 23 36.144	-18 18 34.40	398 252.291	14 0	5 27 52.777	18 23 39.64	359 438.538		
	6	19 36 29.409	-18 1 33.27	397 448.492	6	5 43 44.003	18 39 12.88	359 973.106	
	12	19 49 22.743	-17 41 16.95	396 606.538	12	5 59 34.490	18 49 45.68	360 619.602	
	18	20 2 15.891	-17 17 47.61	395 726.326	18	6 15 22.697	18 55 17.27	361 374.470	
4 0	20 15 8.640	-16 51 7.96	394 807.867	15 0	6 31 7.100	18 55 49.40	362 233.372		
	6	20 28 0.822	-16 21 21.25	393 851.320	6	6 46 46.223	18 51 26.26	363 191.236	
	12	20 40 52.320	-15 48 31.25	392 857.017	12	7 2 18.671	18 42 14.30	364 242.320	
	18	20 53 43.067	-15 12 42.22	391 825.488	18	7 17 43.157	18 28 22.05	365 380.281	
5 0	21 6 33.052	-14 33 58.91	390 757.491	16 0	7 32 58.522	18 9 59.88	366 598.254		
	6	21 19 22.319	-13 52 26.52	389 654.037	6	7 48 3.759	17 47 19.74	367 888.925	
	12	21 32 10.968	-13 8 10.68	388 516.417	12	8 2 58.017	17 20 34.85	369 244.618	
	18	21 44 59.156	-12 21 17.47	387 346.222	18	8 17 40.611	16 49 59.46	370 657.373	

LUNE 2016 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Déc. 17 0	8 32 11.025	16 15 48.55	372 119.031	Déc. 25 0	15 1 42.224	-12 10 48.42	405 839.631
6	8 46 28.904	15 38 17.54	373 621.309	6	15 13 25.156	-12 54 30.19	405 870.384
12	9 0 34.051	14 57 42.11	375 155.880	12	15 25 12.492	-13 36 15.98	405 839.003
18	9 14 26.413	14 14 17.94	376 714.443	18	15 37 4.499	-14 15 58.97	405 747.882
18 0	9 28 6.074	13 28 20.55	378 288.792	26 0	15 49 1.394	-14 53 32.35	405 599.531
6	9 41 33.235	12 40 5.13	379 870.872	6	16 1 3.341	-15 28 49.33	405 396.555
12	9 54 48.206	11 49 46.46	381 452.844	12	16 13 10.451	-16 1 43.16	405 141.626
18	10 7 51.388	10 57 38.76	383 027.124	18	16 25 22.779	-16 32 7.20	404 837.459
19 0	10 20 43.261	10 3 55.69	384 586.438	27 0	16 37 40.323	-16 59 54.95	404 486.791
6	10 33 24.371	9 8 50.26	386 123.851	6	16 50 3.024	-17 25 0.09	404 092.354
12	10 45 55.317	8 12 34.83	387 632.804	12	17 2 30.765	-17 47 16.56	403 656.856
18	10 58 16.741	7 15 21.11	389 107.139	18	17 15 3.373	-18 6 38.58	403 182.962
20 0	11 10 29.318	6 17 20.16	390 541.120	28 0	17 27 40.621	-18 23 0.77	402 673.266
6	11 22 33.749	5 18 42.43	391 929.449	6	17 40 22.231	-18 36 18.13	402 130.283
12	11 34 30.749	4 19 37.80	393 267.280	12	17 53 7.879	-18 46 26.17	401 556.423
18	11 46 21.046	3 20 15.60	394 550.222	18	18 5 57.196	-18 53 20.91	400 953.981
21 0	11 58 5.371	2 20 44.64	395 774.347	29 0	18 18 49.781	-18 56 58.99	400 325.124
6	12 9 44.455	1 21 13.33	396 936.187	6	18 31 45.200	-18 57 17.65	399 671.876
12	12 21 19.027	0 21 49.64	398 032.733	12	18 44 43.000	-18 54 14.83	398 996.113
18	12 32 49.806	- 0 37 18.77	399 061.425	18	18 57 42.714	-18 47 49.19	398 299.556
22 0	12 44 17.502	- 1 36 4.58	400 020.147	30 0	19 10 43.871	-18 38 0.11	397 583.762
6	12 55 42.809	- 2 34 20.66	400 907.218	6	19 23 46.004	-18 24 47.73	396 850.132
12	13 7 6.407	- 3 32 0.13	401 721.371	12	19 36 48.660	-18 8 12.95	396 099.901
18	13 18 28.958	- 4 28 56.24	402 461.745	18	19 49 51.405	-17 48 17.44	395 334.151
23 0	13 29 51.104	- 5 25 2.36	403 127.869	31 0	20 2 53.839	-17 25 3.61	394 553.813
6	13 41 13.462	- 6 20 11.94	403 719.637	6	20 15 55.596	-16 58 34.60	393 759.676
12	13 52 36.628	- 7 14 18.48	404 237.297	12	20 28 56.356	-16 28 54.26	392 952.402
18	14 4 1.170	- 8 7 15.47	404 681.425	18	20 41 55.849	-15 56 7.12	392 132.535
24 0	14 15 27.625	- 8 58 56.42	405 052.907	32 0	20 54 53.858	-15 20 18.35	391 300.524
6	14 26 56.502	- 9 49 14.79	405 352.915	6	21 7 50.227	-14 41 33.72	390 456.737
12	14 38 28.275	-10 38 4.01	405 582.884	12	21 20 44.858	-13 59 59.55	389 601.482
18	14 50 3.383	-11 25 17.45	405 744.492	18	21 33 37.718	-13 15 42.69	388 735.034

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 2016 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	24	49	14.94	− 2	48	12.49	0.32975021	Févr.	15	238	43	38.07	− 1	16	20.98	0.46042144
	1	30	23	6.61	− 2	9	55.72	0.32529970		16	241	31	40.90	− 1	36	32.57	0.46214538
	2	36	5	31.83	− 1	29	21.96	0.32123963		17	244	18	37.98	− 1	56	22.18	0.46359531
	3	41	56	1.21	− 0	46	54.46	0.31762112		18	247	4	42.34	− 2	15	48.76	0.46476947
	4	47	53	55.03	− 0	3	2.26	0.31449274		19	249	50	6.78	− 2	34	51.28	0.46566650
	5	53	58	22.90	0	41	40.14	0.31189887		20	252	35	3.83	− 2	53	28.70	0.46628535
	6	60	8	23.92	1	26	33.68	0.30987816		21	255	19	45.89	− 3	11	39.97	0.46662533
	7	66	22	47.36	2	10	56.02	0.30846188		22	258	4	25.23	− 3	29	23.98	0.46668606
	8	72	40	14.01	2	54	3.32	0.30767258		23	260	49	14.04	− 3	46	39.58	0.46646748
	9	78	59	18.09	3	35	12.21	0.30752309		24	263	34	24.53	− 4	3	25.51	0.46596982
	10	85	18	29.74	4	13	41.96	0.30801585		25	266	20	8.93	− 4	19	40.43	0.46519365
	11	91	36	17.82	4	48	56.44	0.30914282		26	269	6	39.57	− 4	35	22.89	0.46413985
	12	97	51	13.00	5	20	25.80	0.31088586		27	271	54	8.90	− 4	50	31.28	0.46280966
	13	104	1	50.57	5	47	47.55	0.31321761		28	274	42	49.60	− 5	5	3.84	0.46120466
14	110	6	53.10	6	10	47.17	0.31610265	29	277	32	54.55	− 5	18	58.66	0.45932680		
15	116	5	12.46	6	29	18.01	0.31949908	Mars	1	280	24	36.95	− 5	32	13.60	0.45717847	
16	121	55	51.28	6	43	20.71	0.32336006		2	283	18	10.33	− 5	44	46.33	0.45476248	
17	127	38	3.68	6	53	2.26	0.32763548		3	286	13	48.61	− 5	56	34.24	0.45208217	
18	133	11	15.36	6	58	34.78	0.33227346		4	289	11	46.16	− 6	7	34.48	0.44914138	
19	138	35	3.12	7	0	14.23	0.33722172		5	292	12	17.83	− 6	17	43.91	0.44594458	
20	143	49	14.02	6	58	19.16	0.34242868		6	295	15	39.02	− 6	26	59.06	0.44249688	
21	148	53	44.15	6	53	9.61	0.34784442		7	298	22	5.69	− 6	35	16.10	0.43880417	
22	153	48	37.38	6	45	6.13	0.35342130		8	301	31	54.43	− 6	42	30.86	0.43487313	
23	158	34	3.95	6	34	29.05	0.35911446		9	304	45	22.50	− 6	48	38.74	0.43071141	
24	163	10	19.21	6	21	37.95	0.36488212		10	308	2	47.82	− 6	53	34.72	0.42632767	
25	167	37	42.41	6	6	51.21	0.37068567		11	311	24	29.06	− 6	57	13.34	0.42173173	
26	171	56	35.62	5	50	25.84	0.37648975		12	314	50	45.56	− 6	59	28.65	0.41693472	
27	176	7	22.89	5	32	37.35	0.38226215		13	318	21	57.38	− 7	0	14.25	0.41194922	
28	180	10	29.43	5	13	39.68	0.38797370		14	321	58	25.27	− 6	59	23.25	0.40678942	
29	184	6	21.08	4	53	45.26	0.39359810	15	325	40	30.58	− 6	56	48.27	0.40147128		
30	187	55	23.77	4	33	5.12	0.39911173	16	329	28	35.21	− 6	52	21.54	0.39601276		
Févr.	31	191	38	3.21	4	11	48.90	0.40449345	17	333	23	1.46	− 6	45	54.87	0.39043399	
	1	195	14	44.58	3	50	5.05	0.40972439	18	337	24	11.83	− 6	37	19.83	0.38475748	
	2	198	45	52.39	3	28	0.92	0.41478772	19	341	32	28.82	− 6	26	27.81	0.37900836	
3	202	11	50.30	3	5	42.88	0.41966851	20	345	48	14.59	− 6	13	10.25	0.37321450		
4	205	33	1.09	2	43	16.43	0.42435350	21	350	11	50.57	− 5	57	18.87	0.36740678		
5	208	49	46.59	2	20	46.32	0.42883095	22	354	43	36.96	− 5	38	46.00	0.36161917		
6	212	2	27.70	1	58	16.63	0.43309050	23	359	23	52.13	− 5	17	24.99	0.35588886		
7	215	11	24.36	1	35	50.89	0.43712298	24	4	12	51.91	− 4	53	10.68	0.35025627		
8	218	16	55.64	1	13	32.14	0.44092032	25	9	10	48.75	− 4	25	60.00	0.34476493		
9	221	19	19.74	0	51	22.99	0.44447544	26	14	17	50.78	− 3	55	52.63	0.33946132		
10	224	18	54.04	0	29	25.71	0.44778211	27	19	34	0.74	− 3	22	51.72	0.33439443		
11	227	15	55.20	0	7	42.29	0.45083490	28	24	59	14.90	− 2	47	4.60	0.32961521		
12	230	10	39.14	−	0	13	45.55	0.45362905	29	30	33	21.89	− 2	8	43.47	0.32517576	
13	233	3	21.20	−	0	34	56.27	0.45616048	30	36	16	1.68	− 1	28	5.97	0.32112828	
14	235	54	16.10	−	0	55	48.50	0.45842561	31	42	6	44.55	− 0	45	35.54	0.31752384	

MERCURE 2016 à 0h TT**LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR**

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.				
	°	'	''	°	'	''	ua		°	'	''	°	'	''	ua				
Avril	1	48	4	50.49	-	0	1	41.39	0.31441087	Mai	17	249	55	9.00	-	2	35	25.98	0.46568767
	2	54	9	28.80	0	43	1.84	0.31183364		18	252	40	5.49	-	2	54	2.62	0.46629828	
	3	60	19	38.28	1	27	54.98	0.30983057		19	255	24	47.34	-	3	12	13.07	0.46663000	
	4	66	34	7.93	2	12	15.60	0.30843269		20	258	9	26.83	-	3	29	56.22	0.46668246	
	5	72	51	38.31	2	55	19.86	0.30766229		21	260	54	16.16	-	3	47	10.93	0.46645561	
	6	79	10	43.49	3	36	24.45	0.30753188		22	263	39	27.52	-	4	3	55.92	0.46594968	
	7	85	29	53.53	4	14	48.73	0.30804360		23	266	25	13.15	-	4	20	9.86	0.46516526	
	8	91	47	37.35	4	49	56.77	0.30918909		24	269	11	45.39	-	4	35	51.29	0.46410323	
	9	98	2	25.67	5	21	18.89	0.31094993		25	271	59	16.69	-	4	50	58.60	0.46276485	
	10	104	12	54.00	5	48	32.88	0.31329850		26	274	47	59.74	-	5	5	30.03	0.46115168	
	11	110	17	45.14	6	11	24.42	0.31619918		27	277	38	7.43	-	5	19	23.65	0.45926572	
	12	116	15	51.29	6	29	47.11	0.31960989		28	280	29	52.96	-	5	32	37.33	0.45710935	
	13	122	6	15.41	6	43	41.80	0.32348369		29	283	23	29.89	-	5	45	8.71	0.45468542	
	14	127	48	11.96	6	53	15.64	0.32777040		30	286	19	12.13	-	5	56	55.20	0.45199724	
	15	133	21	6.98	6	58	40.87	0.33241810		31	289	17	14.09	-	6	7	53.93	0.44904870	
	16	138	44	37.59	7	0	13.57	0.33737452	Juin	1	292	17	50.62	-	6	18	1.74	0.44584428	
	17	143	58	31.13	6	58	12.34	0.34258814		2	295	21	17.13	-	6	27	15.16	0.44238912	
	18	149	2	43.96	6	52	57.23	0.34800908		3	298	27	49.62	-	6	35	30.36	0.43868911	
	19	153	57	20.12	6	44	48.82	0.35358980		4	301	37	44.69	-	6	42	43.14	0.43475099	
	20	158	42	30.04	6	34	7.41	0.35928552		5	304	51	19.62	-	6	48	48.90	0.43058242	
	21	163	18	29.20	6	21	12.54	0.36505455		6	308	8	52.36	-	6	53	42.60	0.42619208	
	22	167	45	36.93	6	6	22.57	0.37085839		7	311	30	41.58	-	6	57	18.76	0.42158986	
	23	172	4	15.38	5	49	54.46	0.37666177		8	314	57	6.66	-	6	59	31.43	0.41678692	
	24	176	14	48.64	5	32	3.66	0.38243257		9	318	28	27.69	-	7	0	14.19	0.41179588	
	25	180	17	41.96	5	13	4.08	0.38814172		10	322	5	5.43	-	6	59	20.13	0.40663097	
	26	184	13	21.15	4	53	8.11	0.39376299		11	325	47	21.25	-	6	56	41.87	0.40130823	
	27	188	12	12.17	4	32	26.71	0.39927285		12	329	35	37.06	-	6	52	11.60	0.39584568	
	28	191	44	40.70	4	11	9.51	0.40465022		13	333	30	15.17	-	6	45	41.16	0.39026351	
	29	195	21	11.90	3	49	24.92	0.40987629		14	337	31	38.10	-	6	37	2.08	0.38458432	
	30	198	52	10.26	3	27	20.26	0.41493430		15	341	40	8.33	-	6	26	5.76	0.37883330	
Mai	1	202	17	59.42	3	5	1.87	0.41980936		16	345	56	8.01	-	6	12	43.64	0.37303843	
	2	205	39	2.12	2	42	35.22	0.42448828		17	350	19	58.54	-	5	56	47.46	0.36723067	
	3	208	55	40.16	2	20	5.04	0.42895934		18	354	52	0.09	-	5	38	9.58	0.36144410	
	4	212	8	14.42	1	57	35.40	0.43321222		19	359	32	30.95	-	5	16	43.36	0.35571600	
	5	215	17	4.81	1	35	9.81	0.43723779		20	4	21	46.87	-	4	52	23.72	0.35008687	
	6	218	22	30.37	1	12	51.29	0.44102801		21	9	20	0.19	-	4	25	7.66	0.34460037	
	7	221	24	49.27	0	50	42.45	0.44457582		22	14	27	18.87	-	3	54	54.95	0.33930304	
	8	224	24	18.89	0	28	45.55	0.44787502		23	19	43	45.50	-	3	21	48.85	0.33424396	
	9	227	21	15.83	0	7	2.56	0.45092019		24	25	9	16.13	-	2	45	56.83	0.32947411	
	10	230	15	56.03	-	0	14	24.79	0.45370661		25	30	43	39.14	-	2	7	31.25	0.32504562
	11	233	8	34.77	-	0	35	34.97	0.45623019		26	36	26	34.21	-	1	26	49.93	0.32101069
	12	235	59	26.79	-	0	56	26.62	0.45848740		27	42	17	31.34	-	0	44	16.47	0.31742031
	13	238	48	46.29	-	1	16	58.50	0.46047521		28	48	15	50.18	-	0	0	20.27	0.31432283
	14	241	36	47.05	-	1	37	9.44	0.46219108		29	54	20	39.72	-	0	44	23.89	0.31176237
	15	244	23	42.44	-	1	56	58.36	0.46363287		30	60	30	58.42	-	1	29	16.69	0.30977714
	16	247	9	45.50	-	2	16	24.22	0.46479886	Juill.	1	66	45	35.03	-	2	13	35.68	0.30839794

MERCURE 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua		
Juill.	2	73	3	9.85	2	56	36.95	0.307 646 77	Août	17	260	59	19.07	- 3	47	42.25	0.466 444 55
	3	79	22	16.81	3	37	37.26	0.307 535 83		18	263	44	31.26	- 4	4	26.31	0.465 929 98
	4	85	41	25.87	4	15	56.10	0.308 066 94		19	266	30	18.10	- 4	20	39.28	0.465 136 92
	5	91	59	5.95	4	50	57.68	0.309 231 44		20	269	16	51.93	- 4	36	19.68	0.464 066 29
	6	98	13	47.89	5	22	12.55	0.311 010 61		21	272	4	25.22	- 4	51	25.91	0.462 719 32
	7	104	24	7.35	5	49	18.71	0.313 376 56		22	274	53	10.65	- 5	5	56.21	0.461 097 63
	8	110	28	47.41	6	12	2.12	0.316 293 46		23	277	43	21.13	- 5	19	48.64	0.459 203 20
	9	116	26	40.56	6	30	16.59	0.319 719 05		24	280	35	9.87	- 5	33	1.06	0.457 038 43
	10	122	16	50.10	6	44	3.18	0.323 606 27		25	283	28	50.43	- 5	45	31.10	0.454 606 18
	11	127	58	30.84	6	53	29.21	0.327 904 85		26	286	24	36.76	- 5	57	16.17	0.451 909 80
	12	133	31	9.17	6	58	47.08	0.332 562 86		27	289	22	43.25	- 6	8	13.39	0.448 953 18
	13	138	54	22.54	7	0	12.94	0.337 528 01		28	292	23	24.79	- 6	18	19.59	0.445 740 81
	14	144	7	58.57	6	58	5.46	0.342 748 83		29	295	26	56.81	- 6	27	31.28	0.442 277 87
	15	149	11	53.87	6	52	44.73	0.348 175 50		30	298	33	35.31	- 6	35	44.64	0.438 570 28
	16	154	6	12.71	6	44	31.31	0.353 760 55		31	301	43	36.93	- 6	42	55.43	0.434 624 79
	17	158	51	5.69	6	33	45.51	0.359 459 29		Sept.	1	304	57	18.96	- 6	48	59.05
18	163	26	48.42	6	20	46.83	0.365 230 12	2	308		14	59.39	- 6	53	50.46	0.426 051 92	
19	167	53	40.33	6	5	53.59	0.371 034 64	3	311		36	56.89	- 6	57	24.15	0.421 443 19	
20	172	12	3.66	5	49	22.70	0.376 837 67	4	315		3	30.87	- 6	59	34.16	0.416 634 10	
21	176	22	22.54	5	31	29.58	0.382 607 20	5	318		35	1.44	- 7	0	14.05	0.411 637 32	
22	180	25	2.23	5	12	28.08	0.388 314 22	6	322		11	49.39	- 6	59	16.89	0.406 467 15	
23	184	20	28.58	4	52	30.55	0.393 932 60	7	325		54	16.10	- 6	56	35.30	0.401 139 68	
24	188	9	7.53	4	31	47.90	0.399 438 88	8	329		42	43.50	- 6	52	1.46	0.395 672 98	
25	191	51	24.75	4	10	29.74	0.404 812 06	9	333		37	33.91	- 6	45	27.18	0.390 087 34	
26	195	27	45.40	3	48	44.42	0.410 033 39	10	337		39	9.85	- 6	36	43.99	0.384 405 42	
27	198	58	33.92	3	26	39.24	0.415 086 17	11	341	47	53.80	- 6	25	43.30	0.378 652 50		
28	202	24	13.95	3	4	20.51	0.419 955 56	12	346	4	7.90	- 6	12	16.54	0.372 856 65		
29	205	45	8.18	2	41	53.68	0.424 628 41	13	350	28	13.51	- 5	56	15.47	0.367 048 94		
30	209	1	38.41	2	19	23.46	0.429 093 07	14	355	0	30.74	- 5	37	32.46	0.361 263 52		
31	212	14	5.47	1	56	53.90	0.433 339 23	15	359	41	17.84	- 5	16	0.93	0.355 537 80		
Août	1	215	22	49.25	1	34	28.49	0.437 357 81	16	4	30	50.45	- 4	51	35.85	0.349 912 38	
	2	218	28	8.77	1	12	10.23	0.441 140 79	17	9	29	20.79	- 4	24	14.29	0.344 431 00	
	3	221	30	22.17	0	50	1.73	0.444 681 15	18	14	36	56.67	- 3	53	56.12	0.339 140 29	
	4	224	29	46.80	0	28	5.23	0.447 972 71	19	19	53	40.49	- 3	20	44.72	0.334 089 40	
	5	227	26	39.26	0	6	22.71	0.451 010 08	20	25	19	28.07	- 2	44	47.71	0.329 329 38	
	6	230	21	15.44	- 0	15	4.13	0.453 788 54	21	30	54	7.55	- 2	6	17.59	0.324 912 36	
	7	233	13	50.63	- 0	36	13.76	0.456 304 04	22	36	37	18.31	- 1	25	32.38	0.320 890 52	
	8	236	4	39.53	- 0	57	4.82	0.458 553 05	23	42	28	30.04	- 0	42	55.86	0.317 314 81	
	9	238	53	56.36	- 1	17	36.06	0.460 532 57	24	48	27	2.04	0	1	2.41	0.314 233 47	
	10	241	41	54.85	- 1	37	46.33	0.462 240 06	25	54	32	2.98	0	45	47.48	0.311 690 44	
11	244	28	48.37	- 1	57	34.56	0.463 673 40	26	60	42	31.00	1	30	39.92	0.309 723 75		
12	247	14	49.97	- 2	16	59.68	0.464 830 87	27	66	57	14.54	2	14	57.18	0.308 363 92		
13	250	0	12.40	- 2	36	0.69	0.465 711 13	28	73	14	53.69	2	57	55.36	0.307 632 66		
14	252	45	8.19	- 2	54	36.53	0.466 313 14	29	79	34	2.20	3	38	51.27	0.307 541 87		
15	255	29	49.74	- 3	12	46.15	0.466 636 24	30	85	53	9.96	4	17	4.51	0.308 093 01		
16	258	14	29.30	- 3	30	28.45	0.466 680 06	Oct.	1	92	10	45.89	4	51	59.46	0.309 277 13	

MERCURE 2016 à 0h TT**LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR**

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

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua		
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"			
Oct.	2	98	25	20.94	5	23	6.91	0.311 075 18	Nov.	17	272	9	34.90	- 4	51	53.26	0.462 673 35
	3	104	35	30.98	5	50	5.09	0.313 459 00		18	274	58	22.76	- 5	6	22.43	0.461 043 14
	4	110	39	59.34	6	12	40.21	0.316 392 54		19	277	48	36.08	- 5	20	13.66	0.459 140 27
	5	116	37	38.84	6	30	46.31	0.319 833 37		20	280	40	28.08	- 5	33	24.81	0.456 967 14
	6	122	27	33.12	6	44	24.66	0.323 734 29		21	283	34	12.32	- 5	45	53.52	0.454 526 63
	7	128	8	57.38	6	53	42.79	0.328 044 96		22	286	30	2.77	- 5	57	37.16	0.451 822 09
	8	133	41	18.35	6	58	53.20	0.332 713 41		23	289	28	13.84	- 6	8	32.86	0.448 857 45
	9	139	4	13.82	7	0	12.15	0.337 687 38		24	292	29	0.43	- 6	18	37.44	0.445 637 21
	10	144	17	31.71	6	57	58.37	0.342 915 42		25	295	32	37.98	- 6	27	47.40	0.442 166 57
	11	149	21	8.89	6	52	31.98	0.348 347 78		26	298	39	22.52	- 6	35	58.90	0.438 451 48
	12	154	15	9.85	6	44	13.54	0.353 937 07		27	301	49	30.71	- 6	43	7.70	0.434 498 70
	13	158	59	45.37	6	33	23.35	0.359 638 70		28	305	3	19.86	- 6	49	9.18	0.430 315 98
	14	163	35	11.19	6	20	20.85	0.365 411 16		29	308	21	7.97	- 6	53	58.27	0.425 912 07
	15	168	1	46.86	6	5	24.35	0.371 216 16		30	311	43	13.75	- 6	57	29.48	0.421 296 91
	16	172	19	54.68	5	48	50.70	0.377 018 62	Déc.	1	315	9	56.62	- 6	59	36.81	0.416 481 78
	17	176	29	58.81	5	30	55.27	0.382 786 62		2	318	41	36.73	- 7	0	13.82	0.411 479 37
	18	180	32	24.57	5	11	51.87	0.388 491 25		3	322	18	34.86	- 6	59	13.56	0.406 304 04
	19	184	27	37.80	4	51	52.80	0.394 106 47		4	326	1	12.43	- 6	56	28.63	0.400 971 93
	20	188	16	4.43	4	31	8.93	0.399 608 89		5	329	49	51.39	- 6	51	51.19	0.395 501 19
	21	191	58	10.14	4	9	49.81	0.404 977 59		6	333	44	54.05	- 6	45	13.06	0.389 912 18
	22	195	34	20.05	3	48	3.79	0.410 193 89		7	337	46	42.95	- 6	36	25.76	0.384 227 63
	23	199	4	58.58	3	25	58.11	0.415 241 15		8	341	55	40.56	- 6	25	20.69	0.378 472 90
	24	202	30	29.35	3	3	39.07	0.420 104 59		9	346	12	8.99	- 6	11	49.28	0.372 676 17
	25	205	51	15.02	2	41	12.08	0.424 771 10		10	350	36	29.59	- 5	55	43.32	0.366 868 58
	26	209	7	37.34	2	18	41.83	0.429 229 08		11	355	9	2.41	- 5	36	55.19	0.361 084 40
	27	212	19	57.13	1	56	12.35	0.433 468 26		12	359	50	5.64	- 5	15	18.36	0.355 361 14
	28	215	28	34.26	1	33	47.12	0.437 479 60		13	4	39	54.81	- 4	50	47.85	0.349 739 48
	29	218	33	47.70	1	11	29.14	0.441 255 11		14	9	38	42.03	- 4	23	20.81	0.344 263 28
	30	221	35	55.57	0	49	20.98	0.444 787 79		15	14	46	34.97	- 3	52	57.20	0.338 979 25
	31	224	35	15.21	0	27	24.89	0.448 071 50		16	20	3	35.82	- 3	19	40.53	0.333 936 60
Nov.	1	227	32	3.17	0	5	42.83	0.451 100 86		17	25	29	40.19	- 2	43	38.55	0.329 186 44
	2	230	26	35.35	- 0	15	43.50	0.453 871 18		18	31	4	35.95	- 2	5	3.95	0.324 780 91
	3	233	19	7.00	- 0	36	52.57	0.456 378 42		19	36	48	2.21	- 1	24	14.89	0.320 772 18
	4	236	9	52.81	- 0	57	43.03	0.458 619 07		20	42	39	28.33	- 0	41	35.35	0.317 211 13
	5	238	59	6.98	- 1	18	13.64	0.460 590 15		21	48	38	13.29	0	2	24.93	0.314 145 89
	6	241	47	3.24	- 1	38	23.25	0.462 289 13		22	54	43	25.40	0	47	10.86	0.311 620 26
	7	244	33	54.95	- 1	58	10.77	0.463 713 91		23	60	54	2.52	1	32	2.87	0.309 672 03
	8	247	19	55.13	- 2	17	35.17	0.464 862 77		24	67	8	52.78	2	16	18.35	0.308 331 49
	9	250	5	16.53	- 2	36	35.42	0.465 734 37		25	73	26	36.06	2	59	13.40	0.307 620 05
	10	252	50	11.68	- 2	55	10.47	0.466 327 72		26	79	45	45.92	3	40	4.86	0.307 549 28
	11	255	34	52.97	- 3	13	19.27	0.466 642 13		27	86	4	52.20	4	18	12.48	0.308 120 33
	12	258	19	32.65	- 3	31	0.70	0.466 677 26		28	92	22	23.83	4	53	0.80	0.309 323 91
	13	261	4	22.93	- 3	48	13.61	0.466 433 07		29	98	36	51.87	5	24	0.81	0.311 140 68
	14	263	49	35.99	- 4	4	56.74	0.465 909 83		30	104	46	52.38	5	50	51.02	0.313 542 21
	15	266	35	24.10	- 4	21	8.73	0.465 108 12		31	110	51	8.97	6	13	17.86	0.316 492 23
	16	269	21	59.57	- 4	36	48.10	0.464 028 88		32	116	48	34.77	6	31	15.63	0.319 948 13

VÉNUS 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua		
Janv.	0	183	3	20.07	3	15	22.47	0.720 254 39	Avril	1	329	33	27.32	- 3	14	42.22	0.727 968 68
	2	186	17	26.92	3	11	49.26	0.720 472 26		3	332	43	34.46	- 3	17	42.34	0.727 877 82
	4	189	31	25.13	3	7	39.62	0.720 699 07		5	335	53	45.70	- 3	20	6.29	0.727 772 91
	6	192	45	14.23	3	2	54.41	0.720 934 10		7	339	4	1.26	- 3	21	53.61	0.727 654 28
	8	195	58	53.82	2	57	34.61	0.721 176 58		9	342	14	21.33	- 3	23	3.94	0.727 522 28
	10	199	12	23.52	2	51	41.33	0.721 425 75		11	345	24	46.08	- 3	23	37.02	0.727 377 31
	12	202	25	43.03	2	45	15.77	0.721 680 81		13	348	35	15.69	- 3	23	32.71	0.727 219 80
	14	205	38	52.10	2	38	19.22	0.721 940 96		15	351	45	50.29	- 3	22	50.97	0.727 050 24
	16	208	51	50.51	2	30	53.07	0.722 205 35		17	354	56	30.01	- 3	21	31.87	0.726 869 14
	18	212	4	38.13	2	22	58.80	0.722 473 17		19	358	7	14.97	- 3	19	35.61	0.726 677 04
20	215	17	14.85	2	14	37.98	0.722 743 56	21	1	18	5.28	- 3	17	2.48	0.726 474 54		
22	218	29	40.65	2	5	52.25	0.723 015 67	23	4	29	1.04	- 3	13	52.89	0.726 262 25		
24	221	41	55.54	1	56	43.30	0.723 288 65	25	7	40	2.34	- 3	10	7.36	0.726 040 81		
26	224	53	59.60	1	47	12.92	0.723 561 63	27	10	51	9.28	- 3	5	46.52	0.725 810 90		
28	228	5	52.96	1	37	22.93	0.723 833 77	29	14	2	21.93	- 3	0	51.11	0.725 573 23		
Févr.	30	231	17	35.80	1	27	15.21	0.724 104 22	Mai	1	17	13	40.39	- 2	55	21.98	0.725 328 51
	1	234	29	8.34	1	16	51.70	0.724 372 13		3	20	25	4.73	- 2	49	20.08	0.725 077 51
	3	237	40	30.87	1	6	14.35	0.724 636 67		5	23	36	35.03	- 2	42	46.45	0.724 821 00
	5	240	51	43.70	0	55	25.17	0.724 897 03		7	26	48	11.40	- 2	35	42.27	0.724 559 76
	7	244	2	47.20	0	44	26.18	0.725 152 39		9	29	59	53.90	- 2	28	8.77	0.724 294 60
	9	247	13	41.77	0	33	19.43	0.725 401 97		11	33	11	42.62	- 2	20	7.32	0.724 026 34
	11	250	24	27.84	0	22	6.97	0.725 645 01		13	36	23	37.67	- 2	11	39.35	0.723 755 82
	13	253	35	5.88	0	10	50.87	0.725 880 75		15	39	35	39.12	- 2	2	46.38	0.723 483 87
15	256	45	36.38	- 0	0	26.79	0.726 108 47	17	42	47	47.07	- 1	53	30.03	0.723 211 34		
17	259	55	59.85	- 0	0	11	43.96	0.726 327 49	19	46	0	1.62	- 1	43	51.99	0.722 939 09	
19	263	6	16.84	- 0	22	58.57	0.726 537 12	21	49	12	22.85	- 1	33	54.03	0.722 667 96		
21	266	16	27.90	- 0	34	8.58	0.726 736 73	23	52	24	50.86	- 1	23	37.98	0.722 398 80		
23	269	26	33.59	- 0	45	11.97	0.726 925 72	25	55	37	25.73	- 1	13	5.74	0.722 132 46		
25	272	36	34.48	- 0	56	6.74	0.727 103 51	27	58	50	7.54	- 1	2	19.27	0.721 869 78		
27	275	46	31.16	- 1	6	50.93	0.727 269 57	29	62	2	56.38	- 0	51	20.57	0.721 611 59		
Mars	29	278	56	24.19	- 1	17	22.61	0.727 423 38	Juin	31	65	15	52.30	- 0	40	11.72	0.721 358 70
	2	282	6	14.16	- 1	27	39.87	0.727 564 50		2	68	28	55.36	- 0	28	54.80	0.721 111 92
	4	285	16	1.63	- 1	37	40.89	0.727 692 48		4	71	42	5.60	- 0	17	31.95	0.720 872 03
	6	288	25	47.17	- 1	47	23.87	0.727 806 96		6	74	55	23.04	- 0	6	5.32	0.720 639 80
	8	291	35	31.32	- 1	56	47.06	0.727 907 58		8	78	8	47.69	0	5	22.89	0.720 415 96
	10	294	45	14.61	- 2	5	48.79	0.727 994 05		10	81	22	19.53	0	16	50.50	0.720 201 23
	12	297	54	57.57	- 2	14	27.44	0.728 066 10		12	84	35	58.51	0	28	15.30	0.719 996 29
	14	301	4	40.70	- 2	22	41.46	0.728 123 53		14	87	49	44.58	0	39	35.10	0.719 801 82
16	304	14	24.46	- 2	30	29.38	0.728 166 16	16	91	3	37.63	0	50	47.71	0.719 618 42		
18	307	24	9.32	- 2	37	49.79	0.728 193 86	18	94	17	37.54	1	1	50.95	0.719 446 70		
20	310	33	55.72	- 2	44	41.37	0.728 206 55	20	97	31	44.14	1	12	42.68	0.719 287 21		
22	313	43	44.05	- 2	51	2.88	0.728 204 20	22	100	45	57.25	1	23	20.77	0.719 140 45		
24	316	53	34.70	- 2	56	53.16	0.728 186 82	24	104	0	16.63	1	33	43.14	0.719 006 92		
26	320	3	28.03	- 3	2	11.16	0.728 154 45	26	107	14	42.01	1	43	47.77	0.718 887 03		
28	323	13	24.38	- 3	6	55.91	0.728 107 20	28	110	29	13.09	1	53	32.68	0.718 781 18		
30	326	23	24.05	- 3	11	6.52	0.728 045 22	30	113	43	49.53	2	2	55.94	0.718 689 71		

VÉNUS 2016 à 0h TT**LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR**

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.			
	°	'	''	°	'	''	ua		°	'	''	°	'	''	ua			
Juill.	2	116	58	30.93	2	11	55.71	0.718 612 93	Oct.	2	265	9	51.62	-	0	30	14.75	0.726 668 50
	4	120	13	16.88	2	20	30.22	0.718 551 08		4	268	19	59.10	-	0	41	20.68	0.726 861 09
	6	123	28	6.92	2	28	37.77	0.718 504 36		6	271	30	1.59	-	0	52	18.70	0.727 042 67
	8	126	43	0.56	2	36	16.76	0.718 472 93		8	274	39	59.66	-	1	3	6.82	0.727 212 70
	10	129	57	57.25	2	43	25.68	0.718 456 89		10	277	49	53.89	-	1	13	43.09	0.727 370 66
	12	133	12	56.45	2	50	3.14	0.718 456 29		12	280	59	44.86	-	1	24	5.61	0.727 516 07
	14	136	27	57.56	2	56	7.81	0.718 471 14		14	284	9	33.14	-	1	34	12.53	0.727 648 49
	16	139	42	59.96	3	1	38.52	0.718 501 40		16	287	19	19.30	-	1	44	2.02	0.727 767 53
	18	142	58	3.01	3	6	34.19	0.718 546 95		18	290	29	3.88	-	1	53	32.33	0.727 872 82
	20	146	13	6.03	3	10	53.86	0.718 607 67		20	293	38	47.43	-	2	2	41.77	0.727 964 04
22	149	28	8.36	3	14	36.71	0.718 683 35	22	296	48	30.47	-	2	11	28.68	0.728 040 94		
24	152	43	9.29	3	17	42.01	0.718 773 75	24	299	58	13.51	-	2	19	51.49	0.728 103 26		
26	155	58	8.13	3	20	9.20	0.718 878 58	26	303	7	57.03	-	2	27	48.71	0.728 150 83		
28	159	13	4.18	3	21	57.82	0.718 997 50	28	306	17	41.50	-	2	35	18.91	0.728 183 51		
30	162	27	56.73	3	23	7.56	0.719 130 12	30	309	27	27.36	-	2	42	20.72	0.728 201 19		
Août	1	165	42	45.09	3	23	38.23	0.719 276 02	Nov.	1	312	37	15.02	-	2	48	52.90	0.728 203 83
	3	168	57	28.58	3	23	29.78	0.719 434 72		3	315	47	4.88	-	2	54	54.24	0.728 191 42
	5	172	12	6.52	3	22	42.29	0.719 605 72		5	318	56	57.31	-	3	0	23.66	0.728 164 00
	7	175	26	38.27	3	21	15.96	0.719 788 46		7	322	6	52.65	-	3	5	20.15	0.728 121 65
	9	178	41	3.22	3	19	11.15	0.719 982 35		9	325	16	51.22	-	3	9	42.80	0.728 064 50
	11	181	55	20.77	3	16	28.31	0.720 186 78		11	328	26	53.30	-	3	13	30.81	0.727 992 72
	13	185	9	30.37	3	13	8.04	0.720 401 07		13	331	36	59.17	-	3	16	43.45	0.727 906 54
	15	188	23	31.51	3	9	11.05	0.720 624 55		15	334	47	9.07	-	3	19	20.12	0.727 806 20
17	191	37	23.70	3	4	38.18	0.720 856 50	17	337	57	23.22	-	3	21	20.31	0.727 692 01		
19	194	51	6.52	2	59	30.37	0.721 096 18	19	341	7	41.84	-	3	22	43.62	0.727 564 33		
21	198	4	39.59	2	53	48.68	0.721 342 82	21	344	18	5.09	-	3	23	29.75	0.727 423 53		
23	201	18	2.58	2	47	34.27	0.721 595 64	23	347	28	33.15	-	3	23	38.53	0.727 270 04		
25	204	31	15.22	2	40	48.41	0.721 853 83	25	350	39	6.16	-	3	23	9.88	0.727 104 32		
27	207	44	17.27	2	33	32.46	0.722 116 57	27	353	49	44.26	-	3	22	3.84	0.726 926 88		
29	210	57	8.58	2	25	47.86	0.722 383 03	29	357	0	27.58	-	3	20	20.55	0.726 738 26		
Sept.	31	214	9	49.03	2	17	36.15	0.722 652 37	Déc.	1	0	11	16.21	-	3	18	0.27	0.726 539 03
	2	217	22	18.57	2	8	58.95	0.722 923 73		3	3	22	10.27	-	3	15	3.38	0.726 329 80
	4	220	34	37.19	1	59	57.93	0.723 196 27		5	6	33	9.86	-	3	11	30.35	0.726 111 20
	6	223	46	44.96	1	50	34.84	0.723 469 12		7	9	44	15.05	-	3	7	21.77	0.725 883 90
	8	226	58	41.97	1	40	51.51	0.723 741 43		9	12	55	25.94	-	3	2	38.36	0.725 648 60
	10	230	10	28.41	1	30	49.78	0.724 012 35		11	16	6	42.61	-	2	57	20.91	0.725 406 01
	12	233	22	4.46	1	20	31.58	0.724 281 04		13	19	18	5.15	-	2	51	30.34	0.725 156 88
	14	236	33	30.41	1	9	58.85	0.724 546 65		15	22	29	33.64	-	2	45	7.67	0.724 901 98
16	239	44	46.54	0	59	13.58	0.724 808 37	17	25	41	8.15	-	2	38	14.02	0.724 642 10		
18	242	55	53.22	0	48	17.79	0.725 065 38	19	28	52	48.78	-	2	30	50.61	0.724 378 02		
20	246	6	50.82	0	37	13.53	0.725 316 88	21	32	4	35.62	-	2	22	58.76	0.724 110 58		
22	249	17	39.76	0	26	2.83	0.725 562 11	23	35	16	28.74	-	2	14	39.87	0.723 840 59		
24	252	28	20.52	0	14	47.77	0.725 800 30	25	38	28	28.25	-	2	5	55.45	0.723 568 91		
26	255	38	53.56	0	3	30.42	0.726 030 73	27	41	40	34.23	-	1	56	47.07	0.723 296 37		
28	258	49	19.40	-	0	7	47.16	0.726 252 69	29	44	52	46.77	-	1	47	16.40	0.723 023 83	
30	261	59	38.57	-	0	19	2.89	0.726 465 49	31	48	5	5.97	-	1	37	25.17	0.722 752 13	

MARS 2016 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	longitude			latitude		rayon v.	Date	longitude			latitude		rayon v.		
	°	'	"	°	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua	
Janv.	0	173	40	13.71	1 31	46.62	1.658 129 50	Juill.	2	263	31	1.53	- 1 2	2.81	1.469 401 85
	4	175	26	5.46	1 29	49.00	1.656 479 28		6	265	46	5.84	- 1 5	36.61	1.464 439 04
	8	177	12	10.26	1 27	46.02	1.654 677 12		10	268	2	5.21	- 1 9	5.71	1.459 545 36
	12	178	58	29.31	1 25	37.73	1.652 724 39		14	270	18	59.40	- 1 12	29.66	1.454 728 94
	16	180	45	3.83	1 23	24.19	1.650 622 59		18	272	36	48.02	- 1 15	47.99	1.449 997 96
	20	182	31	55.01	1 21	5.47	1.648 373 36		22	274	55	30.60	- 1 19	0.23	1.445 360 63
Févr.	24	184	19	4.07	1 18	41.65	1.645 978 45	26	277	15	6.54	- 1 22	5.90	1.440 825 11	
	28	186	6	32.20	1 16	12.79	1.643 439 77	30	279	35	35.10	- 1 25	4.53	1.436 399 57	
	1	187	54	20.63	1 13	38.96	1.640 759 34	Août	3	281	56	55.43	- 1 27	55.66	1.432 092 08
	5	189	42	30.56	1 11	0.26	1.637 939 32		7	284	19	6.55	- 1 30	38.81	1.427 910 68
	9	191	31	3.20	1 8	16.75	1.634 982 03		11	286	42	7.34	- 1 33	13.53	1.423 863 28
13	193	19	59.76	1 5	28.53	1.631 889 91	15		289	5	56.55	- 1 35	39.35	1.419 957 66	
Mars	17	195	9	21.45	1 2	35.70	1.628 665 55	19	291	30	32.79	- 1 37	55.85	1.416 201 46	
	21	196	59	9.48	0 59	38.34	1.625 311 67	23	293	55	54.55	- 1 40	2.58	1.412 602 15	
	25	198	49	25.07	0 56	36.56	1.621 831 17	27	296	22	0.16	- 1 41	59.14	1.409 166 98	
	29	200	40	9.40	0 53	30.48	1.618 227 08	Sept.	31	298	48	47.84	- 1 43	45.13	1.405 902 96
	4	202	31	23.70	0 50	20.19	1.614 502 57		4	301	16	15.66	- 1 45	20.19	1.402 816 86
	8	204	23	9.15	0 47	5.83	1.610 661 01		8	303	44	21.58	- 1 46	43.95	1.399 915 16
12	206	15	26.95	0 43	47.52	1.606 705 87	12		306	13	3.43	- 1 47	56.11	1.397 204 01	
16	208	8	18.29	0 40	25.39	1.602 640 84	16	308	42	18.90	- 1 48	56.35	1.394 689 25		
Avril	20	210	1	44.35	0 36	59.59	1.598 469 72	20	311	12	5.58	- 1 49	44.44	1.392 376 32	
	24	211	55	46.30	0 33	30.26	1.594 196 51	24	313	42	20.96	- 1 49	20.12	1.390 270 30	
	28	213	50	25.30	0 29	57.57	1.589 825 38	28	316	13	2.41	- 1 50	43.22	1.388 375 85	
	1	215	45	42.51	0 26	21.67	1.585 360 64	Oct.	2	318	44	7.22	- 1 50	53.58	1.386 697 19
	5	217	41	39.05	0 22	42.75	1.580 806 80		6	321	15	32.58	- 1 50	51.07	1.385 238 10
Mai	9	219	38	16.06	0 19	1.00	1.576 168 54	10	323	47	15.62	- 1 50	35.63	1.384 001 88	
	13	221	35	34.63	0 15	16.59	1.571 450 69	14	326	19	13.40	- 1 50	7.22	1.382 991 34	
	17	223	33	35.85	0 11	29.75	1.566 658 28	18	328	51	22.92	- 1 49	25.85	1.382 208 77	
	21	225	32	20.78	0 7	40.69	1.561 796 51	22	331	23	41.13	- 1 48	31.57	1.381 655 99	
	25	227	31	50.46	0 3	49.63	1.556 870 76	26	333	56	4.97	- 1 47	24.47	1.381 334 25	
	29	229	32	5.91	- 0 0	3.18	1.551 886 59	Nov.	30	336	28	31.33	- 1 46	4.69	1.381 244 30
3	231	33	8.09	- 0 3	57.50	1.546 849 73	3		339	0	57.12	- 1 44	32.41	1.381 386 36	
7	233	34	57.95	- 0 7	53.05	1.541 766 11	7		341	33	19.23	- 1 42	47.85	1.381 760 08	
11	235	37	36.41	- 0 11	49.57	1.536 641 82	11		344	5	34.59	- 1 40	51.27	1.382 364 63	
15	237	41	4.33	- 0 15	46.76	1.531 483 12	15	346	37	40.12	- 1 38	42.97	1.383 198 61		
Juin	19	239	45	22.54	- 0 19	44.33	1.526 296 46	Déc.	19	349	9	32.83	- 1 36	23.29	1.384 260 13
	23	241	50	31.82	- 0 23	41.96	1.521 088 46		23	351	41	9.72	- 1 33	52.59	1.385 546 75
	27	243	56	32.88	- 0 27	39.31	1.515 865 89		27	354	12	27.91	- 1 31	11.27	1.387 055 58
	31	246	3	26.41	- 0 31	36.06	1.510 635 70		1	356	43	24.55	- 1 28	19.78	1.388 783 21
	4	248	11	13.01	- 0 35	31.84	1.505 404 99		5	359	13	56.89	- 1 25	18.57	1.390 725 78
	8	250	19	53.22	- 0 39	26.28	1.500 181 02		9	1	44	2.27	- 1 22	8.13	1.392 878 98
12	252	29	27.53	- 0 43	19.02	1.494 971 18	13	4	13	38.11	- 1 18	48.96	1.395 238 05		
16	254	39	56.32	- 0 47	9.64	1.489 783 01	17	6	42	41.95	- 1 15	21.59	1.397 797 84		
20	256	51	19.92	- 0 50	57.76	1.484 624 16	21	9	11	11.44	- 1 11	46.56	1.400 552 84		
24	259	3	38.58	- 0 54	42.94	1.479 502 41	25	11	39	4.36	- 1 8	4.41	1.403 497 13		
28	261	16	52.43	- 0 58	24.77	1.474 425 65	29	14	6	18.58	- 1 4	15.72	1.406 624 50		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2016 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.	0 162 50 43.90	1 9 16.90	5.415 683 6	Janv.	0 248 10 44.16	1 46 18.54	10.010 588 4
	16 164 4 13.75	1 10 2.53	5.418 713 2		16 248 39 53.00	1 45 25.01	10.012 638 0
Févr.	1 165 17 38.80	1 10 46.19	5.421 633 0	Févr.	1 249 9 1.16	1 44 31.05	10.014 650 4
	17 166 30 59.23	1 11 27.87	5.424 442 1		17 249 38 8.65	1 43 36.66	10.016 625 4
Mars	4 167 44 15.21	1 12 7.56	5.427 139 3	Mars	4 250 7 15.47	1 42 41.84	10.018 562 6
	20 168 57 26.94	1 12 45.25	5.429 723 7		20 250 36 21.64	1 41 46.60	10.020 462 0
Avril	5 170 10 34.60	1 13 20.93	5.432 194 5	Avril	5 251 5 27.16	1 40 50.94	10.022 323 6
	21 171 23 38.39	1 13 54.59	5.434 550 5		21 251 34 32.06	1 39 54.87	10.024 147 4
Mai	7 172 36 38.51	1 14 26.23	5.436 790 8	Mai	7 252 3 36.34	1 38 58.40	10.025 933 3
	23 173 49 35.13	1 14 55.82	5.438 914 6		23 252 32 40.02	1 38 1.51	10.027 681 2
Juin	8 175 2 28.46	1 15 23.38	5.440 920 8	Juin	8 253 1 43.11	1 37 4.23	10.029 391 1
	24 176 15 18.68	1 15 48.88	5.442 808 7		24 253 30 45.63	1 36 6.55	10.031 062 9
Juill.	10 177 28 6.00	1 16 12.33	5.444 577 4	Juill.	10 253 59 47.59	1 35 8.48	10.032 696 6
	26 178 40 50.61	1 16 33.72	5.446 226 0		26 254 28 49.01	1 34 10.02	10.034 291 9
Août	11 179 53 32.68	1 16 53.03	5.447 753 8	Août	11 254 57 49.89	1 33 11.17	10.035 848 6
	27 181 6 12.42	1 17 10.28	5.449 160 3		27 255 26 50.27	1 32 11.94	10.037 366 4
Sept.	12 182 18 50.00	1 17 25.45	5.450 444 9	Sept.	12 255 55 50.13	1 31 12.34	10.038 845 1
	28 183 31 25.63	1 17 38.54	5.451 607 4		28 256 24 49.50	1 30 12.36	10.040 284 8
Oct.	14 184 43 59.50	1 17 49.56	5.452 647 2	Oct.	14 256 53 48.39	1 29 12.02	10.041 685 4
	30 185 56 31.81	1 17 58.48	5.453 564 2		30 257 22 46.80	1 28 11.31	10.043 046 8
Nov.	15 187 9 2.76	1 18 5.33	5.454 357 9	Nov.	15 257 51 44.76	1 27 10.24	10.044 369 1
Déc.	1 188 21 32.54	1 18 10.09	5.455 028 2	Déc.	1 258 20 42.27	1 26 8.82	10.045 652 2
	17 189 34 1.37	1 18 12.77	5.455 574 8		17 258 49 39.34	1 25 7.04	10.046 896 3
URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Janv.	0 19 8 33.40	- 0 37 51.89	19.975 304 9	Janv.	0 338 54 29.18	- 0 48 25.93	29.959 684 4
Févr.	1 19 29 17.07	- 0 37 42.19	19.972 390 3	Févr.	1 339 6 1.55	- 0 48 44.98	29.958 935 4
Mars	4 19 50 1.05	- 0 37 32.40	19.969 452 1	Mars	4 339 17 33.97	- 0 49 4.01	29.958 197 2
Avril	5 20 10 45.37	- 0 37 22.54	19.966 489 6	Avril	5 339 29 6.46	- 0 49 23.00	29.957 468 6
Mai	7 20 31 30.01	- 0 37 12.58	19.963 502 0	Mai	7 339 40 39.00	- 0 49 41.96	29.956 748 9
Juin	8 20 52 14.99	- 0 37 2.55	19.960 489 5	Juin	8 339 52 11.60	- 0 50 0.88	29.956 038 2
Juill.	10 21 13 0.31	- 0 36 52.43	19.957 452 2	Juill.	10 340 3 44.25	- 0 50 19.78	29.955 336 6
Août	11 21 33 45.97	- 0 36 42.23	19.954 391 0	Août	11 340 15 16.97	- 0 50 38.64	29.954 645 0
Sept.	12 21 54 31.98	- 0 36 31.94	19.951 306 8	Sept.	12 340 26 49.75	- 0 50 57.47	29.953 962 9
Oct.	14 22 15 18.37	- 0 36 21.58	19.948 198 8	Oct.	14 340 38 22.60	- 0 51 16.27	29.953 289 0
Nov.	15 22 36 5.13	- 0 36 11.14	19.945 066 4	Nov.	15 340 49 55.52	- 0 51 35.03	29.952 622 7
Déc.	17 22 56 52.27	- 0 36 0.61	19.941 908 8	Déc.	17 341 1 28.51	- 0 51 53.76	29.951 963 4

MERCURE 2016 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	20	3	17.624	-21	24	52.40	0.946 732 80	Févr.	15	20	14	44.771	-20	22	22.35	1.112 804 36
	1	20	6	24.630	-21	2	44.82	0.920 639 06		16	20	20	14.064	-20	12	48.55	1.126 470 96
	2	20	8	58.023	-20	40	54.73	0.894 484 13		17	20	25	48.345	-20	2	0.05	1.139 775 11
	3	20	10	54.295	-20	19	40.04	0.868 471 14		18	20	31	27.200	-19	49	56.36	1.152 717 95
	4	20	12	10.008	-19	59	19.56	0.842 834 17		19	20	37	10.256	-19	36	37.03	1.165 300 89
	5	20	12	41.984	-19	40	12.46	0.817 836 87		20	20	42	57.178	-19	22	1.71	1.177 525 43
	6	20	12	27.540	-19	22	37.47	0.793 768 96		21	20	48	47.667	-19	6	10.09	1.189 393 01
	7	20	11	24.783	-19	6	51.95	0.770 940 02		22	20	54	41.456	-18	49	1.93	1.200 904 91
	8	20	9	32.934	-18	53	10.86	0.749 670 51		23	21	0	38.306	-18	30	37.03	1.212 062 13
	9	20	6	52.658	-18	41	45.75	0.730 279 86		24	21	6	38.006	-18	10	55.23	1.222 865 27
	10	20	3	26.351	-18	32	43.88	0.713 072 27		25	21	12	40.372	-17	49	56.44	1.233 314 45
	11	19	59	18.335	-18	26	7.71	0.698 320 89		26	21	18	45.241	-17	27	40.57	1.243 409 24
	12	19	54	34.884	-18	21	54.76	0.686 252 07		27	21	24	52.474	-17	4	7.59	1.253 148 51
	13	19	49	24.050	-18	19	58.08	0.677 031 38		28	21	31	1.951	-16	39	17.50	1.262 530 40
14	19	43	55.270	-18	20	7.12	0.670 753 24	29	21	37	13.573	-16	13	10.32	1.271 552 16		
15	19	38	18.784	-18	22	8.93	0.667 435 82	Mars	1	21	43	27.259	-15	45	46.12	1.280 210 11	
16	19	32	44.949	-18	25	49.36	0.667 022 03		2	21	49	42.944	-15	17	4.98	1.288 499 50	
17	19	27	23.547	-18	30	54.14	0.669 386 35		3	21	56	0.580	-14	47	7.01	1.296 414 40	
18	19	22	23.207	-18	37	9.65	0.674 346 47		4	22	2	20.137	-14	15	52.36	1.303 947 60	
19	19	17	51.001	-18	44	23.24	0.681 677 75		5	22	8	41.597	-13	43	21.21	1.311 090 49	
20	19	13	52.249	-18	52	23.37	0.691 128 66		6	22	15	4.957	-13	9	33.77	1.317 832 90	
21	19	10	30.523	-19	0	59.50	0.702 435 29		7	22	21	30.228	-12	34	30.29	1.324 163 06	
22	19	7	47.795	-19	10	1.92	0.715 333 70		8	22	27	57.435	-11	58	11.07	1.330 067 37	
23	19	5	44.682	-19	19	21.57	0.729 569 57		9	22	34	26.613	-11	20	36.44	1.335 530 34	
24	19	4	20.726	-19	28	49.94	0.744 904 92		10	22	40	57.814	-10	41	46.81	1.340 534 44	
25	19	3	34.666	-19	38	18.98	0.761 122 23	11	22	47	31.096	-10	1	42.65	1.345 059 91		
26	19	3	24.696	-19	47	41.09	0.778 026 47	12	22	54	6.532	-9	20	24.53	1.349 084 60		
27	19	3	48.663	-19	56	49.13	0.795 445 52	13	23	0	44.198	-8	37	53.12	1.352 583 78		
28	19	4	44.239	-20	5	36.42	0.813 229 41	14	23	7	24.180	-7	54	9.22	1.355 529 94		
29	19	6	9.033	-20	13	56.77	0.831 248 95	15	23	14	6.567	-7	9	13.79	1.357 892 58		
30	19	8	0.687	-20	21	44.47	0.849 393 84	16	23	20	51.449	-6	23	7.98	1.359 638 08		
Févr.	31	19	10	16.928	-20	28	54.31	0.867 570 72	17	23	27	38.916	-5	35	53.14	1.360 729 54	
	1	19	12	55.608	-20	35	21.56	0.885 701 16	18	23	34	29.055	-4	47	30.91	1.361 126 70	
	2	19	15	54.719	-20	41	1.95	0.903 719 71	19	23	41	21.944	-3	58	3.22	1.360 785 96	
	3	19	19	12.409	-20	45	51.64	0.921 572 18	20	23	48	17.648	-3	7	32.37	1.359 660 41	
	4	19	22	46.976	-20	49	47.20	0.939 214 00	21	23	55	16.214	-2	16	1.11	1.357 700 01	
	5	19	26	36.865	-20	52	45.60	0.956 608 81	22	0	2	17.662	-1	23	32.65	1.354 851 96	
	6	19	30	40.664	-20	54	44.13	0.973 727 22	23	0	9	21.979	-0	30	10.83	1.351 061 13	
	7	19	34	57.090	-20	55	40.39	0.990 545 78	24	0	16	29.109	-0	23	59.90	1.346 270 81	
	8	19	39	24.981	-20	55	32.27	1.007 045 97	25	0	23	38.945	1	18	54.32	1.340 423 63	
	9	19	44	3.286	-20	54	17.92	1.023 213 50	26	0	30	51.313	2	14	26.40	1.333 462 80	
	10	19	48	51.058	-20	51	55.70	1.039 037 55	27	0	38	5.969	3	10	29.21	1.325 333 66	
	11	19	53	47.441	-20	48	24.18	1.054 510 25	28	0	45	22.578	4	6	54.89	1.315 985 50	
	12	19	58	51.664	-20	43	42.10	1.069 626 11	29	0	52	40.713	5	3	34.53	1.305 373 71	
	13	20	4	3.034	-20	37	48.37	1.084 381 55	30	0	59	59.836	6	0	18.28	1.293 462 11	
14	20	9	20.924	-20	30	42.06	1.098 774 58	31	1	7	19.297	6	56	55.27	1.280 225 46		

MERCURE 2016 à 0h TT**ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE**

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	1	1	14	38.329	7	53	13.74	1.265 651 93	Mai	17	2	54	29.573	14	26	20.77	0.570 191 80
	2	1	21	56.042	8	49	1.18	1.249 745 44		18	2	53	21.715	14	6	56.44	0.576 463 25
	3	1	29	11.437	9	44	4.46	1.232 527 46		19	2	52	28.111	13	49	32.48	0.583 679 36
	4	1	36	23.407	10	38	10.11	1.214 038 39		20	2	51	49.550	13	34	16.96	0.591 796 14
	5	1	43	30.757	11	31	4.57	1.194 338 05		21	2	51	26.618	13	21	15.88	0.600 769 83
	6	1	50	32.221	12	22	34.46	1.173 505 23		22	2	51	19.729	13	10	33.29	0.610 557 50
	7	1	57	26.484	13	12	26.92	1.151 636 41		23	2	51	29.138	13	2	11.43	0.621 117 43
	8	2	4	12.208	14	0	29.85	1.128 843 53		24	2	51	54.969	12	56	10.96	0.632 409 42
	9	2	10	48.052	14	46	32.15	1.105 251 07		25	2	52	37.232	12	52	31.12	0.644 395 10
	10	2	17	12.696	15	30	23.89	1.080 992 63		26	2	53	35.850	12	51	9.99	0.657 038 00
	11	2	23	24.859	16	11	56.43	1.056 207 39		27	2	54	50.678	12	52	4.61	0.670 303 68
	12	2	29	23.315	16	51	2.45	1.031 036 49		28	2	56	21.515	12	55	11.23	0.684 159 71
	13	2	35	6.904	17	27	35.92	1.005 619 90		29	2	58	8.129	13	0	25.43	0.698 575 61
	14	2	40	34.539	18	1	32.07	0.980 093 69		30	3	0	10.265	13	7	42.26	0.713 522 75
	15	2	45	45.209	18	32	47.20	0.954 587 88		31	3	2	27.660	13	16	56.39	0.728 974 22
	16	2	50	37.981	19	1	18.63	0.929 224 96	Juin	1	3	5	0.051	13	28	2.19	0.744 904 62
	17	2	55	11.997	19	27	4.44	0.904 119 02		2	3	7	47.185	13	40	53.79	0.761 289 91
	18	2	59	26.477	19	50	3.42	0.879 375 28		3	3	10	48.825	13	55	25.19	0.778 107 12
	19	3	3	20.713	20	10	14.84	0.855 090 20		4	3	14	4.754	14	11	30.26	0.795 334 10
	20	3	6	54.076	20	27	38.37	0.831 351 76		5	3	17	34.784	14	29	2.80	0.812 949 26
	21	3	10	6.017	20	42	13.99	0.808 240 02		6	3	21	18.753	14	47	56.53	0.830 931 19
	22	3	12	56.070	20	54	1.87	0.785 827 87		7	3	25	16.536	15	8	5.11	0.849 258 29
	23	3	15	23.868	21	3	2.39	0.764 181 66		8	3	29	28.040	15	29	22.16	0.867 908 36
	24	3	17	29.148	21	9	16.12	0.743 362 05		9	3	33	53.209	15	51	41.20	0.886 858 16
	25	3	19	11.771	21	12	43.83	0.723 424 61		10	3	38	32.023	16	14	55.69	0.906 082 90
	26	3	20	31.734	21	13	26.61	0.704 420 45		11	3	43	24.496	16	38	58.96	0.925 555 79
	27	3	21	29.192	21	11	25.97	0.686 396 71		12	3	48	30.671	17	3	44.19	0.945 247 51
	28	3	22	4.478	21	6	43.96	0.669 396 91		13	3	53	50.620	17	29	4.37	0.965 125 65
	29	3	22	18.117	20	59	23.39	0.653 461 17		14	3	59	24.439	17	54	52.25	0.985 154 17
	30	3	22	10.850	20	49	28.03	0.638 626 28		15	4	5	12.240	18	21	0.33	1.005 292 81
Mai	1	3	21	43.642	20	37	2.81	0.624 925 68		16	4	11	14.148	18	47	20.76	1.025 496 50
	2	3	20	57.696	20	22	14.06	0.612 389 25		17	4	17	30.288	19	13	45.31	1.045 714 75
	3	3	19	54.450	20	5	9.71	0.601 043 10		18	4	24	0.779	19	40	5.37	1.065 891 12
	4	3	18	35.576	19	45	59.44	0.590 909 17		19	4	30	45.721	20	6	11.84	1.085 962 70
	5	3	17	2.964	19	24	54.82	0.582 004 94		20	4	37	45.181	20	31	55.14	1.105 859 71
	6	3	15	18.696	19	2	9.32	0.574 342 98		21	4	44	59.175	20	57	5.18	1.125 505 25
	7	3	13	25.015	18	37	58.26	0.567 930 69		22	4	52	27.654	21	21	31.40	1.144 815 27
	8	3	11	24.285	18	12	38.64	0.562 769 96		23	5	0	10.479	21	45	2.72	1.163 698 78
	9	3	9	18.947	17	46	28.88	0.558 856 98		24	5	8	7.408	22	7	27.68	1.182 058 52
	10	3	7	11.465	17	19	48.48	0.556 182 16		25	5	16	18.068	22	28	34.47	1.199 791 94
	11	3	5	4.281	16	52	57.57	0.554 730 13		26	5	24	41.943	22	48	11.13	1.216 792 72
	12	3	2	59.762	16	26	16.46	0.554 479 97		27	5	33	18.349	23	6	5.68	1.232 952 78
	13	3	1	0.154	16	0	5.14	0.555 405 54		28	5	42	6.432	23	22	6.37	1.248 164 74
	14	2	59	7.544	15	34	42.79	0.557 476 01		29	5	51	5.152	23	36	1.95	1.262 324 87
	15	2	57	23.828	15	10	27.37	0.560 656 46		30	6	0	13.295	23	47	41.95	1.275 336 17
	16	2	55	50.686	14	47	35.21	0.564 908 67	Juill.	1	6	9	29.479	23	56	56.96	1.287 111 66

MERCURE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Juill.	2	6 18 52.176	24 3 38.94	1.297 577 42	Août	17	11 27 7.064	1 25 12.00	0.905 080 98
	3	6 28 19.750	24 7 41.43	1.306 675 20		18	11 30 13.405	0 53 44.98	0.890 454 51
	4	6 37 50.486	24 8 59.75	1.314 364 43		19	11 33 8.748	0 23 27.57	0.875 822 95
	5	6 47 22.643	24 7 31.13	1.320 623 29		20	11 35 52.586	- 0 5 34.14	0.861 203 40
	6	6 56 54.496	24 3 14.73	1.325 448 91		21	11 38 24.358	- 0 33 13.63	0.846 615 49
	7	7 6 24.381	23 56 11.58	1.328 856 61		22	11 40 43.455	- 0 59 23.86	0.832 081 82
	8	7 15 50.732	23 46 24.49	1.330 878 34		23	11 42 49.211	- 1 23 57.26	0.817 628 36
	9	7 25 12.113	23 33 57.81	1.331 560 51		24	11 44 40.914	- 1 46 45.69	0.803 285 00
	10	7 34 27.239	23 18 57.25	1.330 961 35		25	11 46 17.802	- 2 7 40.38	0.789 086 00
	11	7 43 34.991	23 1 29.59	1.329 148 13		26	11 47 39.076	- 2 26 31.93	0.775 070 69
	12	7 52 34.419	22 41 42.46	1.326 194 43		27	11 48 43.905	- 2 43 10.33	0.761 284 01
	13	8 1 24.742	22 19 44.07	1.322 177 57		28	11 49 31.445	- 2 57 24.95	0.747 777 24
	14	8 10 5.335	21 55 42.98	1.317 176 30		29	11 50 0.858	- 3 9 4.67	0.734 608 63
	15	8 18 35.725	21 29 47.92	1.311 268 94		30	11 50 11.338	- 3 17 57.93	0.721 844 08
	16	8 26 55.568	21 2 7.64	1.304 531 85		31	11 50 2.145	- 3 23 52.98	0.709 557 77
	17	8 35 4.639	20 32 50.75	1.297 038 24		Sept.	1	11 49 32.647	- 3 26 38.13
18	8 43 2.810	20 2 5.66	1.288 857 35	2	11 48 42.369		- 3 26 2.09	0.686 761 07	
19	8 50 50.041	19 30 0.48	1.280 053 93	3	11 47 31.051		- 3 21 54.51	0.676 444 47	
20	8 58 26.358	18 56 42.98	1.270 687 91	4	11 45 58.717		- 3 14 6.52	0.666 993 79	
21	9 5 51.844	18 22 20.56	1.260 814 29	5	11 44 5.742		- 3 2 31.50	0.658 528 68	
22	9 13 6.627	17 47 0.26	1.250 483 15	6	11 41 52.927	- 2 47 5.92	0.651 176 57		
23	9 20 10.867	17 10 48.72	1.239 739 79	7	11 39 21.570	- 2 27 50.20	0.645 071 09		
24	9 27 4.746	16 33 52.22	1.228 624 97	8	11 36 33.525	- 2 4 49.69	0.640 349 81		
25	9 33 48.465	15 56 16.67	1.217 175 13	9	11 33 31.240	- 1 38 15.45	0.637 151 32		
26	9 40 22.230	15 18 7.69	1.205 422 72	10	11 30 17.773	- 1 8 24.91	0.635 611 57		
27	9 46 46.250	14 39 30.54	1.193 396 50	11	11 26 56.768	- 0 35 42.22	0.635 859 72		
28	9 53 0.730	14 0 30.25	1.181 121 88	12	11 23 32.393	- 0 0 38.13	0.638 013 48		
29	9 59 5.867	13 21 11.58	1.168 621 26	13	11 20 9.238	0 36 10.55	0.642 174 41		
30	10 5 1.845	12 41 39.05	1.155 914 30	14	11 16 52.169	1 14 2.02	0.648 423 26		
31	10 10 48.834	12 1 57.00	1.143 018 30	15	11 13 46.156	1 52 11.02	0.656 815 90		
Août	1	10 16 26.986	11 22 9.60	1.129 948 41	16	11 10 56.090	2 29 50.61	0.667 379 88	
	2	10 21 56.434	10 42 20.84	1.116 718 00	17	11 8 26.591	3 6 14.10	0.680 112 10	
	3	10 27 17.291	10 2 34.62	1.103 338 81	18	11 6 21.837	3 40 36.92	0.694 977 45	
	4	10 32 29.646	9 22 54.72	1.089 821 30	19	11 4 45.425	4 12 18.23	0.711 908 65	
	5	10 37 33.567	8 43 24.84	1.076 174 78	20	11 3 40.259	4 40 42.14	0.730 807 04	
	6	10 42 29.095	8 4 8.65	1.062 407 67	21	11 3 8.495	5 5 18.60	0.751 544 39	
	7	10 47 16.245	7 25 9.77	1.048 527 68	22	11 3 11.512	5 25 43.77	0.773 965 39	
	8	10 51 55.001	6 46 31.86	1.034 541 97	23	11 3 49.934	5 41 40.11	0.797 890 85	
	9	10 56 25.319	6 8 18.57	1.020 457 39	24	11 5 3.672	5 52 56.17	0.823 121 47	
	10	11 0 47.122	5 30 33.63	1.006 280 60	25	11 6 51.995	5 59 26.19	0.849 442 13	
	11	11 5 0.297	4 53 20.87	0.992 018 34	26	11 9 13.613	6 1 9.61	0.876 626 64	
	12	11 9 4.696	4 16 44.21	0.977 677 54	27	11 12 6.775	5 58 10.49	0.904 442 87	
	13	11 13 0.133	3 40 47.72	0.963 265 57	28	11 15 29.362	5 50 36.89	0.932 658 13	
	14	11 16 46.379	3 5 35.66	0.948 790 47	29	11 19 18.993	5 38 40.29	0.961 044 55	
	15	11 20 23.167	2 31 12.50	0.934 261 11	30	11 23 33.119	5 22 34.91	0.989 384 30	
	16	11 23 50.182	1 57 42.95	0.919 687 50	Oct.	1	11 28 9.113	5 2 37.14	1.017 474 15

MERCURE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua		
Oct.	2	11	33	4.351	4	39	4.91	1.045 129 43	Nov.	17	16	18	16.616	-23	1	36.12	1.384 338 90
	3	11	38	16.279	4	12	17.11	1.072 186 81		18	16	24	43.310	-23	21	40.98	1.376 157 20
	4	11	43	42.474	3	42	33.11	1.098 506 12		19	16	31	10.739	-23	40	35.58	1.367 404 99
	5	11	49	20.679	3	10	12.24	1.123 970 98		20	16	37	38.783	-23	58	18.54	1.358 074 82
	6	11	55	8.834	2	35	33.40	1.148 488 46		21	16	44	7.298	-24	14	48.46	1.348 158 48
	7	12	1	5.095	1	58	54.79	1.171 987 85		22	16	50	36.108	-24	30	3.97	1.337 647 02
	8	12	7	7.834	1	20	33.61	1.194 418 78		23	16	57	5.006	-24	44	3.71	1.326 530 86
	9	12	13	15.637	0	40	45.93	1.215 749 03		24	17	3	33.747	-24	56	46.32	1.314 799 87
	10	12	19	27.297	-0	0	13.40	1.235 961 98		25	17	10	2.048	-25	8	10.52	1.302 443 43
	11	12	25	41.794	-0	42	10.82	1.255 054 10		26	17	16	29.578	-25	18	15.04	1.289 450 56
	12	12	31	58.284	-1	24	54.01	1.273 032 57		27	17	22	55.960	-25	26	58.69	1.275 810 10
	13	12	38	16.076	-2	8	11.89	1.289 912 98		28	17	29	20.756	-25	34	20.37	1.261 510 83
	14	12	44	34.616	-2	51	54.55	1.305 717 33		29	17	35	43.468	-25	40	19.06	1.246 541 72
	15	12	50	53.471	-3	35	53.14	1.320 472 29		30	17	42	3.528	-25	44	53.91	1.230 892 22
	16	12	57	12.307	-4	19	59.81	1.334 207 70		Déc. 1	17	48	20.287	-25	48	4.17	1.214 552 57
	17	13	3	30.880	-5	4	7.58	1.346 955 32		2	17	54	33.008	-25	49	49.34	1.197 514 25
18	13	9	49.014	-5	48	10.31	1.358 747 86	3	18	0	40.851	-25	50	9.10	1.179 770 50		
19	13	16	6.594	-6	32	2.53	1.369 618 16	4	18	6	42.867	-25	49	3.44	1.161 316 90		
20	13	22	23.554	-7	15	39.40	1.379 598 66	5	18	12	37.976	-25	46	32.66	1.142 152 22		
21	13	28	39.867	-7	58	56.62	1.388 720 90	6	18	18	24.956	-25	42	37.44	1.122 279 28		
22	13	34	55.537	-8	41	50.36	1.397 015 26	7	18	24	2.424	-25	37	18.92	1.101 706 12		
23	13	41	10.597	-9	24	17.20	1.404 510 71	8	18	29	28.817	-25	30	38.75	1.080 447 29		
24	13	47	25.100	-10	6	14.11	1.411 234 67	9	18	34	42.370	-25	22	39.18	1.058 525 49		
25	13	53	39.117	-10	47	38.33	1.417 212 91	10	18	39	41.100	-25	13	23.14	1.035 973 40		
26	13	59	52.731	-11	28	27.40	1.422 469 50	11	18	44	22.783	-25	2	54.30	1.012 835 78		
27	14	6	6.035	-12	8	39.07	1.427 026 77	12	18	48	44.938	-24	51	17.19	0.989 171 98		
28	14	12	19.128	-12	48	11.29	1.430 905 35	13	18	52	44.816	-24	38	37.22	0.965 058 53		
29	14	18	32.113	-13	27	2.17	1.434 124 16	14	18	56	19.397	-24	25	0.75	0.940 592 17		
30	14	24	45.097	-14	5	9.96	1.436 700 45	15	18	59	25.405	-24	10	35.04	0.915 892 84		
31	14	30	58.184	-14	42	33.00	1.438 649 88	16	19	1	59.348	-23	55	28.28	0.891 106 75		
Nov.	1	14	37	11.480	-15	19	9.77	1.439 986 55	17	19	3	57.582	-23	39	49.42	0.866 409 19	
	2	14	43	25.085	-15	54	58.78	1.440 723 05	18	19	5	16.426	-23	23	48.04	0.842 006 58	
	3	14	49	39.099	-16	29	58.61	1.440 870 53	19	19	5	52.327	-23	7	34.05	0.818 137 60	
	4	14	55	53.613	-17	4	7.90	1.440 438 76	20	19	5	42.086	-22	51	17.39	0.795 072 42	
	5	15	2	8.715	-17	37	25.31	1.439 436 17	21	19	4	43.157	-22	35	7.67	0.773 109 67	
	6	15	8	24.487	-18	9	49.53	1.437 869 91	22	19	2	54.000	-22	19	13.80	0.752 570 30	
	7	15	14	41.002	-18	41	19.27	1.435 745 91	23	19	0	14.481	-22	3	43.80	0.733 787 91	
	8	15	20	58.326	-19	11	53.23	1.433 068 93	24	18	56	46.253	-21	48	44.68	0.717 095 37	
	9	15	27	16.516	-19	41	30.13	1.429 842 59	25	18	52	33.075	-21	34	22.74	0.702 808 10	
	10	15	33	35.620	-20	10	8.69	1.426 069 42	26	18	47	40.963	-21	20	44.03	0.691 205 26	
	11	15	39	55.677	-20	37	47.63	1.421 750 88	27	18	42	18.113	-21	7	55.00	0.682 510 69	
	12	15	46	16.713	-21	4	25.64	1.416 887 41	28	18	36	34.541	-20	56	3.11	0.676 876 28	
	13	15	52	38.744	-21	30	1.43	1.411 478 40	29	18	30	41.454	-20	45	17.11	0.674 370 36	
	14	15	59	1.773	-21	54	33.69	1.405 522 23	30	18	24	50.442	-20	35	46.88	0.674 973 15	
	15	16	5	25.785	-22	18	1.12	1.399 016 22	31	18	19	12.612	-20	27	42.64	0.678 580 12	
	16	16	11	50.750	-22	40	22.38	1.391 956 68	32	18	13	57.825	-20	21	13.89	0.685 012 62	

VÉNUS 2016 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	15 56 33.352	-18 20 41.06	1.159 957 73	Févr.	15	19 57 28.291	-20 41 56.19	1.422 099 63
	1	16 1 32.481	-18 36 55.27	1.166 330 82		16	20 2 41.213	-20 30 0.05	1.427 063 14
	2	16 6 32.808	-18 52 41.73	1.172 675 38		17	20 7 53.312	-20 17 27.66	1.431 995 20
	3	16 11 34.316	-19 7 59.73	1.178 991 07		18	20 13 4.556	-20 4 19.48	1.436 895 91
	4	16 16 36.988	-19 22 48.57	1.185 277 57		19	20 18 14.917	-19 50 35.98	1.441 765 33
	5	16 21 40.801	-19 37 7.54	1.191 534 60		20	20 23 24.367	-19 36 17.65	1.446 603 43
	6	16 26 45.731	-19 50 55.98	1.197 761 90		21	20 28 32.882	-19 21 25.01	1.451 410 15
	7	16 31 51.754	-20 4 13.22	1.203 959 23		22	20 33 40.442	-19 5 58.59	1.456 185 35
	8	16 36 58.838	-20 16 58.61	1.210 126 42		23	20 38 47.027	-18 49 58.91	1.460 928 84
	9	16 42 6.952	-20 29 11.54	1.216 263 33		24	20 43 52.620	-18 33 26.55	1.465 640 42
	10	16 47 16.062	-20 40 51.38	1.222 369 88		25	20 48 57.209	-18 16 22.07	1.470 319 82
	11	16 52 26.131	-20 51 57.54	1.228 446 07		26	20 54 0.779	-17 58 46.06	1.474 966 75
	12	16 57 37.120	-21 2 29.44	1.234 491 97		27	20 59 3.322	-17 40 39.13	1.479 580 92
	13	17 2 48.990	-21 12 26.53	1.240 507 71		28	21 4 4.828	-17 22 1.89	1.484 161 99
14	17 8 1.702	-21 21 48.27	1.246 493 47	29	21 9 5.292	-17 2 54.98	1.488 709 65		
15	17 13 15.216	-21 30 34.16	1.252 449 47	Mars	1	21 14 4.707	-16 43 19.04	1.493 223 54	
16	17 18 29.493	-21 38 43.72	1.258 375 95		2	21 19 3.072	-16 23 14.73	1.497 703 32	
17	17 23 44.490	-21 46 16.49	1.264 273 11		3	21 24 0.383	-16 2 42.71	1.502 148 62	
18	17 29 0.167	-21 53 12.08	1.270 141 16		4	21 28 56.641	-15 41 43.67	1.506 559 07	
19	17 34 16.479	-21 59 30.08	1.275 980 23		5	21 33 51.847	-15 20 18.28	1.510 934 32	
20	17 39 33.382	-22 5 10.12	1.281 790 40		6	21 38 46.003	-14 58 27.24	1.515 274 02	
21	17 44 50.827	-22 10 11.89	1.287 571 69		7	21 43 39.112	-14 36 11.26	1.519 577 84	
22	17 50 8.767	-22 14 35.05	1.293 324 04		8	21 48 31.180	-14 13 31.03	1.523 845 52	
23	17 55 27.150	-22 18 19.33	1.299 047 33		9	21 53 22.216	-13 50 27.25	1.528 076 86	
24	18 0 45.926	-22 21 24.46	1.304 741 38		10	21 58 12.230	-13 27 0.64	1.532 271 78	
25	18 6 5.042	-22 23 50.21	1.310 405 96	11	22 3 1.235	-13 3 11.90	1.536 430 27		
26	18 11 24.447	-22 25 36.38	1.316 040 79	12	22 7 49.247	-12 39 1.74	1.540 552 42		
27	18 16 44.085	-22 26 42.78	1.321 645 59	13	22 12 36.285	-12 14 30.88	1.544 638 37		
28	18 22 3.904	-22 27 9.28	1.327 220 06	14	22 17 22.365	-11 49 40.03	1.548 688 29		
29	18 27 23.848	-22 26 55.78	1.332 763 89	15	22 22 7.510	-11 24 29.92	1.552 702 34		
30	18 32 43.862	-22 26 2.19	1.338 276 78	16	22 26 51.741	-10 59 1.26	1.556 680 64		
31	18 38 3.890	-22 24 28.48	1.343 758 45	17	22 31 35.081	-10 33 14.77	1.560 623 26		
Févr.	1	18 43 23.877	-22 22 14.64	1.349 208 60	18	22 36 17.557	-10 7 11.18	1.564 530 23	
	2	18 48 43.765	-22 19 20.68	1.354 626 97	19	22 40 59.197	-9 40 51.17	1.568 401 52	
	3	18 54 3.499	-22 15 46.67	1.360 013 30	20	22 45 40.028	-9 14 15.47	1.572 237 03	
	4	18 59 23.021	-22 11 32.70	1.365 367 32	21	22 50 20.082	-8 47 24.78	1.576 036 63	
	5	19 4 42.275	-22 6 38.89	1.370 688 81	22	22 54 59.391	-8 20 19.81	1.579 800 14	
	6	19 10 1.205	-22 1 5.39	1.375 977 56	23	22 59 37.989	-7 53 1.24	1.583 527 30	
	7	19 15 19.755	-21 54 52.37	1.381 233 41	24	23 4 15.909	-7 25 29.79	1.587 217 85	
	8	19 20 37.869	-21 48 0.06	1.386 456 27	25	23 8 53.187	-6 57 46.16	1.590 871 48	
	9	19 25 55.493	-21 40 28.67	1.391 646 11	26	23 13 29.858	-6 29 51.05	1.594 487 82	
	10	19 31 12.576	-21 32 18.47	1.396 802 98	27	23 18 5.957	-6 1 45.16	1.598 066 49	
	11	19 36 29.070	-21 23 29.74	1.401 927 02	28	23 22 41.523	-5 33 29.21	1.601 607 08	
	12	19 41 44.930	-21 14 2.80	1.407 018 45	29	23 27 16.589	-5 5 3.89	1.605 109 16	
	13	19 47 0.112	-21 3 57.97	1.412 077 52	30	23 31 51.194	-4 36 29.91	1.608 572 26	
	14	19 52 14.579	-20 53 15.64	1.417 104 50	31	23 36 25.373	-4 7 47.99	1.611 995 89	

VÉNUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Avril	1	23	40	59.164	− 3	38	58.83	1.615 379 55	Mai	17	3	14	43.348	17	12	34.85	1.722 601 73
	2	23	45	32.602	− 3	10	3.14	1.618 722 71		18	3	19	39.770	17	33	41.40	1.723 766 13
	3	23	50	5.723	− 2	41	1.65	1.622 024 84		19	3	24	37.302	17	54	20.80	1.724 877 16
	4	23	54	38.566	− 2	11	55.06	1.625 285 39		20	3	29	35.948	18	14	32.34	1.725 934 68
	5	23	59	11.165	− 1	42	44.08	1.628 503 85		21	3	34	35.714	18	34	15.32	1.726 938 50
	6	0	3	43.559	− 1	13	29.43	1.631 679 76		22	3	39	36.600	18	53	29.07	1.727 888 42
	7	0	8	15.786	− 0	44	11.81	1.634 812 71		23	3	44	38.606	19	12	12.91	1.728 784 21
	8	0	12	47.884	− 0	14	51.94	1.637 902 41		24	3	49	41.727	19	30	26.16	1.729 625 59
	9	0	17	19.891	0	14	29.49	1.640 948 67		25	3	54	45.958	19	48	8.16	1.730 412 25
	10	0	21	51.844	0	43	51.76	1.643 951 41		26	3	59	51.289	20	5	18.25	1.731 143 86
	11	0	26	23.783	1	13	14.16	1.646 910 61		27	4	4	57.709	20	21	55.78	1.731 820 04
	12	0	30	55.744	1	42	35.98	1.649 826 31		28	4	10	5.204	20	38	0.11	1.732 440 36
	13	0	35	27.766	2	11	56.51	1.652 698 51		29	4	15	13.758	20	53	30.61	1.733 004 37
	14	0	39	59.887	2	41	15.04	1.655 527 25		30	4	20	23.351	21	8	26.67	1.733 511 60
	15	0	44	32.147	3	10	30.86	1.658 312 48		31	4	25	33.963	21	22	47.69	1.733 961 53
16	0	49	4.588	3	39	43.28	1.661 054 15	Juin	1	4	30	45.571	21	36	33.07	1.734 353 67	
17	0	53	37.250	4	8	51.59	1.663 752 13		2	4	35	58.148	21	49	42.27	1.734 687 50	
18	0	58	10.174	4	37	55.10	1.666 406 28		3	4	41	11.663	22	2	14.74	1.734 962 59	
19	1	2	43.402	5	6	53.11	1.669 016 41		4	4	46	26.084	22	14	9.96	1.735 178 53	
20	1	7	16.976	5	35	44.93	1.671 582 27		5	4	51	41.372	22	25	27.42	1.735 335 05	
21	1	11	50.937	6	4	29.86	1.674 103 61		6	4	56	57.487	22	36	6.64	1.735 431 95	
22	1	16	25.325	6	33	7.20	1.676 580 11		7	5	2	14.383	22	46	7.15	1.735 469 16	
23	1	21	0.182	7	1	36.26	1.679 011 45		8	5	7	32.016	22	55	28.49	1.735 446 71	
24	1	25	35.545	7	29	56.33	1.681 397 24		9	5	12	50.339	23	4	10.23	1.735 364 67	
25	1	30	11.454	7	58	6.70	1.683 737 07		10	5	18	9.306	23	12	11.98	1.735 223 17	
26	1	34	47.947	8	26	6.67	1.686 030 50		11	5	23	28.867	23	19	33.35	1.735 022 36	
27	1	39	25.059	8	53	55.52	1.688 277 06		12	5	28	48.975	23	26	14.00	1.734 762 40	
28	1	44	2.826	9	21	32.53	1.690 476 22		13	5	34	9.580	23	32	13.61	1.734 443 45	
29	1	48	41.283	9	48	56.99	1.692 627 45		14	5	39	30.630	23	37	31.89	1.734 065 66	
30	1	53	20.462	10	16	8.16	1.694 730 18		15	5	44	52.074	23	42	8.58	1.733 629 17	
Mai	1	1	58	0.396	10	43	5.32	1.696 783 81	16	5	50	13.858	23	46	3.46	1.733 134 11	
	2	2	2	41.117	11	9	47.73	1.698 787 74	17	5	55	35.928	23	49	16.32	1.732 580 64	
	3	2	7	22.654	11	36	14.67	1.700 741 34	18	6	0	58.227	23	51	47.01	1.731 968 87	
	4	2	12	5.037	12	2	25.40	1.702 644 00	19	6	6	20.701	23	53	35.38	1.731 298 91	
	5	2	16	48.294	12	28	19.18	1.704 495 16	20	6	11	43.291	23	54	41.32	1.730 570 87	
	6	2	21	32.452	12	53	55.29	1.706 294 34	21	6	17	5.941	23	55	4.77	1.729 784 81	
	7	2	26	17.535	13	19	12.99	1.708 041 14	22	6	22	28.592	23	54	45.66	1.728 940 77	
	8	2	31	3.565	13	44	11.55	1.709 735 29	23	6	27	51.186	23	53	43.99	1.728 038 75	
	9	2	35	50.561	14	8	50.22	1.711 376 62	24	6	33	13.665	23	51	59.76	1.727 078 72	
	10	2	40	38.542	14	33	8.27	1.712 965 06	25	6	38	35.972	23	49	33.01	1.726 060 58	
	11	2	45	27.524	14	57	4.93	1.714 500 58	26	6	43	58.051	23	46	23.81	1.724 984 20	
	12	2	50	17.524	15	20	39.48	1.715 983 18	27	6	49	19.845	23	42	32.25	1.723 849 39	
	13	2	55	8.560	15	43	51.18	1.717 412 86	28	6	54	41.300	23	37	58.47	1.722 655 95	
	14	3	0	0.645	16	6	39.28	1.718 789 60	29	7	0	2.363	23	32	42.63	1.721 403 62	
	15	3	4	53.797	16	29	3.08	1.720 113 38	30	7	5	22.979	23	26	44.93	1.720 092 16	
	16	3	9	48.027	16	51	1.84	1.721 384 12	Juill.	1	7	10	43.094	23	20	5.61	1.718 721 32

VÉNUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua		
Juill.	2	7	16	2.655	23	12	44.92	1.717 290 92	Août	17	11	3	0.144	7	36	0.35	1.591 361 92
	3	7	21	21.607	23	4	43.18	1.715 800 79		18	11	7	32.552	7	6	42.61	1.587 432 57
	4	7	26	39.897	22	56	0.69	1.714 250 90		19	11	12	4.301	6	37	13.49	1.583 459 64
	5	7	31	57.471	22	46	37.80	1.712 641 26		20	11	16	35.432	6	7	33.68	1.579 443 67
	6	7	37	14.281	22	36	34.88	1.710 972 00		21	11	21	5.986	5	37	43.89	1.575 385 12
	7	7	42	30.278	22	25	52.32	1.709 243 36		22	11	25	36.006	5	7	44.82	1.571 284 36
	8	7	47	45.418	22	14	30.53	1.707 455 60		23	11	30	5.536	4	37	37.14	1.567 141 67
	9	7	52	59.661	22	2	29.94	1.705 609 06		24	11	34	34.618	4	7	21.57	1.562 957 26
	10	7	58	12.967	21	49	51.01	1.703 704 12		25	11	39	3.295	3	36	58.81	1.558 731 28
	11	8	3	25.302	21	36	34.22	1.701 741 17		26	11	43	31.608	3	6	29.56	1.554 463 83
	12	8	8	36.634	21	22	40.08	1.699 720 63		27	11	47	59.597	2	35	54.53	1.550 155 00
13	8	13	46.931	21	8	9.10	1.697 642 91	28	11	52	27.304	2	5	14.45	1.545 804 85		
14	8	18	56.168	20	53	1.83	1.695 508 44	29	11	56	54.767	1	34	30.02	1.541 413 50		
15	8	24	4.319	20	37	18.82	1.693 317 66	30	12	1	22.026	1	3	41.98	1.536 981 06		
16	8	29	11.361	20	21	0.67	1.691 071 01	31	12	5	49.120	0	32	51.04	1.532 507 70		
17	8	34	17.275	20	4	7.95	1.688 768 95	Sept.	1	12	10	16.092	0	1	57.90	1.527 993 65	
18	8	39	22.043	19	46	41.28	1.686 411 92		2	12	14	42.981	-0	28	56.70	1.523 439 15	
19	8	44	25.650	19	28	41.28	1.684 000 35		3	12	19	9.827	-0	59	52.06	1.518 844 54	
20	8	49	28.084	19	10	8.57	1.681 534 67		4	12	23	36.674	-1	30	47.47	1.514 210 16	
21	8	54	29.336	18	51	3.80	1.679 015 25		5	12	28	3.561	-2	1	42.20	1.509 536 43	
22	8	59	29.398	18	31	27.60	1.676 442 44	6	12	32	30.530	-2	32	35.54	1.504 823 79		
23	9	4	28.268	18	11	20.64	1.673 816 51	7	12	36	57.621	-3	3	26.78	1.500 072 70		
24	9	9	25.945	17	50	43.56	1.671 137 68	8	12	41	24.876	-3	34	15.19	1.495 283 65		
25	9	14	22.432	17	29	37.05	1.668 406 09	9	12	45	52.335	-4	5	0.05	1.490 457 17		
26	9	19	17.733	17	8	1.76	1.665 621 85	10	12	50	20.037	-4	35	40.64	1.485 593 80		
27	9	24	11.854	16	45	58.39	1.662 784 99	11	12	54	48.024	-5	6	16.24	1.480 694 09		
28	9	29	4.804	16	23	27.63	1.659 895 52	12	12	59	16.333	-5	36	46.11	1.475 758 64		
29	9	33	56.591	16	0	30.20	1.656 953 44	13	13	3	45.006	-6	7	9.52	1.470 788 05		
30	9	38	47.223	15	37	6.81	1.653 958 74	14	13	8	14.082	-6	37	25.75	1.465 782 97		
31	9	43	36.710	15	13	18.19	1.650 911 46	15	13	12	43.600	-7	7	34.06	1.460 744 04		
Août	1	9	48	25.063	14	49	5.08	1.647 811 67	16	13	17	13.601	-7	37	33.72	1.455 671 91	
	2	9	53	12.294	14	24	28.20	1.644 659 50	17	13	21	44.128	-8	7	24.01	1.450 567 17	
	3	9	57	58.416	13	59	28.29	1.641 455 17	18	13	26	15.223	-8	37	4.23	1.445 430 40	
	4	10	2	43.445	13	34	6.07	1.638 198 95	19	13	30	46.929	-9	6	33.64	1.440 262 06	
	5	10	7	27.400	13	8	22.29	1.634 891 20	20	13	35	19.288	-9	35	51.53	1.435 062 51	
	6	10	12	10.301	12	42	17.66	1.631 532 32	21	13	39	52.342	-10	4	57.20	1.429 832 02	
	7	10	16	52.171	12	15	52.93	1.628 122 78	22	13	44	26.127	-10	33	49.91	1.424 570 75	
	8	10	21	33.034	11	49	8.81	1.624 663 08	23	13	49	0.682	-11	2	28.92	1.419 278 81	
	9	10	26	12.916	11	22	6.05	1.621 153 74	24	13	53	36.040	-11	30	53.49	1.413 956 23	
	10	10	30	51.844	10	54	45.37	1.617 595 32	25	13	58	12.234	-11	59	2.87	1.408 603 04	
11	10	35	29.846	10	27	7.51	1.613 988 39	26	14	2	49.297	-12	26	56.30	1.403 219 25		
12	10	40	6.952	9	59	13.19	1.610 333 53	27	14	7	27.259	-12	54	33.02	1.397 804 89		
13	10	44	43.192	9	31	3.15	1.606 631 34	28	14	12	6.148	-13	21	52.27	1.392 359 99		
14	10	49	18.598	9	2	38.12	1.602 882 45	29	14	16	45.995	-13	48	53.29	1.386 884 61		
15	10	53	53.203	8	33	58.83	1.599 087 49	30	14	21	26.824	-14	15	35.30	1.381 378 85		
16	10	58	27.040	8	5	6.00	1.595 247 10	Oct.	1	14	26	8.660	-14	41	57.56	1.375 842 83	

VÉNUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct. 2	14 30 51.529	-15 7 59.28	1.370 276 72	Nov. 17	18 25 21.093	-25 33 20.23	1.086 700 71
3	14 35 35.449	-15 33 39.71	1.364 680 70	18	18 30 37.297	-25 31 12.98	1.080 015 88
4	14 40 20.442	-15 58 58.06	1.359 055 00	19	18 35 52.986	-25 28 21.95	1.073 313 07
5	14 45 6.523	-16 23 53.59	1.353 399 89	20	18 41 8.090	-25 24 47.27	1.066 592 31
6	14 49 53.709	-16 48 25.51	1.347 715 64	21	18 46 22.540	-25 20 29.15	1.059 853 58
7	14 54 42.012	-17 12 33.05	1.342 002 58	22	18 51 36.267	-25 15 27.80	1.053 096 85
8	14 59 31.443	-17 36 15.45	1.336 261 06	23	18 56 49.206	-25 9 43.48	1.046 322 03
9	15 4 22.010	-17 59 31.94	1.330 491 44	24	19 2 1.290	-25 3 16.47	1.039 529 07
10	15 9 13.719	-18 22 21.75	1.324 694 14	25	19 7 12.452	-24 56 7.11	1.032 717 90
11	15 14 6.576	-18 44 44.12	1.318 869 59	26	19 12 22.627	-24 48 15.74	1.025 888 45
12	15 19 0.582	-19 6 38.28	1.313 018 29	27	19 17 31.752	-24 39 42.77	1.019 040 68
13	15 23 55.739	-19 28 3.48	1.307 140 75	28	19 22 39.763	-24 30 28.61	1.012 174 55
14	15 28 52.045	-19 48 58.97	1.301 237 52	29	19 27 46.599	-24 20 33.71	1.005 290 03
15	15 33 49.501	-20 9 24.02	1.295 309 16	30	19 32 52.198	-24 9 58.55	0.998 387 12
16	15 38 48.103	-20 29 17.91	1.289 356 24	Déc. 1	19 37 56.500	-23 58 43.64	0.991 465 85
17	15 43 47.849	-20 48 39.94	1.283 379 24	2	19 42 59.448	-23 46 49.52	0.984 526 25
18	15 48 48.733	-21 7 29.41	1.277 378 59	3	19 48 0.984	-23 34 16.73	0.977 568 41
19	15 53 50.745	-21 25 45.65	1.271 354 60	4	19 53 1.055	-23 21 5.87	0.970 592 45
20	15 58 53.872	-21 43 28.00	1.265 307 46	5	19 57 59.606	-23 7 17.54	0.963 598 55
21	16 3 58.097	-22 0 35.79	1.259 237 28	6	20 2 56.587	-22 52 52.35	0.956 586 91
22	16 9 3.400	-22 17 8.36	1.253 144 07	7	20 7 51.952	-22 37 50.94	0.949 557 80
23	16 14 9.756	-22 33 5.08	1.247 027 81	8	20 12 45.653	-22 22 13.99	0.942 511 57
24	16 19 17.141	-22 48 25.31	1.240 888 42	9	20 17 37.650	-22 6 2.15	0.935 448 61
25	16 24 25.523	-23 3 8.45	1.234 725 84	10	20 22 27.903	-21 49 16.13	0.928 369 40
26	16 29 34.872	-23 17 13.89	1.228 540 00	11	20 27 16.377	-21 31 56.63	0.921 274 47
27	16 34 45.150	-23 30 41.07	1.222 330 84	12	20 32 3.040	-21 14 4.38	0.914 164 42
28	16 39 56.319	-23 43 29.42	1.216 098 30	13	20 36 47.862	-20 55 40.12	0.907 039 86
29	16 45 8.337	-23 55 38.43	1.209 842 36	14	20 41 30.817	-20 36 44.60	0.899 901 40
30	16 50 21.158	-24 7 7.57	1.203 563 00	15	20 46 11.880	-20 17 18.59	0.892 749 59
31	16 55 34.734	-24 17 56.38	1.197 260 24	16	20 50 51.029	-19 57 22.84	0.885 584 92
Nov. 1	17 0 49.012	-24 28 4.39	1.190 934 11	17	20 55 28.246	-19 36 58.13	0.878 407 75
2	17 6 3.936	-24 37 31.17	1.184 584 69	18	21 0 3.515	-19 16 5.22	0.871 218 40
3	17 11 19.450	-24 46 16.31	1.178 212 06	19	21 4 36.823	-18 54 44.90	0.864 017 08
4	17 16 35.491	-24 54 19.45	1.171 816 35	20	21 9 8.158	-18 32 57.94	0.856 803 96
5	17 21 51.997	-25 1 40.22	1.165 397 73	21	21 13 37.508	-18 10 45.13	0.849 579 19
6	17 27 8.900	-25 8 18.31	1.158 956 39	22	21 18 4.863	-17 48 7.29	0.842 342 89
7	17 32 26.134	-25 14 13.42	1.152 492 57	23	21 22 30.214	-17 25 5.21	0.835 095 17
8	17 37 43.629	-25 19 25.30	1.146 006 53	24	21 26 53.550	-17 1 39.72	0.827 836 15
9	17 43 1.314	-25 23 53.72	1.139 498 61	25	21 31 14.863	-16 37 51.63	0.820 565 97
10	17 48 19.116	-25 27 38.48	1.132 969 17	26	21 35 34.144	-16 13 41.77	0.813 284 73
11	17 53 36.966	-25 30 39.41	1.126 418 66	27	21 39 51.382	-15 49 10.98	0.805 992 59
12	17 58 54.791	-25 32 56.38	1.119 847 56	28	21 44 6.568	-15 24 20.10	0.798 689 69
13	18 4 12.521	-25 34 29.31	1.113 256 38	29	21 48 19.692	-14 59 9.96	0.791 376 21
14	18 9 30.086	-25 35 18.15	1.106 645 66	30	21 52 30.743	-14 33 41.42	0.784 052 33
15	18 14 47.416	-25 35 22.89	1.100 015 87	31	21 56 39.709	-14 7 55.32	0.776 718 28
16	18 20 4.442	-25 34 43.56	1.093 367 45	32	22 0 46.578	-13 41 52.51	0.769 374 34

MARS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	13 46 11.386	- 9 21 41.63	1.693 674 86	Févr.	15	15 18 26.087	-16 48 18.88	1.228 733 72
	1	13 48 17.949	- 9 33 31.39	1.683 948 93		16	15 20 15.665	-16 55 35.11	1.218 545 01
	2	13 50 24.355	- 9 45 16.30	1.674 193 55		17	15 22 4.533	-17 2 44.90	1.208 369 40
	3	13 52 30.600	- 9 56 56.29	1.664 409 31		18	15 23 52.672	-17 9 48.25	1.198 207 79
	4	13 54 36.676	-10 8 31.31	1.654 596 90		19	15 25 40.060	-17 16 45.18	1.188 061 00
	5	13 56 42.577	-10 20 1.27	1.644 757 00		20	15 27 26.677	-17 23 35.72	1.177 929 82
	6	13 58 48.295	-10 31 26.12	1.634 890 39		21	15 29 12.499	-17 30 19.87	1.167 815 04
	7	14 0 53.823	-10 42 45.78	1.624 997 88		22	15 30 57.504	-17 36 57.67	1.157 717 41
	8	14 2 59.152	-10 54 0.18	1.615 080 35		23	15 32 41.668	-17 43 29.12	1.147 637 73
	9	14 5 4.273	-11 5 9.25	1.605 138 75		24	15 34 24.964	-17 49 54.26	1.137 576 78
	10	14 7 9.176	-11 16 12.93	1.595 174 10		25	15 36 7.367	-17 56 13.10	1.127 535 43
	11	14 9 13.852	-11 27 11.13	1.585 187 48		26	15 37 48.848	-18 2 25.69	1.117 514 53
	12	14 11 18.291	-11 38 3.79	1.575 180 01		27	15 39 29.380	-18 8 32.04	1.107 515 04
	13	14 13 22.486	-11 48 50.84	1.565 152 87		28	15 41 8.931	-18 14 32.19	1.097 537 92
14	14 15 26.430	-11 59 32.23	1.555 107 20	29	15 42 47.471	-18 20 26.17	1.087 584 23		
15	14 17 30.118	-12 10 7.91	1.545 044 14	Mars	1	15 44 24.965	-18 26 14.02	1.077 655 04	
16	14 19 33.544	-12 20 37.84	1.534 964 78		2	15 46 1.381	-18 31 55.78	1.067 751 52	
17	14 21 36.705	-12 31 1.99	1.524 870 11		3	15 47 36.683	-18 37 31.47	1.057 874 88	
18	14 23 39.596	-12 41 20.33	1.514 761 07		4	15 49 10.833	-18 43 1.14	1.048 026 42	
19	14 25 42.212	-12 51 32.83	1.504 638 49		5	15 50 43.794	-18 48 24.81	1.038 207 51	
20	14 27 44.546	-13 1 39.47	1.494 503 11		6	15 52 15.527	-18 53 42.53	1.028 419 62	
21	14 29 46.590	-13 11 40.21	1.484 355 61		7	15 53 45.993	-18 58 54.32	1.018 664 30	
22	14 31 48.337	-13 21 35.01	1.474 196 58		8	15 55 15.153	-19 4 0.22	1.008 943 22	
23	14 33 49.776	-13 31 23.84	1.464 026 58		9	15 56 42.971	-19 9 0.26	0.999 258 09	
24	14 35 50.897	-13 41 6.65	1.453 846 15		10	15 58 9.410	-19 13 54.50	0.989 610 70	
25	14 37 51.688	-13 50 43.41	1.443 655 81	11	15 59 34.439	-19 18 43.00	0.980 002 81		
26	14 39 52.140	-14 0 14.07	1.433 456 10	12	16 0 58.023	-19 23 25.82	0.970 436 15		
27	14 41 52.239	-14 9 38.60	1.423 247 59	13	16 2 20.131	-19 28 3.06	0.960 912 37		
28	14 43 51.973	-14 18 56.95	1.413 030 90	14	16 3 40.729	-19 32 34.80	0.951 433 01		
29	14 45 51.329	-14 28 9.10	1.402 806 67	15	16 4 59.782	-19 37 1.12	0.941 999 54		
30	14 47 50.292	-14 37 15.01	1.392 575 62	16	16 6 17.253	-19 41 22.11	0.932 613 32		
Févr.	31	14 49 48.848	-14 46 14.65	1.382 338 50	17	16 7 33.104	-19 45 37.85	0.923 275 68	
	1	14 51 46.982	-14 55 8.00	1.372 096 11	18	16 8 47.297	-19 49 48.40	0.913 987 89	
	2	14 53 44.676	-15 3 55.02	1.361 849 29	19	16 9 59.792	-19 53 53.85	0.904 751 21	
	3	14 55 41.913	-15 12 35.69	1.351 598 95	20	16 11 10.546	-19 57 54.27	0.895 566 90	
	4	14 57 38.675	-15 21 9.97	1.341 346 05	21	16 12 19.517	-20 1 49.73	0.886 436 24	
	5	14 59 34.943	-15 29 37.85	1.331 091 60	22	16 13 26.662	-20 5 40.31	0.877 360 53	
	6	15 1 30.695	-15 37 59.29	1.320 836 71	23	16 14 31.935	-20 9 26.08	0.868 341 11	
	7	15 3 25.913	-15 46 14.26	1.310 582 55	24	16 15 35.289	-20 13 7.13	0.859 379 37	
	8	15 5 20.573	-15 54 22.73	1.300 330 37	25	16 16 36.675	-20 16 43.51	0.850 476 74	
	9	15 7 14.658	-16 2 24.67	1.290 081 50	26	16 17 36.044	-20 20 15.31	0.841 634 73	
	10	15 9 8.146	-16 10 20.07	1.279 837 31	27	16 18 33.343	-20 23 42.60	0.832 854 92	
	11	15 11 1.022	-16 18 8.92	1.269 599 19	28	16 19 28.521	-20 27 5.45	0.824 138 95	
	12	15 12 53.269	-16 25 51.20	1.259 368 50	29	16 20 21.522	-20 30 23.91	0.815 488 56	
	13	15 14 44.873	-16 33 26.95	1.249 146 55	30	16 21 12.290	-20 33 38.06	0.806 905 56	
14	15 16 35.817	-16 40 56.16	1.238 934 58	31	16 22 0.769	-20 36 47.95	0.798 391 86		

MARS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	1 16 22 46.901	-20 39 53.62	0.789 949 44	Mai	17 16 5 49.130	-21 44 11.78	0.520 260 62
	2 16 23 30.628	-20 42 55.13	0.781 580 41		18 16 4 23.023	-21 43 28.46	0.517 885 84
	3 16 24 11.892	-20 45 52.51	0.773 286 99		19 16 2 55.632	-21 42 39.13	0.515 689 05
	4 16 24 50.634	-20 48 45.78	0.765 071 51		20 16 1 27.130	-21 41 43.95	0.513 670 62
	5 16 25 26.799	-20 51 34.98	0.756 936 41		21 15 59 57.694	-21 40 43.12	0.511 830 78
	6 16 26 0.335	-20 54 20.13	0.748 884 24		22 15 58 27.503	-21 39 36.84	0.510 169 62
	7 16 26 31.191	-20 57 1.25	0.740 917 61		23 15 56 56.741	-21 38 25.38	0.508 687 13
	8 16 26 59.322	-20 59 38.38	0.733 039 16		24 15 55 25.593	-21 37 9.00	0.507 383 14
	9 16 27 24.685	-21 2 11.55	0.725 251 49		25 15 53 54.244	-21 35 48.00	0.506 257 39
	10 16 27 47.239	-21 4 40.82	0.717 557 12		26 15 52 22.884	-21 34 22.72	0.505 309 48
	11 16 28 6.944	-21 7 6.22	0.709 958 51		27 15 50 51.702	-21 32 53.50	0.504 538 89
	12 16 28 23.761	-21 9 27.77	0.702 457 97		28 15 49 20.890	-21 31 20.74	0.503 944 96
	13 16 28 37.652	-21 11 45.50	0.695 057 78		29 15 47 50.640	-21 29 44.85	0.503 526 92
	14 16 28 48.578	-21 13 59.41	0.687 760 13		30 15 46 21.146	-21 28 6.27	0.503 283 85
	15 16 28 56.503	-21 16 9.50	0.680 567 20		31 15 44 52.601	-21 26 25.47	0.503 214 64
16 16 29 1.390	-21 18 15.76	0.673 481 16	Juin	1 15 43 25.200	-21 24 42.98	0.503 318 04	
17 16 29 3.206	-21 20 18.16	0.666 504 19		2 15 41 59.138	-21 22 59.32	0.503 592 56	
18 16 29 1.918	-21 22 16.68	0.659 638 52		3 15 40 34.605	-21 21 15.09	0.504 036 47	
19 16 28 57.494	-21 24 11.27	0.652 886 38		4 15 39 11.788	-21 19 30.88	0.504 647 78	
20 16 28 49.906	-21 26 1.89	0.646 250 06		5 15 37 50.868	-21 17 47.30	0.505 424 18	
21 16 28 39.124	-21 27 48.47	0.639 731 89		6 15 36 32.017	-21 16 4.99	0.506 363 10	
22 16 28 25.126	-21 29 30.96	0.633 334 24		7 15 35 15.397	-21 14 24.56	0.507 461 69	
23 16 28 7.888	-21 31 9.26	0.627 059 53		8 15 34 1.159	-21 12 46.62	0.508 716 87	
24 16 27 47.392	-21 32 43.31	0.620 910 27		9 15 32 49.443	-21 11 11.76	0.510 125 42	
25 16 27 23.622	-21 34 12.98	0.614 889 00		10 15 31 40.381	-21 9 40.55	0.511 683 97	
26 16 26 56.565	-21 35 38.17	0.608 998 32	11 15 30 34.089	-21 8 13.56	0.513 389 10		
27 16 26 26.216	-21 36 58.76	0.603 240 90	12 15 29 30.678	-21 6 51.32	0.515 237 32		
28 16 25 52.572	-21 38 14.60	0.597 619 48	13 15 28 30.243	-21 5 34.35	0.517 225 12		
29 16 25 15.638	-21 39 25.56	0.592 136 83	14 15 27 32.873	-21 4 23.13	0.519 348 97		
30 16 24 35.425	-21 40 31.47	0.586 795 81	15 15 26 38.645	-21 3 18.12	0.521 605 37		
Mai	1 16 23 51.951	-21 41 32.17	0.581 599 30	16 15 25 47.627	-21 2 19.74	0.523 990 79	
	2 16 23 5.246	-21 42 27.48	0.576 550 24	17 15 24 59.878	-21 1 28.41	0.526 501 75	
	3 16 22 15.348	-21 43 17.26	0.571 651 59	18 15 24 15.450	-21 0 44.48	0.529 134 82	
	4 16 21 22.306	-21 44 1.32	0.566 906 32	19 15 23 34.383	-21 0 8.29	0.531 886 60	
	5 16 20 26.184	-21 44 39.52	0.562 317 33	20 15 22 56.712	-20 59 40.13	0.534 753 77	
	6 16 19 27.056	-21 45 11.74	0.557 887 45	21 15 22 22.464	-20 59 20.28	0.537 733 06	
	7 16 18 25.009	-21 45 37.87	0.553 619 32	22 15 21 51.660	-20 59 8.96	0.540 821 31	
	8 16 17 20.138	-21 45 57.81	0.549 515 39	23 15 21 24.316	-20 59 6.37	0.544 015 43	
	9 16 16 12.551	-21 46 11.50	0.545 577 87	24 15 21 0.442	-20 59 12.68	0.547 312 43	
	10 16 15 2.359	-21 46 18.87	0.541 808 70	25 15 20 40.049	-20 59 28.04	0.550 709 38	
	11 16 13 49.684	-21 46 19.88	0.538 209 62	26 15 20 23.139	-20 59 52.58	0.554 203 44	
	12 16 12 34.654	-21 46 14.49	0.534 782 14	27 15 20 9.718	-21 0 26.39	0.557 791 81	
	13 16 11 17.405	-21 46 2.69	0.531 527 62	28 15 19 59.786	-21 1 9.56	0.561 471 71	
	14 16 9 58.077	-21 45 44.47	0.528 447 23	29 15 19 53.344	-21 2 2.19	0.565 240 38	
	15 16 8 36.819	-21 45 19.88	0.525 542 02	30 15 19 50.388	-21 3 4.32	0.569 095 05	
16 16 7 13.783	-21 44 48.95	0.522 812 89	Juill.	1 15 19 50.913	-21 4 16.02	0.573 032 90	

MARS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	2 15 19 54.910	-21 5 37.31	0.577 051 06	Août	17 16 14 54.060	-24 6 48.06	0.810 060 98
	3 15 20 2.364	-21 7 8.21	0.581 146 60		18 16 16 58.878	-24 11 33.42	0.815 637 67
	4 15 20 13.256	-21 8 48.69	0.585 316 53		19 16 19 5.383	-24 16 15.85	0.821 222 72
	5 15 20 27.564	-21 10 38.70	0.589 557 86		20 16 21 13.546	-24 20 55.01	0.826 816 09
	6 15 20 45.259	-21 12 38.18	0.593 867 55		21 16 23 23.341	-24 25 30.61	0.832 417 79
	7 15 21 6.309	-21 14 47.02	0.598 242 65		22 16 25 34.745	-24 30 2.33	0.838 027 85
	8 15 21 30.678	-21 17 5.09	0.602 680 23		23 16 27 47.737	-24 34 29.89	0.843 646 29
	9 15 21 58.328	-21 19 32.24	0.607 177 49		24 16 30 2.298	-24 38 53.00	0.849 273 07
	10 15 22 29.218	-21 22 8.31	0.611 731 73		25 16 32 18.406	-24 43 11.40	0.854 908 11
	11 15 23 3.304	-21 24 53.11	0.616 340 36		26 16 34 36.042	-24 47 24.82	0.860 551 22
	12 15 23 40.541	-21 27 46.44	0.621 000 91		27 16 36 55.186	-24 51 32.99	0.866 202 16
	13 15 24 20.882	-21 30 48.08	0.625 711 03		28 16 39 15.816	-24 55 35.64	0.871 860 61
	14 15 25 4.280	-21 33 57.79	0.630 468 49		29 16 41 37.910	-24 59 32.51	0.877 526 19
	15 15 25 50.685	-21 37 15.33	0.635 271 17		30 16 44 1.445	-25 3 23.33	0.883 198 47
	16 15 26 40.049	-21 40 40.44	0.640 117 07		31 16 46 26.400	-25 7 7.83	0.888 877 02
	17 15 27 32.322	-21 44 12.83	0.645 004 32		Sept.	1 16 48 52.750	-25 10 45.74
18 15 28 27.453	-21 47 52.24	0.649 931 15	2 16 51 20.472	-25 14 16.80		0.900 251 05	
19 15 29 25.393	-21 51 38.36	0.654 895 93	3 16 53 49.542	-25 17 40.75		0.905 945 65	
20 15 30 26.092	-21 55 30.88	0.659 897 17	4 16 56 19.934	-25 20 57.34		0.911 644 78	
21 15 31 29.503	-21 59 29.50	0.664 933 49	5 16 58 51.621	-25 24 6.32		0.917 348 07	
22 15 32 35.580	-22 3 33.90	0.670 003 63	6 17 1 24.578	-25 27 7.43		0.923 055 23	
23 15 33 44.281	-22 7 43.77	0.675 106 42	7 17 3 58.777	-25 30 0.44		0.928 765 98	
24 15 34 55.565	-22 11 58.78	0.680 240 77	8 17 6 34.189	-25 32 45.09		0.934 480 14	
25 15 36 9.396	-22 16 18.63	0.685 405 65	9 17 9 10.787	-25 35 21.15		0.940 197 53	
26 15 37 25.739	-22 20 43.04	0.690 600 03	10 17 11 48.541	-25 37 48.38		0.945 918 04	
27 15 38 44.563	-22 25 11.69	0.695 822 89	11 17 14 27.422	-25 40 6.54	0.951 641 63		
28 15 40 5.835	-22 29 44.33	0.701 073 16	12 17 17 7.401	-25 42 15.41	0.957 368 30		
29 15 41 29.526	-22 34 20.65	0.706 349 74	13 17 19 48.447	-25 44 14.74	0.963 098 11		
30 15 42 55.604	-22 39 0.37	0.711 651 48	14 17 22 30.531	-25 46 4.31	0.968 831 22		
31 15 44 24.037	-22 43 43.21	0.716 977 17	15 17 25 13.624	-25 47 43.90	0.974 567 85		
Août	1 15 45 54.791	-22 48 28.88	0.722 325 56	16 17 27 57.699	-25 49 13.26	0.980 308 33	
	2 15 47 27.835	-22 53 17.06	0.727 695 37	17 17 30 42.730	-25 50 32.18	0.986 053 03	
	3 15 49 3.133	-22 58 7.46	0.733 085 31	18 17 33 28.694	-25 51 40.45	0.991 802 40	
	4 15 50 40.652	-23 2 59.76	0.738 494 09	19 17 36 15.570	-25 52 37.86	0.997 556 91	
	5 15 52 20.355	-23 7 53.65	0.743 920 51	20 17 39 3.339	-25 53 24.24	1.003 316 97	
	6 15 54 2.207	-23 12 48.82	0.749 363 37	21 17 41 51.982	-25 53 59.40	1.009 082 98	
	7 15 55 46.173	-23 17 44.94	0.754 821 57	22 17 44 41.478	-25 54 23.17	1.014 855 21	
	8 15 57 32.216	-23 22 41.69	0.760 294 10	23 17 47 31.809	-25 54 35.41	1.020 633 88	
	9 15 59 20.300	-23 27 38.77	0.765 780 01	24 17 50 22.954	-25 54 35.93	1.026 419 09	
	10 16 1 10.388	-23 32 35.84	0.771 278 42	25 17 53 14.892	-25 54 24.58	1.032 210 85	
	11 16 3 2.444	-23 37 32.58	0.776 788 56	26 17 56 7.603	-25 54 1.22	1.038 009 12	
	12 16 4 56.430	-23 42 28.68	0.782 309 69	27 17 59 1.065	-25 53 25.67	1.043 813 81	
	13 16 6 52.311	-23 47 23.80	0.787 841 20	28 18 1 55.257	-25 52 37.81	1.049 624 79	
	14 16 8 50.051	-23 52 17.63	0.793 382 51	29 18 4 50.157	-25 51 37.48	1.055 441 88	
	15 16 10 49.612	-23 57 9.83	0.798 933 15	30 18 7 45.742	-25 50 24.56	1.061 264 94	
	16 16 12 50.960	-24 2 0.08	0.804 492 74	Oct. 1 18 10 41.990	-25 48 58.92	1.067 093 78	

MARS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct. 2	18 13 38.877	-25 47 20.44	1.072 928 26	Nov. 17	20 34 4.242	-20 27 20.72	1.349 415 93
3	18 16 36.379	-25 45 29.01	1.078 768 23	18	20 37 6.614	-20 15 14.34	1.355 648 96
4	18 19 34.469	-25 43 24.52	1.084 613 58	19	20 40 8.724	-20 2 56.28	1.361 894 33
5	18 22 33.123	-25 41 6.89	1.090 464 22	20	20 43 10.568	-19 50 26.68	1.368 152 12
6	18 25 32.314	-25 38 36.01	1.096 320 10	21	20 46 12.139	-19 37 45.66	1.374 422 33
7	18 28 32.015	-25 35 51.81	1.102 181 19	22	20 49 13.434	-19 24 53.36	1.380 704 86
8	18 31 32.198	-25 32 54.19	1.108 047 52	23	20 52 14.448	-19 11 49.91	1.386 999 57
9	18 34 32.835	-25 29 43.09	1.113 919 13	24	20 55 15.179	-18 58 35.47	1.393 306 30
10	18 37 33.900	-25 26 18.44	1.119 796 13	25	20 58 15.622	-18 45 10.19	1.399 624 81
11	18 40 35.363	-25 22 40.16	1.125 678 67	26	21 1 15.773	-18 31 34.22	1.405 954 90
12	18 43 37.197	-25 18 48.20	1.131 566 97	27	21 4 15.628	-18 17 47.73	1.412 296 29
13	18 46 39.375	-25 14 42.50	1.137 461 32	28	21 7 15.183	-18 3 50.87	1.418 648 73
14	18 49 41.871	-25 10 22.99	1.143 362 07	29	21 10 14.433	-17 49 43.83	1.425 011 94
15	18 52 44.661	-25 5 49.62	1.149 269 70	30	21 13 13.372	-17 35 26.77	1.431 385 66
16	18 55 47.724	-25 1 2.36	1.155 184 71	Déc. 1	21 16 11.996	-17 20 59.87	1.437 769 60
17	18 58 51.039	-24 56 1.16	1.161 107 67	2	21 19 10.299	-17 6 23.32	1.444 163 52
18	19 1 54.589	-24 50 46.01	1.167 039 13	3	21 22 8.275	-16 51 37.29	1.450 567 16
19	19 4 58.354	-24 45 16.90	1.172 979 60	4	21 25 5.919	-16 36 41.99	1.456 980 31
20	19 8 2.317	-24 39 33.83	1.178 929 50	5	21 28 3.224	-16 21 37.58	1.463 402 78
21	19 11 6.460	-24 33 36.78	1.184 889 13	6	21 31 0.187	-16 6 24.26	1.469 834 42
22	19 14 10.766	-24 27 25.78	1.190 858 72	7	21 33 56.802	-15 51 2.22	1.476 275 14
23	19 17 15.217	-24 21 0.81	1.196 838 36	8	21 36 53.067	-15 35 31.63	1.482 724 89
24	19 20 19.796	-24 14 21.89	1.202 828 10	9	21 39 48.977	-15 19 52.69	1.489 183 70
25	19 23 24.488	-24 7 29.03	1.208 827 91	10	21 42 44.531	-15 4 5.57	1.495 651 67
26	19 26 29.276	-24 0 22.25	1.214 837 71	11	21 45 39.729	-14 48 10.47	1.502 129 00
27	19 29 34.143	-23 53 1.58	1.220 857 40	12	21 48 34.571	-14 32 7.57	1.508 615 92
28	19 32 39.074	-23 45 27.05	1.226 886 85	13	21 51 29.056	-14 15 57.06	1.515 112 76
29	19 35 44.052	-23 37 38.72	1.232 925 92	14	21 54 23.186	-13 59 39.14	1.521 619 83
30	19 38 49.060	-23 29 36.62	1.238 974 47	15	21 57 16.962	-13 43 14.01	1.528 137 41
31	19 41 54.081	-23 21 20.83	1.245 032 35	16	22 0 10.385	-13 26 41.84	1.534 665 72
Nov. 1	19 44 59.096	-23 12 51.41	1.251 099 42	17	22 3 3.458	-13 10 2.83	1.541 204 89
2	19 48 4.089	-23 4 8.43	1.257 175 55	18	22 5 56.187	-12 53 17.14	1.547 754 91
3	19 51 9.041	-22 55 11.96	1.263 260 63	19	22 8 48.576	-12 36 24.96	1.554 315 70
4	19 54 13.933	-22 46 2.11	1.269 354 58	20	22 11 40.631	-12 19 26.45	1.560 887 08
5	19 57 18.747	-22 36 38.95	1.275 457 32	21	22 14 32.359	-12 2 21.78	1.567 468 80
6	20 0 23.463	-22 27 2.59	1.281 568 83	22	22 17 23.766	-11 45 11.14	1.574 060 57
7	20 3 28.065	-22 17 13.11	1.287 689 11	23	22 20 14.857	-11 27 54.69	1.580 662 07
8	20 6 32.532	-22 7 10.62	1.293 818 21	24	22 23 5.639	-11 10 32.62	1.587 272 92
9	20 9 36.849	-21 56 55.23	1.299 956 22	25	22 25 56.116	-10 53 5.12	1.593 892 73
10	20 12 40.998	-21 46 27.03	1.306 103 31	26	22 28 46.293	-10 35 32.38	1.600 521 10
11	20 15 44.963	-21 35 46.14	1.312 259 73	27	22 31 36.175	-10 17 54.57	1.607 157 61
12	20 18 48.732	-21 24 52.66	1.318 425 78	28	22 34 25.765	-10 0 11.90	1.613 801 80
13	20 21 52.292	-21 13 46.71	1.324 601 87	29	22 37 15.068	-9 42 24.56	1.620 453 23
14	20 24 55.632	-21 2 28.41	1.330 788 46	30	22 40 4.085	-9 24 32.74	1.627 111 45
15	20 27 58.743	-20 50 57.89	1.336 986 03	31	22 42 52.820	-9 6 36.63	1.633 776 00
16	20 31 1.616	-20 39 15.28	1.343 195 06	32	22 45 41.276	-8 48 36.45	1.640 446 46

JUPITER 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua		
Janv.	0	11	36	43.498	3	51	40.17	5.064 121 69	Févr.	15	11	29	24.151	4	51	27.20	4.515 184 49
	1	11	36	49.385	3	51	20.49	5.048 797 39		16	11	29	0.451	4	54	11.02	4.508 444 01
	2	11	36	54.573	3	51	5.34	5.033 551 08		17	11	28	36.329	4	56	57.18	4.501 986 94
	3	11	36	59.059	3	50	54.74	5.018 387 71		18	11	28	11.798	4	59	45.58	4.495 815 65
	4	11	37	2.841	3	50	48.69	5.003 312 27		19	11	27	46.876	5	2	36.10	4.489 932 44
	5	11	37	5.916	3	50	47.21	4.988 329 84		20	11	27	21.576	5	5	28.63	4.484 339 50
	6	11	37	8.281	3	50	50.30	4.973 445 56		21	11	26	55.917	5	8	23.05	4.479 038 94
	7	11	37	9.936	3	50	57.96	4.958 664 62		22	11	26	29.913	5	11	19.26	4.474 032 82
	8	11	37	10.878	3	51	10.22	4.943 992 29		23	11	26	3.583	5	14	17.12	4.469 323 13
	9	11	37	11.105	3	51	27.06	4.929 433 87		24	11	25	36.945	5	17	16.51	4.464 911 80
	10	11	37	10.615	3	51	48.51	4.914 994 70		25	11	25	10.017	5	20	17.30	4.460 800 69
	11	11	37	9.406	3	52	14.55	4.900 680 13		26	11	24	42.818	5	23	19.36	4.456 991 59
	12	11	37	7.479	3	52	45.19	4.886 495 50		27	11	24	15.368	5	26	22.56	4.453 486 21
	13	11	37	4.833	3	53	20.41	4.872 446 09		28	11	23	47.685	5	29	26.77	4.450 286 17
14	11	37	1.471	3	54	0.20	4.858 537 10	29	11	23	19.789	5	32	31.84	4.447 392 99		
15	11	36	57.396	3	54	44.52	4.844 773 62	Mars	1	11	22	51.700	5	35	37.66	4.444 808 10	
16	11	36	52.610	3	55	33.36	4.831 160 63		2	11	22	23.438	5	38	44.09	4.442 532 80	
17	11	36	47.119	3	56	26.67	4.817 702 97		3	11	21	55.022	5	41	51.00	4.440 568 29	
18	11	36	40.928	3	57	24.41	4.804 405 37		4	11	21	26.472	5	44	58.25	4.438 915 66	
19	11	36	34.039	3	58	26.57	4.791 272 43		5	11	20	57.808	5	48	5.72	4.437 575 86	
20	11	36	26.457	3	59	33.10	4.778 308 68		6	11	20	29.049	5	51	13.28	4.436 549 70	
21	11	36	18.185	4	0	43.98	4.765 518 58		7	11	20	0.217	5	54	20.78	4.435 837 81	
22	11	36	9.225	4	1	59.19	4.752 906 56		8	11	19	31.333	5	57	28.10	4.435 440 65	
23	11	35	59.580	4	3	18.69	4.740 477 00		9	11	19	2.418	6	0	35.09	4.435 358 42	
24	11	35	49.254	4	4	42.46	4.728 234 33		10	11	18	33.496	6	3	41.60	4.435 591 06	
25	11	35	38.251	4	6	10.46	4.716 182 96		11	11	18	4.592	6	6	47.47	4.436 138 21	
26	11	35	26.574	4	7	42.64	4.704 327 35		12	11	17	35.729	6	9	52.56	4.436 999 21	
27	11	35	14.231	4	9	18.96	4.692 671 99		13	11	17	6.929	6	12	56.72	4.438 173 15	
28	11	35	1.227	4	10	59.37	4.681 221 38		14	11	16	38.216	6	15	59.83	4.439 658 86	
29	11	34	47.569	4	12	43.81	4.669 980 06	15	11	16	9.609	6	19	1.76	4.441 455 02		
30	11	34	33.264	4	14	32.21	4.658 952 57	16	11	15	41.127	6	22	2.38	4.443 560 13		
Févr.	31	11	34	18.320	4	16	24.52	4.648 143 44	17	11	15	12.791	6	25	1.59	4.445 972 59	
	1	11	34	2.746	4	18	20.67	4.637 557 20	18	11	14	44.617	6	27	59.27	4.448 690 72	
	2	11	33	46.550	4	20	20.60	4.627 198 36	19	11	14	16.625	6	30	55.30	4.451 712 76	
	3	11	33	29.740	4	22	24.23	4.617 071 40	20	11	13	48.834	6	33	49.56	4.455 036 85	
	4	11	33	12.327	4	24	31.49	4.607 180 80	21	11	13	21.262	6	36	41.95	4.458 661 11	
	5	11	32	54.319	4	26	42.32	4.597 530 97	22	11	12	53.927	6	39	32.34	4.462 583 55	
	6	11	32	35.728	4	28	56.63	4.588 126 29	23	11	12	26.850	6	42	20.63	4.466 802 16	
	7	11	32	16.562	4	31	14.34	4.578 971 10	24	11	12	0.047	6	45	6.69	4.471 314 84	
	8	11	31	56.833	4	33	35.39	4.570 069 63	25	11	11	33.537	6	47	50.43	4.476 119 43	
	9	11	31	36.553	4	35	59.66	4.561 425 98	26	11	11	7.339	6	50	31.73	4.481 213 71	
	10	11	31	15.736	4	38	27.07	4.553 044 10	27	11	10	41.469	6	53	10.49	4.486 595 39	
	11	11	30	54.397	4	40	57.51	4.544 927 75	28	11	10	15.946	6	55	46.61	4.492 262 08	
	12	11	30	32.551	4	43	30.86	4.537 080 44	29	11	9	50.784	6	58	20.01	4.498 211 35	
	13	11	30	10.217	4	46	7.00	4.529 505 46	30	11	9	26.001	7	0	50.57	4.504 440 66	
14	11	29	47.411	4	48	45.82	4.522 205 86	31	11	9	1.613	7	3	18.23	4.510 947 38		

JUPITER 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	1	11	8	37.633	7	5	42.89	4.517 728 80	Mai	17	11	0	39.725	7	47	0.61	5.058 874 85
	2	11	8	14.078	7	8	4.47	4.524 782 12		18	11	0	44.800	7	46	15.90	5.073 970 06
	3	11	7	50.961	7	10	22.89	4.532 104 42		19	11	0	50.538	7	45	27.08	5.089 134 26
	4	11	7	28.297	7	12	38.07	4.539 692 66		20	11	0	56.935	7	44	34.16	5.104 363 31
	5	11	7	6.102	7	14	49.93	4.547 543 62		21	11	1	3.987	7	43	37.19	5.119 653 13
	6	11	6	44.389	7	16	58.37	4.555 653 93		22	11	1	11.691	7	42	36.17	5.134 999 73
	7	11	6	23.177	7	19	3.32	4.564 019 99		23	11	1	20.042	7	41	31.15	5.150 399 16
	8	11	6	2.480	7	21	4.68	4.572 637 98		24	11	1	29.036	7	40	22.14	5.165 847 52
	9	11	5	42.313	7	23	2.38	4.581 503 85		25	11	1	38.668	7	39	9.19	5.181 340 96
	10	11	5	22.690	7	24	56.35	4.590 613 38		26	11	1	48.934	7	37	52.32	5.196 875 65
	11	11	5	3.623	7	26	46.55	4.599 962 20		27	11	1	59.827	7	36	31.57	5.212 447 78
	12	11	4	45.120	7	28	32.92	4.609 545 87		28	11	2	11.345	7	35	6.96	5.228 053 55
	13	11	4	27.192	7	30	15.42	4.619 359 93		29	11	2	23.481	7	33	38.52	5.243 689 14
	14	11	4	9.845	7	31	54.01	4.629 399 89		30	11	2	36.233	7	32	6.27	5.259 350 69
	15	11	3	53.088	7	33	28.66	4.639 661 30		31	11	2	49.598	7	30	30.24	5.275 034 31
16	11	3	36.928	7	34	59.34	4.650 139 75	Juin	1	11	3	3.571	7	28	50.43	5.290 736 03	
17	11	3	21.374	7	36	25.99	4.660 830 83		2	11	3	18.152	7	27	6.87	5.306 451 80	
18	11	3	6.431	7	37	48.58	4.671 730 16		3	11	3	33.336	7	25	19.58	5.322 177 48	
19	11	2	52.109	7	39	7.09	4.682 833 42		4	11	3	49.120	7	23	28.58	5.337 908 89	
20	11	2	38.412	7	40	21.47	4.694 136 26		5	11	4	5.500	7	21	33.91	5.353 641 78	
21	11	2	25.349	7	41	31.70	4.705 634 41		6	11	4	22.467	7	19	35.61	5.369 371 92	
22	11	2	12.925	7	42	37.74	4.717 323 57		7	11	4	40.016	7	17	33.73	5.385 095 14	
23	11	2	1.146	7	43	39.59	4.729 199 49		8	11	4	58.138	7	15	28.32	5.400 807 34	
24	11	1	50.016	7	44	37.21	4.741 257 94		9	11	5	16.825	7	13	19.41	5.416 504 57	
25	11	1	39.541	7	45	30.59	4.753 494 67		10	11	5	36.071	7	11	7.04	5.432 182 98	
26	11	1	29.724	7	46	19.72	4.765 905 46	11	11	5	55.870	7	8	51.25	5.447 838 87		
27	11	1	20.568	7	47	4.58	4.778 486 10	12	11	6	16.215	7	6	32.07	5.463 468 65		
28	11	1	12.077	7	47	45.18	4.791 232 35	13	11	6	37.101	7	4	9.53	5.479 068 83		
29	11	1	4.253	7	48	21.50	4.804 139 96	14	11	6	58.522	7	1	43.66	5.494 636 03		
30	11	0	57.099	7	48	53.54	4.817 204 68	15	11	7	20.471	6	59	14.50	5.510 166 96		
Mai	1	11	0	50.617	7	49	21.30	4.830 422 20	16	11	7	42.944	6	56	42.08	5.525 658 38	
	2	11	0	44.808	7	49	44.76	4.843 788 16	17	11	8	5.933	6	54	6.44	5.541 107 17	
	3	11	0	39.677	7	50	3.92	4.857 298 12	18	11	8	29.434	6	51	27.61	5.556 510 27	
	4	11	0	35.226	7	50	18.76	4.870 947 55	19	11	8	53.438	6	48	45.62	5.571 864 68	
	5	11	0	31.460	7	50	29.27	4.884 731 78	20	11	9	17.941	6	46	0.53	5.587 167 48	
	6	11	0	28.381	7	50	35.44	4.898 646 04	21	11	9	42.936	6	43	12.36	5.602 415 80	
	7	11	0	25.992	7	50	37.27	4.912 685 41	22	11	10	8.414	6	40	21.16	5.617 606 80	
	8	11	0	24.294	7	50	34.76	4.926 844 89	23	11	10	34.371	6	37	26.97	5.632 737 68	
	9	11	0	23.286	7	50	27.94	4.941 119 45	24	11	11	0.798	6	34	29.82	5.647 805 66	
	10	11	0	22.965	7	50	16.82	4.955 504 08	25	11	11	27.692	6	31	29.74	5.662 807 94	
	11	11	0	23.330	7	50	1.43	4.969 993 82	26	11	11	55.045	6	28	26.77	5.677 741 68	
	12	11	0	24.375	7	49	41.79	4.984 583 82	27	11	12	22.854	6	25	20.93	5.692 604 03	
	13	11	0	26.099	7	49	17.93	4.999 269 32	28	11	12	51.114	6	22	12.25	5.707 392 06	
	14	11	0	28.498	7	48	49.87	5.014 045 67	29	11	13	19.822	6	19	0.74	5.722 102 77	
	15	11	0	31.571	7	48	17.61	5.028 908 33	30	11	13	48.974	6	15	46.43	5.736 733 10	
	16	11	0	35.314	7	47	41.19	5.043 852 85	Juill.	1	11	14	18.566	6	12	29.34	5.751 279 93

JUPITER 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	2	11	14	48.592	6	9	9.52	5.765 740 09	Août	17	11	43	54.905	2	57	3.26	6.294 881 59
	3	11	15	19.045	6	5	46.99	5.780 110 40		18	11	44	38.824	2	52	14.48	6.302 680 55
	4	11	15	49.920	6	2	21.82	5.794 387 69		19	11	45	22.916	2	47	24.62	6.310 297 35
	5	11	16	21.207	5	58	54.03	5.808 568 86		20	11	46	7.177	2	42	33.69	6.317 730 92
	6	11	16	52.900	5	55	23.69	5.822 650 90		21	11	46	51.603	2	37	41.74	6.324 980 15
	7	11	17	24.990	5	51	50.82	5.836 630 88		22	11	47	36.194	2	32	48.76	6.332 043 83
	8	11	17	57.471	5	48	15.46	5.850 506 05		23	11	48	20.947	2	27	54.79	6.338 920 66
	9	11	18	30.338	5	44	37.65	5.864 273 74		24	11	49	5.858	2	22	59.84	6.345 609 28
	10	11	19	3.584	5	40	57.42	5.877 931 41		25	11	49	50.926	2	18	3.95	6.352 108 25
	11	11	19	37.204	5	37	14.80	5.891 476 60		26	11	50	36.145	2	13	7.13	6.358 416 09
	12	11	20	11.192	5	33	29.82	5.904 906 98		27	11	51	21.511	2	8	9.44	6.364 531 34
	13	11	20	45.543	5	29	42.52	5.918 220 26		28	11	52	7.017	2	3	10.91	6.370 452 54
	14	11	21	20.251	5	25	52.93	5.931 414 24		29	11	52	52.659	1	58	11.58	6.376 178 28
	15	11	21	55.311	5	22	1.08	5.944 486 81		30	11	53	38.430	1	53	11.50	6.381 707 21
	16	11	22	30.716	5	18	7.01	5.957 435 89		31	11	54	24.326	1	48	10.69	6.387 038 07
	17	11	23	6.461	5	14	10.76	5.970 259 48		Sept.	1	11	55	10.341	1	43	9.19
18	11	23	42.539	5	10	12.37	5.982 955 66	2	11		55	56.471	1	38	7.04	6.397 101 06	
19	11	24	18.944	5	6	11.87	5.995 522 52	3	11		56	42.712	1	33	4.27	6.401 831 15	
20	11	24	55.670	5	2	9.31	6.007 958 23	4	11		57	29.061	1	28	0.90	6.406 359 11	
21	11	25	32.711	4	58	4.71	6.020 260 93	5	11		58	15.512	1	22	56.96	6.410 684 18	
22	11	26	10.062	4	53	58.12	6.032 428 80	6	11		59	2.062	1	17	52.48	6.414 805 66	
23	11	26	47.716	4	49	49.57	6.044 459 97	7	11		59	48.707	1	12	47.51	6.418 722 93	
24	11	27	25.672	4	45	39.07	6.056 352 53	8	12		0	35.442	1	7	42.06	6.422 435 42	
25	11	28	3.924	4	41	26.65	6.068 104 50	9	12		1	22.263	1	2	36.18	6.425 942 66	
26	11	28	42.471	4	37	12.34	6.079 713 84	10	12		2	9.164	0	57	29.90	6.429 244 22	
27	11	29	21.308	4	32	56.14	6.091 178 43	11	12	2	56.141	0	52	23.26	6.432 339 70		
28	11	30	0.434	4	28	38.10	6.102 496 07	12	12	3	43.188	0	47	16.29	6.435 228 81		
29	11	30	39.842	4	24	18.23	6.113 664 52	13	12	4	30.301	0	42	9.04	6.437 911 26		
30	11	31	19.529	4	19	56.57	6.124 681 54	14	12	5	17.475	0	37	1.54	6.440 386 81		
31	11	31	59.487	4	15	33.16	6.135 544 85	15	12	6	4.706	0	31	53.82	6.442 655 26		
Août	1	11	32	39.712	4	11	8.06	6.146 252 23	16	12	6	51.988	0	26	45.92	6.444 716 36	
	2	11	33	20.195	4	6	41.28	6.156 801 49	17	12	7	39.321	0	21	37.86	6.446 569 87	
	3	11	34	0.930	4	2	12.89	6.167 190 57	18	12	8	26.701	0	16	29.66	6.448 215 43	
	4	11	34	41.912	3	57	42.91	6.177 417 46	19	12	9	14.128	0	11	21.34	6.449 652 61	
	5	11	35	23.136	3	53	11.37	6.187 480 30	20	12	10	1.598	0	6	12.92	6.450 880 90	
	6	11	36	4.596	3	48	38.32	6.197 377 32	21	12	10	49.110	0	1	4.43	6.451 899 66	
	7	11	36	46.288	3	44	3.77	6.207 106 85	22	12	11	36.659	- 0	4	4.12	6.452 708 23	
	8	11	37	28.207	3	39	27.76	6.216 667 34	23	12	12	24.240	- 0	9	12.67	6.453 305 91	
	9	11	38	10.348	3	34	50.31	6.226 057 28	24	12	13	11.849	- 0	14	21.19	6.453 692 01	
	10	11	38	52.708	3	30	11.47	6.235 275 28	25	12	13	59.479	- 0	19	29.63	6.453 865 91	
11	11	39	35.280	3	25	31.26	6.244 319 99	26	12	14	47.125	- 0	24	37.97	6.453 827 03		
12	11	40	18.061	3	20	49.72	6.253 190 13	27	12	15	34.781	- 0	29	46.15	6.453 574 87		
13	11	41	1.045	3	16	6.88	6.261 884 48	28	12	16	22.444	- 0	34	54.14	6.453 109 04		
14	11	41	44.226	3	11	22.77	6.270 401 89	29	12	17	10.108	- 0	40	1.91	6.452 429 23		
15	11	42	27.600	3	6	37.44	6.278 741 24	30	12	17	57.769	- 0	45	9.43	6.451 535 22		
16	11	43	11.162	3	1	50.93	6.286 901 48	Oct.	1	12	18	45.424	- 0	50	16.66	6.450 426 91	

JUPITER 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Oct.	2 12 19 33.068	- 0 55 23.58	6.449 104 29	Nov.	17 12 54 31.844	- 4 35 6.82	6.165 071 59	
	3 12 20 20.697	- 1 0 30.15	6.447 567 42		18 12 55 13.568	- 4 39 20.02	6.154 374 26	
	4 12 21 8.307	- 1 5 36.35	6.445 816 47		19 12 55 55.040	- 4 43 31.23	6.143 505 55	
	5 12 21 55.892	- 1 10 42.12	6.443 851 67		20 12 56 36.251	- 4 47 40.43	6.132 466 93	
	6 12 22 43.448	- 1 15 47.45	6.441 673 32		21 12 57 17.196	- 4 51 47.55	6.121 259 94	
	7 12 23 30.970	- 1 20 52.29	6.439 281 81		22 12 57 57.869	- 4 55 52.58	6.109 886 25	
	8 12 24 18.453	- 1 25 56.61	6.436 677 57		23 12 58 38.262	- 4 59 55.46	6.098 347 65	
	9 12 25 5.891	- 1 31 0.36	6.433 861 10		24 12 59 18.371	- 5 3 56.17	6.086 646 04	
	10 12 25 53.278	- 1 36 3.51	6.430 832 96		25 12 59 58.189	- 5 7 54.67	6.074 783 42	
	11 12 26 40.611	- 1 41 6.02	6.427 593 73		26 13 0 37.710	- 5 11 50.93	6.062 761 90	
	12 12 27 27.883	- 1 46 7.85	6.424 144 07		27 13 1 16.927	- 5 15 44.91	6.050 583 69	
	13 12 28 15.089	- 1 51 8.96	6.420 484 65		28 13 1 55.835	- 5 19 36.58	6.038 251 10	
	14 12 29 2.228	- 1 56 9.33	6.416 616 12		29 13 2 34.425	- 5 23 25.90	6.025 766 52	
	15 12 29 49.294	- 2 1 8.92	6.412 539 13		30 13 3 12.691	- 5 27 12.83	6.013 132 45	
	16 12 30 36.287	- 2 6 7.72	6.408 254 23		Déc.	1 13 3 50.626	- 5 30 57.33	6.000 351 46
	17 12 31 23.204	- 2 11 5.71	6.403 761 89			2 13 4 28.221	- 5 34 39.36	5.987 426 22
18 12 32 10.042	- 2 16 2.87	6.399 062 50	3 13 5 5.470	- 5 38 18.87		5.974 359 46		
19 12 32 56.798	- 2 20 59.16	6.394 156 31	4 13 5 42.364	- 5 41 55.83		5.961 153 98		
20 12 33 43.466	- 2 25 54.56	6.389 043 55	5 13 6 18.897	- 5 45 30.19		5.947 812 65		
21 12 34 30.041	- 2 30 49.02	6.383 724 44	6 13 6 55.061	- 5 49 1.92		5.934 338 37		
22 12 35 16.515	- 2 35 42.50	6.378 199 22	7 13 7 30.850	- 5 52 30.97	5.920 734 09			
23 12 36 2.883	- 2 40 34.96	6.372 468 20	8 13 8 6.258	- 5 55 57.31	5.907 002 76			
24 12 36 49.139	- 2 45 26.34	6.366 531 78	9 13 8 41.279	- 5 59 20.92	5.893 147 35			
25 12 37 35.278	- 2 50 16.63	6.360 390 45	10 13 9 15.911	- 6 2 41.76	5.879 170 79			
26 12 38 21.294	- 2 55 5.77	6.354 044 81	11 13 9 50.147	- 6 5 59.83	5.865 075 98			
27 12 39 7.183	- 2 59 53.74	6.347 495 55	12 13 10 23.983	- 6 9 15.09	5.850 865 72			
28 12 39 52.940	- 3 4 40.51	6.340 743 49	13 13 10 57.413	- 6 12 27.52	5.836 542 74			
29 12 40 38.559	- 3 9 26.03	6.333 789 51	14 13 11 30.431	- 6 15 37.09	5.822 109 70			
30 12 41 24.037	- 3 14 10.28	6.326 634 62	15 13 12 3.028	- 6 18 43.76	5.807 569 20			
31 12 42 9.367	- 3 18 53.22	6.319 279 91	16 13 12 35.196	- 6 21 47.49	5.792 923 83			
Nov.	1 12 42 54.544	- 3 23 34.82	6.311 726 56	17 13 13 6.926	- 6 24 48.22	5.778 176 26		
	2 12 43 39.562	- 3 28 15.04	6.303 975 83	18 13 13 38.211	- 6 27 45.92	5.763 329 21		
	3 12 44 24.416	- 3 32 53.84	6.296 029 06	19 13 14 9.042	- 6 30 40.55	5.748 385 54		
	4 12 45 9.099	- 3 37 31.18	6.287 887 68	20 13 14 39.414	- 6 33 32.07	5.733 348 21		
	5 12 45 53.605	- 3 42 7.02	6.279 553 17	21 13 15 9.320	- 6 36 20.45	5.718 220 35		
	6 12 46 37.927	- 3 46 41.32	6.271 027 09	22 13 15 38.752	- 6 39 5.66	5.703 005 16		
	7 12 47 22.060	- 3 51 14.04	6.262 311 05	23 13 16 7.704	- 6 41 47.67	5.687 705 98		
	8 12 48 5.997	- 3 55 45.14	6.253 406 70	24 13 16 36.169	- 6 44 26.44	5.672 326 25		
	9 12 48 49.732	- 4 0 14.58	6.244 315 75	25 13 17 4.140	- 6 47 1.94	5.656 869 51		
	10 12 49 33.260	- 4 4 42.33	6.235 039 93	26 13 17 31.609	- 6 49 34.14	5.641 339 39		
11 12 50 16.578	- 4 9 8.34	6.225 580 96	27 13 17 58.568	- 6 52 3.00	5.625 739 61			
12 12 50 59.681	- 4 13 32.60	6.215 940 55	28 13 18 25.009	- 6 54 28.49	5.610 074 00			
13 12 51 42.565	- 4 17 55.09	6.206 120 36	29 13 18 50.925	- 6 56 50.57	5.594 346 46			
14 12 52 25.229	- 4 22 15.78	6.196 121 94	30 13 19 16.308	- 6 59 9.19	5.578 560 97			
15 12 53 7.667	- 4 26 34.66	6.185 946 76	31 13 19 41.149	- 7 1 24.33	5.562 721 59			
16 12 53 49.874	- 4 30 51.68	6.175 596 20	32 13 20 5.440	- 7 3 35.94	5.546 832 46			

SATURNE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	16 38 49.977	-20 28 42.80	10.868 412 69	Févr.	15	16 56 15.304	-20 56 14.42	10.300 949 62
	1	16 39 17.671	-20 29 35.56	10.860 468 42		16	16 56 31.160	-20 56 32.71	10.285 162 13
	2	16 39 45.217	-20 30 27.60	10.852 291 92		17	16 56 46.658	-20 56 50.30	10.269 289 12
	3	16 40 12.611	-20 31 18.90	10.843 884 81		18	16 57 1.794	-20 57 7.18	10.253 334 82
	4	16 40 39.849	-20 32 9.47	10.835 248 80		19	16 57 16.563	-20 57 23.36	10.237 303 43
	5	16 41 6.925	-20 32 59.31	10.826 385 68		20	16 57 30.962	-20 57 38.85	10.221 199 11
	6	16 41 33.835	-20 33 48.41	10.817 297 35		21	16 57 44.988	-20 57 53.64	10.205 025 99
	7	16 42 0.573	-20 34 36.79	10.807 985 81		22	16 57 58.635	-20 58 7.73	10.188 788 19
	8	16 42 27.134	-20 35 24.44	10.798 453 17		23	16 58 11.903	-20 58 21.11	10.172 489 81
	9	16 42 53.512	-20 36 11.36	10.788 701 68		24	16 58 24.789	-20 58 33.79	10.156 135 00
	10	16 43 19.699	-20 36 57.55	10.778 733 72		25	16 58 37.289	-20 58 45.77	10.139 727 94
	11	16 43 45.688	-20 37 43.00	10.768 551 81		26	16 58 49.403	-20 58 57.06	10.123 272 84
	12	16 44 11.474	-20 38 27.70	10.758 158 65		27	16 59 1.129	-20 59 7.65	10.106 773 96
	13	16 44 37.050	-20 39 11.63	10.747 557 05		28	16 59 12.462	-20 59 17.57	10.090 235 63
14	16 45 2.413	-20 39 54.80	10.736 749 95	29	16 59 23.403	-20 59 26.81	10.073 662 24		
15	16 45 27.556	-20 40 37.18	10.725 740 37	Mars	1	16 59 33.946	-20 59 35.39	10.057 058 24	
16	16 45 52.479	-20 41 18.78	10.714 531 41		2	16 59 44.090	-20 59 43.31	10.040 428 14	
17	16 46 17.176	-20 41 59.60	10.703 126 17		3	16 59 53.831	-20 59 50.59	10.023 776 54	
18	16 46 41.646	-20 42 39.64	10.691 527 77		4	17 0 3.165	-20 59 57.22	10.007 108 12	
19	16 47 5.885	-20 43 18.93	10.679 739 30		5	17 0 12.090	-21 0 3.21	9.990 427 64	
20	16 47 29.886	-20 43 57.46	10.667 763 81		6	17 0 20.600	-21 0 8.57	9.973 739 97	
21	16 47 53.647	-20 44 35.24	10.655 604 30		7	17 0 28.692	-21 0 13.28	9.957 050 09	
22	16 48 17.160	-20 45 12.27	10.643 263 74		8	17 0 36.363	-21 0 17.35	9.940 363 10	
23	16 48 40.420	-20 45 48.55	10.630 745 03		9	17 0 43.612	-21 0 20.76	9.923 684 19	
24	16 49 3.422	-20 46 24.08	10.618 051 09		10	17 0 50.438	-21 0 23.51	9.907 018 63	
25	16 49 26.161	-20 46 58.85	10.605 184 80	11	17 0 56.842	-21 0 25.61	9.890 371 72		
26	16 49 48.632	-20 47 32.85	10.592 149 07	12	17 1 2.823	-21 0 27.06	9.873 748 72		
27	16 50 10.831	-20 48 6.08	10.578 946 84	13	17 1 8.383	-21 0 27.88	9.857 154 83		
28	16 50 32.755	-20 48 38.54	10.565 581 10	14	17 1 13.521	-21 0 28.09	9.840 595 15		
29	16 50 54.400	-20 49 10.23	10.552 054 91	15	17 1 18.235	-21 0 27.70	9.824 074 65		
30	16 51 15.762	-20 49 41.15	10.538 371 39	16	17 1 22.524	-21 0 26.72	9.807 598 20		
Févr.	31	16 51 36.837	-20 50 11.31	10.524 533 76	17	17 1 26.386	-21 0 25.14	9.791 170 56	
	1	16 51 57.622	-20 50 40.71	10.510 545 29	18	17 1 29.820	-21 0 22.98	9.774 796 44	
	2	16 52 18.111	-20 51 9.36	10.496 409 36	19	17 1 32.825	-21 0 20.23	9.758 480 46	
	3	16 52 38.301	-20 51 37.27	10.482 129 44	20	17 1 35.401	-21 0 16.88	9.742 227 21	
	4	16 52 58.186	-20 52 4.43	10.467 709 06	21	17 1 37.547	-21 0 12.95	9.726 041 24	
	5	16 53 17.760	-20 52 30.86	10.453 151 89	22	17 1 39.265	-21 0 8.42	9.709 927 10	
	6	16 53 37.019	-20 52 56.56	10.438 461 70	23	17 1 40.556	-21 0 3.31	9.693 889 30	
	7	16 53 55.956	-20 53 21.53	10.423 642 41	24	17 1 41.420	-20 59 57.62	9.677 932 38	
	8	16 54 14.565	-20 53 45.77	10.408 698 05	25	17 1 41.858	-20 59 51.34	9.662 060 88	
	9	16 54 32.841	-20 54 9.26	10.393 632 80	26	17 1 41.872	-20 59 44.50	9.646 279 36	
	10	16 54 50.778	-20 54 32.00	10.378 451 00	27	17 1 41.463	-20 59 37.10	9.630 592 38	
	11	16 55 8.375	-20 54 53.99	10.363 157 05	28	17 1 40.630	-20 59 29.15	9.615 004 57	
	12	16 55 25.628	-20 55 15.21	10.347 755 45	29	17 1 39.376	-20 59 20.66	9.599 520 55	
	13	16 55 42.535	-20 55 35.69	10.332 250 69	30	17 1 37.699	-20 59 11.64	9.584 144 99	
14	16 55 59.095	-20 55 55.42	10.316 647 27	31	17 1 35.600	-20 59 2.09	9.568 882 62		

SATURNE 2016 à 0h TT**ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE**

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Avril	1 17 1 33.080	-20 58 52.01	9.553 738 17	Mai	17 16 53 2.655	-20 43 5.92	9.059 935 47	
	2 17 1 30.137	-20 58 41.42	9.538 716 46		18 16 52 45.121	-20 42 37.71	9.054 952 48	
	3 17 1 26.773	-20 58 30.31	9.523 822 34		19 16 52 27.437	-20 42 9.34	9.050 255 70	
	4 17 1 22.988	-20 58 18.67	9.509 060 74		20 16 52 9.612	-20 41 40.81	9.045 846 44	
	5 17 1 18.784	-20 58 6.51	9.494 436 64		21 16 51 51.655	-20 41 12.15	9.041 725 96	
	6 17 1 14.163	-20 57 53.80	9.479 955 08		22 16 51 33.575	-20 40 43.38	9.037 895 46	
	7 17 1 9.130	-20 57 40.57	9.465 621 10		23 16 51 15.380	-20 40 14.51	9.034 356 08	
	8 17 1 3.689	-20 57 26.81	9.451 439 73		24 16 50 57.078	-20 39 45.56	9.031 108 96	
	9 17 0 57.845	-20 57 12.53	9.437 415 89		25 16 50 38.678	-20 39 16.54	9.028 155 14	
	10 17 0 51.603	-20 56 57.76	9.423 554 38		26 16 50 20.188	-20 38 47.47	9.025 495 68	
	11 17 0 44.966	-20 56 42.51	9.409 859 81		27 16 50 1.614	-20 38 18.35	9.023 131 57	
	12 17 0 37.935	-20 56 26.80	9.396 336 65		28 16 49 42.967	-20 37 49.20	9.021 063 80	
	13 17 0 30.515	-20 56 10.62	9.382 989 16		29 16 49 24.253	-20 37 20.02	9.019 293 30	
	14 17 0 22.708	-20 55 53.99	9.369 821 49		30 16 49 5.483	-20 36 50.81	9.017 820 96	
	15 17 0 14.516	-20 55 36.90	9.356 837 64		31 16 48 46.668	-20 36 21.59	9.016 647 62	
	16 17 0 5.945	-20 55 19.35	9.344 041 54		Juin	1 16 48 27.818	-20 35 52.37	9.015 774 02
	17 16 59 56.999	-20 55 1.34	9.331 437 05			2 16 48 8.945	-20 35 23.17	9.015 200 82
	18 16 59 47.682	-20 54 42.87	9.319 027 93			3 16 47 50.060	-20 34 54.02	9.014 928 50
	19 16 59 38.002	-20 54 23.96	9.306 817 91			4 16 47 31.174	-20 34 24.93	9.014 957 38
	20 16 59 27.962	-20 54 4.60	9.294 810 68			5 16 47 12.298	-20 33 55.95	9.015 287 52
	21 16 59 17.569	-20 53 44.81	9.283 009 87			6 16 46 53.440	-20 33 27.09	9.015 918 76
	22 16 59 6.829	-20 53 24.58	9.271 419 08			7 16 46 34.608	-20 32 58.37	9.016 850 69
	23 16 58 55.747	-20 53 3.95	9.260 041 89			8 16 46 15.811	-20 32 29.80	9.018 082 69
	24 16 58 44.328	-20 52 42.91	9.248 881 84			9 16 45 57.058	-20 32 1.39	9.019 613 94
	25 16 58 32.578	-20 52 21.47	9.237 942 48			10 16 45 38.359	-20 31 33.16	9.021 443 47
	26 16 58 20.501	-20 51 59.66	9.227 227 32		11 16 45 19.723	-20 31 5.11	9.023 570 18	
	27 16 58 8.104	-20 51 37.48	9.216 739 87		12 16 45 1.160	-20 30 37.26	9.025 992 88	
	28 16 57 55.389	-20 51 14.93	9.206 483 65		13 16 44 42.682	-20 30 9.63	9.028 710 30	
	29 16 57 42.363	-20 50 52.02	9.196 462 14		14 16 44 24.298	-20 29 42.23	9.031 721 08	
	30 16 57 29.029	-20 50 28.76	9.186 678 86		15 16 44 6.017	-20 29 15.08	9.035 023 79	
Mai	1 16 57 15.394	-20 50 5.15	9.177 137 30	16 16 43 47.850	-20 28 48.20	9.038 616 96		
	2 16 57 1.464	-20 49 41.18	9.167 840 97	17 16 43 29.806	-20 28 21.63	9.042 499 03		
	3 16 56 47.245	-20 49 16.86	9.158 793 37	18 16 43 11.892	-20 27 55.37	9.046 668 40		
	4 16 56 32.746	-20 48 52.18	9.149 997 97	19 16 42 54.119	-20 27 29.45	9.051 123 41		
	5 16 56 17.976	-20 48 27.17	9.141 458 19	20 16 42 36.492	-20 27 3.90	9.055 862 39		
	6 16 56 2.945	-20 48 1.82	9.133 177 34	21 16 42 19.021	-20 26 38.72	9.060 883 61		
	7 16 55 47.661	-20 47 36.16	9.125 158 58	22 16 42 1.710	-20 26 13.93	9.066 185 34		
	8 16 55 32.133	-20 47 10.22	9.117 404 90	23 16 41 44.569	-20 25 49.55	9.071 765 83		
	9 16 55 16.370	-20 46 44.02	9.109 919 01	24 16 41 27.603	-20 25 25.59	9.077 623 31		
	10 16 55 0.376	-20 46 17.57	9.102 703 43	25 16 41 10.819	-20 25 2.05	9.083 755 98		
	11 16 54 44.160	-20 45 50.87	9.095 760 45	26 16 40 54.227	-20 24 38.94	9.090 162 02		
	12 16 54 27.730	-20 45 23.94	9.089 092 17	27 16 40 37.834	-20 24 16.28	9.096 839 56		
	13 16 54 11.092	-20 44 56.77	9.082 700 54	28 16 40 21.650	-20 23 54.07	9.103 786 66		
	14 16 53 54.256	-20 44 29.38	9.076 587 38	29 16 40 5.684	-20 23 32.34	9.111 001 28		
	15 16 53 37.232	-20 44 1.76	9.070 754 42	30 16 39 49.946	-20 23 11.10	9.118 481 27		
	16 16 53 20.028	-20 43 33.94	9.065 203 26	Juill. 1 16 39 34.445	-20 22 50.39	9.126 224 31		

SATURNE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Juill.	2	16 39 19.189	-20 22 30.22	9.134 227 93	Août	17	16 33 33.519	-20 20 11.81	9.722 375 39
	3	16 39 4.184	-20 22 10.64	9.142 489 43		18	16 33 35.048	-20 20 28.42	9.738 417 44
	4	16 38 49.437	-20 21 51.64	9.151 005 94		19	16 33 36.982	-20 20 45.88	9.754 527 55
	5	16 38 34.953	-20 21 33.25	9.159 774 35		20	16 33 39.320	-20 21 4.16	9.770 701 56
	6	16 38 20.739	-20 21 15.47	9.168 791 43		21	16 33 42.065	-20 21 23.26	9.786 935 35
	7	16 38 6.801	-20 20 58.32	9.178 053 76		22	16 33 45.217	-20 21 43.17	9.803 224 80
	8	16 37 53.145	-20 20 41.79	9.187 557 86		23	16 33 48.778	-20 22 3.90	9.819 565 74
	9	16 37 39.779	-20 20 25.90	9.197 300 14		24	16 33 52.748	-20 22 25.44	9.835 953 94
	10	16 37 26.709	-20 20 10.65	9.207 276 97		25	16 33 57.129	-20 22 47.81	9.852 385 07
	11	16 37 13.943	-20 19 56.07	9.217 484 70		26	16 34 1.920	-20 23 11.00	9.868 854 69
	12	16 37 1.488	-20 19 42.17	9.227 919 62		27	16 34 7.118	-20 23 35.01	9.885 358 28
	13	16 36 49.348	-20 19 28.97	9.238 578 01		28	16 34 12.722	-20 23 59.84	9.901 891 19
	14	16 36 37.530	-20 19 16.47	9.249 456 15		29	16 34 18.730	-20 24 25.47	9.918 448 72
	15	16 36 26.040	-20 19 4.70	9.260 550 27		30	16 34 25.140	-20 24 51.90	9.935 026 10
	16	16 36 14.881	-20 18 53.67	9.271 856 63		31	16 34 31.950	-20 25 19.10	9.951 618 50
	17	16 36 4.058	-20 18 43.40	9.283 371 46		Sept.	1	16 34 39.161	-20 25 47.06
18	16 35 53.575	-20 18 33.89	9.295 091 01	2	16 34 46.770		-20 26 15.77	9.984 829 08	
19	16 35 43.435	-20 18 25.17	9.307 011 56	3	16 34 54.777		-20 26 45.22	10.001 437 63	
20	16 35 33.640	-20 18 17.22	9.319 129 41	4	16 35 3.182		-20 27 15.41	10.018 042 01	
21	16 35 24.194	-20 18 10.07	9.331 440 87	5	16 35 11.983		-20 27 46.31	10.034 637 49	
22	16 35 15.099	-20 18 3.69	9.343 942 31	6	16 35 21.179		-20 28 17.93	10.051 219 45	
23	16 35 6.359	-20 17 58.11	9.356 630 12	7	16 35 30.768		-20 28 50.27	10.067 783 29	
24	16 34 57.979	-20 17 53.30	9.369 500 66	8	16 35 40.747		-20 29 23.31	10.084 324 52	
25	16 34 49.963	-20 17 49.29	9.382 550 30	9	16 35 51.115		-20 29 57.05	10.100 838 68	
26	16 34 42.318	-20 17 46.07	9.395 775 34	10	16 36 1.868		-20 30 31.47	10.117 321 41	
27	16 34 35.047	-20 17 43.67	9.409 171 99	11	16 36 13.002	-20 31 6.58	10.133 768 41		
28	16 34 28.156	-20 17 42.09	9.422 736 39	12	16 36 24.515	-20 31 42.35	10.150 175 47		
29	16 34 21.648	-20 17 41.35	9.436 464 51	13	16 36 36.401	-20 32 18.78	10.166 538 49		
30	16 34 15.527	-20 17 41.47	9.450 352 21	14	16 36 48.658	-20 32 55.83	10.182 853 44		
31	16 34 9.794	-20 17 42.46	9.464 395 20	15	16 37 1.281	-20 33 33.50	10.199 116 41		
Août	1	16 34 4.451	-20 17 44.31	9.478 589 04	16	16 37 14.269	-20 34 11.75	10.215 323 60	
	2	16 33 59.500	-20 17 47.04	9.492 929 18	17	16 37 27.618	-20 34 50.57	10.231 471 26	
	3	16 33 54.941	-20 17 50.63	9.507 410 97	18	16 37 41.328	-20 35 29.95	10.247 555 74	
	4	16 33 50.778	-20 17 55.08	9.522 029 67	19	16 37 55.398	-20 36 9.86	10.263 573 34	
	5	16 33 47.012	-20 18 0.39	9.536 780 51	20	16 38 9.827	-20 36 50.32	10.279 520 37	
	6	16 33 43.647	-20 18 6.56	9.551 658 72	21	16 38 24.613	-20 37 31.31	10.295 393 04	
	7	16 33 40.684	-20 18 13.58	9.566 659 50	22	16 38 39.755	-20 38 12.83	10.311 187 48	
	8	16 33 38.127	-20 18 21.47	9.581 778 08	23	16 38 55.247	-20 38 54.88	10.326 899 74	
	9	16 33 35.977	-20 18 30.23	9.597 009 72	24	16 39 11.085	-20 39 37.45	10.342 525 77	
	10	16 33 34.236	-20 18 39.85	9.612 349 71	25	16 39 27.267	-20 40 20.51	10.358 061 45	
	11	16 33 32.904	-20 18 50.35	9.627 793 37	26	16 39 43.787	-20 41 4.05	10.373 502 65	
	12	16 33 31.983	-20 19 1.73	9.643 336 05	27	16 40 0.643	-20 41 48.04	10.388 845 19	
	13	16 33 31.472	-20 19 13.99	9.658 973 14	28	16 40 17.831	-20 42 32.47	10.404 084 92	
	14	16 33 31.371	-20 19 27.13	9.674 700 09	29	16 40 35.349	-20 43 17.32	10.419 217 70	
	15	16 33 31.679	-20 19 41.15	9.690 512 39	30	16 40 53.194	-20 44 2.57	10.434 239 43	
	16	16 33 32.396	-20 19 56.05	9.706 405 62	Oct.	1	16 41 11.364	-20 44 48.20	10.449 146 07

SATURNE 2016 à 0h TT**ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE**

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Oct.	2	16 41 29.856	-20 45 34.21	10.463 933 62	Nov.	17	17 0 18.260	-21 23 27.92	10.960 601 18	
	3	16 41 48.666	-20 46 20.58	10.478 598 18		18	17 0 47.225	-21 24 15.45	10.966 426 03	
	4	16 42 7.793	-20 47 7.31	10.493 135 93		19	17 1 16.304	-21 25 2.71	10.972 008 20	
	5	16 42 27.231	-20 47 54.38	10.507 543 12		20	17 1 45.493	-21 25 49.68	10.977 346 04	
	6	16 42 46.976	-20 48 41.78	10.521 816 08		21	17 2 14.787	-21 26 36.35	10.982 437 88	
	7	16 43 7.025	-20 49 29.50	10.535 951 26		22	17 2 44.182	-21 27 22.69	10.987 282 13	
	8	16 43 27.373	-20 50 17.52	10.549 945 17		23	17 3 13.675	-21 28 8.70	10.991 877 22	
	9	16 43 48.014	-20 51 5.84	10.563 794 44		24	17 3 43.260	-21 28 54.36	10.996 221 68	
	10	16 44 8.943	-20 51 54.43	10.577 495 79		25	17 4 12.935	-21 29 39.66	11.000 314 12	
	11	16 44 30.156	-20 52 43.27	10.591 046 04		26	17 4 42.696	-21 30 24.60	11.004 153 22	
	12	16 44 51.647	-20 53 32.34	10.604 442 14		27	17 5 12.536	-21 31 9.18	11.007 737 76	
	13	16 45 13.411	-20 54 21.62	10.617 681 13		28	17 5 42.454	-21 31 53.38	11.011 066 64	
	14	16 45 35.446	-20 55 11.09	10.630 760 18		29	17 6 12.442	-21 32 37.21	11.014 138 83	
	15	16 45 57.747	-20 56 0.71	10.643 676 54		30	17 6 42.495	-21 33 20.66	11.016 953 41	
	16	16 46 20.314	-20 56 50.48	10.656 427 54		Déc.	1	17 7 12.608	-21 34 3.72	11.019 509 61
	17	16 46 43.144	-20 57 40.39	10.669 010 51			2	17 7 42.774	-21 34 46.39	11.021 806 72
18	16 47 6.234	-20 58 30.43	10.681 422 74	3	17 8 12.988		-21 35 28.65	11.023 844 18		
19	16 47 29.583	-20 59 20.61	10.693 661 47	4	17 8 43.243		-21 36 10.50	11.025 621 56		
20	16 47 53.183	-21 0 10.91	10.705 723 83	5	17 9 13.533		-21 36 51.93	11.027 138 52		
21	16 48 17.032	-21 1 1.33	10.717 606 87	6	17 9 43.852		-21 37 32.92	11.028 394 86		
22	16 48 41.122	-21 1 51.85	10.729 307 56	7	17 10 14.195	-21 38 13.45	11.029 390 50			
23	16 49 5.449	-21 2 42.44	10.740 822 83	8	17 10 44.557	-21 38 53.52	11.030 125 47			
24	16 49 30.008	-21 3 33.09	10.752 149 63	9	17 11 14.934	-21 39 33.11	11.030 599 88			
25	16 49 54.796	-21 4 23.78	10.763 284 88	10	17 11 45.324	-21 40 12.21	11.030 813 95			
26	16 50 19.809	-21 5 14.48	10.774 225 57	11	17 12 15.722	-21 40 50.82	11.030 767 96			
27	16 50 45.043	-21 6 5.18	10.784 968 72	12	17 12 46.126	-21 41 28.94	11.030 462 19			
28	16 51 10.495	-21 6 55.87	10.795 511 42	13	17 13 16.532	-21 42 6.59	11.029 896 93			
29	16 51 36.161	-21 7 46.53	10.805 850 85	14	17 13 46.933	-21 42 43.77	11.029 072 39			
30	16 52 2.038	-21 8 37.15	10.815 984 24	15	17 14 17.324	-21 43 20.48	11.027 988 71			
31	16 52 28.121	-21 9 27.73	10.825 908 92	16	17 14 47.697	-21 43 56.71	11.026 645 95			
Nov.	1	16 52 54.407	-21 10 18.25	10.835 622 31	17	17 15 18.047	-21 44 32.45	11.025 044 12		
	2	16 53 20.890	-21 11 8.70	10.845 121 94	18	17 15 48.369	-21 45 7.68	11.023 183 21		
	3	16 53 47.565	-21 11 59.08	10.854 405 43	19	17 16 18.657	-21 45 42.40	11.021 063 22		
	4	16 54 14.427	-21 12 49.36	10.863 470 50	20	17 16 48.907	-21 46 16.60	11.018 684 20		
	5	16 54 41.470	-21 13 39.55	10.872 315 00	21	17 17 19.117	-21 46 50.27	11.016 046 29		
	6	16 55 8.688	-21 14 29.62	10.880 936 85	22	17 17 49.281	-21 47 23.41	11.013 149 71		
	7	16 55 36.075	-21 15 19.56	10.889 334 11	23	17 18 19.396	-21 47 56.01	11.009 994 77		
	8	16 56 3.626	-21 16 9.35	10.897 504 95	24	17 18 49.456	-21 48 28.09	11.006 581 88		
	9	16 56 31.336	-21 16 58.97	10.905 447 65	25	17 19 19.458	-21 48 59.63	11.002 911 54		
	10	16 56 59.199	-21 17 48.39	10.913 160 62	26	17 19 49.395	-21 49 30.65	10.998 984 38		
	11	16 57 27.212	-21 18 37.60	10.920 642 37	27	17 20 19.263	-21 50 1.14	10.994 801 11		
	12	16 57 55.372	-21 19 26.59	10.927 891 49	28	17 20 49.056	-21 50 31.11	10.990 362 57		
	13	16 58 23.675	-21 20 15.34	10.934 906 67	29	17 21 18.767	-21 51 0.56	10.985 669 69		
	14	16 58 52.119	-21 21 3.84	10.941 686 59	30	17 21 48.389	-21 51 29.48	10.980 723 55		
	15	16 59 20.702	-21 21 52.11	10.948 229 93	31	17 22 17.917	-21 51 57.88	10.975 525 33		
	16	16 59 49.417	-21 22 40.13	10.954 535 29	32	17 22 47.344	-21 52 25.75	10.970 076 36		

URANUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance	Date	asc. droite			déclinaison		distance				
	h	m	s	°	'	"		ua	h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	1	2	3.160	5	55	30.62	19.821 456 7	Févr.	15	1	5	57.264	6	21	20.19	20.565 297 5
	1	1	2	4.119	5	55	39.05	19.838 537 6		16	1	6	6.209	6	22	17.08	20.578 790 4
	2	1	2	5.271	5	55	48.66	19.855 654 5		17	1	6	15.291	6	23	14.77	20.592 100 6
	3	1	2	6.618	5	55	59.47	19.872 802 0		18	1	6	24.506	6	24	13.25	20.605 224 8
	4	1	2	8.159	5	56	11.48	19.889 974 9		19	1	6	33.851	6	25	12.50	20.618 160 1
	5	1	2	9.895	5	56	24.70	19.907 167 9		20	1	6	43.323	6	26	12.50	20.630 903 2
	6	1	2	11.826	5	56	39.12	19.924 375 4		21	1	6	52.918	6	27	13.22	20.643 451 3
	7	1	2	13.953	5	56	54.74	19.941 592 1		22	1	7	2.636	6	28	14.65	20.655 801 2
	8	1	2	16.274	5	57	11.57	19.958 812 4		23	1	7	12.473	6	29	16.77	20.667 950 2
	9	1	2	18.789	5	57	29.59	19.976 030 8		24	1	7	22.428	6	30	19.57	20.679 895 1
	10	1	2	21.496	5	57	48.80	19.993 241 7		25	1	7	32.501	6	31	23.03	20.691 633 2
	11	1	2	24.393	5	58	9.18	20.010 439 4		26	1	7	42.688	6	32	27.16	20.703 161 4
	12	1	2	27.479	5	58	30.72	20.027 618 3		27	1	7	52.990	6	33	31.94	20.714 476 8
	13	1	2	30.752	5	58	53.41	20.044 772 8		28	1	8	3.405	6	34	37.36	20.725 576 7
14	1	2	34.212	5	59	17.24	20.061 897 5	29	1	8	13.930	6	35	43.41	20.736 458 0		
15	1	2	37.859	5	59	42.21	20.078 986 7	Mars	1	1	8	24.564	6	36	50.08	20.747 117 9	
16	1	2	41.692	6	0	8.32	20.096 035 3		2	1	8	35.304	6	37	57.35	20.757 553 5	
17	1	2	45.713	6	0	35.58	20.113 037 9		3	1	8	46.148	6	39	5.21	20.767 762 1	
18	1	2	49.920	6	1	3.97	20.129 989 7		4	1	8	57.093	6	40	13.64	20.777 740 7	
19	1	2	54.314	6	1	33.50	20.146 885 6		5	1	9	8.135	6	41	22.62	20.787 486 6	
20	1	2	58.892	6	2	4.16	20.163 720 8		6	1	9	19.272	6	42	32.13	20.796 997 1	
21	1	3	3.653	6	2	35.93	20.180 490 8		7	1	9	30.498	6	43	42.14	20.806 269 3	
22	1	3	8.593	6	3	8.81	20.197 190 9		8	1	9	41.813	6	44	52.64	20.815 300 6	
23	1	3	13.711	6	3	42.78	20.213 816 5		9	1	9	53.212	6	46	3.60	20.824 088 4	
24	1	3	19.003	6	4	17.81	20.230 363 3		10	1	10	4.695	6	47	15.00	20.832 630 3	
25	1	3	24.469	6	4	53.90	20.246 826 7	11	1	10	16.260	6	48	26.86	20.840 923 9		
26	1	3	30.107	6	5	31.03	20.263 202 2	12	1	10	27.907	6	49	39.14	20.848 967 4		
27	1	3	35.916	6	6	9.20	20.279 485 4	13	1	10	39.633	6	50	51.86	20.856 758 7		
28	1	3	41.896	6	6	48.39	20.295 671 8	14	1	10	51.435	6	52	4.99	20.864 296 4		
29	1	3	48.045	6	7	28.61	20.311 756 9	15	1	11	3.311	6	53	18.51	20.871 578 8		
30	1	3	54.364	6	8	9.85	20.327 736 0	16	1	11	15.255	6	54	32.41	20.878 604 7		
Févr.	31	1	4	0.852	6	8	52.11	20.343 604 7	17	1	11	27.265	6	55	46.65	20.885 372 8	
	1	1	4	7.508	6	9	35.37	20.359 358 5	18	1	11	39.336	6	57	1.22	20.891 882 0	
	2	1	4	14.330	6	10	19.63	20.374 992 6	19	1	11	51.466	6	58	16.09	20.898 131 1	
	3	1	4	21.318	6	11	4.89	20.390 502 7	20	1	12	3.651	6	59	31.24	20.904 119 0	
	4	1	4	28.470	6	11	51.14	20.405 884 1	21	1	12	15.890	7	0	46.66	20.909 844 7	
	5	1	4	35.783	6	12	38.35	20.421 132 3	22	1	12	28.179	7	2	2.33	20.915 307 3	
	6	1	4	43.256	6	13	26.52	20.436 242 7	23	1	12	40.519	7	3	18.24	20.920 505 6	
	7	1	4	50.884	6	14	15.62	20.451 210 6	24	1	12	52.907	7	4	34.38	20.925 438 7	
	8	1	4	58.666	6	15	5.64	20.466 031 6	25	1	13	5.341	7	5	50.73	20.930 105 7	
	9	1	5	6.598	6	15	56.56	20.480 701 1	26	1	13	17.819	7	7	7.30	20.934 505 5	
	10	1	5	14.678	6	16	48.35	20.495 214 6	27	1	13	30.341	7	8	24.05	20.938 637 3	
	11	1	5	22.905	6	17	41.02	20.509 567 9	28	1	13	42.902	7	9	41.00	20.942 500 0	
	12	1	5	31.278	6	18	34.53	20.523 756 7	29	1	13	55.502	7	10	58.11	20.946 092 9	
	13	1	5	39.797	6	19	28.91	20.537 777 1	30	1	14	8.137	7	12	15.37	20.949 415 0	
14	1	5	48.459	6	20	24.13	20.551 625 3	31	1	14	20.804	7	13	32.77	20.952 465 4		

URANUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance ua	Date	asc. droite			déclinaison		distance ua								
	h	m	s	°	'			''	h	m	s	°		'	''						
Avril	1	1	14	33.500	7	14	50.29	20.955	243	4	Mai	17	1	24	3.194	8	11	43.69	20.792	456	6
	2	1	14	46.221	7	16	7.90	20.957	748	0		18	1	24	14.329	8	12	49.07	20.783	008	6
	3	1	14	58.965	7	17	25.59	20.959	978	6		19	1	24	25.373	8	13	53.85	20.773	339	6
	4	1	15	11.726	7	18	43.33	20.961	934	3		20	1	24	36.326	8	14	58.04	20.763	452	1
	5	1	15	24.504	7	20	1.09	20.963	614	6		21	1	24	47.186	8	16	1.62	20.753	348	7
	6	1	15	37.295	7	21	18.87	20.965	018	9		22	1	24	57.952	8	17	4.59	20.743	031	7
	7	1	15	50.099	7	22	36.66	20.966	146	7		23	1	25	8.620	8	18	6.94	20.732	503	7
	8	1	16	2.913	7	23	54.44	20.966	997	8		24	1	25	19.188	8	19	8.65	20.721	767	2
	9	1	16	15.738	7	25	12.21	20.967	572	2		25	1	25	29.654	8	20	9.71	20.710	824	7
	10	1	16	28.570	7	26	29.96	20.967	870	2		26	1	25	40.014	8	21	10.11	20.699	678	7
	11	1	16	41.406	7	27	47.68	20.967	892	0		27	1	25	50.266	8	22	9.82	20.688	331	7
	12	1	16	54.242	7	29	5.35	20.967	638	3		28	1	26	0.407	8	23	8.83	20.676	786	3
	13	1	17	7.073	7	30	22.93	20.967	109	8		29	1	26	10.434	8	24	7.12	20.665	045	0
	14	1	17	19.896	7	31	40.41	20.966	307	1		30	1	26	20.345	8	25	4.68	20.653	110	5
	15	1	17	32.708	7	32	57.76	20.965	231	1		31	1	26	30.140	8	26	1.50	20.640	985	6
16	1	17	45.506	7	34	14.96	20.963	882	6	Juin	1	1	26	39.817	8	26	57.57	20.628	673	0	
17	1	17	58.286	7	35	32.00	20.962	262	4		2	1	26	49.375	8	27	52.90	20.616	175	9	
18	1	18	11.049	7	36	48.86	20.960	371	4		3	1	26	58.814	8	28	47.47	20.603	497	3	
19	1	18	23.791	7	38	5.54	20.958	210	5		4	1	27	8.131	8	29	41.28	20.590	640	5	
20	1	18	36.511	7	39	22.02	20.955	780	5		5	1	27	17.325	8	30	34.34	20.577	609	2	
21	1	18	49.207	7	40	38.28	20.953	082	4		6	1	27	26.391	8	31	26.61	20.564	406	8	
22	1	19	1.879	7	41	54.34	20.950	117	1		7	1	27	35.327	8	32	18.08	20.551	037	3	
23	1	19	14.524	7	43	10.16	20.946	885	4		8	1	27	44.127	8	33	8.73	20.537	504	4	
24	1	19	27.140	7	44	25.75	20.943	388	4		9	1	27	52.790	8	33	58.54	20.523	812	1	
25	1	19	39.724	7	45	41.08	20.939	626	8		10	1	28	1.314	8	34	47.50	20.509	964	1	
26	1	19	52.275	7	46	56.16	20.935	601	7	11	1	28	9.697	8	35	35.59	20.495	964	5		
27	1	20	4.788	7	48	10.95	20.931	314	0	12	1	28	17.938	8	36	22.81	20.481	817	0		
28	1	20	17.262	7	49	25.45	20.926	764	8	13	1	28	26.037	8	37	9.16	20.467	525	4		
29	1	20	29.693	7	50	39.63	20.921	954	8	14	1	28	33.993	8	37	54.63	20.453	093	6		
30	1	20	42.077	7	51	53.47	20.916	885	3	15	1	28	41.805	8	38	39.22	20.438	525	2		
Mai	1	1	20	54.411	7	53	6.97	20.911	557	3	16	1	28	49.473	8	39	22.92	20.423	824	2	
	2	1	21	6.693	7	54	20.08	20.905	971	8	17	1	28	56.995	8	40	5.74	20.408	994	2	
	3	1	21	18.920	7	55	32.81	20.900	130	1	18	1	29	4.371	8	40	47.66	20.394	038	9	
	4	1	21	31.092	7	56	45.13	20.894	033	4	19	1	29	11.597	8	41	28.68	20.378	962	1	
	5	1	21	43.206	7	57	57.04	20.887	683	3	20	1	29	18.674	8	42	8.80	20.363	767	5	
	6	1	21	55.261	7	59	8.54	20.881	081	2	21	1	29	25.598	8	42	48.01	20.348	458	7	
	7	1	22	7.257	8	0	19.62	20.874	229	1	22	1	29	32.367	8	43	26.28	20.333	039	4	
	8	1	22	19.190	8	1	30.28	20.867	128	9	23	1	29	38.980	8	44	3.62	20.317	513	2	
	9	1	22	31.057	8	2	40.49	20.859	782	9	24	1	29	45.433	8	44	40.00	20.301	883	9	
	10	1	22	42.854	8	3	50.23	20.852	193	4	25	1	29	51.725	8	45	15.41	20.286	155	0	
	11	1	22	54.576	8	4	59.48	20.844	362	7	26	1	29	57.854	8	45	49.85	20.270	330	5	
	12	1	23	6.221	8	6	8.22	20.836	293	5	27	1	30	3.820	8	46	23.30	20.254	413	9	
	13	1	23	17.784	8	7	16.43	20.827	988	2	28	1	30	9.622	8	46	55.77	20.238	409	4	
	14	1	23	29.265	8	8	24.09	20.819	449	4	29	1	30	15.261	8	47	27.25	20.222	320	8	
	15	1	23	40.661	8	9	31.20	20.810	679	5	30	1	30	20.735	8	47	57.74	20.206	152	3	
	16	1	23	51.971	8	10	37.73	20.801	681	0	1	1	30	26.045	8	48	27.26	20.189	908	2	

URANUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance	Date	asc. droite			déclinaison		distance						
	h	m	s	°	'	"	ua	h	m	s	°	'	"	ua					
Juill.	2	1	30	31.189	8	48	55.79	20.173	5930	Août	17	1	31	13.600	8	51	50.40	19.426	0961
	3	1	30	36.164	8	49	23.32	20.157	2112		18	1	31	10.288	8	51	29.64	19.411	6520
	4	1	30	40.968	8	49	49.85	20.140	7675		19	1	31	6.805	8	51	7.88	19.397	3570
	5	1	30	45.597	8	50	15.35	20.124	2667		20	1	31	3.151	8	50	45.14	19.383	2153
	6	1	30	50.051	8	50	39.82	20.107	7135		21	1	30	59.329	8	50	21.42	19.369	2309
	7	1	30	54.326	8	51	3.24	20.091	1129		22	1	30	55.341	8	49	56.74	19.355	4078
	8	1	30	58.422	8	51	25.61	20.074	4695		23	1	30	51.190	8	49	31.12	19.341	7502
	9	1	31	2.340	8	51	46.91	20.057	7882		24	1	30	46.879	8	49	4.57	19.328	2624
	10	1	31	6.079	8	52	7.16	20.041	0736		25	1	30	42.408	8	48	37.11	19.314	9488
	11	1	31	9.640	8	52	26.35	20.024	3304		26	1	30	37.780	8	48	8.74	19.301	8137
	12	1	31	13.022	8	52	44.48	20.007	5632		27	1	30	32.994	8	47	39.48	19.288	8617
	13	1	31	16.227	8	53	1.56	19.990	7766		28	1	30	28.050	8	47	9.32	19.276	0971
	14	1	31	19.253	8	53	17.59	19.973	9751		29	1	30	22.950	8	46	38.28	19.263	5245
	15	1	31	22.101	8	53	32.58	19.957	1633		30	1	30	17.695	8	46	6.34	19.251	1482
	16	1	31	24.771	8	53	46.51	19.940	3455		31	1	30	12.285	8	45	33.52	19.238	9727
	17	1	31	27.261	8	53	59.39	19.923	5262		Sept.	1	1	30	6.723	8	44	59.83	19.227
18	1	31	29.570	8	54	11.23	19.906	7097	2	1		30	1.013	8	44	25.29	19.215	2407	
19	1	31	31.699	8	54	22.00	19.889	9005	3	1		29	55.158	8	43	49.90	19.203	6924	
20	1	31	33.644	8	54	31.71	19.873	1027	4	1		29	49.160	8	43	13.70	19.192	3612	
21	1	31	35.405	8	54	40.35	19.856	3207	5	1		29	43.024	8	42	36.69	19.181	2509	
22	1	31	36.981	8	54	47.91	19.839	5588	6	1		29	36.752	8	41	58.90	19.170	3651	
23	1	31	38.371	8	54	54.39	19.822	8212	7	1		29	30.348	8	41	20.36	19.159	7075	
24	1	31	39.576	8	54	59.77	19.806	1123	8	1		29	23.815	8	40	41.07	19.149	2815	
25	1	31	40.597	8	55	4.08	19.789	4364	9	1		29	17.155	8	40	1.05	19.139	0904	
26	1	31	41.434	8	55	7.30	19.772	7981	10	1		29	10.370	8	39	20.33	19.129	1375	
27	1	31	42.088	8	55	9.46	19.756	2020	11	1	29	3.463	8	38	38.91	19.119	4258		
28	1	31	42.561	8	55	10.56	19.739	6527	12	1	28	56.435	8	37	56.81	19.109	9583		
29	1	31	42.851	8	55	10.60	19.723	1550	13	1	28	49.290	8	37	14.04	19.100	7380		
30	1	31	42.959	8	55	9.58	19.706	7140	14	1	28	42.028	8	36	30.61	19.091	7676		
31	1	31	42.882	8	55	7.51	19.690	3346	15	1	28	34.652	8	35	46.53	19.083	0498		
Août	1	1	31	42.620	8	55	4.36	19.674	0219	16	1	28	27.165	8	35	1.82	19.074	5873	
	2	1	31	42.171	8	55	0.15	19.657	7810	17	1	28	19.571	8	34	16.48	19.066	3826	
	3	1	31	41.534	8	54	54.85	19.641	6170	18	1	28	11.873	8	33	30.55	19.058	4382	
	4	1	31	40.711	8	54	48.47	19.625	5349	19	1	28	4.077	8	32	44.04	19.050	7568	
	5	1	31	39.702	8	54	41.01	19.609	5398	20	1	27	56.186	8	31	57.00	19.043	3411	
	6	1	31	38.508	8	54	32.48	19.593	6365	21	1	27	48.203	8	31	9.44	19.036	1938	
	7	1	31	37.131	8	54	22.88	19.577	8300	22	1	27	40.132	8	30	21.38	19.029	3177	
	8	1	31	35.572	8	54	12.23	19.562	1249	23	1	27	31.974	8	29	32.84	19.022	7155	
	9	1	31	33.834	8	54	0.53	19.546	5260	24	1	27	23.731	8	28	43.83	19.016	3899	
	10	1	31	31.918	8	53	47.80	19.531	0379	25	1	27	15.405	8	27	54.36	19.010	3438	
	11	1	31	29.825	8	53	34.04	19.515	6651	26	1	27	6.998	8	27	4.44	19.004	5797	
	12	1	31	27.556	8	53	19.27	19.500	4121	27	1	26	58.514	8	26	14.08	18.999	1001	
	13	1	31	25.113	8	53	3.50	19.485	2834	28	1	26	49.957	8	25	23.32	18.993	9073	
	14	1	31	22.495	8	52	46.72	19.470	2832	29	1	26	41.329	8	24	32.16	18.989	0036	
	15	1	31	19.703	8	52	28.94	19.455	4158	30	1	26	32.637	8	23	40.63	18.984	3911	
	16	1	31	16.738	8	52	10.16	19.440	6854	Oct.	1	1	26	23.884	8	22	48.76	18.980	0718

URANUS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison		distance	Date	asc. droite			déclinaison		distance					
	h	m	s	°	'	"		ua	h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	2	1	26	15.076	8	21	56.58	18.976 047 2	Nov.	17	1	19	36.526	7	42	59.56	19.115 713 6	
	3	1	26	6.217	8	21	4.11	18.972 319 2		18	1	19	29.434	7	42	18.67	19.125 485 3	
	4	1	25	57.311	8	20	11.38	18.968 889 1		19	1	19	22.462	7	41	38.53	19.135 510 3	
	5	1	25	48.363	8	19	18.43	18.965 758 2		20	1	19	15.612	7	40	59.15	19.145 785 7	
	6	1	25	39.376	8	18	25.26	18.962 927 7		21	1	19	8.887	7	40	20.54	19.156 308 5	
	7	1	25	30.354	8	17	31.91	18.960 398 6		22	1	19	2.291	7	39	42.72	19.167 075 7	
	8	1	25	21.301	8	16	38.40	18.958 171 7		23	1	18	55.827	7	39	5.71	19.178 083 9	
	9	1	25	12.220	8	15	44.75	18.956 247 7		24	1	18	49.500	7	38	29.54	19.189 329 7	
	10	1	25	3.113	8	14	50.98	18.954 627 2		25	1	18	43.313	7	37	54.22	19.200 809 5	
	11	1	24	53.984	8	13	57.10	18.953 310 7		26	1	18	37.270	7	37	19.78	19.212 519 7	
	12	1	24	44.837	8	13	3.13	18.952 298 5		27	1	18	31.374	7	36	46.24	19.224 456 3	
	13	1	24	35.674	8	12	9.09	18.951 590 8		28	1	18	25.629	7	36	13.62	19.236 615 3	
	14	1	24	26.500	8	11	15.00	18.951 187 6		29	1	18	20.037	7	35	41.93	19.248 992 7	
	15	1	24	17.320	8	10	20.88	18.951 089 1		30	1	18	14.600	7	35	11.20	19.261 584 2	
	16	1	24	8.139	8	9	26.78	18.951 295 2		Déc.	1	1	18	9.322	7	34	41.45	19.274 385 5
	17	1	23	58.961	8	8	32.71	18.951 806 0			2	1	18	4.203	7	34	12.67	19.287 392 0
	18	1	23	49.793	8	7	38.71	18.952 621 7			3	1	17	59.244	7	33	44.88	19.300 599 3
	19	1	23	40.637	8	6	44.81	18.953 742 4			4	1	17	54.448	7	33	18.08	19.314 002 7
	20	1	23	31.497	8	5	51.04	18.955 168 1			5	1	17	49.817	7	32	52.30	19.327 597 4
	21	1	23	22.373	8	4	57.39	18.956 899 1			6	1	17	45.350	7	32	27.52	19.341 378 6
	22	1	23	13.269	8	4	3.89	18.958 935 4			7	1	17	41.051	7	32	3.77	19.355 341 6
	23	1	23	4.187	8	3	10.56	18.961 277 0			8	1	17	36.921	7	31	41.05	19.369 481 4
	24	1	22	55.131	8	2	17.40	18.963 923 6			9	1	17	32.964	7	31	19.37	19.383 793 1
	25	1	22	46.104	8	1	24.44	18.966 875 0			10	1	17	29.182	7	30	58.75	19.398 272 0
	26	1	22	37.112	8	0	31.71	18.970 130 6			11	1	17	25.578	7	30	39.22	19.412 913 1
	27	1	22	28.159	7	59	39.23	18.973 689 8			12	1	17	22.154	7	30	20.78	19.427 711 7
	28	1	22	19.250	7	58	47.02	18.977 551 7		13	1	17	18.912	7	30	3.46	19.442 663 3	
	29	1	22	10.390	7	57	55.13	18.981 715 4		14	1	17	15.852	7	29	47.25	19.457 763 2	
	30	1	22	1.584	7	57	3.57	18.986 179 5		15	1	17	12.974	7	29	32.17	19.473 006 9	
	31	1	21	52.836	7	56	12.38	18.990 942 9		16	1	17	10.276	7	29	18.19	19.488 390 0	
	Nov.	1	1	21	44.151	7	55	21.58		18.996 004 0	17	1	17	7.760	7	29	5.32	19.503 907 9
2		1	21	35.532	7	54	31.20	19.001 361 2	18	1	17	5.425	7	28	53.56	19.519 556 0		
3		1	21	26.984	7	53	41.26	19.007 012 5	19	1	17	3.272	7	28	42.90	19.535 329 7		
4		1	21	18.510	7	52	51.79	19.012 956 2	20	1	17	1.305	7	28	33.37	19.551 224 1		
5		1	21	10.112	7	52	2.80	19.019 190 0	21	1	16	59.524	7	28	24.98	19.567 234 3		
6		1	21	1.793	7	51	14.31	19.025 711 7	22	1	16	57.933	7	28	17.72	19.583 355 3		
7		1	20	53.558	7	50	26.34	19.032 519 0	23	1	16	56.533	7	28	11.62	19.599 581 9		
8		1	20	45.408	7	49	38.91	19.039 609 3	24	1	16	55.326	7	28	6.69	19.615 909 0		
9		1	20	37.346	7	48	52.02	19.046 980 1	25	1	16	54.313	7	28	2.93	19.632 331 3		
10		1	20	29.377	7	48	5.71	19.054 628 7	26	1	16	53.494	7	28	0.34	19.648 843 3		
11		1	20	21.504	7	47	19.99	19.062 552 2	27	1	16	52.872	7	27	58.95	19.665 439 8		
12		1	20	13.731	7	46	34.88	19.070 748 0	28	1	16	52.445	7	27	58.74	19.682 115 1		
13		1	20	6.064	7	45	50.42	19.079 213 2	29	1	16	52.214	7	27	59.73	19.698 863 8		
14		1	19	58.507	7	45	6.64	19.087 945 1	30	1	16	52.179	7	28	1.90	19.715 680 3		
15		1	19	51.064	7	44	23.55	19.096 940 8	31	1	16	52.338	7	28	5.25	19.732 558 9		
16		1	19	43.736	7	43	41.19	19.106 197 9	32	1	16	52.692	7	28	9.78	19.749 494 0		

NEPTUNE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	22 38 2.754	- 9 28 59.29	30.460 818 1	Févr.	15	22 43 28.735	- 8 56 14.56	30.918 964 8
	1	22 38 7.988	- 9 28 27.34	30.475 539 8		16	22 43 37.123	- 8 55 24.36	30.922 948 7
	2	22 38 13.325	- 9 27 54.77	30.490 103 7		17	22 43 45.538	- 8 54 34.03	30.926 648 9
	3	22 38 18.767	- 9 27 21.60	30.504 505 2		18	22 43 53.977	- 8 53 43.57	30.930 064 9
	4	22 38 24.313	- 9 26 47.81	30.518 740 1		19	22 44 2.435	- 8 52 53.00	30.933 196 4
	5	22 38 29.962	- 9 26 13.42	30.532 804 0		20	22 44 10.911	- 8 52 2.35	30.936 043 0
	6	22 38 35.712	- 9 25 38.44	30.546 692 5		21	22 44 19.402	- 8 51 11.63	30.938 604 3
	7	22 38 41.564	- 9 25 2.87	30.560 401 2		22	22 44 27.905	- 8 50 20.85	30.940 880 0
	8	22 38 47.514	- 9 24 26.73	30.573 926 0		23	22 44 36.420	- 8 49 30.01	30.942 869 7
	9	22 38 53.562	- 9 23 50.03	30.587 262 4		24	22 44 44.944	- 8 48 39.12	30.944 573 1
	10	22 38 59.704	- 9 23 12.79	30.600 406 4		25	22 44 53.476	- 8 47 48.19	30.945 989 8
	11	22 39 5.938	- 9 22 35.02	30.613 353 7		26	22 45 2.016	- 8 46 57.22	30.947 119 7
	12	22 39 12.260	- 9 21 56.74	30.626 100 4		27	22 45 10.562	- 8 46 6.23	30.947 962 4
	13	22 39 18.669	- 9 21 17.96	30.638 642 7		28	22 45 19.114	- 8 45 15.21	30.948 517 8
14	22 39 25.163	- 9 20 38.68	30.650 976 6	29	22 45 27.669	- 8 44 24.19	30.948 785 6		
15	22 39 31.741	- 9 19 58.91	30.663 098 9	Mars	1	22 45 36.226	- 8 43 33.16	30.948 765 6	
16	22 39 38.402	- 9 19 18.65	30.675 006 0		2	22 45 44.783	- 8 42 42.15	30.948 458 0	
17	22 39 45.146	- 9 18 37.89	30.686 694 8		3	22 45 53.339	- 8 41 51.18	30.947 862 5	
18	22 39 51.973	- 9 17 56.66	30.698 162 3		4	22 46 1.890	- 8 41 0.25	30.946 979 3	
19	22 39 58.881	- 9 17 14.95	30.709 405 6		5	22 46 10.433	- 8 40 9.39	30.945 808 4	
20	22 40 5.868	- 9 16 32.77	30.720 422 0		6	22 46 18.966	- 8 39 18.61	30.944 350 1	
21	22 40 12.932	- 9 15 50.16	30.731 208 7		7	22 46 27.485	- 8 38 27.93	30.942 604 6	
22	22 40 20.071	- 9 15 7.13	30.741 763 1		8	22 46 35.987	- 8 37 37.37	30.940 572 5	
23	22 40 27.280	- 9 14 23.69	30.752 082 8		9	22 46 44.471	- 8 36 46.93	30.938 254 3	
24	22 40 34.558	- 9 13 39.86	30.762 165 0		10	22 46 52.936	- 8 35 56.61	30.935 650 8	
25	22 40 41.901	- 9 12 55.64	30.772 007 2	11	22 47 1.380	- 8 35 6.43	30.932 763 1		
26	22 40 49.309	- 9 12 11.06	30.781 606 9	12	22 47 9.805	- 8 34 16.37	30.929 592 5		
27	22 40 56.780	- 9 11 26.11	30.790 961 6	13	22 47 18.207	- 8 33 26.45	30.926 140 3		
28	22 41 4.313	- 9 10 40.80	30.800 068 5	14	22 47 26.587	- 8 32 36.69	30.922 408 1		
29	22 41 11.907	- 9 9 55.13	30.808 925 2	15	22 47 34.941	- 8 31 47.10	30.918 397 7		
30	22 41 19.560	- 9 9 9.12	30.817 529 2	16	22 47 43.266	- 8 30 57.70	30.914 110 7		
Févr.	31	22 41 27.273	- 9 8 22.75	30.825 878 0	17	22 47 51.559	- 8 30 8.51	30.909 548 9	
	1	22 41 35.044	- 9 7 36.06	30.833 969 1	18	22 47 59.818	- 8 29 19.56	30.904 714 1	
	2	22 41 42.871	- 9 6 49.03	30.841 800 0	19	22 48 8.040	- 8 28 30.84	30.899 608 0	
	3	22 41 50.753	- 9 6 1.70	30.849 368 5	20	22 48 16.222	- 8 27 42.38	30.894 232 5	
	4	22 41 58.688	- 9 5 14.06	30.856 672 3	21	22 48 24.364	- 8 26 54.17	30.888 589 3	
	5	22 42 6.674	- 9 4 26.14	30.863 708 9	22	22 48 32.464	- 8 26 6.23	30.882 680 3	
	6	22 42 14.707	- 9 3 37.95	30.870 476 3	23	22 48 40.520	- 8 25 18.56	30.876 507 1	
	7	22 42 22.786	- 9 2 49.52	30.876 972 4	24	22 48 48.533	- 8 24 31.17	30.870 071 8	
	8	22 42 30.906	- 9 2 0.85	30.883 195 1	25	22 48 56.502	- 8 23 44.06	30.863 376 0	
	9	22 42 39.064	- 9 1 11.98	30.889 142 5	26	22 49 4.424	- 8 22 57.24	30.856 421 6	
	10	22 42 47.259	- 9 0 22.89	30.894 812 9	27	22 49 12.300	- 8 22 10.71	30.849 210 5	
	11	22 42 55.488	- 8 59 33.61	30.900 204 9	28	22 49 20.128	- 8 21 24.50	30.841 744 6	
	12	22 43 3.750	- 8 58 44.13	30.905 317 0	29	22 49 27.905	- 8 20 38.60	30.834 025 8	
	13	22 43 12.046	- 8 57 54.46	30.910 148 3	30	22 49 35.631	- 8 19 53.04	30.826 056 2	
14	22 43 20.375	- 8 57 4.60	30.914 697 9	31	22 49 43.303	- 8 19 7.82	30.817 837 7		

NEPTUNE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Avril	1	22 49 50.919	- 8 18 22.97	30.809 372 5	Mai	17	22 54 13.616	- 7 53 9.25	30.207 469 7
	2	22 49 58.475	- 8 17 38.50	30.800 662 7		18	22 54 16.963	- 7 52 51.08	30.191 169 2
	3	22 50 5.970	- 8 16 54.42	30.791 710 5		19	22 54 20.195	- 7 52 33.61	30.174 799 9
	4	22 50 13.401	- 8 16 10.75	30.782 518 4		20	22 54 23.313	- 7 52 16.85	30.158 366 0
	5	22 50 20.765	- 8 15 27.50	30.773 088 7		21	22 54 26.317	- 7 52 0.80	30.141 871 9
	6	22 50 28.061	- 8 14 44.67	30.763 424 1		22	22 54 29.207	- 7 51 45.46	30.125 322 0
	7	22 50 35.289	- 8 14 2.26	30.753 527 5		23	22 54 31.981	- 7 51 30.83	30.108 720 4
	8	22 50 42.450	- 8 13 20.28	30.743 401 7		24	22 54 34.639	- 7 51 16.93	30.092 071 6
	9	22 50 49.542	- 8 12 38.71	30.733 050 2		25	22 54 37.180	- 7 51 3.76	30.075 379 7
	10	22 50 56.564	- 8 11 57.58	30.722 476 1		26	22 54 39.603	- 7 50 51.33	30.058 649 2
	11	22 51 3.516	- 8 11 16.91	30.711 683 1		27	22 54 41.905	- 7 50 39.64	30.041 884 3
	12	22 51 10.394	- 8 10 36.70	30.700 674 6		28	22 54 44.086	- 7 50 28.71	30.025 089 5
	13	22 51 17.195	- 8 9 56.98	30.689 454 3		29	22 54 46.145	- 7 50 18.54	30.008 269 2
	14	22 51 23.916	- 8 9 17.76	30.678 025 6		30	22 54 48.081	- 7 50 9.12	29.991 428 0
	15	22 51 30.556	- 8 8 39.05	30.666 392 1		31	22 54 49.895	- 7 50 0.45	29.974 570 4
16	22 51 37.113	- 8 8 0.88	30.654 557 4	Juin	1	22 54 51.587	- 7 49 52.52	29.957 701 2	
17	22 51 43.585	- 8 7 23.22	30.642 524 9		2	22 54 53.159	- 7 49 45.33	29.940 825 3	
18	22 51 49.971	- 8 6 46.11	30.630 298 1		3	22 54 54.611	- 7 49 38.87	29.923 947 7	
19	22 51 56.272	- 8 6 9.52	30.617 880 3		4	22 54 55.944	- 7 49 33.14	29.907 073 4	
20	22 52 2.486	- 8 5 33.48	30.605 275 2		5	22 54 57.157	- 7 49 28.15	29.890 207 6	
21	22 52 8.613	- 8 4 57.97	30.592 486 0		6	22 54 58.250	- 7 49 23.91	29.873 355 6	
22	22 52 14.652	- 8 4 23.01	30.579 516 3		7	22 54 59.220	- 7 49 20.43	29.856 522 4	
23	22 52 20.604	- 8 3 48.60	30.566 369 5		8	22 55 0.066	- 7 49 17.71	29.839 713 3	
24	22 52 26.466	- 8 3 14.75	30.553 049 0		9	22 55 0.787	- 7 49 15.77	29.822 933 3	
25	22 52 32.239	- 8 2 41.46	30.539 558 3		10	22 55 1.382	- 7 49 14.59	29.806 187 2	
26	22 52 37.920	- 8 2 8.74	30.525 900 8	11	22 55 1.853	- 7 49 14.18	29.789 479 9		
27	22 52 43.508	- 8 1 36.62	30.512 080 1	12	22 55 2.200	- 7 49 14.52	29.772 816 2		
28	22 52 49.001	- 8 1 5.09	30.498 099 7	13	22 55 2.424	- 7 49 15.61	29.756 200 7		
29	22 52 54.397	- 8 0 34.18	30.483 963 1	14	22 55 2.526	- 7 49 17.44	29.739 638 1		
30	22 52 59.694	- 8 0 3.88	30.469 674 1	15	22 55 2.508	- 7 49 20.00	29.723 132 8		
Mai	1	22 53 4.890	- 7 59 34.23	30.455 236 3	16	22 55 2.370	- 7 49 23.29	29.706 689 5	
	2	22 53 9.983	- 7 59 5.21	30.440 653 5	17	22 55 2.114	- 7 49 27.31	29.690 312 4	
	3	22 53 14.972	- 7 58 36.84	30.425 929 7	18	22 55 1.739	- 7 49 32.04	29.674 006 0	
	4	22 53 19.858	- 7 58 9.11	30.411 068 9	19	22 55 1.246	- 7 49 37.50	29.657 774 7	
	5	22 53 24.639	- 7 57 42.02	30.396 075 3	20	22 55 0.636	- 7 49 43.68	29.641 622 7	
	6	22 53 29.317	- 7 57 15.57	30.380 953 3	21	22 54 59.907	- 7 49 50.58	29.625 554 4	
	7	22 53 33.892	- 7 56 49.76	30.365 707 4	22	22 54 59.606	- 7 49 58.21	29.609 573 9	
	8	22 53 38.363	- 7 56 24.60	30.350 342 4	23	22 54 58.094	- 7 50 6.57	29.593 685 6	
	9	22 53 42.728	- 7 56 0.10	30.334 862 9	24	22 54 57.009	- 7 50 15.66	29.577 893 6	
	10	22 53 46.985	- 7 55 36.27	30.319 273 7	25	22 54 55.804	- 7 50 25.47	29.562 202 4	
	11	22 53 51.131	- 7 55 13.15	30.303 579 6	26	22 54 54.479	- 7 50 36.01	29.546 616 1	
	12	22 53 55.165	- 7 54 50.72	30.287 785 2	27	22 54 53.036	- 7 50 47.26	29.531 139 4	
	13	22 53 59.085	- 7 54 29.01	30.271 895 2	28	22 54 51.477	- 7 50 59.20	29.515 776 5	
	14	22 54 2.890	- 7 54 8.00	30.255 914 2	29	22 54 49.802	- 7 51 11.84	29.500 532 2	
	15	22 54 6.580	- 7 53 47.71	30.239 846 6	30	22 54 48.015	- 7 51 25.15	29.485 411 0	
	16	22 54 10.156	- 7 53 28.13	30.223 697 0	Juill.	1	22 54 46.116	- 7 51 39.13	29.470 417 6

NEPTUNE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	2 22 54 44.106	- 7 51 53.78	29.455 556 9	Août	17 22 51 30.016	- 8 13 6.17	28.982 778 2
	3 22 54 41.986	- 7 52 9.09	29.440 833 5		18 22 51 24.191	- 8 13 42.91	28.978 276 1
	4 22 54 39.755	- 7 52 25.08	29.426 252 2		19 22 51 18.326	- 8 14 19.86	28.974 056 3
	5 22 54 37.412	- 7 52 41.74	29.411 817 8		20 22 51 12.424	- 8 14 57.00	28.970 120 2
	6 22 54 34.957	- 7 52 59.08	29.397 534 7		21 22 51 6.487	- 8 15 34.31	28.966 469 1
	7 22 54 32.390	- 7 53 17.09	29.383 407 5		22 22 51 0.519	- 8 16 11.76	28.963 104 5
	8 22 54 29.712	- 7 53 35.76	29.369 440 4		23 22 50 54.523	- 8 16 49.33	28.960 027 8
	9 22 54 26.926	- 7 53 55.08	29.355 637 6		24 22 50 48.502	- 8 17 27.00	28.957 240 5
	10 22 54 24.033	- 7 54 15.03	29.342 003 2		25 22 50 42.459	- 8 18 4.77	28.954 743 9
	11 22 54 21.035	- 7 54 35.60	29.328 541 2		26 22 50 36.397	- 8 18 42.62	28.952 539 4
	12 22 54 17.934	- 7 54 56.78	29.315 255 4		27 22 50 30.315	- 8 19 20.54	28.950 628 4
	13 22 54 14.732	- 7 55 18.55	29.302 149 6		28 22 50 24.216	- 8 19 58.54	28.949 012 1
	14 22 54 11.432	- 7 55 40.91	29.289 227 4		29 22 50 18.100	- 8 20 36.60	28.947 691 4
	15 22 54 8.034	- 7 56 3.84	29.276 492 6		30 22 50 11.969	- 8 21 14.71	28.946 667 4
	16 22 54 4.541	- 7 56 27.34	29.263 948 5		31 22 50 5.825	- 8 21 52.86	28.945 940 7
	17 22 54 0.952	- 7 56 51.40	29.251 598 7		Sept.	1 22 49 59.671	- 8 22 31.04
18 22 53 57.270	- 7 57 16.01	29.239 446 5	2 22 49 53.509	- 8 23 9.21		28.945 381 5	
19 22 53 53.495	- 7 57 41.18	29.227 495 3	3 22 49 47.342	- 8 23 47.36		28.945 549 6	
20 22 53 49.627	- 7 58 6.90	29.215 748 4	4 22 49 41.175	- 8 24 25.47		28.946 016 2	
21 22 53 45.666	- 7 58 33.17	29.204 208 9	5 22 49 35.010	- 8 25 3.52		28.946 781 3	
22 22 53 41.613	- 7 58 59.98	29.192 880 2	6 22 49 28.851	- 8 25 41.48		28.947 844 7	
23 22 53 37.469	- 7 59 27.32	29.181 765 4	7 22 49 22.701	- 8 26 19.35		28.949 206 0	
24 22 53 33.236	- 7 59 55.18	29.170 868 0	8 22 49 16.562	- 8 26 57.11		28.950 864 8	
25 22 53 28.916	- 8 0 23.53	29.160 191 3	9 22 49 10.436	- 8 27 34.75		28.952 820 3	
26 22 53 24.512	- 8 0 52.37	29.149 738 5	10 22 49 4.326	- 8 28 12.26		28.955 072 0	
27 22 53 20.027	- 8 1 21.66	29.139 513 3	11 22 48 58.234	- 8 28 49.62	28.957 619 0		
28 22 53 15.463	- 8 1 51.40	29.129 519 0	12 22 48 52.161	- 8 29 26.82	28.960 460 4		
29 22 53 10.823	- 8 2 21.59	29.119 759 1	13 22 48 46.109	- 8 30 3.87	28.963 595 3		
30 22 53 6.107	- 8 2 52.21	29.110 237 1	14 22 48 40.079	- 8 30 40.75	28.967 022 5		
31 22 53 1.316	- 8 3 23.26	29.100 956 4	15 22 48 34.072	- 8 31 17.44	28.970 740 9		
Août	1 22 52 56.451	- 8 3 54.74	29.091 920 3	16 22 48 28.090	- 8 31 53.94	28.974 749 5	
	2 22 52 51.511	- 8 4 26.64	29.083 132 0	17 22 48 22.136	- 8 32 30.22	28.979 047 1	
	3 22 52 46.498	- 8 4 58.96	29.074 594 6	18 22 48 16.214	- 8 33 6.26	28.983 632 6	
	4 22 52 41.415	- 8 5 31.69	29.066 310 9	19 22 48 10.328	- 8 33 42.04	28.988 505 0	
	5 22 52 36.261	- 8 6 4.80	29.058 283 8	20 22 48 4.480	- 8 34 17.53	28.993 663 2	
	6 22 52 31.042	- 8 6 38.28	29.050 515 8	21 22 47 58.674	- 8 34 52.73	28.999 106 3	
	7 22 52 25.759	- 8 7 12.10	29.043 009 3	22 22 47 52.912	- 8 35 27.62	29.004 833 1	
	8 22 52 20.416	- 8 7 46.26	29.035 766 6	23 22 47 47.194	- 8 36 2.21	29.010 842 6	
	9 22 52 15.015	- 8 8 20.73	29.028 790 0	24 22 47 41.523	- 8 36 36.48	29.017 133 4	
	10 22 52 9.560	- 8 8 55.50	29.022 081 4	25 22 47 35.899	- 8 37 10.44	29.023 704 2	
	11 22 52 4.052	- 8 9 30.54	29.015 642 8	26 22 47 30.323	- 8 37 44.06	29.030 553 4	
	12 22 51 58.494	- 8 10 5.86	29.009 476 2	27 22 47 24.797	- 8 38 17.34	29.037 679 4	
	13 22 51 52.888	- 8 10 41.44	29.003 583 1	28 22 47 19.324	- 8 38 50.27	29.045 080 0	
	14 22 51 47.236	- 8 11 17.27	28.997 965 2	29 22 47 13.906	- 8 39 22.82	29.052 753 5	
	15 22 51 41.539	- 8 11 53.33	28.992 624 2	30 22 47 8.546	- 8 39 54.98	29.060 697 4	
	16 22 51 35.799	- 8 12 29.64	28.987 561 4	Oct.	1 22 47 3.247	- 8 40 26.72	29.068 909 4

NEPTUNE 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	2	22	46	58.013	- 8	40	58.04	29.077 386 9	Nov.	17	22	44	37.478	- 8	54	24.27	29.695 183 4	
	3	22	46	52.847	- 8	41	28.90	29.086 127 4		18	22	44	37.110	- 8	54	25.21	29.712 008 9	
	4	22	46	47.750	- 8	41	59.31	29.095 128 0		19	22	44	36.867	- 8	54	25.39	29.728 904 0	
	5	22	46	42.726	- 8	42	29.24	29.104 385 8		20	22	44	36.750	- 8	54	24.81	29.745 863 9	
	6	22	46	37.777	- 8	42	58.68	29.113 897 8		21	22	44	36.758	- 8	54	23.48	29.762 883 5	
	7	22	46	32.904	- 8	43	27.64	29.123 660 8		22	22	44	36.893	- 8	54	21.37	29.779 957 8	
	8	22	46	28.109	- 8	43	56.09	29.133 671 8		23	22	44	37.155	- 8	54	18.49	29.797 081 5	
	9	22	46	23.393	- 8	44	24.04	29.143 927 3		24	22	44	37.545	- 8	54	14.82	29.814 249 2	
	10	22	46	18.758	- 8	44	51.48	29.154 424 0		25	22	44	38.066	- 8	54	10.37	29.831 455 6	
	11	22	46	14.204	- 8	45	18.40	29.165 158 5		26	22	44	38.717	- 8	54	5.12	29.848 695 2	
	12	22	46	9.732	- 8	45	44.80	29.176 127 4		27	22	44	39.500	- 8	53	59.08	29.865 962 6	
	13	22	46	5.343	- 8	46	10.66	29.187 327 1		28	22	44	40.415	- 8	53	52.24	29.883 252 3	
	14	22	46	1.040	- 8	46	35.97	29.198 754 1		29	22	44	41.462	- 8	53	44.60	29.900 558 6	
	15	22	45	56.825	- 8	47	0.71	29.210 405 1		30	22	44	42.642	- 8	53	36.17	29.917 875 9	
	16	22	45	52.700	- 8	47	24.87	29.222 276 5		Déc.	1	22	44	43.953	- 8	53	26.95	29.935 198 8
	17	22	45	48.670	- 8	47	48.42	29.234 365 1			2	22	44	45.395	- 8	53	16.95	29.952 521 5
18	22	45	44.736	- 8	48	11.36	29.246 667 6	3	22		44	46.967	- 8	53	6.17	29.969 838 5		
19	22	45	40.902	- 8	48	33.67	29.259 180 7	4	22		44	48.668	- 8	52	54.63	29.987 144 3		
20	22	45	37.166	- 8	48	55.37	29.271 901 0	5	22		44	50.497	- 8	52	42.32	30.004 433 3		
21	22	45	33.530	- 8	49	16.44	29.284 825 3	6	22		44	52.452	- 8	52	29.26	30.021 700 1		
22	22	45	29.994	- 8	49	36.89	29.297 949 9	7	22	44	54.534	- 8	52	15.43	30.038 939 2			
23	22	45	26.557	- 8	49	56.72	29.311 271 3	8	22	44	56.741	- 8	52	0.85	30.056 145 4			
24	22	45	23.222	- 8	50	15.92	29.324 785 5	9	22	44	59.075	- 8	51	45.51	30.073 313 4			
25	22	45	19.988	- 8	50	34.48	29.338 488 7	10	22	45	1.536	- 8	51	29.40	30.090 438 2			
26	22	45	16.859	- 8	50	52.39	29.352 376 7	11	22	45	4.124	- 8	51	12.51	30.107 514 8			
27	22	45	13.836	- 8	51	9.62	29.366 445 2	12	22	45	6.841	- 8	50	54.86	30.124 538 3			
28	22	45	10.922	- 8	51	26.18	29.380 690 0	13	22	45	9.686	- 8	50	36.43	30.141 504 1			
29	22	45	8.119	- 8	51	42.04	29.395 106 5	14	22	45	12.658	- 8	50	17.26	30.158 407 5			
30	22	45	5.429	- 8	51	57.19	29.409 690 1	15	22	45	15.754	- 8	49	57.35	30.175 243 8			
31	22	45	2.855	- 8	52	11.63	29.424 436 1	16	22	45	18.972	- 8	49	36.72	30.192 008 6			
Nov.	1	22	45	0.396	- 8	52	25.35	29.439 339 8	17	22	45	22.310	- 8	49	15.38	30.208 697 0		
	2	22	44	58.056	- 8	52	38.34	29.454 396 3	18	22	45	25.766	- 8	48	53.33	30.225 304 4		
	3	22	44	55.835	- 8	52	50.61	29.469 600 7	19	22	45	29.340	- 8	48	30.59	30.241 825 8		
	4	22	44	53.733	- 8	53	2.14	29.484 948 0	20	22	45	33.031	- 8	48	7.14	30.258 256 4		
	5	22	44	51.750	- 8	53	12.94	29.500 433 2	21	22	45	36.841	- 8	47	42.98	30.274 591 2		
	6	22	44	49.888	- 8	53	23.01	29.516 051 3	22	22	45	40.768	- 8	47	18.11	30.290 825 2		
	7	22	44	48.145	- 8	53	32.35	29.531 797 2	23	22	45	44.814	- 8	46	52.53	30.306 953 4		
	8	22	44	46.523	- 8	53	40.95	29.547 665 8	24	22	45	48.978	- 8	46	26.25	30.322 970 7		
	9	22	44	45.021	- 8	53	48.82	29.563 652 0	25	22	45	53.259	- 8	45	59.27	30.338 872 3		
	10	22	44	43.639	- 8	53	55.95	29.579 750 8	26	22	45	57.658	- 8	45	31.59	30.354 653 0		
	11	22	44	42.380	- 8	54	2.32	29.595 957 1	27	22	46	2.172	- 8	45	3.23	30.370 307 9		
	12	22	44	41.244	- 8	54	7.94	29.612 266 0	28	22	46	6.801	- 8	44	34.20	30.385 832 1		
	13	22	44	40.234	- 8	54	12.77	29.628 672 7	29	22	46	11.542	- 8	44	4.50	30.401 220 7		
	14	22	44	39.351	- 8	54	16.83	29.645 172 5	30	22	46	16.394	- 8	43	34.14	30.416 468 9		
	15	22	44	38.598	- 8	54	20.09	29.661 760 6	31	22	46	21.355	- 8	43	3.15	30.431 571 7		
	16	22	44	37.974	- 8	54	22.57	29.678 432 4	32	22	46	26.423	- 8	42	31.54	30.446 524 7		

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 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua			
Janv.	0	19	3	29.659	-21	2	13.55	33.990 460 94	Juill.	2	19	9	13.632	-21	5	34.63	32.116 470 76	
	4	19	4	5.126	-21	1	42.48	33.997 877 99		6	19	8	48.558	-21	6	39.68	32.114 449 91	
	8	19	4	40.658	-21	1	10.03	34.000 592 66		10	19	8	23.419	-21	7	45.30	32.117 119 90	
	12	19	5	16.116	-21	0	36.41	33.998 589 19		14	19	7	58.371	-21	8	51.23	32.124 465 30	
	16	19	5	51.355	-21	0	1.86	33.991 889 75		18	19	7	33.563	-21	9	57.22	32.136 445 57	
	20	19	6	26.235	-20	59	26.64	33.980 558 76		22	19	7	9.137	-21	11	3.04	32.153 004 91	
	24	19	7	0.628	-20	58	50.97	33.964 683 80		26	19	6	45.228	-21	12	8.44	32.174 082 36	
	28	19	7	34.415	-20	58	15.09	33.944 355 53		30	19	6	21.976	-21	13	13.18	32.199 613 71	
Févr.	1	19	8	7.474	-20	57	39.26	33.919 669 15	Août	3	19	5	59.526	-21	14	17.01	32.229 512 51	
	5	19	8	39.679	-20	57	3.74	33.890 735 49		7	19	5	38.025	-21	15	19.71	32.263 651 08	
	9	19	9	10.905	-20	56	28.82	33.857 690 26			11	19	5	17.609	-21	16	21.06	32.301 865 14
	13	19	9	41.025	-20	55	54.77	33.820 705 59			15	19	4	58.400	-21	17	20.86	32.343 970 86
	17	19	10	9.922	-20	55	21.84	33.779 991 62			19	19	4	40.510	-21	18	18.92	32.389 773 19
	21	19	10	37.495	-20	54	50.30	33.735 771 95		23	19	4	24.038	-21	19	15.07	32.439 078 63	
	25	19	11	3.653	-20	54	20.37	33.688 267 01		27	19	4	9.088	-21	20	9.13	32.491 692 88	
Mars	29	19	11	28.305	-20	53	52.31	33.637 697 55	Sept.	31	19	3	55.762	-21	21	0.91	32.547 399 60	
	4	19	11	51.361	-20	53	26.37	33.584 295 68		4	19	3	44.158	-21	21	50.27	32.605 945 96	
	8	19	12	12.732	-20	53	2.79	33.528 312 50		8	19	3	34.359	-21	22	37.05	32.667 052 57	
	12	19	12	32.333	-20	52	41.80	33.470 029 11		12	19	3	26.429	-21	23	21.15	32.730 428 77	
	16	19	12	50.094	-20	52	23.61	33.409 755 83		16	19	3	20.422	-21	24	2.44	32.795 782 49	
	20	19	13	5.963	-20	52	8.39	33.347 804 01		20	19	3	16.378	-21	24	40.83	32.862 831 10	
	24	19	13	19.897	-20	51	56.31	33.284 471 22		24	19	3	14.337	-21	25	16.21	32.931 298 25	
	28	19	13	31.858	-20	51	47.52	33.220 049 03		28	19	3	14.338	-21	25	48.48	33.000 889 53	
Avril	1	19	13	41.810	-20	51	42.18	33.154 832 54	Oct.	2	19	3	16.412	-21	26	17.56	33.071 281 95	
	5	19	13	49.721	-20	51	40.42	33.089 128 24		6	19	3	20.570	-21	26	43.39	33.142 139 85	
	9	19	13	55.563	-20	51	42.35	33.023 262 91			10	19	3	26.811	-21	27	5.94	33.213 126 51
	13	19	13	59.330	-20	51	48.03	32.957 581 87			14	19	3	35.116	-21	27	25.15	33.283 915 71
	17	19	14	1.034	-20	51	57.51	32.892 416 62			18	19	3	45.458	-21	27	41.02	33.354 200 59
	21	19	14	0.695	-20	52	10.82	32.828 074 84		22	19	3	57.810	-21	27	53.50	33.423 688 98	
	25	19	13	58.339	-20	52	27.95	32.764 850 03		26	19	4	12.146	-21	28	2.59	33.492 075 87	
Mai	29	19	13	53.995	-20	52	48.92	32.703 031 09	Nov.	30	19	4	28.425	-21	28	8.28	33.559 039 85	
	3	19	13	47.695	-20	53	13.70	32.642 910 23		3	19	4	46.596	-21	28	10.60	33.624 258 67	
	7	19	13	39.481	-20	53	42.23	32.584 790 79		7	19	5	6.588	-21	28	9.58	33.687 422 44	
	11	19	13	29.414	-20	54	14.43	32.528 981 00		11	19	5	28.323	-21	28	5.28	33.748 242 50	
	15	19	13	17.574	-20	54	50.17	32.475 763 31		15	19	5	51.714	-21	27	57.75	33.806 459 32	
	19	19	13	4.046	-20	55	29.33	32.425 386 44		19	19	6	16.678	-21	27	47.06	33.861 835 09	
	23	19	12	48.921	-20	56	11.78	32.378 078 10		23	19	6	43.133	-21	27	33.27	33.914 127 03	
	27	19	12	32.288	-20	56	57.35	32.334 054 66		27	19	7	10.985	-21	27	16.47	33.963 085 04	
	31	19	12	14.242	-20	57	45.88	32.293 529 06	Déc.	1	19	7	40.131	-21	26	56.79	34.008 470 72	
Juin	4	19	11	54.886	-20	58	37.19	32.256 717 49		5	19	8	10.455	-21	26	34.36	34.050 068 51	
	8	19	11	34.338	-20	59	31.05	32.223 828 44			9	19	8	41.832	-21	26	9.32	34.087 693 89
	12	19	11	12.735	-21	0	27.23	32.195 034 89			13	19	9	14.137	-21	25	41.82	34.121 197 73
	16	19	10	50.213	-21	1	25.50	32.170 469 91			17	19	9	47.251	-21	25	12.02	34.150 458 13
	20	19	10	26.908	-21	2	25.61	32.150 241 42		21	19	10	21.058	-21	24	40.09	34.175 351 72	
	24	19	10	2.953	-21	3	27.33	32.134 441 74		25	19	10	55.436	-21	24	6.21	34.195 756 68	
	28	19	9	38.481	-21	4	30.43	32.123 156 97		29	19	11	30.251	-21	23	30.61	34.211 570 22	

CÉRÈS 2016 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	21	36	48.471	-22	52	20.08	3.649 650 13	Juill.	2	1	51	0.348	0	53	43.13	3.043 299 43	
	4	21	42	36.536	-22	21	30.76	3.685 175 10		6	1	55	0.757	1	8	5.76	2.990 093 11	
	8	21	48	27.218	-21	50	3.60	3.718 685 24		10	1	58	51.402	1	21	0.55	2.936 283 51	
	12	21	54	20.131	-21	18	0.60	3.750 106 70		14	2	2	31.592	1	32	25.34	2.882 007 06	
	16	22	0	14.852	-20	45	24.07	3.779 375 92		18	2	6	0.623	1	42	18.15	2.827 393 99	
	20	22	6	10.972	-20	12	16.32	3.806 453 91		22	2	9	17.742	1	50	36.99	2.772 568 68	
	24	22	12	8.160	-19	38	39.41	3.831 320 75		26	2	12	22.096	1	57	19.71	2.717 654 19	
	28	22	18	6.186	-19	4	35.27	3.853 956 12		30	2	15	12.695	2	2	23.99	2.662 788 44	
Févr.	1	22	24	4.854	-18	30	5.99	3.874 328 51	Août	3	2	17	48.475	2	5	47.85	2.608 140 72	
	5	22	30	3.969	-17	55	13.93	3.892 399 37		7	2	20	8.414	2	7	30.15	2.553 905 39	
	9	22	36	3.312	-17	20	1.75	3.908 128 60			11	2	22	11.568	2	7	30.57	2.500 282 28
	13	22	42	2.620	-16	44	32.40	3.921 484 75			15	2	23	57.019	2	5	49.37	2.447 468 29
	17	22	48	1.623	-16	8	48.78	3.932 461 53			19	2	25	23.863	2	2	27.27	2.395 658 06
	21	22	54	0.126	-15	32	53.51	3.941 071 20		23	2	26	31.145	1	57	25.33	2.345 047 53	
	25	22	59	58.006	-14	56	48.99	3.947 324 43		27	2	27	17.854	1	50	45.10	2.295 852 77	
	29	23	5	55.174	-14	20	37.73	3.951 221 02		31	2	27	43.041	1	42	29.42	2.248 324 44	
Mars	4	23	11	51.530	-13	44	22.41	3.952 753 35	Sept.	4	2	27	45.980	1	32	43.04	2.202 735 16	
	8	23	17	46.947	-13	8	5.96	3.951 910 62		8	2	27	26.218	1	21	32.52	2.159 358 60	
	12	23	23	41.244	-12	31	51.59	3.948 688 36		12	2	26	43.559	1	9	6.06	2.118 460 59	
	16	23	29	34.217	-11	55	42.48	3.943 107 56		16	2	25	38.054	0	55	33.38	2.080 296 76	
	20	23	35	25.723	-11	19	41.48	3.935 207 51		20	2	24	9.967	0	41	5.47	2.045 113 00	
	24	23	41	15.684	-10	43	51.15	3.925 024 50		24	2	22	19.783	0	25	54.86	2.013 164 72	
	28	23	47	4.041	-10	8	14.11	3.912 584 00		28	2	20	8.401	0	10	16.40	1.984 722 55	
Avril	1	23	52	50.724	-9	32	53.12	3.897 903 04	Oct.	2	2	17	37.294	-0	5	32.53	1.960 050 56	
	5	23	58	35.622	-8	57	51.16	3.880 994 18		6	2	14	48.490	-0	21	12.75	1.939 380 23	
	9	0	4	18.566	-8	23	11.48	3.861 874 80			10	2	11	44.496	-0	36	24.08	1.922 901 25
	13	0	9	59.344	-7	48	57.35	3.840 586 61			14	2	8	28.183	-0	50	46.18	1.910 756 61
	17	0	15	37.793	-7	15	11.64	3.817 190 32		18	2	5	2.657	-1	3	59.46	1.903 044 69	
	21	0	21	13.809	-6	41	56.96	3.791 742 97		22	2	1	31.168	-1	15	45.31	1.899 839 29	
	25	0	26	47.300	-6	9	15.90	3.764 290 14		26	1	57	57.213	-1	25	45.75	1.901 192 86	
	29	0	32	18.150	-5	37	11.19	3.734 868 59		30	1	54	24.530	-1	33	43.99	1.907 111 73	
Mai	3	0	37	46.198	-5	5	45.76	3.703 509 48	Nov.	3	1	50	56.893	-1	39	25.66	1.917 539 77	
	7	0	43	11.206	-4	35	2.86	3.670 248 64		7	1	47	37.906	-1	42	39.50	1.932 361 29	
	11	0	48	32.880	-4	5	5.76	3.635 144 99		11	1	44	30.837	-1	43	17.84	1.951 407 89	
	15	0	53	50.963	-3	35	57.36	3.598 277 88		15	1	41	38.472	-1	41	16.66	1.974 473 43	
	19	0	59	5.249	-3	7	40.21	3.559 722 88		19	1	39	3.106	-1	36	34.94	2.001 343 08	
	23	1	4	15.534	-2	40	16.86	3.519 544 68		23	1	36	46.708	-1	29	13.48	2.031 797 98	
	27	1	9	21.582	-2	13	49.98	3.477 798 62		27	1	34	50.962	-1	19	14.75	2.065 595 32	
	31	1	14	23.095	-1	48	22.49	3.434 534 69		1	1	33	17.158	-1	6	43.18	2.102 462 18	
Juin	4	1	19	19.678	-1	23	57.62	3.389 808 64	Déc.	5	1	32	6.151	-0	51	44.98	2.142 104 65	
	8	1	24	10.867	-1	0	38.62	3.343 699 69			9	1	31	18.345	-0	34	27.91	2.184 217 80
	12	1	28	56.218	-0	38	28.35	3.296 308 63			13	1	30	53.727	-0	15	0.89	2.228 502 18
	16	1	33	35.331	-0	0	17.2931	3.247 734 31			17	1	30	51.965	0	6	26.72	2.274 685 29
	20	1	38	7.799	0	2	16.05	3.198 066 04			21	1	31	12.634	0	29	46.11	2.322 519 58
	24	1	42	33.169	0	20	45.17	3.147 384 82		25	1	31	55.257	0	54	48.88	2.371 757 88	
	28	1	46	50.904	0	37	55.24	3.095 767 34		29	1	32	59.246	1	21	26.71	2.422 146 28	

PALLAS 2016 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance				
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua				
Janv.	0	19	17	56.793	1	52	46.81	4.237 342 58	Juill.	2	21	56	58.082	14	10	53.07	2.761 251 99		
	4	19	23	25.156	1	53	16.38	4.251 213 85		6	21	55	49.617	14	10	4.64	2.714 385 79		
	8	19	28	53.360	1	55	18.62	4.262 679 42		10	21	54	23.724	14	6	7.06	2.669 755 46		
	12	19	34	21.015	1	58	51.58	4.271 690 46		14	21	52	41.083	13	58	49.32	2.627 635 31		
	16	19	39	47.702	2	3	52.87	4.278 215 28		18	21	50	42.588	13	48	2.00	2.588 287 01		
	20	19	45	13.031	2	10	19.68	4.282 246 05		22	21	48	29.323	13	33	37.34	2.551 963 57		
	24	19	50	36.685	2	18	9.14	4.283 785 03		26	21	46	2.570	13	15	29.31	2.518 917 43		
	28	19	55	58.398	2	27	18.56	4.282 826 21		30	21	43	23.877	12	53	33.86	2.489 409 38		
Févr.	1	20	1	17.892	2	37	45.43	4.279 353 28	Août	3	21	40	35.164	12	27	50.08	2.463 699 63		
	5	20	6	34.859	2	49	27.13	4.273 348 30		7	21	37	38.727	11	58	21.50	2.442 019 98		
		9	20	11	48.950	3	2	20.85		4.264 799 26		11	21	34	37.080	11	25	16.41	2.424 556 97
		13	20	16	59.782	3	16	23.37		4.253 711 28		15	21	31	32.830	10	48	47.35	2.411 454 67
		17	20	22	6.994	3	31	31.07		4.240 115 00		19	21	28	28.599	10	9	10.60	2.402 818 26
	21	20	27	10.301	3	47	40.35	4.224 050 31		23	21	25	26.952	9	26	45.44	2.398 724 79		
	25	20	32	9.454	4	4	47.89	4.205 548 66		27	21	22	30.448	8	41	53.72	2.399 231 28		
Mars	29	20	37	4.194	4	22	50.50	4.184 631 83	Sept.	31	21	19	41.681	7	55	0.17	2.404 361 67		
	4	20	41	54.222	4	41	44.95	4.161 320 02		4	21	17	3.178	7	6	32.23	2.414 082 43		
	8	20	46	39.193	5	1	27.77	4.135 638 55		8	21	14	37.230	6	16	58.90	2.428 299 30		
	12	20	51	18.715	5	21	55.11	4.107 629 30		12	21	12	25.793	5	26	49.22	2.446 868 88		
	16	20	55	52.409	5	43	2.66	4.077 361 20		16	21	10	30.460	4	36	31.15	2.469 611 40		
	20	21	0	19.968	6	4	46.20	4.044 911 98		20	21	8	52.459	3	46	30.62	2.496 328 22		
	24	21	4	41.115	6	27	1.79	4.010 349 97		24	21	7	32.780	2	57	11.22	2.526 815 21		
	28	21	8	55.546	6	49	45.61	3.973 734 75		28	21	6	32.261	2	8	54.70	2.560 848 02		
Avril	1	21	13	2.911	7	12	53.74	3.935 124 19	Oct.	2	21	5	51.527	1	22	0.88	2.598 165 49		
	5	21	17	2.799	7	36	21.99	3.894 581 50		6	21	5	30.900	0	36	47.02	2.638 477 03		
		9	21	20	54.739	8	0	5.64		3.852 186 52		10	21	5	30.414	- 0	6	32.60	2.681 476 66
		13	21	24	38.263	8	23	59.38		3.808 047 38		14	21	5	49.835	- 0	47	46.74	2.726 857 46
		17	21	28	12.970	8	47	57.98		3.762 281 32		18	21	6	28.728	- 1	26	47.09	2.774 326 42
	21	21	31	38.482	9	11	56.42	3.714 996 36		22	21	7	26.587	- 2	3	27.72	2.823 613 75		
	25	21	34	54.381	9	35	49.69	3.666 292 56		26	21	8	42.923	- 2	37	44.18	2.874 451 30		
Mai	29	21	38	0.194	9	59	32.52	3.616 269 72	Nov.	30	21	10	17.189	- 3	9	33.29	2.926 556 70		
	3	21	40	55.369	10	22	59.18	3.565 034 34		3	21	12	8.721	- 3	38	53.44	2.979 640 59		
	7	21	43	39.289	10	46	3.14	3.512 712 12		7	21	14	16.751	- 4	5	44.46	3.033 419 23		
	11	21	46	11.342	11	8	37.05	3.459 457 87		11	21	16	40.426	- 4	30	7.59	3.087 623 40		
	15	21	48	30.992	11	30	33.42	3.405 437 62		15	21	19	18.853	- 4	52	5.22	3.142 009 69		
	19	21	50	37.733	11	51	44.87	3.350 808 95		19	21	22	11.201	- 5	11	40.41	3.196 365 66		
	23	21	52	31.026	12	12	3.78	3.295 724 15		23	21	25	16.746	- 5	28	56.29	3.250 484 54		
	27	21	54	10.280	12	31	22.03	3.240 337 45		27	21	28	34.793	- 5	43	56.18	3.304 149 04		
	31	21	55	34.843	12	49	30.68	3.184 813 46	Déc.	1	21	32	4.615	- 5	56	43.81	3.357 140 05		
Juin	4	21	56	44.026	13	6	19.64	3.129 340 18		5	21	35	45.454	- 6	7	23.38	3.409 246 78		
		8	21	57	37.202	13	21	37.76		3.074 136 00		9	21	39	36.529	- 6	15	59.55	3.460 275 03
		12	21	58	13.891	13	35	13.67		3.019 431 49		13	21	43	37.076	- 6	22	37.28	3.510 056 54
		16	21	58	33.707	13	46	56.07		2.965 449 93		17	21	47	46.411	- 6	27	21.56	3.558 452 36
		20	21	58	36.311	13	56	33.49	2.912 410 96		21	21	52	3.976	- 6	30	17.01	3.605 327 29	
	24	21	58	21.396	14	3	53.98	2.860 537 41		25	21	56	29.251	- 6	31	28.12	3.650 535 38		
	28	21	57	48.705	14	8	44.97	2.810 064 48		29	22	1	1.703	- 6	30	59.48	3.693 927 74		

JUNON 2016 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 21 27.496	- 7 52 48.83	3.440 969 03	Juill.	2	14 7 8.021	0 38 52.24	2.866 269 94		
	4	14 25 38.198	- 8 0 50.91	3.394 360 80		6	14 7 44.457	0 25 17.28	2.922 108 79		
	8	14 29 39.379	- 8 7 19.42	3.346 374 79		10	14 8 37.784	0 10 13.21	2.978 815 94		
	12	14 33 30.249	- 8 12 11.32	3.297 158 90		14	14 9 47.366	- 0 6 11.55	3.036 149 56		
	16	14 37 10.021	- 8 15 23.84	3.246 886 06		18	14 11 12.505	- 0 23 48.90	3.093 891 94		
	20	14 40 37.964	- 8 16 54.72	3.195 738 69		22	14 12 52.500	- 0 42 31.27	3.151 849 74		
	24	14 43 53.367	- 8 16 41.96	3.143 890 58		26	14 14 46.703	- 1 2 11.73	3.209 849 46		
	28	14 46 55.452	- 8 14 43.51	3.091 508 44		30	14 16 54.547	- 1 22 43.98	3.267 721 28		
Févr.	1	14 49 43.351	- 8 10 57.26	3.038 770 33	Août	3	14 19 15.498	- 1 44 1.89	3.325 282 65		
	5	14 52 16.134	- 8 5 21.23	2.985 875 82		7	14 21 48.966	- 2 5 59.27	3.382 345 02		
		9	14 54 32.855	- 7 57 53.80		2.933 050 35		11	14 24 34.309	- 2 28 29.97	3.438 733 51
		13	14 56 32.616	- 7 48 34.06		2.880 546 59		15	14 27 30.888	- 2 51 28.19	3.494 295 13
		17	14 58 14.653	- 7 37 21.99		2.828 626 05		19	14 30 38.099	- 3 14 48.55	3.548 897 66
	21	14 59 38.284	- 7 24 18.28	2.777 539 12		23	14 33 55.417	- 3 38 26.22	3.602 426 17		
	25	15 0 42.832	- 7 9 24.01	2.727 530 80		27	14 37 22.414	- 4 2 16.81	3.654 764 45		
Mars	29	15 1 27.615	- 6 52 40.85	2.678 857 10	Sept.	31	14 40 58.696	- 4 26 16.02	3.705 780 03		
	4	15 1 52.010	- 6 34 11.41	2.631 793 41		4	14 44 43.824	- 4 50 19.41	3.755 334 38		
	8	15 1 55.517	- 6 13 59.54	2.586 636 63		8	14 48 37.325	- 5 14 22.54	3.803 300 94		
	12	15 1 37.861	- 5 52 10.89	2.543 703 87		12	14 52 38.728	- 5 38 21.16	3.849 571 45		
	16	15 0 59.102	- 5 28 53.08	2.503 308 32		16	14 56 47.591	- 6 2 11.28	3.894 055 77		
	20	14 59 59.566	- 5 4 15.36	2.465 737 02		20	15 1 3.539	- 6 25 49.32	3.936 679 97		
	24	14 58 39.759	- 4 38 28.27	2.431 258 13		24	15 5 26.284	- 6 49 12.02	3.977 365 60		
	28	14 57 0.387	- 4 11 43.90	2.400 134 68		28	15 9 55.551	- 7 12 16.08	4.016 016 48		
Avril	1	14 55 2.419	- 3 44 16.08	2.372 627 48	Oct.	2	15 14 31.018	- 7 34 58.07	4.052 530 09		
	5	14 52 47.149	- 3 16 20.56	2.348 993 10		6	15 19 12.321	- 7 57 14.52	4.086 815 90		
		9	14 50 16.278	- 2 48 15.11		2.329 475 46		10	15 23 59.089	- 8 19 2.07	4.118 799 46
		13	14 47 31.967	- 2 20 19.16		2.314 278 34		14	15 28 50.967	- 8 40 17.56	4.148 423 97
		17	14 44 36.658	- 1 52 52.53		2.303 542 91		18	15 33 47.649	- 9 0 58.16	4.175 648 22
	21	14 41 32.914	- 1 26 14.67	2.297 362 15		22	15 38 48.902	- 9 21 1.27	4.200 426 89		
	25	14 38 23.384	- 1 0 44.48	2.295 795 33		26	15 43 54.500	- 9 40 24.29	4.222 695 42		
Mai	29	14 35 10.800	- 0 36 40.02	2.298 871 35	Nov.	30	15 49 4.153	- 9 59 4.49	4.242 384 37		
	3	14 31 57.960	- 0 14 18.27	2.306 589 26		3	15 54 17.527	-10 16 59.10	4.259 436 34		
	7	14 28 47.730	0 6 5.18	2.318 911 84		7	15 59 34.270	-10 34 5.51	4.273 809 94		
	11	14 25 42.991	0 24 16.78	2.335 744 43		11	16 4 54.034	-10 50 21.28	4.285 481 63		
	15	14 22 46.402	0 40 6.19	2.356 927 28		15	16 10 16.509	-11 5 44.27	4.294 443 69		
	19	14 20 0.259	0 53 26.41	2.382 263 57		19	16 15 41.452	-11 20 12.58	4.300 685 42		
	23	14 17 26.511	1 4 13.25	2.411 539 18		23	16 21 8.616	-11 33 44.34	4.304 177 40		
	27	14 15 6.798	1 12 24.89	2.444 530 98		27	16 26 37.690	-11 46 17.59	4.304 885 60		
Juin	31	14 13 2.505	1 18 1.45	2.481 009 92	Déc.	1	16 32 8.309	-11 57 50.42	4.302 788 75		
	4	14 11 14.817	1 21 4.67	2.520 735 64		5	16 37 40.084	-12 8 21.11	4.297 882 22		
		8	14 9 44.702	1 21 38.02		2.563 439 52		9	16 43 12.624	-12 17 48.14	4.290 180 14
		12	14 8 32.787	1 19 47.00		2.608 825 68		13	16 48 45.573	-12 26 10.30	4.279 711 76
		16	14 7 39.334	1 15 38.69		2.656 599 38		17	16 54 18.635	-12 33 26.63	4.266 505 64
	20	14 7 4.344	1 9 20.96	2.706 482 14		21	16 59 51.512	-12 39 36.25	4.250 571 33		
	24	14 6 47.644	1 1 1.96	2.758 214 80		25	17 5 23.839	-12 44 38.24	4.231 914 46		
	28	14 6 48.968	0 50 49.77	2.811 556 00		29	17 10 55.193	-12 48 31.82	4.210 553 15		

VESTA 2016 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	31	42.226	-	4	33	22.79	2.350	936	03	Juill.	2	5	16	27.502	20	15	27.81	3.496	939	57
	4	0	35	27.021	-	3	56	28.03	2.406	191	26		6	5	23	39.291	20	25	50.81	3.478	276	68
	8	0	39	25.090	-	3	18	41.25	2.461	205	59		10	5	30	49.868	20	34	56.66	3.457	697	38
	12	0	43	35.622	-	2	40	8.70	2.515	836	01		14	5	37	58.886	20	42	46.11	3.435	240	53
	16	0	47	57.780	-	2	0	56.70	2.569	938	82		18	5	45	6.051	20	49	20.21	3.410	943	87
	20	0	52	30.702	-	1	21	11.57	2.623	388	28	22	5	52	11.096	20	54	40.27	3.384	837	78	
	24	0	57	13.593	-	0	40	59.13	2.676	086	42	26	5	59	13.752	20	58	47.85	3.356	939	27	
Févr.	28	1	2	5.805	-	0	0	24.47	2.727	951	56	30	6	6	13.676	21	1	44.74	3.327	255	33	
	1	1	7	6.817	0	40	27.83	2.778	899	60	Août	3	6	13	10.425	21	3	32.97	3.295	801	98	
	5	1	12	16.169	1	21	33.32	2.828	839	16		7	6	20	3.528	21	4	14.80	3.262	618	11	
	9	1	17	33.427	2	2	47.60	2.877	671	41		11	6	26	52.554	21	3	52.77	3.227	757	39	
	13	1	22	58.123	2	44	6.05	2.925	293	76		15	6	33	37.124	21	2	29.71	3.191	273	92	
17	1	28	29.748	3	25	23.89	2.971	619	94	19	6	40	16.891	21	0	8.71	3.153	216	97			
21	1	34	7.839	4	6	36.65	3.016	590	41	23	6	46	51.507	20	56	53.18	3.113	621	91			
25	1	39	52.046	4	47	40.34	3.060	158	73	27	6	53	20.542	20	52	46.85	3.072	514	49			
Mars	29	1	45	42.107	5	28	31.34	3.102	275	58	Sept.	31	6	59	43.445	20	47	53.82	3.029	931	46	
	4	1	51	37.802	6	9	6.16	3.142	883	90		4	7	5	59.627	20	42	18.51	2.985	933	79	
	8	1	57	38.922	6	49	21.30	3.181	917	96		8	7	12	8.530	20	36	5.61	2.940	597	93	
	12	2	3	45.212	7	29	13.07	3.219	305	68		12	7	18	9.640	20	29	20.10	2.894	004	23	
	16	2	9	56.354	8	8	37.59	3.254	989	61		16	7	24	2.463	20	22	7.25	2.846	230	34	
	20	2	16	12.055	8	47	31.16	3.288	938	53	20	7	29	46.508	20	14	32.67	2.797	341	88		
	24	2	22	32.110	9	25	50.50	3.321	132	99	24	7	35	21.165	20	6	42.47	2.747	395	42		
Avril	28	2	28	56.377	10	3	32.63	3.351	550	18	28	7	40	45.675	19	58	43.26	2.696	461	89		
	1	2	35	24.744	10	40	34.68	3.380	159	31	Oct.	2	7	45	59.217	19	50	42.06	2.644	639	72	
	5	2	41	57.096	11	16	53.84	3.406	919	83		6	7	51	0.984	19	42	46.17	2.592	044	61	
	9	2	48	33.267	11	52	27.17	3.431	783	66		10	7	55	50.191	19	35	3.18	2.538	800	78	
	13	2	55	13.013	12	27	11.54	3.454	713	99		14	8	0	26.063	19	27	40.94	2.485	032	58	
17	3	1	56.093	13	1	3.97	3.475	700	76	18	8	4	47.804	19	20	47.65	2.430	856	35			
21	3	8	42.338	13	34	1.83	3.494	744	88	22	8	8	54.470	19	14	32.08	2.376	381	77			
25	3	15	31.634	14	6	2.78	3.511	843	58	26	8	12	44.918	19	9	3.60	2.321	738	59			
Mai	29	3	22	23.884	14	37	4.64	3.526	985	95	Nov.	30	8	16	17.925	19	4	31.86	2.267	088	66	
	3	3	29	18.983	15	7	5.31	3.540	150	28		3	8	19	32.281	19	1	6.56	2.212	616	39	
	7	3	36	16.770	15	36	2.64	3.551	306	16		7	8	22	26.798	18	58	57.29	2.158	518	40	
	11	3	43	16.995	16	3	54.37	3.560	432	21		11	8	25	0.321	18	58	13.49	2.104	996	48	
	15	3	50	19.396	16	30	38.37	3.567	533	14		15	8	27	11.701	18	59	4.36	2.052	248	98	
	19	3	57	23.775	16	56	12.85	3.572	624	80	19	8	28	59.656	19	1	39.08	2.000	471	91		
	23	4	4	29.978	17	20	36.27	3.575	719	80	23	8	30	22.750	19	6	6.50	1.949	887	04		
	27	4	11	37.872	17	43	47.33	3.576	822	02	27	8	31	19.576	19	12	34.46	1.900	753	06		
Juin	31	4	18	47.309	18	5	44.84	3.575	923	85	Déc.	1	8	31	48.905	19	21	9.11	1.853	352	11	
	4	4	25	58.084	18	26	27.66	3.573	008	11		5	8	31	49.760	19	31	54.49	1.807	977	72	
		8	4	33	9.897	18	45	54.64	3.568	065		53	9	8	31	21.472	19	44	52.14	1.764	924	00
		12	4	40	22.425	19	4	4.79	3.561	111		44	13	8	30	23.683	20	0	0.89	1.724	474	91
		16	4	47	35.401	19	20	57.40	3.552	173		49	17	8	28	56.268	20	17	16.80	1.686	903	37
	20	4	54	48.605	19	36	32.08	3.541	276	66	21	8	26	59.374	20	36	32.71	1.652	496	53		
	24	5	2	1.839	19	50	48.67	3.528	437	71	25	8	24	33.728	20	57	37.25	1.621	556	96		
	28	5	9	14.895	20	3	47.19	3.513	660	59	29	8	21	40.850	21	20	14.64	1.594	381	36		

SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2016

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	"	"
Janv.	1 6	6.479	-4.203	Janv.	16 14	6.285	-5.510	Janv.	31 21	7.704	-5.317
	1 14	6.053	-4.819		16 21	7.009	-4.323		Févr.	1 5	7.414
	1 21	6.465	-3.393		17 5	6.889	-5.139	1 13		6.559	-6.188
	2 5	6.488	-4.303		17 13	6.248	-5.566	1 20	7.752	-5.434	
	2 13	6.022	-4.889		17 20	7.055	-4.444	2 4	7.413	-6.059	
	2 20	6.511	-3.514		18 4	6.892	-5.230	2 12	6.510	-6.221	
	3 4	6.494	-4.401		18 12	6.207	-5.618	2 19	7.797	-5.549	
	3 12	5.988	-4.956		18 19	7.098	-4.564	3 3	7.409	-6.134	
	3 19	6.554	-3.634		19 3	6.892	-5.318	3 10	7.685	-4.688	
	4 3	6.498	-4.497		19 11	6.164	-5.667	3 18	7.839	-5.661	
	4 11	5.951	-5.021		19 18	7.139	-4.681	4 2	7.401	-6.204	
	4 18	6.595	-3.753		20 2	6.890	-5.403	4 9	7.771	-4.831	
5 2	6.499	-4.591	20 10	6.117	-5.713	4 17	7.878	-5.770			
5 10	5.912	-5.082	20 17	7.178	-4.797	5 1	7.390	-6.271			
5 17	6.634	-3.870	21 1	6.884	-5.484	5 8	7.855	-4.973			
6 1	6.497	-4.683	21 9	6.067	-5.754	5 16	7.914	-5.876			
6 9	5.869	-5.140	21 16	7.213	-4.910	6 0	7.375	-6.334			
6 16	6.669	-3.986	22 0	6.875	-5.563	6 7	7.936	-5.112			
7 0	6.492	-4.772	22 8	6.013	-5.791	6 15	7.947	-5.979			
7 8	5.824	-5.195	22 15	7.246	-5.021	6 23	7.357	-6.392			
7 15	6.703	-4.101	22 23	6.863	-5.638	7 6	8.015	-5.249			
7 23	6.485	-4.858	23 7	5.957	-5.825	7 14	7.977	-6.079			
8 7	5.776	-5.247	23 14	7.276	-5.130	7 22	7.334	-6.446			
8 14	6.733	-4.214	23 22	6.847	-5.710	8 5	8.091	-5.384			
8 22	6.474	-4.942	24 5	7.227	-4.297	8 13	8.003	-6.175			
9 6	5.724	-5.295	24 13	7.304	-5.236	8 21	7.308	-6.496			
9 13	6.762	-4.325	24 21	6.829	-5.779	9 4	8.164	-5.516			
9 21	6.461	-5.024	25 4	7.295	-4.431	9 12	8.026	-6.268			
10 5	5.670	-5.340	25 12	7.328	-5.340	9 20	7.277	-6.541			
10 12	6.787	-4.435	25 20	6.807	-5.844	10 3	8.235	-5.646			
10 20	6.445	-5.102	26 3	7.361	-4.563	10 11	8.045	-6.357			
11 4	5.613	-5.381	26 11	7.350	-5.441	10 19	7.243	-6.582			
11 11	6.810	-4.542	26 19	6.782	-5.905	11 2	8.303	-5.773			
11 19	6.426	-5.178	27 2	7.425	-4.694	11 10	8.060	-6.442			
12 3	5.553	-5.419	27 10	7.368	-5.539	11 18	7.204	-6.617			
12 10	6.830	-4.647	27 18	6.754	-5.962	12 1	8.368	-5.898			
12 18	6.404	-5.251	28 1	7.486	-4.823	12 9	8.072	-6.523			
13 1	6.800	-3.822	28 9	7.384	-5.634	12 17	7.161	-6.648			
13 9	6.847	-4.750	28 17	6.722	-6.016	13 0	8.430	-6.020			
13 17	6.379	-5.320	29 0	7.544	-4.950	13 8	8.080	-6.600			
14 0	6.856	-3.949	29 8	7.396	-5.725	13 16	7.113	-6.674			
14 8	6.862	-4.851	29 16	6.687	-6.065	13 23	8.489	-6.138			
14 16	6.350	-5.387	29 23	7.600	-5.074	14 7	8.084	-6.673			
14 23	6.909	-4.075	30 7	7.405	-5.814	14 14	8.359	-5.290			
15 7	6.874	-4.950	30 15	6.648	-6.111	14 22	8.544	-6.253			
15 15	6.319	-5.450	30 22	7.654	-5.197	15 6	8.084	-6.741			
15 22	6.960	-4.200	31 6	7.411	-5.899	15 13	8.463	-5.441			
16 6	6.883	-5.046	31 14	6.606	-6.152	15 21	8.597	-6.365			

PHOBOS 2016

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.	16 5	8.079	-6.805	Mars	2 12	9.914	-6.897	Mars	17 20	10.971	-8.600
	16 12	8.565	-5.590		2 20	9.742	-7.539		18 3	11.435	-7.573
	16 20	8.645	-6.473		3 4	8.825	-7.604		18 11	11.652	-8.439
	17 4	8.070	-6.864		3 11	10.019	-7.037		18 19	10.980	-8.659
	17 11	8.664	-5.736		3 19	9.779	-7.626		19 2	11.607	-7.754
	17 19	8.690	-6.578		4 3	8.791	-7.629		19 10	11.743	-8.561
	18 3	8.057	-6.918		4 10	10.120	-7.174		19 18	10.980	-8.712
	18 10	8.760	-5.880		4 18	9.811	-7.708		20 1	11.775	-7.932
	18 18	8.731	-6.679		5 1	9.822	-6.274		20 9	11.826	-8.678
	19 2	8.039	-6.968		5 9	10.217	-7.307		20 17	10.972	-8.757
	19 9	8.853	-6.021		5 17	9.837	-7.785		21 0	11.937	-8.106
	19 17	8.768	-6.776		6 0	9.979	-6.451		21 8	11.902	-8.789
	20 1	8.016	-7.012		6 8	10.309	-7.436		21 16	10.953	-8.795
	20 8	8.944	-6.159		6 16	9.857	-7.856		21 23	12.094	-8.276
	20 16	8.801	-6.868		6 23	10.132	-6.625		22 7	11.969	-8.894
21 0	7.989	-7.051	7 7	10.397	-7.561	22 15	10.925	-8.827			
21 7	9.031	-6.294	7 15	9.871	-7.921	22 22	12.244	-8.442			
21 15	8.830	-6.956	7 22	10.283	-6.796	23 6	12.029	-8.992			
21 23	7.956	-7.085	8 6	10.479	-7.682	23 14	10.887	-8.850			
22 6	9.115	-6.427	8 14	9.878	-7.981	23 21	12.389	-8.603			
22 14	8.855	-7.040	8 21	10.430	-6.964	24 5	12.080	-9.085			
22 22	7.918	-7.114	9 5	10.557	-7.798	24 12	11.977	-7.680			
23 5	9.196	-6.555	9 13	9.879	-8.034	24 20	12.526	-8.759			
23 13	8.875	-7.120	9 20	10.573	-7.129	25 4	12.121	-9.171			
23 21	7.875	-7.137	10 4	10.629	-7.909	25 11	12.194	-7.891			
24 4	9.273	-6.681	10 12	9.873	-8.082	25 19	12.656	-8.911			
24 12	8.891	-7.194	10 19	10.713	-7.291	26 3	12.153	-9.250			
24 19	9.084	-5.823	11 3	10.695	-8.015	26 10	12.406	-8.099			
25 3	9.347	-6.802	11 11	9.860	-8.123	26 18	12.779	-9.057			
25 11	8.901	-7.264	11 18	10.848	-7.449	27 2	12.174	-9.322			
25 18	9.212	-5.985	12 2	10.755	-8.115	27 9	12.613	-8.303			
26 2	9.416	-6.920	12 10	9.839	-8.158	27 17	12.893	-9.197			
26 10	8.907	-7.329	12 17	10.979	-7.604	28 1	12.186	-9.387			
26 17	9.337	-6.144	13 1	10.809	-8.211	28 8	12.814	-8.504			
27 1	9.482	-7.034	13 9	9.810	-8.187	28 16	12.998	-9.332			
27 9	8.907	-7.388	13 16	11.105	-7.754	29 0	12.186	-9.445			
27 16	9.458	-6.300	14 0	10.856	-8.301	29 7	13.009	-8.701			
28 0	9.543	-7.144	14 8	9.773	-8.208	29 15	13.094	-9.461			
28 8	8.902	-7.443	14 15	11.226	-7.900	29 23	12.174	-9.495			
28 15	9.577	-6.454	14 23	10.896	-8.385	30 6	13.196	-8.893			
28 23	9.600	-7.250	15 6	10.892	-7.008	30 14	13.181	-9.583			
29 7	8.892	-7.491	15 14	11.342	-8.042	30 22	12.151	-9.537			
29 14	9.693	-6.605	15 22	10.929	-8.463	31 5	13.377	-9.082			
29 22	9.652	-7.351	16 5	11.077	-7.199	31 13	13.257	-9.699			
Mars 1 6	8.876	-7.534	16 13	11.451	-8.179	31 21	12.115	-9.570			
1 13	9.805	-6.752	16 21	10.954	-8.535	Avril	1 4	13.549	-9.265		
1 21	9.700	-7.448	17 4	11.258	-7.388		1 12	13.322	-9.809		
2 5	8.854	-7.572	17 12	11.555	-8.312		1 20	12.065	-9.596		

PHOBOS 2016

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 3	13.713	-9.443	Avril	17 11	14.614	-11.359	Mai	2 18	18.343	-13.575
	2 11	13.376	-9.911		17 18	16.182	-10.965		3 2	16.747	-13.514
	2 18	13.257	-8.494		18 2	15.974	-11.632		3 9	18.699	-12.880
	3 2	13.868	-9.616		18 10	14.525	-11.402		3 17	18.347	-13.754
	3 10	13.417	-10.005		18 17	16.376	-11.194		4 1	16.560	-13.569
	3 17	13.505	-8.728		19 1	16.019	-11.768		4 8	18.867	-13.158
	4 1	14.012	-9.784		19 8	15.785	-10.064		4 16	18.322	-13.920
	4 9	13.446	-10.093		19 16	16.552	-11.415		4 23	18.270	-11.753
	4 16	13.746	-8.958		20 0	16.044	-11.895		5 7	19.008	-13.425
	5 0	14.147	-9.946		20 7	16.086	-10.359		5 15	18.266	-14.071
	5 8	13.461	-10.172		20 15	16.712	-11.629		5 22	18.571	-12.107
	5 15	13.979	-9.185		20 23	16.047	-12.011		6 6	19.120	-13.681
5 23	14.270	-10.101	21 6	16.374	-10.649	6 14	18.179	-14.208			
6 7	13.463	-10.243	21 14	16.854	-11.836	6 21	18.847	-12.452			
6 14	14.204	-9.408	21 22	16.029	-12.118	7 5	19.203	-13.924			
6 22	14.381	-10.250	22 5	16.647	-10.934	7 13	18.059	-14.329			
7 6	13.450	-10.305	22 13	16.976	-12.034	7 20	19.096	-12.790			
7 13	14.420	-9.626	22 21	15.989	-12.213	8 4	19.254	-14.155			
7 21	14.480	-10.392	23 4	16.904	-11.213	8 12	17.907	-14.434			
8 5	13.422	-10.359	23 12	17.077	-12.224	8 19	19.318	-13.117			
8 12	14.627	-9.840	23 20	15.924	-12.297	9 3	19.274	-14.372			
8 20	14.565	-10.527	24 3	17.144	-11.486	9 11	17.721	-14.522			
9 4	13.378	-10.403	24 11	17.157	-12.404	9 18	19.511	-13.434			
9 11	14.822	-10.048	24 19	15.836	-12.369	10 2	19.261	-14.574			
9 19	14.637	-10.654	25 2	17.366	-11.753	10 10	17.502	-14.592			
10 3	13.317	-10.439	25 10	17.215	-12.575	10 17	19.673	-13.739			
10 10	15.007	-10.251	25 18	15.722	-12.429	11 1	19.214	-14.760			
10 18	14.693	-10.773	26 1	17.569	-12.013	11 9	17.248	-14.644			
11 1	14.458	-9.215	26 9	17.249	-12.735	11 16	19.804	-14.032			
11 9	15.179	-10.448	26 16	16.869	-10.710	12 0	19.134	-14.930			
11 17	14.735	-10.885	27 0	17.751	-12.264	12 7	19.232	-12.444			
12 0	14.738	-9.478	27 8	17.258	-12.884	12 15	19.902	-14.311			
12 8	15.338	-10.639	27 15	17.191	-11.039	12 23	19.018	-15.083			
12 16	14.760	-10.987	27 23	17.911	-12.508	13 6	19.505	-12.818			
12 23	15.008	-9.738	28 7	17.242	-13.021	13 14	19.967	-14.576			
13 7	15.484	-10.823	28 14	17.495	-11.363	13 22	18.867	-15.218			
13 15	14.767	-11.081	28 22	18.048	-12.742	14 5	19.748	-13.180			
13 22	15.267	-9.993	29 6	17.200	-13.147	14 13	19.997	-14.825			
14 6	15.615	-11.001	29 13	17.779	-11.681	14 21	18.680	-15.334			
14 14	14.757	-11.165	29 21	18.161	-12.967	15 4	19.959	-13.530			
14 21	15.515	-10.244	30 5	17.130	-13.259	15 12	19.991	-15.058			
15 5	15.730	-11.171	30 12	18.044	-11.993	15 20	18.457	-15.430			
15 13	14.729	-11.240	30 20	18.249	-13.181	16 3	20.136	-13.867			
15 20	15.751	-10.490	Mai 1 4	17.032	-13.358	16 11	19.950	-15.274			
16 4	15.829	-11.333	1 11	18.286	-12.297	16 19	18.199	-15.506			
16 12	14.681	-11.305	1 19	18.310	-13.384	17 2	20.279	-14.191			
16 19	15.974	-10.731	2 3	16.905	-13.444	17 10	19.872	-15.472			
17 3	15.911	-11.487	2 10	18.505	-12.593	17 18	17.905	-15.562			

PHOBOS 2016

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	1	20.387	-14.499	Juin	2	8	20.292	-13.183	Juin	17	16	18.294	-16.327
	18	9	19.757	-15.651		2	16	20.682	-15.572		17	23	19.427	-12.850
	18	17	17.577	-15.596		3	0	19.453	-16.759		18	7	19.438	-15.181
	19	0	20.460	-14.792		3	7	20.412	-13.540		18	15	17.943	-16.337
	19	8	19.606	-15.810		3	15	20.579	-15.795		18	22	19.414	-13.121
	19	15	19.968	-13.031		3	23	19.136	-16.832		19	6	19.238	-15.316
	19	23	20.495	-15.068		4	6	20.497	-13.877		19	14	17.573	-16.325
	20	7	19.418	-15.948		4	14	20.441	-15.995		19	21	19.375	-13.372
	20	14	20.190	-13.408		4	22	18.788	-16.880		20	5	19.015	-15.429
	20	22	20.494	-15.325		5	5	20.545	-14.195		20	13	17.185	-16.293
	21	6	19.194	-16.066		5	13	20.269	-16.173		20	20	19.310	-13.603
	21	13	20.377	-13.771		5	21	18.411	-16.904		21	4	18.770	-15.522
	21	21	20.456	-15.564		6	4	20.558	-14.491		21	12	16.783	-16.241
	22	5	18.932	-16.161		6	12	20.064	-16.327		21	19	19.220	-13.814
	22	12	20.527	-14.119		6	20	18.006	-16.903		22	3	18.505	-15.594
22	20	20.380	-15.783	7	3	20.536	-14.767	22	11	16.366	-16.170			
23	4	18.635	-16.234	7	11	19.828	-16.458	22	18	19.106	-14.006			
23	11	20.641	-14.450	7	19	17.576	-16.879	23	2	18.222	-15.646			
23	19	20.266	-15.982	8	2	20.480	-15.020	23	10	15.936	-16.080			
24	3	18.303	-16.285	8	10	19.561	-16.565	23	17	18.970	-14.178			
24	10	20.718	-14.763	8	18	17.122	-16.831	24	1	17.920	-15.679			
24	18	20.116	-16.160	9	1	20.390	-15.252	24	9	15.495	-15.972			
25	2	17.936	-16.311	9	9	19.266	-16.648	24	16	18.813	-14.330			
25	9	20.758	-15.058	9	16	20.014	-13.019	25	0	17.602	-15.692			
25	17	19.928	-16.315	10	0	20.269	-15.462	25	7	18.562	-12.118			
26	0	20.189	-13.041	10	8	18.943	-16.707	25	15	18.635	-14.463			
26	8	20.759	-15.334	10	15	20.072	-13.343	25	23	17.269	-15.687			
26	16	19.703	-16.448	10	23	20.117	-15.649	26	6	18.533	-12.363			
26	23	20.380	-13.422	11	7	18.595	-16.744	26	14	18.438	-14.577			
27	7	20.723	-15.590	11	14	20.098	-13.646	26	22	16.923	-15.662			
27	15	19.443	-16.558	11	22	19.935	-15.813	27	5	18.482	-12.588			
27	22	20.535	-13.787	12	6	18.222	-16.757	27	13	18.224	-14.672			
28	6	20.650	-15.825	12	13	20.091	-13.929	27	21	16.563	-15.620			
28	14	19.148	-16.645	12	21	19.725	-15.954	28	4	18.410	-12.796			
28	21	20.652	-14.133	13	5	17.827	-16.747	28	12	17.992	-14.749			
29	5	20.539	-16.038	13	12	20.054	-14.191	28	20	16.193	-15.561			
29	13	18.819	-16.707	13	20	19.488	-16.073	29	3	18.317	-12.986			
29	20	20.732	-14.462	14	4	17.410	-16.715	29	11	17.745	-14.808			
30	4	20.392	-16.229	14	11	19.986	-14.432	29	19	15.812	-15.485			
30	12	18.457	-16.745	14	19	19.224	-16.170	30	2	18.206	-13.158			
30	19	20.775	-14.770	15	3	16.973	-16.661	30	10	17.483	-14.848			
31	3	20.209	-16.397	15	10	19.889	-14.651	30	18	15.422	-15.393			
31	11	18.063	-16.759	15	18	18.937	-16.244	Juill.	1	1	18.077	-13.312		
31	18	20.780	-15.059	16	2	16.520	-16.585		1	9	17.208	-14.871		
Juin	1	2	19.991	-16.541	16	9	19.765		-14.849	1	17	15.023	-15.284	
1	10	17.639	-16.748	16	17	18.626	-16.297	2	0	17.931	-13.449			
1	17	20.749	-15.326	17	0	19.411	-12.560	2	8	16.920	-14.878			
2	1	19.738	-16.662	17	8	19.614	-15.026	2	16	14.618	-15.161			

PHOBOS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	2 23	17.769	-13.568	Juill.	18 7	13.726	-13.418	Août	2 14	14.134	-10.925
	3 7	16.621	-14.867		18 14	15.851	-11.594		2 22	13.173	-11.583
	3 14	17.522	-11.440		18 22	15.211	-12.945		3 5	13.985	-9.518
	3 22	17.592	-13.671		19 6	13.421	-13.301		3 13	14.006	-10.929
	4 6	16.311	-14.841		19 13	15.732	-11.681		3 21	12.970	-11.496
	4 13	17.476	-11.648		19 21	14.988	-12.923		4 4	13.938	-9.604
	4 21	17.401	-13.757		20 5	13.114	-13.172		4 12	13.874	-10.923
	5 5	15.992	-14.799		20 12	15.604	-11.754		4 20	12.765	-11.400
	5 12	17.413	-11.840		20 20	14.760	-12.889		5 3	13.884	-9.680
	5 20	17.196	-13.826		21 4	12.804	-13.034		5 11	13.738	-10.908
	6 4	15.664	-14.742		21 11	15.467	-11.815		5 19	12.557	-11.296
	6 11	17.334	-12.015		21 19	14.527	-12.843		6 2	13.825	-9.745
	6 19	16.980	-13.880		22 2	15.194	-10.023		6 10	13.598	-10.883
	7 3	15.329	-14.671		22 10	15.324	-11.864		6 18	12.348	-11.184
	7 10	17.239	-12.175		22 18	14.289	-12.786		7 1	13.761	-9.800
7 18	16.752	-13.918	23 1	15.148	-10.162	7 9	13.454	-10.849			
8 2	14.988	-14.585	23 9	15.173	-11.901	7 17	12.138	-11.064			
8 9	17.131	-12.319	23 17	14.047	-12.719	8 0	13.691	-9.846			
8 17	16.514	-13.940	24 0	15.092	-10.289	8 8	13.307	-10.805			
9 1	14.640	-14.486	24 8	15.016	-11.926	8 16	11.926	-10.936			
9 8	17.008	-12.448	24 16	13.802	-12.641	8 23	13.617	-9.882			
9 16	16.266	-13.948	24 23	15.028	-10.404	9 7	13.158	-10.753			
10 0	14.288	-14.374	25 7	14.852	-11.939	9 15	11.713	-10.802			
10 7	16.874	-12.561	25 15	13.553	-12.553	9 22	13.538	-9.908			
10 15	16.009	-13.941	25 22	14.956	-10.507	10 6	13.005	-10.693			
10 23	13.931	-14.249	26 6	14.683	-11.941	10 14	11.499	-10.660			
11 6	16.727	-12.660	26 14	13.302	-12.455	10 21	13.455	-9.924			
11 14	15.745	-13.921	26 21	14.876	-10.598	11 5	12.849	-10.624			
11 22	13.570	-14.112	27 5	14.509	-11.933	11 12	13.036	-8.548			
12 5	16.569	-12.744	27 13	13.048	-12.347	11 20	13.368	-9.932			
12 13	15.473	-13.886	27 20	14.789	-10.678	12 4	12.692	-10.548			
12 20	16.356	-10.794	28 4	14.330	-11.913	12 11	13.021	-8.630			
13 4	16.401	-12.813	28 12	12.792	-12.231	12 19	13.277	-9.930			
13 12	15.195	-13.839	28 19	14.694	-10.747	13 3	12.531	-10.463			
13 19	16.300	-10.962	29 3	14.146	-11.882	13 10	13.002	-8.703			
14 3	16.223	-12.868	29 11	12.534	-12.106	13 18	13.182	-9.920			
14 11	14.910	-13.779	29 18	14.594	-10.804	14 2	12.369	-10.370			
14 18	16.232	-11.116	30 2	13.959	-11.842	14 9	12.978	-8.767			
15 2	16.036	-12.910	30 10	12.275	-11.972	14 17	13.083	-9.901			
15 10	14.620	-13.706	30 17	14.487	-10.850	15 1	12.205	-10.270			
15 17	16.153	-11.255	31 1	13.767	-11.791	15 8	12.949	-8.822			
16 1	15.841	-12.938	31 9	12.015	-11.830	15 16	12.981	-9.873			
16 9	14.326	-13.622	31 16	14.374	-10.885	16 0	12.040	-10.164			
16 16	16.062	-11.382	Août 1 0	13.572	-11.731	16 7	12.916	-8.867			
17 0	15.638	-12.953	1 7	14.060	-9.314	16 15	12.877	-9.837			
17 8	14.028	-13.526	1 15	14.256	-10.910	16 23	11.872	-10.050			
17 15	15.962	-11.494	1 23	13.374	-11.662	17 6	12.878	-8.904			
17 23	15.428	-12.956	2 6	14.026	-9.421	17 14	12.769	-9.793			

PHOBOS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Août	17 22	11.703	-9.929	Sept.	2 5	11.980	-7.972	Sept.	17 13	11.093	-6.675
	18 5	12.837	-8.932		2 13	11.720	-8.293		17 20	10.868	-6.281
	18 13	12.658	-9.740		2 20	11.367	-7.069		18 4	11.366	-6.671
	18 21	11.532	-9.802		3 4	11.946	-7.939		18 12	11.014	-6.547
	19 4	12.791	-8.951		3 12	11.627	-8.194		18 19	10.898	-6.260
	19 12	12.545	-9.680		3 19	11.392	-7.097		19 3	11.339	-6.591
	19 20	11.360	-9.669		4 3	11.909	-7.899		19 11	10.932	-6.414
	20 3	12.742	-8.961		4 11	11.532	-8.089		19 18	10.925	-6.233
	20 11	12.429	-9.613		4 18	11.413	-7.119		20 2	11.309	-6.506
	20 19	11.187	-9.529		5 2	11.869	-7.851		20 10	10.848	-6.277
	21 2	12.689	-8.963		5 10	11.435	-7.978		20 17	10.948	-6.199
	21 10	12.310	-9.538		5 17	11.431	-7.132		21 1	11.276	-6.414
	21 18	11.013	-9.384		6 1	11.826	-7.797		21 9	10.761	-6.136
	22 1	12.632	-8.957		6 9	11.335	-7.861		21 16	10.969	-6.159
	22 9	12.189	-9.456		6 16	11.445	-7.139		22 0	11.240	-6.318
22 16	12.133	-7.827	7 0	11.780	-7.737	22 8	10.672	-5.991			
23 0	12.573	-8.943	7 8	11.233	-7.739	22 15	10.986	-6.112			
23 8	12.066	-9.367	7 15	11.456	-7.137	22 23	11.200	-6.216			
23 15	12.138	-7.881	7 23	11.731	-7.670	23 7	10.579	-5.843			
23 23	12.509	-8.921	8 7	11.129	-7.612	23 14	10.999	-6.059			
24 7	11.941	-9.271	8 14	11.464	-7.129	23 22	11.158	-6.109			
24 14	12.138	-7.926	8 22	11.679	-7.596	24 6	10.484	-5.690			
24 22	12.443	-8.891	9 6	11.023	-7.480	24 13	11.009	-6.000			
25 6	11.814	-9.169	9 13	11.468	-7.113	24 21	11.112	-5.997			
25 13	12.135	-7.963	9 21	11.625	-7.516	25 5	10.386	-5.535			
25 21	12.374	-8.853	10 5	10.914	-7.342	25 12	11.016	-5.936			
26 5	11.685	-9.060	10 12	11.469	-7.091	25 20	11.063	-5.881			
26 12	12.128	-7.992	10 20	11.568	-7.431	26 4	10.285	-5.376			
26 20	12.301	-8.807	11 4	10.804	-7.201	26 11	11.019	-5.865			
27 4	11.553	-8.945	11 11	11.467	-7.061	26 19	11.011	-5.760			
27 11	12.117	-8.013	11 19	11.508	-7.339	27 2	10.258	-5.495			
27 19	12.226	-8.755	12 3	10.691	-7.055	27 10	11.020	-5.789			
28 3	11.420	-8.824	12 10	11.462	-7.025	27 18	10.955	-5.635			
28 10	12.103	-8.025	12 18	11.446	-7.242	28 1	10.310	-5.468			
28 18	12.148	-8.695	13 2	10.577	-6.904	28 9	11.016	-5.708			
29 2	11.286	-8.697	13 9	11.454	-6.982	28 17	10.897	-5.505			
29 9	12.085	-8.030	13 17	11.381	-7.139	29 0	10.359	-5.435			
29 17	12.068	-8.628	14 1	10.460	-6.750	29 8	11.009	-5.621			
30 1	11.149	-8.564	14 8	11.443	-6.932	29 16	10.835	-5.372			
30 8	12.064	-8.027	14 16	11.313	-7.030	29 23	10.405	-5.396			
30 16	11.985	-8.554	14 23	10.757	-6.303	30 7	10.999	-5.529			
31 0	11.011	-8.426	15 7	11.428	-6.876	30 15	10.770	-5.235			
31 7	12.039	-8.016	15 15	11.242	-6.917	30 22	10.447	-5.351			
31 15	11.899	-8.474	15 22	10.797	-6.302	Oct.	1 6	10.985	-5.433		
31 23	10.872	-8.283	16 6	11.410	-6.814		1 14	10.702	-5.094		
Sept.	1 6	12.011	-7.998	16 14	11.169	-6.798	1 21	10.485	-5.301		
	1 14	11.811	-8.387	16 21	10.834	-6.295	2 5	10.968	-5.331		
	1 22	10.730	-8.135	17 5	11.390	-6.746	2 13	10.631	-4.950		

PHOBOS 2016

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.	2	20	10.520	-5.244	Oct.	18	4	10.573	-3.674	Nov.	2	12	9.608	-1.327
	3	4	10.947	-5.225		18	12	10.120	-3.033		2	19	9.939	-2.614
	3	12	10.556	-4.802		18	19	10.262	-3.938		3	3	10.104	-1.969
	3	19	10.552	-5.182		19	3	10.543	-3.543		3	11	9.513	-1.171
	4	3	10.923	-5.114		19	11	10.037	-2.874		3	18	9.948	-2.495
	4	11	10.478	-4.651		19	18	10.284	-3.840		4	2	10.057	-1.826
	4	18	10.579	-5.114		20	2	10.509	-3.409		4	9	9.152	-2.877
	5	2	10.895	-4.999		20	10	9.950	-2.715		4	17	9.953	-2.373
	5	10	10.397	-4.498		20	17	10.301	-3.737		5	1	10.007	-1.682
	5	17	10.604	-5.041		21	1	10.471	-3.272		5	8	9.207	-2.784
	6	1	10.863	-4.879		21	9	9.859	-2.554		5	16	9.953	-2.249
	6	9	10.312	-4.342		21	16	10.315	-3.631		6	0	9.952	-1.537
6	16	10.624	-4.963	22	0	10.429	-3.132	6	7	9.259	-2.687			
7	0	10.828	-4.756	22	7	9.491	-3.775	6	15	9.949	-2.122			
7	8	10.225	-4.184	22	15	10.324	-3.521	6	23	9.893	-1.390			
7	15	10.641	-4.880	22	23	10.382	-2.990	7	6	9.306	-2.586			
7	23	10.790	-4.629	23	6	9.551	-3.701	7	14	9.941	-1.994			
8	7	10.134	-4.023	23	14	10.329	-3.407	7	22	9.830	-1.244			
8	14	10.654	-4.791	23	22	10.332	-2.846	8	5	9.348	-2.482			
8	22	10.747	-4.498	24	5	9.608	-3.622	8	13	9.928	-1.863			
9	5	9.826	-4.667	24	13	10.330	-3.290	8	21	9.763	-1.096			
9	13	10.663	-4.698	24	21	10.278	-2.700	9	4	9.386	-2.375			
9	21	10.701	-4.364	25	4	9.660	-3.539	9	12	9.910	-1.730			
10	4	9.887	-4.617	25	12	10.327	-3.169	9	20	9.692	-0.948			
10	12	10.669	-4.601	25	20	10.219	-2.552	10	3	9.420	-2.265			
10	20	10.652	-4.227	26	3	9.708	-3.451	10	11	9.888	-1.596			
11	3	9.944	-4.562	26	11	10.319	-3.046	10	19	9.616	-0.800			
11	11	10.671	-4.499	26	19	10.157	-2.402	11	2	9.449	-2.153			
11	19	10.598	-4.086	27	2	9.752	-3.359	11	10	9.862	-1.460			
12	2	9.997	-4.501	27	10	10.307	-2.919	11	18	9.537	-0.652			
12	10	10.669	-4.393	27	18	10.090	-2.251	12	1	9.474	-2.037			
12	18	10.541	-3.943	28	1	9.792	-3.264	12	9	9.831	-1.323			
13	1	10.047	-4.435	28	9	10.291	-2.790	12	17	9.454	-0.504			
13	9	10.663	-4.282	28	17	10.020	-2.099	13	0	9.494	-1.919			
13	17	10.480	-3.797	29	0	9.827	-3.164	13	8	9.796	-1.185			
14	0	10.092	-4.364	29	8	10.271	-2.659	13	16	9.366	-0.357			
14	8	10.653	-4.168	29	16	9.945	-1.946	13	23	9.509	-1.799			
14	16	10.416	-3.648	29	23	9.858	-3.061	14	7	9.757	-1.046			
14	23	10.134	-4.289	30	7	10.246	-2.525	14	15	9.275	-0.210			
15	7	10.639	-4.050	30	15	9.867	-1.792	14	22	9.520	-1.677			
15	15	10.347	-3.497	30	22	9.885	-2.954	15	6	9.713	-0.906			
15	22	10.172	-4.208	31	6	10.217	-2.389	15	14	9.180	-0.063			
16	6	10.621	-3.928	31	14	9.784	-1.637	15	21	9.527	-1.553			
16	14	10.275	-3.344	31	21	9.908	-2.844	16	5	9.665	-0.766			
16	21	10.206	-4.123	Nov.	1	5	10.183	-2.250	16	13	9.081	0.082		
17	5	10.599	-3.803	1	13	9.698	-1.482	16	20	9.529	-1.427			
17	13	10.200	-3.189	1	20	9.926	-2.731	17	4	9.613	-0.625			
17	20	10.236	-4.033	2	4	10.145	-2.110	17	11	8.781	-2.010			

PHOBOS 2016

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	"	"
Nov.	17 19	9.526	-1.299	Déc.	3 3	8.895	0.833	Déc.	18 10	7.998	0.112
	18 3	9.556	-0.484		3 10	8.463	-0.855		18 18	8.346	1.120
	18 10	8.829	-1.903		3 18	8.979	0.055		19 2	8.069	2.046
	18 18	9.519	-1.170		4 2	8.821	0.964		19 9	8.005	0.233
	19 2	9.496	-0.343		4 9	8.488	-0.735		19 17	8.304	1.241
	19 9	8.872	-1.793		4 17	8.951	0.184		20 1	7.982	2.159
	19 17	9.508	-1.040		5 1	8.743	1.094		20 8	8.008	0.354
	20 1	9.431	-0.202		5 8	8.508	-0.615		20 16	8.259	1.362
	20 8	8.910	-1.681		5 16	8.919	0.314		21 0	7.893	2.269
	20 16	9.492	-0.908		6 0	8.662	1.222		21 7	8.007	0.475
	21 0	9.362	-0.061		6 7	8.524	-0.493		21 15	8.210	1.481
	21 7	8.944	-1.567		6 15	8.883	0.443		21 23	7.800	2.378
21 15	9.472	-0.775	6 23	8.577	1.349	22 6	8.002	0.596			
21 23	9.289	0.079	7 6	8.535	-0.370	22 14	8.158	1.600			
22 6	8.974	-1.450	7 14	8.843	0.572	22 22	7.705	2.484			
22 14	9.447	-0.642	7 22	8.489	1.475	23 5	7.993	0.716			
22 22	9.212	0.219	8 5	8.542	-0.247	23 13	8.102	1.716			
23 5	8.999	-1.332	8 13	8.799	0.701	23 21	7.607	2.588			
23 13	9.418	-0.508	8 21	8.397	1.598	24 4	7.980	0.837			
23 21	9.131	0.359	9 4	8.545	-0.123	24 12	8.043	1.832			
24 4	9.019	-1.212	9 12	8.751	0.829	24 20	7.506	2.690			
24 12	9.384	-0.374	9 20	8.302	1.721	25 3	7.964	0.957			
24 20	9.046	0.497	10 3	8.543	0.002	25 11	7.981	1.945			
25 3	9.035	-1.090	10 11	8.699	0.956	25 19	7.402	2.789			
25 11	9.346	-0.239	10 19	8.204	1.841	26 2	7.944	1.076			
25 19	8.958	0.634	11 2	8.538	0.127	26 10	7.916	2.057			
26 2	9.047	-0.967	11 10	8.643	1.082	26 18	7.297	2.886			
26 10	9.304	-0.104	11 18	8.103	1.959	27 1	7.920	1.194			
26 18	8.866	0.770	12 1	8.528	0.252	27 9	7.847	2.168			
27 1	9.054	-0.842	12 9	8.584	1.208	27 17	7.189	2.979			
27 9	9.258	0.031	12 17	7.998	2.075	28 0	7.892	1.311			
27 17	8.770	0.905	13 0	8.514	0.377	28 8	7.775	2.276			
28 0	9.056	-0.716	13 8	8.520	1.332	28 16	7.078	3.071			
28 8	9.208	0.166	13 16	7.891	2.188	28 23	7.861	1.428			
28 16	8.671	1.039	13 23	8.496	0.501	29 7	7.701	2.383			
28 23	9.054	-0.589	14 7	8.454	1.455	29 15	6.966	3.159			
29 7	9.153	0.301	14 15	7.781	2.300	29 22	7.827	1.544			
29 15	8.568	1.171	14 22	8.474	0.626	30 6	7.623	2.487			
29 22	9.048	-0.462	15 6	8.383	1.576	30 14	6.851	3.244			
30 6	9.094	0.435	15 14	7.668	2.409	30 21	7.789	1.658			
30 14	8.462	1.301	15 21	8.447	0.751	31 5	7.543	2.590			
30 21	9.037	-0.333	16 5	8.310	1.696	31 13	6.735	3.327			
Déc.	1 5	9.032	0.568	16 12	7.971	-0.129	31 20	7.748	1.771		
	1 13	8.352	1.429	16 20	8.417	0.874	Janv.	1 4	7.460	2.690	
1 20	9.022	-0.204	17 4	8.233	1.814	1 11		7.456	0.837		
2 4	8.965	0.701	17 11	7.986	-0.008	1 19	7.703	1.883			
2 11	8.434	-0.973	17 19	8.383	0.997	2 3	7.374	2.788			
2 19	9.003	-0.075	18 3	8.152	1.931	2 10	7.453	0.953			

DÉIMOS 2016

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	"	"
Janv.	1 8	15.456	-11.359	Mars	2 1	24.216	-18.203	Mai	1 16	45.977	-31.833
	2 15	15.096	-12.132		3 7	24.620	-18.101		2 22	46.480	-31.910
	3 21	15.472	-11.911		4 14	24.663	-18.735		4 5	46.477	-32.953
	5 3	15.766	-11.634		5 20	25.195	-18.730		5 11	47.205	-33.202
	6 10	15.447	-12.418		7 2	25.601	-18.640		6 17	47.765	-33.315
	7 16	15.813	-12.197		8 9	25.687	-19.274		7 23	48.175	-33.296
	8 23	15.379	-12.876		9 15	26.228	-19.285		9 6	48.182	-34.551
	10 5	15.819	-12.714		10 21	26.650	-19.219		10 12	48.813	-34.700
	11 11	16.180	-12.486		12 4	26.766	-19.842		11 18	49.274	-34.698
	12 18	15.782	-13.180		13 10	27.325	-19.879		13 1	48.869	-35.849
	14 0	16.220	-13.015		14 16	27.760	-19.830		14 7	49.552	-36.014
	15 6	16.568	-12.784		15 23	27.901	-20.446		15 13	50.079	-36.039
	16 13	16.216	-13.491		17 5	28.485	-20.508		16 19	50.443	-35.904
	17 19	16.643	-13.323		18 11	28.934	-20.484		18 2	49.946	-37.226
	19 1	16.986	-13.093		19 18	29.098	-21.090		19 8	50.535	-37.257
	20 8	16.675	-13.808		21 0	29.701	-21.178		20 14	50.955	-37.133
	21 14	17.097	-13.643		22 6	30.180	-21.184		21 20	51.220	-36.849
	22 20	17.431	-13.406		23 13	30.345	-21.773		23 3	50.608	-38.317
	24 3	17.164	-14.138		24 19	30.985	-21.897		24 9	51.098	-38.195
25 9	17.582	-13.968	26 1	31.485	-21.928	25 15	51.414	-37.904			
26 15	17.905	-13.734	27 8	31.651	-22.506	26 22	50.309	-39.181			
27 22	17.688	-14.475	28 14	32.323	-22.661	28 4	50.850	-39.046			
29 4	18.096	-14.307	29 20	32.858	-22.730	29 10	51.236	-38.756			
30 11	17.746	-14.919	31 3	33.005	-23.286	30 16	51.453	-38.288			
31 17	18.242	-14.823	Avril 1 9	33.714	-23.482	31 23	50.240	-39.669			
Févr.	1 23	18.650	-14.659	2 15	34.290	-23.587	Juin	2 5	50.690	-39.359	
	3 6	18.339	-15.276	3 22	34.393	-24.120		3 11	50.970	-38.889	
	4 12	18.837	-15.187	5 4	35.154	-24.362		4 17	51.093	-38.247	
	5 18	19.237	-15.022	6 10	35.766	-24.505		6 0	49.813	-39.711	
	7 1	18.973	-15.649	7 16	36.241	-24.556		7 6	50.172	-39.229	
	8 7	19.470	-15.560	8 23	36.616	-25.298		8 12	50.352	-38.579	
	9 13	19.866	-15.404	10 5	37.285	-25.491		9 18	50.380	-37.773	
	10 20	19.648	-16.032	11 11	37.799	-25.577		11 1	49.098	-39.313	
	12 2	20.142	-15.953	12 18	38.096	-26.300		12 7	49.361	-38.666	
	13 8	20.538	-15.799	14 0	38.814	-26.535		13 13	49.448	-37.849	
	14 15	20.361	-16.433	15 6	39.384	-26.671		14 20	47.836	-39.167	
	15 21	20.861	-16.362	16 13	39.562	-27.359		16 2	48.166	-38.512	
	17 3	21.251	-16.213	17 19	40.335	-27.645		17 8	48.327	-37.712	
	18 10	21.125	-16.852	19 1	40.965	-27.827		18 14	48.321	-36.750	
	19 16	21.621	-16.787	20 7	41.434	-27.897		19 21	46.837	-38.162	
	20 22	22.015	-16.651	21 14	41.822	-28.816		21 3	47.074	-37.367	
	22 5	21.931	-17.287	22 20	42.504	-29.043		22 9	47.128	-36.427	
	23 11	22.435	-17.237	24 2	43.043	-29.162		23 16	45.443	-37.631	
	24 17	22.827	-17.105	25 9	43.221	-30.034		24 22	45.732	-36.854	
26 0	22.789	-17.747	26 15	43.976	-30.317	26 4	45.860	-35.938			
27 6	23.299	-17.706	27 21	44.569	-30.475	27 10	45.802	-34.875			
28 12	23.694	-17.590	29 4	44.502	-31.298	28 17	44.367	-36.204			
29 19	23.701	-18.228	30 10	45.318	-31.625	29 23	44.543	-35.305			

DÉIMOS 2016

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 5	44.547	-34.283	Août	30 21	30.595	-19.613	Oct.	30 15	25.491	-5.009
	2 12	43.001	-35.432		Sept.	1 4	30.205		-19.627	31 21	25.340
	3 18	43.227	-34.573			2 10	30.252	-19.199	Nov.	2 3	25.046
	5 0	43.279	-33.571		3 16	30.117	-18.689	3 10		25.170	-4.279
	6 7	41.667	-34.578	4 23	29.846	-18.670	4 16	24.980	-4.451		
	7 13	41.943	-33.746	6 5	29.842	-18.259	5 23	24.918	-3.382		
	8 19	42.027	-32.785	7 11	29.666	-17.779	7 5	24.831	-3.585		
	10 2	40.401	-33.657	8 18	29.503	-17.719	8 11	24.594	-3.787		
	11 8	40.698	-32.857	10 0	29.452	-17.332	9 18	24.598	-2.696		
	12 14	40.824	-31.935	11 6	29.228	-16.878	11 0	24.464	-2.927		
	13 20	40.758	-30.885	12 13	29.173	-16.778	12 6	24.193	-3.157		
	15 3	39.528	-31.928	13 19	29.075	-16.417	13 13	24.251	-2.048		
	16 9	39.669	-31.035	15 2	28.830	-16.126	14 19	24.080	-2.303		
	17 15	39.631	-30.035	16 8	28.855	-15.851	16 2	23.957	-1.155		
	18 22	38.425	-30.962	17 14	28.702	-15.511	17 8	23.883	-1.432		
	20 4	38.582	-30.114	18 21	28.568	-15.191	18 14	23.675	-1.721		
	21 10	38.557	-29.143	20 3	28.536	-14.934	19 21	23.605	-0.552		
	22 17	37.395	-29.983	21 9	28.339	-14.623	21 3	23.496	-0.859		
23 23	37.564	-29.166	22 16	28.302	-14.265	22 9	23.248	-1.175			
25 5	37.539	-28.237	23 22	28.220	-14.032	23 16	23.236	0.010			
26 12	36.450	-28.991	25 4	27.970	-13.747	24 22	23.085	-0.324			
27 18	36.607	-28.206	26 11	28.032	-13.352	26 5	22.897	0.879			
29 0	36.589	-27.316	27 17	27.899	-13.144	27 11	22.843	0.532			
30 7	35.568	-27.989	29 0	27.774	-12.593	28 17	22.662	0.175			
31 13	35.724	-27.243	30 6	27.757	-12.457	30 0	22.524	1.385			
Août	1 19	35.691	-26.380	Oct.	1 12	27.570	-12.271	Déc.	1 6	22.435	1.020
	3 2	34.762	-26.993		2 19	27.543	-11.692		2 13	22.129	2.230
	4 8	34.901	-26.270		4 1	27.468	-11.575		3 19	22.132	1.858
	5 14	34.856	-25.449		5 7	27.236	-11.420		5 1	22.013	1.462
	6 21	34.024	-25.992		6 14	27.292	-10.806		6 8	21.756	2.686
	8 3	34.140	-25.303		7 20	27.172	-10.715		7 14	21.729	2.288
	9 9	34.078	-24.510	9 2	26.885	-10.588	8 20	21.573	1.869		
	10 16	33.342	-24.999	10 9	27.031	-9.940	10 3	21.373	3.101		
	11 22	33.441	-24.338	11 15	26.856	-9.876	11 9	21.308	2.679		
	13 4	33.348	-23.577	12 22	26.814	-9.103	12 16	20.948	3.894		
	14 11	32.725	-24.015	14 4	26.750	-9.097	13 22	20.973	3.475		
	15 17	32.786	-23.376	15 10	26.527	-9.059	15 4	20.879	3.036		
	16 23	32.672	-22.651	16 17	26.566	-8.261	16 11	20.570	4.250		
	18 6	32.152	-23.033	17 23	26.449	-8.276	17 17	20.562	3.817		
	19 12	32.185	-22.427	19 5	26.182	-8.271	19 0	20.103	4.999		
	20 18	32.034	-21.725	20 12	26.292	-7.440	20 6	20.179	4.575		
	22 1	31.626	-22.064	21 18	26.132	-7.484	21 12	20.143	4.116		
	23 7	31.621	-21.479	23 0	25.813	-7.509	22 19	19.733	5.306		
24 14	31.003	-21.572	24 7	26.000	-6.647	24 1	19.782	4.859			
25 20	31.139	-21.100	25 13	25.788	-6.720	25 7	19.711	4.382			
27 2	31.091	-20.542	26 20	25.785	-5.767	26 14	19.360	5.575			
28 9	30.593	-20.597	28 2	25.681	-5.884	27 20	19.372	5.109			
29 15	30.679	-20.144	29 8	25.428	-5.984	29 3	18.881	6.257			

DÉIMOS 2016

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	9	18.975	5.808	Janv.	1	22	18.522	6.472					
	31	15	18.960	5.328		3	4	18.585	6.012					

SATELLITES DE JUPITER

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

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

IO 2016

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	7	-103.493	49.441	Févr.	11	0	-115.372	54.472	Mars	22	16	-117.906	54.909
	2	5	104.682	-49.583		11	21	115.979	-54.979		23	13	117.861	-55.090
	3	2	-104.341	49.518		12	18	-115.726	54.932		24	10	-117.760	55.092
	3	23	105.228	-50.124		13	15	115.993	-55.278		25	7	117.373	-55.111
	4	20	-104.700	49.973		14	13	-115.992	54.634		26	5	-117.408	54.511
	5	18	105.737	-50.034		15	10	116.642	-55.162		27	2	117.394	-54.704
	6	15	-105.452	49.993		16	7	-116.451	55.141		27	23	-117.357	54.736
	7	12	106.367	-50.618		17	4	116.757	-55.506		28	20	117.008	-54.770
	8	9	-105.899	50.493		18	1	-116.399	55.405		29	17	-116.803	54.724
	9	7	106.769	-50.468		18	23	117.175	-55.275		30	15	116.799	-54.263
10	4	-106.536	50.449	19	20	-117.053	55.284	Avril	31	12	-116.827	54.327		
11	1	107.489	-51.096	20	17	117.395	-55.665		1	9	116.507	-54.372		
11	22	-107.076	50.995	21	14	-117.102	55.593		2	6	-116.372	54.359		
12	19	107.717	-51.496	22	12	117.578	-55.319		3	4	116.078	-53.773		
13	17	-107.592	50.883	23	9	-117.516	55.354		4	1	-116.173	53.868		
14	14	108.576	-51.550	24	6	117.900	-55.754		4	22	115.888	-53.928		
15	11	-108.227	51.476	25	3	-117.673	55.710		5	19	-115.813	53.944		
16	8	108.897	-51.995	26	0	117.721	-55.950		6	16	115.176	-53.838		
17	5	-108.361	51.833	26	22	-117.843	55.353		7	14	-115.409	53.368		
18	3	109.626	-51.977	27	19	118.263	-55.769		8	11	115.151	-53.438		
19	0	-109.333	51.928	Mars	28	16	-118.100	55.753	9	8	-115.145	53.488		
19	21	110.038	-52.468		29	13	118.189	-56.011	10	5	114.536	-53.393		
20	18	-109.568	52.334		1	10	-117.859	55.916	11	2	-114.364	53.363		
21	16	110.621	-52.371		2	8	118.480	-55.710	12	0	114.316	-52.914		
22	13	-110.392	52.349		3	5	-118.384	55.723	12	21	-114.371	52.993		
23	10	111.131	-52.908		4	2	118.506	-55.995	13	18	113.795	-52.912		
24	7	-110.722	52.801		4	23	-118.246	55.931	14	15	-113.685	52.914		
25	5	111.557	-52.728		5	21	118.546	-55.576	15	13	113.386	-52.357		
26	2	-111.386	52.731		6	18	-118.514	55.616	16	10	-113.510	52.471		
26	23	112.163	-53.311		7	15	118.677	-55.907	17	7	112.959	-52.400		
27	20	-111.820	53.233	8	12	-118.478	55.869	18	4	-112.914	52.433			
28	17	112.280	-53.663	9	9	118.290	-55.991	19	2	112.381	-51.779			
29	15	-112.311	53.071	10	7	-118.494	55.438	19	23	-112.566	51.923			
30	12	113.123	-53.672	11	4	118.692	-55.741	20	20	112.046	-51.864			
31	9	-112.843	53.620	12	1	-118.562	55.734	21	17	-112.062	51.929			
Févr.	1	6	113.341	-54.071	12	22	118.406	-55.870	22	14	111.207	-51.714		
	2	3	-112.885	53.937	13	19	-118.109	55.782	23	12	-111.559	51.359		
	3	1	114.001	-53.984	14	17	118.558	-55.505	24	9	111.058	-51.308		
	3	22	-113.787	53.960	15	14	-118.489	55.526	25	6	-111.140	51.405		
	4	19	114.317	-54.429	16	11	118.373	-55.678	26	3	110.313	-51.202		
	5	16	-113.932	54.325	17	8	-118.141	55.620	27	1	-110.491	50.781		
	6	14	114.784	-54.242	18	6	118.271	-55.199	27	22	110.017	-50.739		
	7	11	-114.631	54.245	19	3	-118.272	55.251	28	19	-110.158	50.868		
	8	8	115.203	-54.734	20	0	118.188	-55.416	29	16	109.354	-50.673		
	9	5	-114.880	54.658	20	21	-118.022	55.388	30	13	-109.325	50.722		
10	3	115.459	-54.441	21	18	117.603	-55.393	Mai	1	11	108.923	-50.161		

IO 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	2	8	-109.126	50.320	Juin	12	1	-96.847	44.879	Juill.	22	18	-87.369	41.342
	3	5	108.348	-50.136		12	22	95.924	-44.603		23	15	86.367	-40.990
	4	2	-108.373	50.214		13	19	-96.289	44.872		24	13	-86.956	40.953
	5	0	107.794	-49.579		14	16	95.086	-44.466		25	10	86.197	-40.711
	5	21	-108.055	49.769		15	14	-95.853	44.466		26	7	-86.749	41.104
	6	18	107.296	-49.592		16	11	94.945	-44.194		27	4	85.767	-40.758
	7	15	-107.383	49.701		17	8	-95.339	44.480		28	2	-86.351	40.719
	8	13	106.632	-48.995		18	5	94.154	-44.078		28	23	85.613	-40.484
	9	10	-106.955	49.216		19	3	-94.888	44.070		29	20	-86.160	40.877
	10	7	106.216	-49.047		20	0	93.989	-43.798		30	17	85.204	-40.539
11	4	-106.356	49.184	20	21	-94.414	44.102	Août	31	15	-85.785	40.501		
12	1	105.290	-48.862	21	18	93.245	-43.705		1	12	85.064	-40.270		
12	23	-105.833	48.667	22	16	-93.947	43.688		2	9	-85.608	40.664		
13	20	105.110	-48.503	23	13	93.064	-43.420		3	6	84.674	-40.333		
14	17	-105.309	48.671	24	10	-93.512	43.738		4	4	-85.252	40.293		
15	14	104.260	-48.355	25	7	92.360	-43.345		5	1	84.555	-40.070		
16	12	-104.698	48.124	26	5	-93.040	43.324		5	22	-85.088	40.462		
17	9	103.994	-47.966	27	2	92.164	-43.057		6	19	84.182	-40.141		
18	6	-104.242	48.160	27	23	-92.639	43.389		7	17	-84.757	40.099		
19	3	103.217	-47.853	28	20	91.502	-43.001		8	14	84.080	-39.882		
20	1	-103.558	47.589	29	18	-92.159	42.974	9	11	-84.605	40.273			
20	22	102.866	-47.435	30	15	91.299	-42.710	10	8	83.724	-39.960			
21	19	-103.169	47.658	Juill.	1	12	-91.790	43.054	11	6	-84.295	39.916		
22	16	102.159	-47.356		2	9	90.672	-42.670	12	3	83.645	-39.708		
23	13	-102.282	47.494		3	7	-91.315	42.641	13	0	-84.155	40.094		
24	11	101.742	-46.916	4	4	90.464	-42.378	13	21	83.304	-39.792			
25	8	-102.091	47.163	5	1	-90.975	42.734	14	19	-83.872	39.746			
26	5	101.101	-46.868	5	22	89.873	-42.354	15	16	83.244	-39.545			
27	2	-101.268	47.030	6	20	-90.500	42.321	16	13	-83.742	39.928			
28	0	100.619	-46.406	7	17	89.665	-42.063	17	10	82.918	-39.635			
28	21	-101.019	46.680	8	14	-90.187	42.427	18	8	-83.481	39.585			
29	18	100.041	-46.389	9	11	89.105	-42.053	19	5	82.883	-39.395			
30	15	-100.255	46.575	10	9	-89.722	42.019	20	2	-83.360	39.771			
31	13	99.510	-45.912	11	6	88.899	-41.762	20	23	82.569	-39.490			
Juin	1	10	-99.951	46.208	12	3	-89.435	42.136	21	21	-83.128	39.437		
	2	7	98.992	-45.923	13	0	88.370	-41.766	22	18	82.555	-39.256		
	3	4	-99.244	46.131	13	22	-88.976	41.731	23	15	-83.016	39.627		
	4	2	98.412	-45.430	14	19	88.170	-41.478	24	12	82.255	-39.357		
	4	23	-98.899	45.751	15	16	-88.712	41.858	25	10	-82.808	39.298		
	5	20	97.951	-45.468	16	13	87.668	-41.494	26	7	82.267	-39.130		
	6	17	-98.245	45.698	17	11	-88.269	41.458	27	4	-82.704	39.491		
	7	15	97.337	-44.966	18	8	87.475	-41.208	28	1	81.978	-39.235		
	8	12	-97.861	45.307	19	5	-88.025	41.594	28	23	-82.524	39.171		
	9	9	96.929	-45.029	20	2	87.000	-41.235	29	20	82.013	-39.013		
10	6	-97.257	45.278	21	0	-87.593	41.198	30	17	-82.429	39.367			
11	4	96.282	-44.516	21	21	86.819	-40.953	31	14	81.735	-39.123			

IO 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Sept.	1	12	-82.275	39.054	Oct.	12	5	-81.876	38.652	Nov.	21	23	-86.452	39.085
	2	9	81.798	-38.909		13	2	81.677	-38.618		22	20	87.005	-39.401
	3	6	-82.187	39.252		14	0	-82.051	38.412		23	17	-86.684	39.451
	4	3	81.531	-39.023		14	21	82.059	-38.473		24	14	87.062	-39.691
	5	1	-82.062	38.947		15	18	-82.063	38.657		25	12	-87.079	39.212
	5	22	81.617	-38.814		16	15	81.914	-38.645		26	9	87.681	-39.554
	6	19	-81.982	39.149		17	13	-82.264	38.421		27	6	-87.338	39.595
	7	16	81.361	-38.933		18	10	82.319	-38.502		28	3	87.768	-39.861
	8	14	-81.884	38.850		19	7	-82.291	38.673		29	1	-87.740	39.351
	9	11	81.476	-38.733		20	4	82.186	-38.682		29	22	88.396	-39.719
10	8	-81.810	39.054	21	2	-82.516	38.440	Déc.	30	19	-88.035	39.754		
11	5	81.230	-38.855	21	23	82.618	-38.544		1	16	88.511	-40.043		
12	3	-81.741	38.763	22	20	-82.555	38.699		2	14	-88.440	39.502		
13	0	81.369	-38.660	23	17	82.499	-38.730		3	11	89.146	-39.896		
13	21	-81.676	38.970	24	15	-82.802	38.469		4	8	-88.768	39.924		
14	18	81.132	-38.786	25	12	82.953	-38.594		5	5	89.296	-40.240		
15	16	-81.633	38.686	26	9	-82.858	38.737		6	3	-89.173	39.664		
16	13	81.300	-38.599	27	6	82.848	-38.789		7	0	89.933	-40.086		
17	10	-81.574	38.895	28	4	-83.128	38.509		7	21	-89.541	40.109		
18	7	81.073	-38.729	29	1	83.327	-38.657		8	18	90.116	-40.450		
19	5	-81.561	38.618	Nov.	29	22	-83.198	38.785	9	16	-89.943	39.839		
20	2	81.265	-38.546		30	19	83.239	-38.861	10	13	90.754	-40.287		
20	23	-81.510	38.831		31	17	-83.490	38.558	11	10	-90.350	40.306		
21	20	81.047	-38.681		1	14	83.739	-38.729	12	7	90.976	-40.674		
22	18	-81.523	38.560		2	11	-83.579	38.845	13	5	-90.744	40.025		
23	15	81.269	-38.506		3	8	83.665	-38.942	14	2	91.610	-40.501		
24	12	-81.479	38.776		4	6	-83.891	38.619	14	23	-91.197	40.518		
25	9	81.061	-38.645		5	3	84.189	-38.813	15	20	91.870	-40.911		
26	7	-81.521	38.511		6	0	-83.997	38.916	16	18	-91.580	40.224		
27	4	81.308	-38.474		6	21	84.135	-39.037	17	15	92.497	-40.727		
28	1	-81.486	38.731	7	19	-84.327	38.690	18	12	-92.078	40.742			
28	22	81.108	-38.618	8	16	84.676	-38.908	19	9	92.802	-41.163			
29	20	-81.555	38.472	9	13	-84.457	38.999	20	7	-92.443	40.432			
30	17	81.385	-38.454	10	10	84.640	-39.143	21	4	93.417	-40.966			
Oct.	1	14	-81.527	38.696	11	8	-84.804	38.773	22	1	-92.994	40.980		
	2	11	81.196	-38.603	12	5	85.202	-39.014	22	22	93.766	-41.428		
	3	9	-81.624	38.442	13	2	-84.953	39.093	23	19	-93.067	41.324		
	4	6	81.497	-38.442	13	23	85.188	-39.262	24	17	94.364	-41.216		
	5	3	-81.608	38.672	14	21	-85.315	38.865	25	14	-93.940	41.230		
	6	0	81.318	-38.597	15	18	85.765	-39.131	26	11	94.764	-41.707		
	6	22	-81.731	38.423	16	15	-85.491	39.201	27	8	-94.064	41.605		
	7	19	81.648	-38.443	17	12	85.772	-39.392	28	6	95.340	-41.478		
	8	16	-81.722	38.656	18	10	-85.866	38.970	29	3	-94.918	41.495		
	9	13	81.480	-38.603	19	7	86.366	-39.261	30	0	95.790	-41.999		
10	11	-81.872	38.412	20	4	-86.066	39.319	30	21	-95.098	41.901			
11	8	81.834	-38.452	21	1	86.398	-39.535	31	19	96.338	-41.751			

IO 2016

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	-95.921	41.770	Janv.	3	10	-96.159	42.211	Janv.	5	5	-96.949	42.058
	2	13	96.846	-42.304		4	8	97.359	-42.035		6	2	97.923	-42.621

EUROPE 2016

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	12	-166.306	80.842	Mars	21	8	187.161	-89.385	Juin	9	5	-152.978	72.729	
	3	6	164.571	-80.163		23	2	-186.551	89.570		11	0	154.640	-73.352	
	5	1	-167.970	81.779		24	21	186.604	-89.052		12	18	-151.236	72.103	
	6	20	166.527	-80.737		26	16	-186.069	88.752		14	13	153.087	-72.832	
	8	14	-169.626	82.701		28	10	185.940	-88.671		16	8	-149.806	71.275	
	10	9	168.353	-81.727		30	5	-185.170	88.261		18	2	151.464	-72.277	
	12	4	-171.462	83.209		31	23	185.060	-88.189		19	21	-148.246	70.748	
	13	22	170.094	-82.672		Avril	2	18	-184.179		87.729	21	16	150.094	-71.504
	15	17	-173.193	84.148			4	12	184.083		-87.670	23	10	-146.644	70.204
	17	11	171.801	-83.594			6	7	-182.984		87.109	25	5	148.642	-71.040
19	6	-174.804	85.028	8	1		182.903	-87.059	27	0	-145.346	69.455			
21	0	173.414	-84.463	9	20	-181.704	86.456	28	18	147.153	-70.566				
22	19	-176.383	85.879	11	15	181.899	-86.077	30	13	-143.937	69.008				
24	14	175.300	-84.920	13	9	-180.239	85.726	Juill.	2	8	145.917	-69.861			
26	8	-177.823	86.660	15	4	180.608	-85.445		4	2	-142.491	68.543			
28	3	176.920	-85.770	16	23	-178.907	84.615	5	21	144.603	-69.472				
29	22	-179.477	86.988	18	17	179.261	-84.802	7	16	-141.361	67.877				
31	16	178.474	-86.579	20	12	-177.383	83.893	9	10	143.227	-69.047				
Févr.	2	11	-180.880	87.726	22	6	177.745	-84.090	11	5	-140.109	67.504			
	4	5	179.892	-87.312	24	1	-175.799	83.155	13	0	142.187	-68.439			
	6	0	-182.223	88.419	25	19	176.182	-83.374	14	18	-138.816	67.110			
	7	18	181.230	-87.996	27	14	-174.081	82.370	16	13	140.984	-68.093			
9	13	-183.379	89.015	29	9	174.640	-82.257	18	8	-137.895	66.535				
11	7	182.404	-88.589	Mai	1	3	-172.314	81.575	20	3	139.930	-67.470			
13	2	-184.466	89.561		2	22	173.087	-81.584	21	21	-136.794	66.227			
14	21	183.729	-88.680	4	17	-170.599	80.408	23	16	138.902	-67.201				
16	15	-185.345	89.998	6	11	171.402	-80.860	25	11	-135.863	65.634				
18	10	184.752	-89.175	8	6	-168.881	79.675	27	5	137.809	-66.904				
20	4	-186.138	90.377	10	0	169.689	-80.142	29	0	-134.953	65.410				
21	23	185.675	-89.611	11	19	-167.063	78.909	30	19	136.990	-66.368				
23	18	-186.964	90.203	13	13	167.864	-79.381	Août	1	13	-133.992	65.156			
25	12	186.385	-89.931	15	8	-165.217	78.145		3	8	136.060	-66.138			
27	7	-187.555	90.461	17	3	166.322	-78.389		5	3	-133.309	64.661			
29	1	186.982	-90.187	18	21	-163.283	77.352		6	22	135.264	-65.594			
Mars	1	20	-187.920	90.603	20	16	164.593	-77.707	8	16	-132.536	64.485			
	3	14	187.353	-90.323	22	11	-161.672	76.345	10	11	134.498	-65.430			
5	9	-188.165	90.673	24	5	162.851	-77.037	12	6	-131.871	63.977				
7	3	187.605	-90.393	26	0	-159.875	75.646	14	0	133.691	-65.236				
8	22	-188.175	90.624	27	18	161.013	-76.327	15	19	-131.286	63.879				
10	16	187.628	-90.343	29	13	-158.053	74.947	17	14	133.126	-64.778				
12	11	-188.063	90.507	31	8	159.540	-75.442	19	8	-130.636	63.745				
14	5	187.522	-90.227	Juin	2	3	-156.354	73.949	21	3	132.480	-64.647			
16	0	-187.713	90.273		3	21	157.844	-74.824	22	22	-130.245	63.335			
17	19	187.496	-89.610		5	16	-154.690	73.346	24	17	131.951	-64.180			
19	13	-187.251	89.978		7	10	156.133	-74.212	26	11	-129.770	63.270			

EUROPE 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Août	28	6	131.465	-64.109	Oct.	11	17	-129.534	62.360	Nov.	25	5	137.558	-63.580
	30	1	-129.416	62.852		13	12	129.936	-62.588		27	0	-139.675	63.980
	31	19	130.885	-63.991		15	7	-130.071	62.176		28	18	138.442	-63.970
Sept.	2	14	-129.119	62.855	17	2	130.392	-62.360	30	13	-140.885	64.518		
	4	9	130.648	-63.622	18	20	-130.483	62.413	Déc.	2	8	139.722	-63.915	
	6	3	-128.779	62.832	20	15	130.654	-62.523	4	2	-142.008	65.011		
	7	22	130.225	-63.563	22	10	-131.067	62.216	5	21	140.806	-64.389		
	9	17	-128.682	62.499	24	5	131.151	-62.278	7	16	-143.449	65.023		
	11	12	130.038	-63.187	25	23	-131.654	62.519	9	10	141.831	-64.840		
	13	6	-128.517	62.542	27	18	131.587	-62.507	11	5	-144.764	65.600		
	15	1	129.771	-63.184	29	12	-132.145	62.769	13	0	143.356	-64.857		
	16	20	-128.462	62.199	31	7	132.011	-62.723	14	18	-146.067	66.184		
	18	14	129.480	-63.159	Nov.	2	2	-133.041	62.676	16	13	144.586	-65.398	
	20	9	-128.473	62.308	3	21	132.741	-62.541	18	8	-147.682	66.234		
	22	4	129.520	-62.853	5	15	-133.709	62.994	20	3	146.065	-65.369		
	23	22	-128.395	62.370	7	10	133.345	-62.826	21	21	-149.172	66.904		
	25	17	129.390	-62.887	9	5	-134.646	62.886	23	16	147.502	-66.003		
	27	12	-128.643	62.128	11	0	134.108	-62.623	25	10	-150.595	67.544		
	29	7	129.480	-62.570	12	18	-135.492	63.272	27	5	148.920	-66.639		
Oct.	1	1	-128.733	62.251	14	13	134.895	-62.980	29	0	-152.405	67.666		
	2	20	129.511	-62.663	16	7	-136.330	63.658	30	18	150.293	-67.264		
	4	15	-129.033	62.002	18	2	135.600	-63.298	Janv.	1	13	-154.012	68.397	
	6	10	129.649	-62.334	19	21	-137.481	63.600	3	8	152.146	-67.373		
	8	4	-129.294	62.188	21	16	136.656	-63.184	5	2	-155.602	69.143		
	9	23	129.843	-62.487	23	10	-138.505	64.062	6	21	153.722	-68.100		

GANYMÈDE 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	3	16	265.765	-126.955	Mai	7	16	-272.409	126.227	Sept.	10	5	206.687	-99.076
	7	5	-268.695	128.603		11	6	268.889	-124.624		13	19	-206.970	99.185
	10	20	271.457	-129.572		14	19	-266.701	123.818		17	9	206.103	-98.790
	14	9	-274.477	131.235		18	9	263.135	-122.242		21	0	-206.722	98.714
	17	23	276.918	-132.402		21	23	-261.047	121.244		24	14	206.040	-98.373
Févr.	21	13	-280.033	133.687	Juin	25	13	257.553	-119.744	Oct.	28	4	-206.764	98.618
	25	3	282.252	-134.713		29	3	-255.450	118.790		1	18	206.204	-98.302
	28	16	-285.146	136.262		1	17	252.079	-117.390		5	9	-207.265	98.348
	1	6	287.058	-137.103		5	7	-249.973	116.474		8	23	206.921	-98.089
	4	20	-289.896	138.179		8	21	246.725	-115.163		12	13	-208.057	98.467
Mars	8	10	291.495	-138.826	Juill.	12	11	-244.752	114.340	Nov.	16	3	207.913	-98.269
	11	23	-293.840	140.049		16	1	241.561	-113.082		19	17	-209.140	98.661
	15	13	295.132	-140.507		19	15	-239.787	112.372		23	8	209.427	-98.270
	19	2	-296.975	141.451		23	5	236.676	-111.165		26	22	-210.811	98.697
	22	16	297.906	-141.705		26	19	-235.124	110.577		30	12	211.211	-98.689
Avril	26	6	-299.396	142.011	Août	30	10	232.180	-109.191	Déc.	3	2	-212.724	99.139
	29	19	299.657	-142.338		3	23	-230.723	108.917		6	17	213.468	-98.880
	4	9	-300.745	142.416		7	14	228.000	-107.632		10	7	-215.222	99.403
	7	23	300.568	-142.093		11	4	-226.759	107.208		13	21	215.996	-99.518
	11	12	-301.015	142.256		14	18	224.159	-106.225		17	11	-217.989	100.120
Mai	15	2	300.253	-141.640	Sept.	18	8	-223.056	105.862	Janv.	21	1	218.906	-100.280
	18	15	-300.219	141.564		21	22	220.668	-104.969		24	15	-221.119	100.965
	22	5	298.851	-140.655		25	12	-219.680	104.646		28	6	222.373	-100.820
	25	19	-298.553	140.060		29	3	217.599	-103.619		1	20	-224.794	101.576
	29	9	296.663	-138.919		1	17	-216.821	103.378		5	10	226.166	-101.894
Avril	5	7	214.798	-102.622	Janv.	9	0	-228.689	102.684	Janv.	26	22	239.619	-105.970
	8	21	-214.257	102.471		12	14	230.307	-103.102		30	12	-242.664	106.966
	12	11	212.345	-101.742		16	4	-232.971	103.944		3	2	244.718	-107.620
	16	1	-212.035	101.683		19	18	234.804	-104.467		6	16	-247.996	108.724
	19	16	210.388	-100.771		23	8	-237.621	105.362		10	6	250.138	-109.439
Mai	19	19	285.026	-132.518	Sept.	23	6	-210.295	100.791	Janv.	26	22	239.619	-105.970
	23	8	-282.968	131.617		26	20	208.744	-100.167		30	12	-242.664	106.966
	26	22	279.850	-130.083		30	10	-208.761	100.217		3	2	244.718	-107.620
	30	12	-277.843	128.926		3	1	207.554	-99.431		6	16	-247.996	108.724
	4	2	274.506	-127.353		6	15	-207.727	99.523		10	6	250.138	-109.439

CALLISTO 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	7 6	474.513	-223.414	Mai	19 6	464.670	-212.709	Sept.	30 19	364.316	-170.925
	15 13	-484.911	228.087		27 14	-450.895	206.464		Oct.	9 4	-365.695
Févr.	23 22	497.294	-234.039	Juin	5 0	441.699	-202.870		17 16	367.636	-170.702
	1 4	-505.933	237.868		13 8	-428.997	197.480		26 1	-371.300	171.155
	9 13	516.375	-242.570		21 18	420.671	-194.546	Nov.	3 12	374.638	-171.750
	17 19	-521.820	244.523		30 3	-409.528	189.829		11 21	-380.541	172.898
Mars	26 3	528.419	-247.369	Juill.	8 13	402.476	-187.571		20 8	385.551	-173.976
	5 9	-529.222	246.813		16 22	-393.285	183.751		28 17	-393.634	175.823
	13 17	531.247	-247.221		25 9	387.630	-181.875	Déc.	7 4	400.253	-177.425
	21 23	-526.632	243.995		Août	2 18	-380.548		178.901	15 13	-410.620
	30 7	524.111	-242.250		11 5	376.373	-177.541		23 23	418.522	-182.534
Avril	7 13	-514.873	237.048		19 14	-371.323	175.282	Janv.	1 7	-430.741	186.335
	15 22	508.630	-233.558		28 2	368.758	-174.212			9 18	440.144
Mai	24 5	-496.390	227.156	Sept.	5 11	-365.871	172.666			18 2	-453.752
	2 14	487.862	-223.131		13 22	364.616	-172.120				
		10 21	-474.015	216.574		22 7	-363.910	171.265			

SATELLITES DE SATURNE

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

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

MIMAS 2016

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	-23.949	0.452	Janv.	22	11	23.653	-0.054	Févr.	12	16	-24.906	1.139
	1	18	22.887	-2.104		22	23	-24.062	2.798		13	4	24.294	-2.511
	2	5	-23.904	1.556		23	10	23.699	-1.241		13	15	-24.855	2.360
	2	16	23.156	-0.241		23	21	-24.385	0.941		14	2	24.541	-0.525
	3	3	-23.880	-0.246		24	9	23.475	-2.419		14	13	-24.873	0.399
	3	15	23.114	-1.376		24	20	-24.306	2.106		15	1	24.545	-1.767
	4	2	-23.999	0.866		25	7	23.783	-0.491		15	12	-24.993	1.634
	4	13	23.090	0.505		25	18	-24.358	0.224		15	23	24.502	0.238
	5	1	-23.869	1.974		26	6	23.737	-1.682		16	11	-24.841	2.856
	5	12	23.226	-0.637		26	17	-24.446	1.400		16	22	24.685	-1.012
5	23	-23.989	0.169	27	4	23.753	0.266	17	9	-25.024	0.895			
6	11	23.098	-1.776	27	16	-24.274	2.567	17	21	24.587	-2.255			
6	22	-24.023	1.288	28	3	23.884	-0.935	18	8	-25.044	2.134			
7	9	23.222	0.109	28	14	-24.480	0.683	18	19	24.713	-0.250			
7	21	-23.806	2.398	29	2	23.744	-2.129	19	7	-24.790	3.354			
8	8	23.272	-1.040	29	13	-24.476	1.865	19	18	24.794	-1.505			
8	19	-24.072	0.592	30	0	23.919	-0.180	20	5	-25.140	1.398			
9	7	23.056	-2.181	30	11	-24.408	-0.042	20	17	24.594	-2.747			
9	18	-24.019	1.716	30	23	23.957	-1.386	21	4	-25.057	2.638			
10	5	23.330	-0.296	31	10	-24.572	1.150	21	15	24.889	-0.746			
10	16	-24.015	-0.112	Févr.	31	22	23.722	-2.581	22	2	-25.129	0.651		
11	4	23.292	-1.450		1	9	-24.473	2.334	22	14	24.868	-2.003		
11	15	-24.127	1.021		1	20	24.056	-0.633	23	1	-25.219	1.906		
12	2	23.274	0.454		2	7	-24.562	0.425	23	12	24.873	0.019		
12	14	-23.987	2.149		2	19	23.999	-1.843	24	0	-25.033	3.145		
13	1	23.413	-0.707	3	6	-24.632	1.623	24	11	25.031	-1.249			
13	12	-24.130	0.317	3	17	24.043	0.126	24	22	-25.274	1.161			
14	0	23.286	-1.865	4	5	-24.438	2.809	25	10	24.904	-2.506			
14	11	-24.155	1.457	4	16	24.163	-1.093	25	21	-25.260	2.418			
14	22	23.420	0.042	5	3	-24.685	0.900	26	8	25.083	-0.486			
15	10	-23.926	2.586	5	15	24.009	-2.305	26	20	-24.969	3.653			
15	21	23.470	-1.126	6	2	-24.660	2.102	27	7	25.135	-1.757			
16	8	-24.218	0.754	6	13	24.216	-0.336	27	18	-25.382	1.676			
16	20	23.253	-2.286	7	0	-24.632	0.168	28	6	24.902	-3.012			
17	7	-24.154	1.899	7	12	24.240	-1.561	28	17	-25.263	2.933			
17	18	23.540	-0.378	7	23	-24.776	1.382	29	4	25.255	-0.998			
18	5	-24.175	0.044	8	10	24.156	0.426	29	15	-25.395	0.921			
18	17	23.500	-1.552	8	22	-24.653	2.585	Mars	1	3	25.201	-2.270		
19	4	-24.277	1.199	9	9	24.358	-0.807		1	14	-25.451	2.195		
19	15	23.496	0.375	9	20	-24.785	0.650		2	1	25.266	-0.233		
20	3	-24.123	2.346	10	8	24.284	-2.034	2	13	-25.224	3.449			
20	14	23.633	-0.806	10	19	-24.832	1.869	3	0	25.390	-1.516			
21	1	-24.295	0.489	11	6	24.364	-0.046	3	11	-25.531	1.443			
21	13	23.502	-1.983	11	18	-24.611	3.072	3	23	25.228	-2.786			
22	0	-24.307	1.649	12	5	24.468	-1.284	4	10	-25.480	2.717			

MIMAS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Mars	4 21	25.469	-0.754	Mars	26 2	-26.290	2.371	Avril	16 7	27.590	-2.306
	5 8	-25.502	0.680		26 13	26.481	-0.398		16 18	-26.976	1.986
	5 20	25.485	-2.039		27 1	-26.089	3.682		17 6	27.375	-3.627
	6 7	-25.628	1.970		27 12	26.647	-1.728		17 17	-26.895	3.342
	6 18	25.438	0.014		27 23	-26.347	1.589		18 4	27.680	-1.543
	7 6	-25.467	3.241		28 11	26.514	-3.040		18 15	-26.940	1.174
	7 17	25.633	-1.281		28 22	-26.329	2.920		19 3	27.645	-2.883
	8 4	-25.667	1.208		29 9	26.707	-0.963		19 14	-27.050	2.546
	8 16	25.540	-2.565		29 21	-26.007	4.222		20 1	27.662	-0.774
	9 3	-25.683	2.499		30 8	26.754	-2.290		20 13	-26.838	3.891
9 14	25.671	-0.516	30 19	-26.457	2.142	21 0	27.807	-2.126			
10 2	-25.410	3.766	31 7	26.500	-3.594	21 11	-27.088	1.738			
10 13	25.757	-1.813	31 18	-26.318	3.468	21 23	27.643	-3.455			
11 0	-25.790	1.742	Avril	1 5	26.886	-1.530	22 10	-27.068	3.103		
11 12	25.552	-3.093		1 16	-26.473	1.350	22 21	27.861	-1.362		
11 23	-25.695	3.031	2 4	26.811	-2.852	23 9	-26.725	4.433			
12 10	25.864	-1.052	2 15	-26.519	2.695	23 20	27.877	-2.707			
12 21	-25.788	0.971	3 2	26.908	-0.762	24 7	-27.182	2.299			
13 9	25.838	-2.349	3 14	-26.256	4.012	24 19	27.583	-4.022			
13 20	-25.871	2.277	4 1	27.014	-2.099	25 6	-27.030	3.654			
14 7	25.862	-0.284	4 12	-26.607	1.908	25 17	28.002	-1.948			
14 19	-25.663	3.562	5 0	26.817	-3.413	26 4	-27.178	1.483			
15 6	26.015	-1.593	5 11	-26.529	3.248	26 16	27.887	-3.283			
15 17	-25.939	1.510	5 22	27.108	-1.336	27 3	-27.219	2.856			
16 5	25.875	-2.886	6 9	-26.580	1.108	27 14	28.018	-1.182			
16 16	-25.909	2.815	6 21	27.090	-2.668	28 2	-26.934	4.197			
17 3	26.083	-0.828	7 8	-26.690	2.465	28 13	28.084	-2.531			
17 15	-25.585	4.092	7 19	27.093	-0.567	29 0	-27.291	2.044			
18 2	26.122	-2.137	8 7	-26.488	3.796	29 12	27.838	-3.852			
18 13	-26.046	2.052	8 18	27.256	-1.911	29 23	-27.199	3.407			
19 1	25.867	-3.424	9 5	-26.737	1.668	30 10	28.171	-1.770			
19 12	-25.900	3.353	9 17	27.114	-3.235	30 21	-27.245	1.222			
19 23	26.260	-1.377	10 4	-26.722	3.021	Mai	1 9	28.106	-3.109		
20 10	-26.072	1.275	10 15	27.312	-1.146		1 20	-27.348	2.602		
20 22	26.184	-2.683	11 3	-26.393	4.340		2 7	28.150	-1.002		
21 9	-26.108	2.595	11 14	27.351	-2.486	2 19	-27.122	3.951			
21 20	26.288	-0.610	12 1	-26.843	2.229	3 6	28.264	-2.354			
22 8	-25.845	3.890	12 13	27.083	-3.799	3 17	-27.377	1.783			
22 19	26.392	-1.930	13 0	-26.701	3.573	4 5	28.067	-3.679			
23 6	-26.204	1.822	13 11	27.479	-1.726	4 16	-27.346	3.153			
23 18	26.199	-3.230	13 22	-26.849	1.424	5 3	28.314	-1.590			
24 5	-26.123	3.139	14 10	27.391	-3.058	5 15	-26.986	4.485			
24 16	26.491	-1.167	14 21	-26.896	2.787	6 2	28.297	-2.932			
25 3	-26.189	1.037	15 8	27.498	-0.959	6 13	-27.452	2.339			
25 15	26.477	-2.484	15 20	-26.625	4.119	7 1	27.966	-4.241			

MIMAS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	7	12	-27.286	3.696	Mai	28	17	28.485	-4.042	Juin	18	21	-27.552	1.013	
	7	23	28.418	-2.174		29	4	-27.636	3.106		19	9	28.484	-3.655	
	8	10	-27.438	1.515		29	15	28.802	-1.985		19	20	-27.620	2.333	
	8	22	28.267	-3.503		30	3	-27.244	4.418		20	7	28.644	-1.628	
	9	9	-27.468	2.890		30	14	28.702	-3.297		20	19	-27.357	3.619	
	9	20	28.430	-1.409		31	1	-27.719	2.283		21	6	28.608	-2.903	
	10	8	-27.167	4.230		31	12	28.728	-1.217		21	17	-27.589	1.509	
	10	19	28.460	-2.753		Juin	1	0	-27.525		3.617	22	5	28.260	-4.143
	11	6	-27.531	2.069			1	11	28.809		-2.541	22	16	-27.526	2.811
	11	18	28.175	-4.065			1	22	-27.679		1.451	23	3	28.619	-2.142
12	5	-27.425	3.431	2	10		28.575	-3.834	23	14	-27.434	0.682			
12	16	28.543	-1.993	2	21	-27.685	2.801	24	2	28.453	-3.399				
13	3	-27.474	1.240	3	8	28.805	-1.777	24	13	-27.571	1.993				
13	15	28.439	-3.323	3	20	-27.356	4.115	25	0	28.517	-1.376				
14	2	-27.565	2.618	4	7	28.753	-3.085	25	12	-27.377	3.275				
14	13	28.516	-1.226	4	18	-27.722	1.976	25	23	28.534	-2.644				
15	1	-27.323	3.963	5	6	28.385	-4.356	26	10	-27.490	1.171				
15	12	28.593	-2.569	5	17	-27.593	3.308	26	22	28.240	-3.880				
15	23	-27.584	1.792	6	4	28.819	-2.326	27	9	-27.496	2.465				
16	11	28.354	-3.883	6	15	-27.635	1.143	27	20	28.502	-1.881				
16	22	-27.539	3.157	7	3	28.633	-3.616	28	8	-27.174	3.726				
17	9	28.637	-1.806	7	14	-27.705	2.489	28	19	28.390	-3.132				
17	21	-27.161	4.484	8	1	28.775	-1.560	29	6	-27.492	1.648				
18	8	28.579	-3.137	8	13	-27.441	3.802	29	17	28.356	-1.114				
18	19	-27.636	2.338	9	0	28.770	-2.864	30	5	-27.369	2.924				
19	6	28.572	-1.038	9	11	-27.695	1.661	Juill.	30	16	28.428	-2.374			
19	18	-27.454	3.687	9	23	28.451	-4.133		1	3	-27.362	0.828			
20	5	28.694	-2.380	10	10	-27.630	2.991		1	15	28.190	-3.605			
20	16	-27.610	1.508	10	21	28.795	-2.103		2	2	-27.438	2.114			
21	4	28.502	-3.695	11	8	-27.561	0.828		2	13	28.351	-1.610			
21	15	-27.627	2.875	11	20	28.658	-3.389		3	1	-27.188	3.370			
22	2	28.700	-1.615	12	7	-27.696	2.169	3	12	28.296	-2.854				
22	14	-27.309	4.205	12	18	28.709	-1.336	3	23	-27.383	1.299				
23	1	28.689	-2.945	13	6	-27.498	3.480	4	11	27.934	-4.062				
23	12	-27.678	2.050	13	17	28.753	-2.634	4	22	-27.331	2.568				
24	0	28.362	-4.240	14	4	-27.638	1.340	5	9	28.290	-2.093				
24	11	-27.558	3.401	14	16	28.483	-3.900	5	21	-26.956	3.801				
24	22	28.765	-2.186	15	3	-27.640	2.665	6	8	28.109	-3.318				
25	9	-27.607	1.216	15	14	28.737	-1.870	6	19	-27.350	1.759				
25	21	28.619	-3.500	16	2	-27.308	3.955	7	6	28.169	-1.328				
26	8	-27.687	2.583	16	13	28.649	-3.151	7	18	-27.173	3.008				
26	19	28.731	-1.419	17	0	-27.658	1.842	8	5	28.172	-2.564				
27	7	-27.431	3.916	17	11	28.608	-1.102	8	16	-27.244	0.946				
27	18	28.765	-2.747	17	23	-27.526	3.149	9	4	27.869	-3.768				
28	5	-27.693	1.754	18	10	28.702	-2.393	9	15	-27.266	2.206				

MIMAS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Juill.	10	2	28.120	-1.802	Juill.	31	7	-26.683	1.141	Août	21	12	26.142	-1.812	
	10	14	-26.965	3.435		31	18	27.114	-0.966		21	23	-25.837	0.018	
	11	1	28.000	-3.021		août	1	6	-26.577		2.323	22	11	25.894	-2.918
	11	12	-27.233	1.399			1	17	27.140		-2.140	22	22	-25.946	1.151
	11	23	27.954	-1.036	2		4	-26.515	0.357		23	9	26.023	-1.058	
	12	11	-27.130	2.641	2		16	26.871	-3.286		23	21	-25.767	2.267	
	12	22	28.018	-2.264	3	3	-26.601	1.544	24		8	25.958	-2.176		
	13	9	-27.076	0.590	3	14	27.038	-1.381	24		19	-25.825	0.394		
	13	21	27.776	-3.463	4	2	-26.383	2.709	25		7	25.609	-3.268		
	14	8	-27.171	1.840	4	13	26.953	-2.540	25		18	-25.831	1.516		
	14	19	27.920	-1.501	5	0	-26.503	0.763	26		5	25.905	-1.426		
	15	7	-26.947	3.063	5	11	26.819	-0.620	26		17	-25.551	2.618		
	15	18	27.862	-2.713	5	23	-26.477	1.937	27	4	25.738	-2.532			
	16	5	-27.088	1.036	6	10	26.918	-1.786	27	15	-25.776	0.764			
	16	17	27.501	-3.890	6	22	-26.149	3.083	28	2	25.734	-0.672			
	17	4	-27.060	2.270	7	9	26.723	-2.929	28	14	-25.681	1.875			
17	15	27.834	-1.954	7	20	-26.448	1.161	29	1	25.751	-1.787				
18	3	-26.716	3.471	8	7	26.767	-1.027	29	12	-25.602	0.013				
18	14	27.656	-3.147	8	19	-26.312	2.319	30	0	25.485	-2.880				
19	1	-27.049	1.472	9	6	26.755	-2.180	30	11	-25.690	1.128				
19	12	27.690	-1.190	9	17	-26.297	0.386	30	22	25.645	-1.035				
20	0	-26.901	2.687	10	5	26.452	-3.306	31	10	-25.497	2.226				
20	11	27.696	-2.394	10	16	-26.352	1.550	31	21	25.563	-2.140				
20	22	-26.913	0.672	11	3	26.671	-1.425	Sept.	1	8	-25.581	0.380			
21	10	27.401	-3.567	11	15	-26.107	2.691		1	19	25.422	-0.281			
21	21	-26.962	1.896	12	2	26.551	-2.564	2	7	-25.571	1.485				
22	8	27.622	-1.633	12	13	-26.269	0.778	2	18	25.522	-1.392				
22	20	-26.696	3.091	13	0	26.470	-0.666	3	6	-25.280	2.570				
23	7	27.510	-2.821	13	12	-26.215	1.929	3	17	25.342	-2.485				
23	18	-26.898	1.101	13	23	26.534	-1.813	4	4	-25.526	0.741				
24	5	27.432	-0.869	14	10	-26.067	0.009	4	15	25.364	-0.640				
24	17	-26.828	2.308	14	22	26.308	-2.937	5	3	-25.418	1.835				
25	4	27.504	-2.065	15	9	-26.201	1.163	5	14	25.367	-1.742				
25	15	-26.711	0.306	15	20	26.400	-1.057	6	1	-25.364	-0.002				
26	3	27.276	-3.234	16	8	-26.041	2.299	6	13	25.091	-2.823				
26	14	-26.836	1.519	16	19	26.358	-2.191	7	0	-25.437	1.096				
27	1	27.382	-1.304	17	6	-26.066	0.397	7	11	25.273	-0.993				
27	13	-26.650	2.708	17	18	26.028	-3.299	7	23	-25.233	2.180				
28	0	27.338	-2.485	18	5	-26.093	1.539	8	10	25.180	-2.086				
28	11	-26.720	0.728	18	16	26.290	-1.438	8	21	-25.338	0.356				
28	23	26.997	-3.635	19	4	-25.829	2.660	9	8	25.061	-0.241				
29	10	-26.728	1.927	19	15	26.144	-2.560	9	20	-25.315	1.447				
29	21	27.284	-1.728	20	2	-26.025	0.778	10	7	25.150	-1.340				
30	9	-26.429	3.097	20	13	26.105	-0.682	10	19	-25.018	2.518				
30	20	27.126	-2.892	21	1	-25.948	1.907	11	6	24.962	-2.423				

MIMAS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Sept.	11	17	-25.280	0.711	Oct.	2	22	24.142	-1.117	Oct.	24	3	-24.113	0.211
	12	4	25.002	-0.590		3	9	-24.475	-0.449		24	14	23.260	0.220
	12	16	-25.163	1.792		3	21	23.958	-2.186		25	2	-24.075	1.266
	13	3	24.996	-1.682		4	8	-24.606	0.614		25	13	23.370	-0.863
	13	14	-25.130	-0.024		4	19	24.016	-0.370		26	0	-23.951	-0.496
	14	2	24.715	-2.755		5	7	-24.478	1.670		26	12	23.218	-1.937
	14	13	-25.191	1.061		5	18	24.013	-1.447		26	23	-24.079	0.562
	15	0	24.912	-0.935		6	5	-24.481	-0.103		27	10	23.254	-0.113
	15	12	-24.980	2.132		6	17	23.742	-2.508		27	22	-23.958	1.615
	15	23	24.813	-2.019		7	4	-24.525	0.958		28	9	23.281	-1.196
	16	10	-25.102	0.329		7	15	23.948	-0.701		28	20	-23.973	-0.144
	16	21	24.710	-0.184		8	3	-24.312	2.007		29	8	23.046	-2.266
	17	9	-25.070	1.407		8	14	23.858	-1.775		29	19	-24.019	0.914
	17	20	24.793	-1.275		9	1	-24.459	0.243		30	6	23.225	-0.448
	18	7	-24.899	-0.402		9	12	23.765	0.048		30	18	-23.817	1.963
18	19	24.602	-2.350	10	0	-24.418	1.300	31	5	23.170	-1.529			
19	6	-25.043	0.678	10	11	23.855	-1.032	31	16	-23.971	0.210			
19	17	24.654	-0.526	10	22	-24.283	-0.471	Nov.	1	3	23.051	0.303		
20	5	-24.920	1.748	11	10	23.679	-2.100		1	15	-23.935	1.267		
20	16	24.645	-1.611	11	21	-24.411	0.588	2	2	23.174	-0.784			
21	3	-24.902	-0.050	12	8	23.734	-0.284	2	13	-23.814	-0.496			
21	15	24.363	-2.677	12	20	-24.285	1.641	3	1	23.037	-1.863			
22	2	-24.955	1.024	13	7	23.738	-1.361	3	12	-23.944	0.565			
22	13	24.569	-0.864	13	18	-24.293	-0.124	3	23	23.060	-0.033			
23	1	-24.741	2.085	14	6	23.477	-2.424	4	11	-23.827	1.620			
23	12	24.469	-1.942	14	17	-24.337	0.934	4	22	23.101	-1.121			
23	23	-24.874	0.298	15	4	23.678	-0.615	5	9	-23.844	-0.140			
24	10	24.374	-0.114	15	16	-24.126	1.981	5	21	22.882	-2.198			
24	22	-24.837	1.367	16	3	23.596	-1.689	6	8	-23.893	0.922			
25	9	24.456	-1.199	16	14	-24.277	0.224	6	19	23.047	-0.371			
25	20	-24.681	-0.426	17	1	23.498	0.134	7	7	-23.696	1.975			
26	8	24.266	-2.270	17	13	-24.236	1.278	7	18	23.006	-1.459			
26	19	-24.818	0.645	18	0	23.597	-0.946	8	5	-23.850	0.219			
27	6	24.324	-0.451	18	11	-24.108	-0.487	8	16	22.874	0.381			
27	18	-24.691	1.707	18	23	23.432	-2.016	9	4	-23.818	1.280			
28	5	24.316	-1.531	19	10	-24.235	0.571	9	15	23.012	-0.712			
28	16	-24.685	-0.077	19	21	23.479	-0.198	10	2	-23.700	-0.485			
29	4	24.038	-2.594	20	9	-24.111	1.622	10	14	22.890	-1.798			
29	15	-24.732	0.989	20	20	23.494	-1.277	11	1	-23.832	0.580			
30	2	24.246	-0.785	21	7	-24.123	-0.138	11	12	22.899	0.041			
30	14	-24.518	2.043	21	19	23.245	-2.342	12	0	-23.720	1.641			
Oct.	1	1	24.149	-1.860	22	6	-24.167	0.918	12	11	22.955	-1.054		
	1	12	-24.660	0.269	22	17	23.436	-0.530	12	22	-23.738	-0.123		
	1	23	24.058	-0.036	23	5	-23.961	1.965	13	10	22.752	-2.139		
	2	11	-24.619	1.331	23	16	23.367	-1.607	13	21	-23.790	0.944		

MIMAS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	14	8	22.902	-0.303	Déc.	1	8	22.472	-2.413	Déc.	18	7	22.674	-1.661
	14	20	-23.598	2.003		1	19	-23.609	1.416		18	18	-23.634	0.889
	15	7	22.877	-1.398		2	6	22.730	-0.557		19	5	22.613	0.240
	15	18	-23.753	0.242		2	17	-23.497	-0.373		19	17	-23.537	1.996
	16	5	22.730	0.451		3	5	22.657	-1.672		20	4	22.746	-0.906
	16	17	-23.724	1.310		3	16	-23.639	0.716		20	15	-23.572	0.180
	17	4	22.883	-0.649		4	3	22.620	0.201		21	3	22.620	-2.044
	17	15	-23.608	-0.462		4	15	-23.538	1.801		21	14	-23.637	1.296
	18	3	22.778	-1.744		5	2	22.724	-0.921		22	1	22.700	-0.144
	18	14	-23.743	0.610		5	13	-23.563	0.011		22	13	-23.460	2.401
	19	1	22.771	0.105		6	1	22.570	-2.036		23	0	22.751	-1.292
	19	13	-23.635	1.677		6	12	-23.625	1.104		23	11	-23.632	0.588
	20	0	22.844	-0.997		6	23	22.674	-0.163		23	23	22.543	-2.428
	20	11	-23.655	-0.093		7	11	-23.445	2.187		24	10	-23.617	1.706
	20	23	22.657	-2.091		7	22	22.697	-1.288		24	21	22.766	-0.532
	21	10	-23.710	0.981		8	9	-23.605	0.400		25	9	-23.359	2.809
21	21	22.791	-0.244	8	21	22.462	-2.401	25	20	22.734	-1.682			
22	9	-23.523	2.047	9	8	-23.587	1.495	26	7	-23.668	1.001			
22	20	22.782	-1.348	9	19	22.706	-0.532	26	18	22.664	0.233			
23	7	-23.679	0.279	10	6	-23.480	-0.307	27	6	-23.572	2.120			
23	19	22.516	-2.439	10	18	22.648	-1.658	27	17	22.809	-0.925			
24	6	-23.654	1.354	11	5	-23.624	0.794	28	4	-23.615	0.290			
24	17	22.789	-0.597	11	16	22.598	0.229	28	16	22.695	-2.075			
25	4	-23.540	-0.425	12	4	-23.526	1.889	29	3	-23.680	1.419			
25	16	22.700	-1.701	12	15	22.717	-0.905	29	14	22.768	-0.160			
26	3	-23.679	0.655	13	2	-23.555	0.087	30	2	-23.502	2.536			
26	14	22.678	0.160	13	14	22.578	-2.031	30	13	22.830	-1.321			
27	2	-23.575	1.730	14	1	-23.619	1.191	31	0	-23.684	0.709			
27	13	22.766	-0.952	14	12	22.669	-0.145	31	12	22.633	-2.470			
28	0	-23.597	-0.049	15	0	-23.441	2.285	31	23	-23.667	1.839			
28	12	22.596	-2.056	15	11	22.707	-1.281	Janv.	1	10	22.850	-0.560		
28	23	-23.655	1.034	15	22	-23.606	0.486		1	22	-23.407	2.954		
29	10	22.715	-0.197	16	10	22.486	-2.406		2	9	22.829	-1.722		
29	22	-23.472	2.108	16	21	-23.590	1.592		2	20	-23.728	1.132		
30	9	22.722	-1.311	17	8	22.718	-0.523		3	7	22.753	0.207		
30	20	-23.629	0.332	17	19	-23.488	-0.223		3	19	-23.629	2.263		

ENCELADE 2016

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	30.156	-2.703	Févr.	1	12	-30.988	2.709	Mars	3	8	32.765	-2.727
	2	8	-30.096	1.738		2	4	31.329	-1.394		4	0	-32.586	1.617
	3	1	30.126	-2.969		2	21	-30.991	3.000		4	17	32.789	-3.048
	3	17	-30.112	2.007		3	13	31.393	-1.687		5	9	-32.667	1.938
	4	9	30.308	-0.709		4	6	-30.985	3.290		6	2	32.797	-3.368
	5	2	-30.119	2.277		4	22	31.444	-1.979		6	18	-32.732	2.262
	5	18	30.369	-0.978		5	14	-31.192	0.930		7	10	32.985	-0.921
	6	11	-30.114	2.548		6	7	31.485	-2.274		8	3	-32.780	2.587
	7	3	30.421	-1.249		6	23	-31.283	1.226		8	19	33.099	-1.247
	7	20	-30.099	2.819		7	16	31.512	-2.569		9	12	-32.814	2.914
8	12	30.462	-1.521	8	8	-31.361	1.524	10	4	33.200	-1.573			
9	5	-30.073	3.090	9	1	31.529	-2.865	10	21	-32.829	3.239			
9	21	30.494	-1.795	9	17	-31.425	1.820	11	13	33.284	-1.902			
10	13	-30.258	0.797	10	10	31.530	-3.162	12	6	-32.831	3.567			
11	6	30.514	-2.068	11	2	-31.479	2.120	12	22	33.352	-2.232			
11	22	-30.326	1.073	11	19	31.520	-3.459	13	14	-33.062	1.079			
12	15	30.524	-2.342	12	11	-31.519	2.420	14	7	33.404	-2.563			
13	7	-30.383	1.349	13	3	31.800	-1.098	14	23	-33.173	1.413			
14	0	30.524	-2.617	13	20	-31.546	2.723	15	16	33.440	-2.893			
14	16	-30.429	1.627	14	12	31.890	-1.398	16	8	-33.266	1.748			
15	9	30.514	-2.890	15	5	-31.559	3.025	17	1	33.459	-3.225			
16	1	-30.463	1.905	15	21	31.966	-1.702	17	17	-33.343	2.084			
16	18	30.491	-3.166	16	14	-31.559	3.329	18	10	33.462	-3.559			
17	10	-30.487	2.184	17	6	32.029	-2.007	19	2	-33.403	2.421			
18	2	30.720	-0.877	17	22	-31.752	0.926	19	18	33.695	-1.072			
18	19	-30.500	2.463	18	15	32.079	-2.314	20	11	-33.448	2.756			
19	11	30.791	-1.158	19	7	-31.856	1.232	21	3	33.805	-1.411			
20	4	-30.504	2.742	20	0	32.113	-2.620	21	20	-33.474	3.095			
20	20	30.850	-1.437	20	16	-31.945	1.542	22	12	33.900	-1.750			
21	13	-30.494	3.023	21	9	32.136	-2.927	23	5	-33.483	3.434			
22	5	30.899	-1.719	22	1	-32.020	1.852	23	21	33.977	-2.092			
22	22	-30.473	3.304	22	18	32.144	-3.236	24	14	-33.474	3.773			
23	14	30.937	-2.002	23	10	-32.081	2.164	25	6	34.039	-2.432			
24	6	-30.713	0.982	24	3	32.140	-3.544	25	22	-33.759	1.244			
24	23	30.964	-2.286	24	19	-32.127	2.475	26	15	34.082	-2.776			
25	15	-30.788	1.265	25	11	32.423	-1.144	27	7	-33.862	1.590			
26	8	30.979	-2.571	26	4	-32.160	2.789	28	0	34.107	-3.120			
27	0	-30.852	1.552	26	20	32.520	-1.458	28	16	-33.947	1.937			
27	17	30.982	-2.855	27	13	-32.179	3.104	29	9	34.114	-3.464			
28	9	-30.904	1.840	28	5	32.603	-1.774	30	1	-34.016	2.285			
29	2	30.974	-3.141	28	22	-32.183	3.419	30	18	34.102	-3.806			
29	18	-30.944	2.129	29	14	32.671	-2.089	31	10	-34.065	2.634			
30	10	31.164	-0.813	Mars	1	6	-32.384	0.975	Avril	1	2	34.403	-1.282	
31	3	-30.972	2.419		1	23	32.726	-2.407		1	19	-34.096	2.984	
31	19	31.253	-1.104		2	15	-32.493	1.295		2	11	34.503	-1.632	

ENCELADE 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	3	4	-34.108	3.334	Mai	3	23	35.905	-1.084	Juin	3	19	-36.175	1.901
	3	20	34.586	-1.985		4	16	-35.607	2.795		4	12	36.298	-3.651
	4	13	-34.101	3.681		5	8	35.990	-1.460		5	4	-36.163	2.277
	5	5	34.649	-2.338		6	1	-35.598	3.168		5	20	36.452	-0.992
	5	21	-34.331	1.111		6	17	36.053	-1.835		6	13	-36.127	2.650
	6	14	34.694	-2.692		7	10	-35.567	3.539		7	5	36.486	-1.369
	7	6	-34.438	1.466		8	2	36.094	-2.210		7	22	-36.070	3.022
	7	23	34.719	-3.046		8	19	-35.513	3.910		8	14	36.496	-1.741
	8	15	-34.527	1.824		9	11	36.114	-2.582		9	7	-35.988	3.391
	9	8	34.727	-3.399		10	3	-35.784	1.251		9	23	36.486	-2.115
10	0	-34.594	2.181	10	20	36.111	-2.957	10	16	-35.884	3.757			
10	17	34.714	-3.753	11	12	-35.851	1.629	11	8	36.452	-2.486			
11	9	-34.644	2.541	12	5	36.085	-3.330	12	0	-36.094	1.077			
12	1	34.970	-1.190	12	21	-35.894	2.007	12	17	36.396	-2.855			
12	18	-34.674	2.900	13	14	36.037	-3.702	13	9	-36.112	1.448			
13	10	35.071	-1.551	14	6	-35.917	2.382	14	2	36.316	-3.222			
14	3	-34.685	3.259	14	22	36.220	-1.056	14	18	-36.106	1.821			
14	19	35.150	-1.910	15	15	-35.915	2.759	15	11	36.215	-3.585			
15	12	-34.675	3.619	16	7	36.290	-1.434	16	3	-36.077	2.191			
16	4	35.212	-2.273	17	0	-35.891	3.133	16	19	36.344	-0.932			
16	20	-34.861	1.010	17	16	36.338	-1.812	17	12	-36.025	2.559			
17	13	35.253	-2.636	18	9	-35.843	3.507	18	4	36.363	-1.301			
18	5	-34.967	1.375	19	1	36.365	-2.189	18	21	-35.950	2.923			
18	22	35.275	-2.998	19	18	-35.772	3.876	19	13	36.358	-1.671			
19	14	-35.053	1.739	20	10	36.367	-2.566	20	6	-35.855	3.285			
20	7	35.275	-3.362	21	2	-36.026	1.202	20	22	36.331	-2.038			
20	23	-35.118	2.106	21	19	36.347	-2.941	21	15	-35.737	3.644			
21	16	35.255	-3.724	22	11	-36.076	1.581	22	7	36.281	-2.403			
22	8	-35.163	2.473	23	4	36.303	-3.316	22	23	-35.915	0.975			
23	0	35.479	-1.127	23	20	-36.105	1.961	23	16	36.209	-2.762			
23	17	-35.187	2.840	24	13	36.237	-3.684	24	8	-35.916	1.343			
24	9	35.575	-1.493	25	5	-36.108	2.338	25	1	36.117	-3.122			
25	2	-35.188	3.207	25	21	36.408	-1.029	25	17	-35.896	1.708			
25	18	35.650	-1.864	26	14	-36.090	2.714	26	10	36.003	-3.477			
26	11	-35.170	3.574	27	6	36.461	-1.407	27	2	-35.854	2.071			
27	3	35.703	-2.233	27	23	-36.049	3.089	27	18	36.098	-0.838			
27	20	-35.129	3.940	28	15	36.491	-1.786	28	11	-35.791	2.427			
28	12	35.736	-2.604	29	8	-35.986	3.459	29	3	36.100	-1.202			
29	4	-35.425	1.304	30	0	36.496	-2.162	29	20	-35.706	2.785			
29	21	35.745	-2.972	30	17	-35.899	3.830	30	12	36.081	-1.563			
30	13	-35.504	1.678	31	9	36.480	-2.538	Juill.	1	5	-35.601	3.139		
Mai	1	6	35.734	-3.341	Juin	1	1	-36.134	1.148	1	21	36.041	-1.922	
	1	22	-35.560	2.051		1	18	36.441	-2.911	2	14	-35.474	3.490	
	2	15	35.702	-3.709		2	10	-36.167	1.527	3	6	35.981	-2.276	
	3	7	-35.595	2.425		3	3	36.382	-3.281	3	22	-35.600	0.838	

ENCELADE 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date				
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	
			X				Y				Y	
Juill.	4	15	35.900	Août	4	11	-34.155	Sept.	4	7	32.715	
	5	7	-35.592		5	3	34.502		4	23	-32.548	1.342
	6	0	35.797		5	20	-34.017		5	16	32.580	-3.038
	6	16	-35.561		6	12	34.421		6	8	-32.477	1.633
	7	9	35.675		7	4	-34.034		7	1	32.431	-3.321
	8	1	-35.512		7	21	34.322		7	17	-32.391	1.925
	8	17	35.719		8	13	-34.005		8	9	32.555	-0.892
	9	10	-35.440		9	6	34.209		9	2	-32.293	2.213
	10	2	35.712		9	22	-33.959		9	18	32.507	-1.184
	10	19	-35.349		10	15	34.079		10	11	-32.182	2.500
	11	11	35.684		11	7	-33.896		11	3	32.448	-1.472
	12	4	-35.237		12	0	33.936		12	20	-32.056	2.782
	12	20	35.637		12	16	-33.816		12	12	32.374	-1.761
	13	13	-35.107		13	8	33.981		13	5	-31.920	3.063
	14	5	35.569		14	1	-33.723		14	21	32.288	-2.046
14	21	-35.172	14	17	33.943	14	13	-31.990	0.630			
15	14	35.482	15	10	-33.613	15	6	32.190	-2.330			
16	6	-35.157	16	2	33.888	15	22	-31.955	0.919			
16	23	35.375	16	19	-33.489	16	15	32.079	-2.608			
17	15	-35.122	17	11	33.818	17	7	-31.906	1.206			
18	8	35.252	18	4	-33.348	18	0	31.958	-2.886			
19	0	-35.066	18	20	33.733	18	16	-31.844	1.490			
19	17	35.108	19	12	-33.367	19	9	31.824	-3.161			
20	9	-34.992	20	5	33.634	20	1	-31.771	1.773			
21	1	35.220	20	21	-33.333	20	17	31.896	-0.764			
21	18	-34.899	21	14	33.519	21	10	-31.686	2.050			
22	10	35.188	22	6	-33.285	22	2	31.859	-1.047			
23	3	-34.791	22	23	33.389	22	19	-31.589	2.328			
23	19	35.136	23	15	-33.222	23	11	31.810	-1.328			
24	12	-34.661	24	8	33.246	24	4	-31.480	2.604			
25	4	35.068	25	0	-33.143	24	20	31.750	-1.607			
25	21	-34.514	25	16	33.285	25	13	-31.360	2.878			
26	13	34.981	26	9	-33.050	26	5	31.679	-1.883			
27	5	-34.630	27	1	33.247	26	22	-31.228	3.148			
27	22	34.878	27	18	-32.941	27	14	31.596	-2.159			
28	14	-34.594	28	10	33.193	28	6	-31.343	0.755			
29	7	34.756	29	3	-32.820	28	23	31.502	-2.432			
29	23	-34.542	29	19	33.124	29	15	-31.308	1.034			
30	16	34.617	30	12	-32.686	30	8	31.397	-2.704			
31	8	-34.471	31	4	33.042	Oct.	1	0	-31.263	1.310		
Août	1	0	34.642	Sept.	31	21	-32.539	1	17	31.280	-2.970	
	1	17	-34.384		1	13	32.946	2	9	-31.205	1.585	
	2	9	34.613		2	5	-32.653	3	2	31.153	-3.237	
	3	2	-34.277		2	22	32.837	3	18	-31.137	1.859	
	3	18	34.566		3	14	-32.608	4	10	31.263	-0.875	

ENCELADE 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	5	3	-31.057	2.130	Nov.	4	7	-29.967	2.714	Déc.	4	11	-29.437	3.257
	5	19	31.231	-1.149		4	23	30.210	-1.777		5	3	29.738	-2.348
	6	12	-30.967	2.397		5	16	-29.880	2.968		5	19	-29.582	0.960
	7	4	31.186	-1.422		6	8	30.168	-2.037		6	12	29.706	-2.607
	7	21	-30.866	2.665		7	1	-29.785	3.224		7	4	-29.605	1.222
	8	13	31.132	-1.693		7	17	30.117	-2.296		7	21	29.665	-2.864
	9	6	-30.755	2.930		8	9	-29.937	0.910		8	13	-29.619	1.484
	9	22	31.067	-1.962		9	2	30.055	-2.554		9	6	29.614	-3.121
	10	15	-30.633	3.194		9	18	-29.932	1.173		9	22	-29.624	1.745
	11	7	30.993	-2.228		10	11	29.986	-2.808		10	15	29.554	-3.375
	11	23	-30.772	0.835		11	3	-29.916	1.435		11	7	-29.619	2.007
12	16	30.907	-2.494	11	20	29.906	-3.063	11	23	29.692	-1.089			
13	8	-30.744	1.106	12	12	-29.891	1.695	12	16	-29.605	2.267			
14	1	30.811	-2.758	13	5	29.818	-3.317	13	8	29.721	-1.352			
14	17	-30.705	1.375	13	21	-29.857	1.955	14	1	-29.580	2.527			
15	10	30.705	-3.021	14	13	29.957	-1.022	14	17	29.741	-1.615			
16	2	-30.657	1.642	15	6	-29.815	2.211	15	10	-29.548	2.784			
16	19	30.588	-3.279	15	22	29.955	-1.282	16	2	29.750	-1.877			
17	11	-30.598	1.909	16	15	-29.762	2.469	16	19	-29.505	3.043			
18	3	30.718	-0.946	17	7	29.946	-1.543	17	11	29.751	-2.139			
18	20	-30.528	2.173	18	0	-29.700	2.725	18	4	-29.453	3.301			
19	12	30.694	-1.214	18	16	29.927	-1.802	18	20	29.742	-2.401			
20	5	-30.448	2.437	19	9	-29.628	2.981	19	12	-29.603	1.006			
20	21	30.660	-1.480	20	1	29.900	-2.060	20	5	29.725	-2.660			
21	14	-30.358	2.696	20	18	-29.547	3.234	20	21	-29.639	1.270			
22	6	30.614	-1.745	21	10	29.863	-2.318	21	14	29.698	-2.921			
22	23	-30.258	2.956	22	2	-29.696	0.933	22	6	-29.667	1.535			
23	15	30.560	-2.009	22	19	29.816	-2.575	22	23	29.661	-3.182			
24	8	-30.149	3.215	23	11	-29.704	1.194	23	15	-29.685	1.799			
25	0	30.495	-2.271	24	4	29.760	-2.831	24	8	29.614	-3.442			
25	16	-30.300	0.882	24	20	-29.704	1.455	25	0	-29.695	2.063			
26	9	30.421	-2.529	25	13	29.695	-3.084	25	17	29.557	-3.699			
27	1	-30.281	1.148	26	5	-29.693	1.715	26	9	-29.694	2.328			
27	18	30.338	-2.789	26	22	29.622	-3.338	27	1	29.801	-1.416			
28	10	-30.252	1.412	27	14	-29.673	1.974	27	18	-29.684	2.592			
29	3	30.244	-3.046	28	6	29.759	-1.050	28	10	29.834	-1.683			
29	19	-30.214	1.675	28	23	-29.644	2.233	29	3	-29.664	2.856			
30	12	30.141	-3.302	29	15	29.773	-1.311	29	19	29.859	-1.949			
31	4	-30.168	1.936	30	8	-29.607	2.488	30	12	-29.634	3.117			
31	20	30.278	-0.991	Déc.	1	0	29.777	-1.572	31	4	29.873	-2.216		
Nov.	1	13	-30.111	2.196	1	17	-29.560	2.745	Janv.	31	21	-29.595	3.380	
	2	5	30.265	-1.254	2	9	29.773	-1.831		1	13	29.877	-2.482	
	2	22	-30.044	2.455	3	2	-29.503	3.001						
	3	14	30.242	-1.516	3	18	29.759	-2.091						

TÉTHYS 2016

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	9	-37.297	2.609	Févr.	12	21	39.122	-3.218	Mars	26	8	-42.078	2.194	
	2	7	37.392	-1.150		13	19	-39.313	1.690		27	7	42.066	-3.074	
	3	6	-37.422	1.890		14	18	39.344	-2.487		28	5	-42.199	1.433	
	4	5	37.384	-2.631		15	17	-39.271	3.292		29	4	42.269	-2.319	
	5	3	-37.473	1.166		16	15	39.493	-1.749		30	3	-42.236	3.201	
	6	2	37.513	-1.909		17	14	-39.501	2.557		Avril	31	1	42.399	-1.553
	7	1	-37.467	2.655		18	13	39.443	-3.361			1	0	-42.451	2.447
	7	23	37.566	-1.184		19	11	-39.656	1.817			1	23	42.409	-3.330
	8	22	-37.604	1.935		20	10	39.682	-2.628			2	21	-42.592	1.684
	9	21	37.563	-2.679		21	8	-39.737	1.070			3	20	42.634	-2.575
	10	19	-37.664	1.209		22	7	39.846	-1.888			4	19	-42.565	3.471
	11	18	37.706	-1.954		23	6	-39.845	2.702			5	17	42.788	-1.810
	12	17	-37.660	2.710		24	4	39.932	-1.140			6	16	-42.799	2.714
	13	15	37.772	-1.227		25	3	-40.019	1.961			7	15	42.732	-3.604
	14	14	-37.807	1.988		26	2	40.026	-2.784			8	13	-42.961	1.951
	15	13	37.772	-2.736		27	0	-40.117	1.212			9	12	42.977	-2.849
	16	11	-37.878	1.261		27	23	40.207	-2.043			10	10	-43.049	1.182
	17	10	37.926	-2.012		28	22	-40.199	2.867			11	9	43.149	-2.087
	18	9	-37.875	2.774		29	20	40.313	-1.290			12	8	-43.126	2.993
19	7	38.003	-1.283	Mars	1	19	-40.390	2.125	13	6		43.245	-1.319		
20	6	-38.034	2.050		2	18	40.380	-2.954	14	5		-43.307	2.230		
21	5	38.003	-2.807		3	16	-40.506	1.375	15	4		43.289	-3.142		
22	3	-38.118	1.319		4	15	40.580	-2.211	16	2		-43.414	1.460		
23	2	38.168	-2.084		5	14	-40.555	3.051	17	1		43.481	-2.379		
24	1	-38.117	2.847		6	12	40.706	-1.457	18	0	-43.420	3.289			
24	23	38.255	-1.353		7	11	-40.763	2.306	18	22	43.595	-1.608			
25	22	-38.288	2.122		8	10	40.740	-3.143	19	21	-43.623	2.527			
26	21	38.254	-2.892		9	8	-40.900	1.554	20	20	43.561	-3.446			
27	19	-38.383	1.390		10	7	40.959	-2.399	21	18	-43.750	1.756			
28	18	38.431	-2.166		11	6	-40.912	3.250	22	17	43.772	-2.683			
29	17	-38.381	2.937		12	4	41.106	-1.645	23	16	-43.676	3.599			
30	15	38.531	-1.430		13	3	-41.139	2.502	24	14	43.907	-1.910			
31	14	-38.566	2.211		14	2	41.100	-3.351	25	13	-43.899	2.837			
Févr.	1	13	38.523		-2.987	15	0	-41.294	1.750	26	11	43.970	-1.134		
	2	11	-38.676		1.475	15	23	41.338	-2.605	27	10	-44.047	2.066		
	3	10	38.713		-2.260	16	22	-41.264	3.465	28	9	44.023	-2.996		
	4	9	-38.662		3.041	17	20	41.503	-1.853	29	7	-44.119	1.291		
	5	7	38.831		-1.520	18	19	-41.515	2.715	30	6	44.183	-2.221		
	6	6	-38.861	2.312	19	17	41.591	-1.093	Mai	1	5	-44.125	3.159		
	7	5	38.814	-3.095	20	16	-41.689	1.962		2	3	44.264	-1.445		
	8	3	-38.985	1.576	21	15	41.709	-2.832		3	2	-44.294	2.388		
	9	2	39.019	-2.365	22	13	-41.788	1.201		4	1	44.230	-3.317		
	10	1	-38.960	3.161	23	12	41.893	-2.079		4	23	-44.387	1.612		
	10	23	39.153	-1.625	24	11	-41.882	2.947		5	22	44.410	-2.546		
	11	22	-39.172	2.429	25	9	42.000	-1.315		6	21	-44.301	3.484		

TÉTHYS 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	7	19	44.511	-1.771	Juin	19	6	-44.847	1.529	Juill.	31	17	42.845	-0.781	
	8	18	-44.488	2.713		20	5	44.782	-2.470		Août	1	16	-42.787	1.662
	9	16	44.536	-0.989		21	3	-44.758	0.736			2	15	42.651	-2.546
	10	15	-44.600	1.936		22	2	44.779	-1.680		3	13	-42.657	0.871	
	11	14	44.581	-2.879		23	1	-44.686	2.618		4	12	42.607	-1.757	
	12	12	-44.637	1.150		23	23	44.701	-0.885		5	11	-42.442	2.623	
	13	11	44.700	-2.102		24	22	-44.688	1.827		6	9	42.483	-0.965	
	14	10	-44.633	3.043		25	21	44.587	-2.758		7	8	-42.406	1.834	
	15	8	44.743	-1.321		26	19	-44.617	1.034		8	7	42.244	-2.709	
	16	7	-44.763	2.265		27	18	44.600	-1.967		9	5	-42.292	1.044	
	17	6	44.691	-3.215		28	17	-44.456	2.901		10	4	42.216	-1.921	
	18	4	-44.820	1.482		29	15	44.538	-1.175		11	3	-42.030	2.779	
	19	3	44.828	-2.435		30	14	-44.478	2.106		12	1	42.107	-1.127	
	20	2	-44.717	3.377		Juill.	1	13	44.336		-3.033	13	0	-42.010	1.992
	21	0	44.892	-1.653			2	11	-44.424		1.314	13	23	41.826	-2.850
	21	23	-44.866	2.600		3	10	44.367	-2.243		14	21	-41.913	1.202	
22	21	44.877	-0.867	4	8	-44.290	0.520	15	20	41.813	-2.064				
23	20	-44.940	1.819	5	7	44.321	-1.451	16	18	-41.736	0.413				
24	19	44.899	-2.766	6	6	-44.221	2.369	17	17	41.723	-1.273				
25	17	-44.935	1.033	7	4	44.194	-0.657	18	16	-41.605	2.129				
26	16	44.980	-1.984	8	3	-44.183	1.577	19	14	41.553	-0.485				
27	15	-44.906	2.934	9	2	44.085	-2.501	20	13	-41.521	1.341				
28	13	44.985	-1.197	10	0	-44.066	0.783	21	12	41.410	-2.191				
29	12	-44.997	2.152	10	23	44.054	-1.710	22	10	-41.357	0.554				
30	11	44.911	-3.096	11	22	-43.921	2.616	23	9	41.335	-1.403				
Juin	31	9	-45.007	1.364	12	20	43.942	-0.913	24	8	-41.196	2.248			
	1	8	45.010	-2.314	13	19	-43.900	1.825	25	6	41.178	-0.617			
	2	7	-44.878	3.262	14	18	43.760	-2.738	26	5	-41.127	1.462			
	3	5	45.032	-1.527	15	16	-43.800	1.031	27	4	41.006	-2.304			
	4	4	-44.987	2.481	16	15	43.746	-1.947	28	2	-40.977	0.675			
	5	3	44.856	-3.421	17	14	-43.581	2.846	29	1	40.942	-1.520			
	6	1	-45.019	1.689	18	12	43.654	-1.150	30	0	-40.794	2.349			
	7	0	44.973	-2.640	19	11	-43.575	2.057	30	22	40.798	-0.735			
	7	22	-44.973	0.899	20	10	43.403	-2.953	31	21	-40.737	1.565			
	8	21	45.013	-1.854	21	8	-43.493	1.264	Sept.	1	20	40.603	-2.404		
	9	20	-44.917	2.797	22	7	43.406	-2.162		2	18	-40.601	0.780		
	10	18	44.975	-1.065	23	5	-43.331	0.472	3	17	40.551	-1.621			
	11	17	-44.969	2.006	24	4	43.334	-1.369	4	16	-40.398	2.440			
	12	16	44.870	-2.957	25	3	-43.217	2.266	5	14	40.418	-0.833			
	13	14	-44.941	1.217	26	1	43.181	-0.578	6	13	-40.354	1.659			
	14	13	44.928	-2.169	27	0	-43.150	1.473	7	12	40.206	-2.485			
15	12	-44.789	3.105	27	23	43.042	-2.363	8	10	-40.231	0.875				
16	10	44.907	-1.380	28	21	-43.005	0.681	9	9	40.167	-1.704				
17	9	-44.858	2.319	29	20	42.984	-1.572	10	8	-40.010	2.519				
18	8	44.707	-3.257	30	19	-42.837	2.453	11	6	40.050	-0.918				

TÉTHYS 2016

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	5	-39.976	1.739	Oct.	20	0	-37.780	2.777	Nov.	26	18	-36.868	1.281	
	13	4	39.825	-2.554		20	22	37.890	-1.230		27	17	36.846	-2.060	
	14	2	-39.865	0.957		21	21	-37.811	2.008		28	16	-36.742	2.821	
	15	1	39.798	-1.774		22	20	37.673	-2.787		29	14	36.839	-1.289	
	16	0	-39.633	2.585		23	18	-37.765	1.232		30	13	-36.815	2.059	
	16	22	39.694	-0.991		24	17	37.705	-2.018		Déc.	1	12	36.720	-2.830
	17	21	-39.610	1.804		25	16	-37.554	2.786			2	10	-36.812	1.290
	18	20	39.460	-2.613		26	14	37.662	-1.247			3	9	36.797	-2.066
	19	18	-39.511	1.023		27	13	-37.591	2.018			4	8	-36.699	2.833
	20	17	39.443	-1.835		28	12	37.456	-2.798			5	6	36.798	-1.295
	21	16	-39.272	2.638		29	10	-37.553	1.246		6	5	-36.779	2.070	
	22	14	39.349	-1.055		30	9	37.495	-2.028		7	4	36.694	-2.840	
	23	13	-39.261	1.857		31	8	-37.352	2.796		8	2	-36.783	1.302	
	24	12	39.110	-2.663		Nov.	1	6	37.458		-1.257	9	1	36.777	-2.076
	25	10	-39.171	1.078			2	5	-37.397		2.028	10	0	-36.685	2.847
	26	9	39.103	-1.886		3	4	37.264	-2.804		10	22	36.785	-1.309	
27	8	-38.930	2.679	4	2	-37.365	1.258	11	21	-36.770	2.081				
28	6	39.017	-1.109	5	1	37.312	-2.034	12	20	36.696	-2.857				
29	5	-38.932	1.901	6	0	-37.177	2.803	13	18	-36.779	1.313				
30	4	38.774	-2.702	6	22	37.281	-1.264	14	17	36.786	-2.093				
Oct.	1	2	-38.852	1.124	7	21	-37.227	2.037	15	16	-36.696	2.864			
	2	1	38.778	-1.928	8	20	37.102	-2.806	16	14	36.799	-1.325			
	3	0	-38.612	2.712	9	18	-37.200	1.268	17	13	-36.791	2.097			
	3	22	38.702	-1.152	10	17	37.158	-2.039	18	12	36.722	-2.878			
	4	21	-38.621	1.939	11	16	-37.024	2.807	19	10	-36.808	1.329			
	5	20	38.463	-2.731	12	14	37.134	-1.270	20	9	36.818	-2.115			
	6	18	-38.549	1.164	13	13	-37.082	2.042	21	8	-36.739	2.884			
	7	17	38.475	-1.958	14	12	36.969	-2.810	22	6	36.838	-1.348			
	8	16	-38.313	2.742	15	10	-37.060	1.273	23	5	-36.842	2.120			
	9	14	38.407	-1.182	16	9	37.029	-2.046	24	4	36.774	-2.905			
	10	13	-38.329	1.971	17	8	-36.901	2.808	25	2	-36.865	1.353			
	11	12	38.177	-2.752	18	6	37.010	-1.279	26	1	36.878	-2.141			
	12	10	-38.265	1.195	19	5	-36.964	2.044	27	0	-36.809	2.915			
	13	9	38.196	-1.982	20	4	36.860	-2.817	27	22	36.904	-1.373			
	14	8	-38.034	2.764	21	2	-36.949	1.275	28	21	-36.918	2.153			
	15	6	38.137	-1.208	22	1	36.925	-2.054	29	20	36.855	-2.935			
16	5	-38.057	1.993	23	0	-36.809	2.813	30	18	-36.948	1.385				
17	4	37.915	-2.772	23	22	36.909	-1.284	31	17	36.967	-2.172				
18	2	-38.001	1.216	24	21	-36.877	2.050	Janv.	1	16	-36.903	2.955			
19	1	37.942	-2.003	25	20	36.775	-2.823		2	14	37.002	-1.403			

DIONÉ 2016

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	47.920	-2.505	Mars	2	18	-51.668	3.788	Mai	3	8	56.701	-4.727
	2	12	-47.806	2.906		4	3	51.930	-3.995		4	16	-56.699	2.875
	3	21	47.992	-3.055		5	12	-51.829	4.470		6	1	56.967	-3.169
	5	6	-47.867	3.461		6	21	52.071	-4.687		7	10	-56.826	3.705
	6	15	48.046	-3.614		8	5	-52.178	2.955		8	19	57.065	-4.002
	8	0	-47.903	4.021		9	14	52.458	-3.181		10	4	-56.880	4.536
	9	8	48.243	-2.151		10	23	-52.400	3.659		11	13	57.088	-4.833
	10	17	-48.153	2.557		12	8	52.663	-3.882		12	21	-57.084	2.966
	12	2	48.366	-2.718		13	17	-52.574	4.372		14	6	57.331	-3.263
	13	11	-48.262	3.125		15	2	52.822	-4.592		15	15	-57.166	3.808
	14	20	48.466	-3.289		16	10	-52.899	2.848		17	0	57.383	-4.100
	16	5	-48.348	3.700		17	19	53.189	-3.076		18	9	-57.167	4.646
	17	14	48.537	-3.861		19	4	-53.135	3.573		19	18	57.360	-4.937
	18	22	-48.559	2.227		20	13	53.402	-3.803		21	2	-57.349	3.063
20	7	48.783	-2.392	21	22	-53.317	4.305	22	11	57.585	-3.370			
21	16	-48.713	2.811	23	7	53.568	-4.536	23	20	-57.380	3.904			
23	1	48.930	-2.977	24	15	-53.621	2.771	25	5	57.582	-4.212			
24	10	-48.837	3.400	26	0	53.921	-3.010	26	14	-57.334	4.740			
25	19	49.049	-3.568	27	9	-53.856	3.518	27	22	57.682	-2.628			
27	4	-48.937	3.994	28	18	54.139	-3.760	29	7	-57.496	3.160			
28	13	49.142	-4.162	30	3	-54.039	4.271	Juin	30	16	57.705	-3.471		
29	21	-49.205	2.516	31	12	54.301	-4.518		1	1	-57.475	4.001		
31	6	49.445	-2.685	Avril	1	21	-54.172		5.029	2	10	57.650	-4.307	
Févr.	1	15	-49.373		3.123	3	5		54.629	-2.982	3	19	-57.376	4.830
	3	0	49.605		-3.293	4	14		-54.566	3.497	5	3	57.725	-2.725
	4	9	-49.512		3.733	5	23	54.840	-3.754	6	12	-57.517	3.249	
5	18	49.739	-3.909	7	8	-54.741	4.272	7	21	57.696	-3.560			
7	3	-49.624	4.345	8	17	54.996	-4.528	9	6	-57.439	4.083			
8	11	50.006	-2.426	10	2	-54.854	5.049	10	15	57.590	-4.383			
9	20	-49.953	2.859	11	10	55.310	-2.988	11	23	-57.445	2.491			
11	5	50.202	-3.052	12	19	-55.233	3.510	13	8	57.647	-2.801			
12	14	-50.133	3.493	14	4	55.505	-3.778	14	17	-57.397	3.322			
13	23	50.369	-3.679	15	13	-55.394	4.304	16	2	57.564	-3.628			
15	8	-50.279	4.133	16	22	55.636	-4.568	17	11	-57.272	4.139			
16	17	50.505	-4.318	18	7	-55.485	5.105	18	20	57.402	-4.445			
18	1	-50.575	2.637	19	15	55.936	-3.019	20	4	-57.260	2.545			
19	10	50.840	-2.828	21	0	-55.844	3.558	21	13	57.433	-2.859			
20	19	-50.786	3.282	22	9	56.113	-3.827	22	22	-57.162	3.364			
22	4	51.040	-3.482	23	18	-55.970	4.362	24	7	57.306	-3.670			
23	13	-50.962	3.942	25	3	56.219	-4.641	25	16	-56.984	4.169			
24	22	51.203	-4.143	26	11	-56.209	2.796	27	1	57.101	-4.471			
26	7	-51.100	4.610	27	20	56.498	-3.088	28	9	-56.949	2.573			
27	15	51.511	-2.634	29	5	-56.381	3.618	29	18	57.106	-2.889			
29	0	-51.468	3.108	30	14	56.633	-3.906	Juill.	1	3	-56.814	3.375		
Mars	1	9	51.741	-3.310	Mai	1	23		-56.478	4.444	2	12	56.927	-3.680

DIONÉ 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	3	21	-56.600	4.165	Sept.	3	11	51.916	-3.925	Nov.	4	2	-47.585	4.178
	5	6	56.683	-4.459		4	19	-51.701	2.120		5	10	47.855	-2.354
	6	14	-56.537	2.577		6	4	51.793	-2.375		6	19	-47.612	2.669
	7	23	56.672	-2.874		7	13	-51.468	2.747		8	4	47.749	-2.889
	9	8	-56.354	3.357		8	22	51.548	-2.990		9	13	-47.499	3.205
	10	17	56.465	-3.650		10	7	-51.197	3.365		10	22	47.624	-3.415
	12	2	-56.104	4.124		11	16	51.264	-3.604		12	7	-47.367	3.740
	13	11	56.191	-4.413		13	1	-50.892	3.969		13	16	47.482	-3.943
	14	19	-56.023	2.531		14	9	51.102	-2.061		15	1	-47.210	4.268
	16	4	56.144	-2.830		15	18	-50.792	2.415		16	9	47.491	-2.443
	17	13	-55.818	3.293		17	3	50.879	-2.667		17	18	-47.271	2.761
	18	22	55.908	-3.585		18	12	-50.559	3.019		19	3	47.420	-2.975
	20	7	-55.547	4.041		19	21	50.626	-3.261		20	12	-47.189	3.292
	21	16	55.616	-4.323		21	6	-50.290	3.613		21	21	47.327	-3.503
23	0	-55.433	2.449	22	15	50.348	-3.842	23	6	-47.085	3.824			
24	9	55.547	-2.747	23	23	-50.141	2.073	24	15	47.217	-4.023			
25	18	-55.208	3.190	25	8	50.244	-2.308	26	0	-46.962	4.351			
27	3	55.294	-3.479	26	17	-49.939	2.662	27	8	47.261	-2.526			
28	12	-54.926	3.915	28	2	50.030	-2.892	28	17	-47.056	2.853			
29	21	54.983	-4.192	29	11	-49.710	3.239	30	2	47.223	-3.060			
Août	31	5	-54.790	2.334	Oct.	30	20	49.787	-3.465	Déc.	1	11	-47.003	3.378
	1	14	54.886	-2.617		2	5	-49.454	3.810		2	20	47.163	-3.589
	2	23	-54.553	3.053		3	14	49.519	-4.031		4	5	-46.935	3.905
	4	8	54.628	-3.327		4	22	-49.358	2.278		5	14	47.085	-4.117
	5	17	-54.259	3.754		6	7	49.465	-2.507		6	23	-46.849	4.434
	7	2	54.319	-4.024		7	16	-49.165	2.845		8	7	47.160	-2.620
	8	10	-54.092	2.174		9	1	49.266	-3.071		9	16	-46.975	2.941
	9	19	54.195	-2.454		10	10	-48.952	3.407		11	1	47.152	-3.151
	11	4	-53.854	2.871		11	19	49.041	-3.630		12	10	-46.957	3.476
	12	13	53.935	-3.140		13	4	-48.718	3.962		13	19	47.128	-3.682
	13	22	-53.567	3.553		14	12	48.932	-2.107		15	4	-46.923	4.006
	15	7	53.629	-3.815		15	21	-48.667	2.437		16	13	47.083	-4.214
	16	15	-53.371	1.978		17	6	48.776	-2.662		17	22	-46.865	4.540
	18	0	53.472	-2.254		18	15	-48.501	2.994		19	6	47.192	-2.723
19	9	-53.141	2.649	20	0	48.600	-3.212	20	15	-47.027	3.048			
20	18	53.220	-2.922	21	9	-48.306	3.540	22	0	47.222	-3.257			
22	3	-52.867	3.312	22	18	48.399	-3.755	23	9	-47.039	3.589			
23	12	52.925	-3.576	24	3	-48.091	4.084	24	18	47.230	-3.796			
24	21	-52.551	3.967	25	11	48.335	-2.241	26	3	-47.032	4.128			
26	5	52.738	-2.011	26	20	-48.084	2.569	27	12	47.217	-4.334			
27	14	-52.420	2.405	28	5	48.203	-2.781	28	21	-47.011	4.665			
28	23	52.504	-2.659	29	14	-47.938	3.114	30	5	47.362	-2.848			
30	8	-52.161	3.049	30	23	48.052	-3.322	31	14	-47.211	3.176			
31	17	52.231	-3.298	Nov.	1	8	-47.771	3.650	Janv.	1	23	47.420	-3.394	
Sept.	2	2	-51.867		3.677	2	17	47.882		-3.856	3	8	-47.255	3.725

RHÉA 2016

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	23	-66.872	4.722	Avril	13	15	77.296	-4.504	Juill.	24	5	-77.470	4.698	
	5	5	66.947	-4.273		15	22	-77.561	6.109		26	11	77.118	-4.291	
	7	11	-67.210	3.834		18	4	77.710	-5.760		28	17	-77.003	3.895	
	9	17	67.237	-3.381		20	10	-78.100	5.427		30	23	76.642	-3.493	
	12	0	-67.434	4.641		22	16	78.208	-5.079		Août	2	6	-76.416	5.014
	14	6	67.515	-4.189		24	22	-78.565	4.725		4	12	76.057	-4.597	
	16	12	-67.801	3.766		27	4	78.654	-4.393		6	18	-75.948	4.197	
	18	19	67.762	-5.026		29	11	-78.874	6.040		9	0	75.573	-3.768	
	21	1	-68.098	4.587	Mai	1	17	78.960	-5.705		11	6	-75.421	3.376	
	23	7	68.197	-4.161			3	23	-79.301	5.367		13	13	74.947	-4.826
	25	13	-68.508	3.723		6	5	79.362	-5.030		15	19	-74.837	4.408	
	27	20	68.505	-5.016		8	11	-79.645	4.702		18	1	74.455	-3.987	
Févr.	30	2	-68.869	4.593		10	17	79.671	-4.353		20	7	-74.313	3.566	
	1	8	68.988	-4.162		13	0	-79.834	6.035		22	14	73.811	-4.981	
	3	14	-69.308	3.730		15	6	79.846	-5.712		24	20	-73.708	4.564	
		5	21	69.357	-5.058		17	12	-80.116	5.374		27	2	73.337	-4.121
		8	3	-69.733	4.639		19	18	80.099	-5.033	Sept.	29	8	-73.190	3.685
	10	9	69.859	-4.215		22	0	-80.335	4.715			31	14	72.814	-3.243
	12	15	-70.223	3.794		24	6	80.271	-4.371			2	21	-72.589	4.642
	14	22	70.282	-5.151		26	13	-80.337	6.054			5	3	72.226	-4.188
	17	4	-70.678	4.749		28	19	80.295	-5.731			7	9	-72.104	3.751
	19	10	70.827	-4.328	Juin	31	1	-80.481	5.393		9	15	71.731	-3.290	
	21	17	-71.087	5.709			2	7	80.380	-5.052		11	22	-71.507	4.666
	23	23	71.283	-5.318			4	13	-80.539	4.720		14	4	71.168	-4.198
	26	5	-71.696	4.909			6	19	80.411	-4.370		16	10	-71.059	3.747
	28	11	71.859	-4.503			9	1	-80.507	4.045		18	16	70.695	-3.295
Mars	1	17	-72.266	4.100		11	8	80.243	-5.710		20	23	-70.494	4.626	
	4	0	72.339	-5.538		13	14	-80.363	5.368		23	5	70.169	-4.156	
	6	6	-72.754	5.144		15	20	80.181	-5.027		25	11	-70.079	3.707	
	8	12	72.951	-4.747		18	2	-80.256	4.680		27	17	69.733	-3.238	
		10	18	-73.364	4.356		20	8	80.045	-4.316	Oct.	30	0	-69.547	4.543
	13	1	73.408	-5.835		22	14	-80.087	3.983			2	6	69.262	-4.074
	15	7	-73.858	5.447		24	21	79.726	-5.625			4	12	-69.173	3.613
	17	13	74.049	-5.062		27	3	-79.760	5.263			6	19	68.746	-4.892
	19	19	-74.472	4.694		29	9	79.531	-4.906			9	1	-68.708	4.426
	22	1	74.633	-4.307	Juill.	1	15	-79.526	4.548		11	7	68.427	-3.945	
	24	8	-74.944	5.819			3	21	79.241	-4.173		13	13	-68.355	3.491
	26	14	75.143	-5.466			6	3	-79.213	3.815		15	20	67.980	-4.743
	28	20	-75.568	5.090			8	10	78.804	-5.413		18	2	-67.957	4.266
	31	2	75.727	-4.721			10	16	-78.765	5.056		20	8	67.694	-3.801
Avril	2	8	-76.140	4.355		12	22	78.468	-4.660		22	15	-67.538	5.047	
	4	15	76.194	-5.924		15	4	-78.415	4.287		24	21	67.312	-4.567	
	6	21	-76.601	5.569		17	10	78.073	-3.906		27	3	-67.313	4.095	
	9	3	76.774	-5.209		19	16	-77.982	3.525		29	9	67.071	-3.617	
	11	9	-77.179	4.853		21	23	77.538	-5.072		31	16	-66.952	4.852	

RHÉA 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	2	22	66.767	-4.373	Nov.	27	19	-65.923	4.198	Déc.	22	17	65.680	-5.745
	5	4	-66.776	3.895		30	2	65.675	-5.417		24	23	-65.889	5.259
	7	11	66.443	-5.124	Déc.	2	8	-65.789	4.936	27	5	65.865	-4.798	
	9	17	-66.498	4.642		4	14	65.703	-4.457	29	11	-66.062	4.317	
	11	23	66.320	-4.158		6	20	-65.813	3.974	31	18	65.948	-5.561	
14	5	-66.347	3.688	9	3	65.612	-5.202	Janv.	3	0	-66.164	5.088		
16	12	66.078	-4.906	11	9	-65.766	4.714		5	6	66.176	-4.626		
18	18	-66.150	4.416	13	15	65.687	-4.238		7	13	-66.283	5.857		
21	0	65.992	-3.949	15	22	-65.723	5.463		9	19	66.318	-5.416		
23	7	-65.950	5.158	18	4	65.682	-4.991		12	1	-66.573	4.937		
25	13	65.826	-4.682	20	10	-65.850	4.501	14	7	66.597	-4.481			

TITAN 2016

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	14	150.546	-9.526	Mai	9	8	179.157	-13.567	Sept.	13	16	160.505	-9.794
	10	15	-160.461	11.355		17	7	-190.768	14.276		21	16	-167.811	10.958
	18	15	152.772	-10.747		25	5	180.820	-12.674		29	16	156.593	-10.101
	26	15	-163.329	11.415	Juin	2	4	-191.750	13.605	Oct.	7	16	-163.988	10.928
Févr.	3	15	155.838	-11.127		10	2	181.001	-11.752		15	16	153.296	-10.095
	11	15	-166.947	11.822	18	1	-191.135	12.816	23	16	-160.890	10.621		
	19	15	159.552	-11.889	26	0	179.626	-12.005	31	17	150.666	-11.018		
	27	15	-171.154	12.670	Juill.	3	22	-189.030	11.757	Nov.	8	17	-158.554	11.204
6	15	163.706	-13.113	11		21	177.049	-10.584	16		18	148.863	-11.776	
14	14	-175.786	12.841	19		20	-185.647	11.577	24		18	-157.116	11.664	
22	14	168.134	-13.584	27	19	173.437	-10.102	Déc.	2	18	148.030	-11.326		
30	13	-180.445	13.513	Août	4	18	-181.461		10.930	10	19	-156.614	12.094	
7	12	172.497	-13.221		12	18	169.188		-10.456	18	19	148.015	-12.038	
15	11	-184.820	13.430		20	17	-176.823		11.011	26	20	-157.056	12.591	
23	10	176.304	-13.245		28	17	164.765	-10.334	3	20	148.894	-12.861		
Mai	1	9	-188.398	13.725	Sept.	5	16	-172.191	10.619	11	21	-158.430	13.250	

HYPÉRION 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	4	1	181.194	-2.434	Mai	21	15	-235.767	29.445	Oct.	7	8	180.978	-3.261
	14	6	-196.226	24.795	Juin	1	19	214.049	-4.162		17	12	-200.355	24.138
	25	14	184.226	-3.211		11	20	-235.391	28.475		28	16	176.262	-3.971
Févr.	4	19	-201.798	26.698		23	1	213.756	-3.581	Nov.	7	21	-197.069	24.091
	16	2	189.434	-4.336	Juill.	3	2	-231.865	27.122		18	23	171.765	-4.745
	26	7	-209.336	28.056		14	6	208.674	-3.316		29	5	-196.471	24.107
Mars	8	12	194.701	-4.633		24	7	-226.583	25.797	Déc.	10	8	169.750	-6.609
	18	17	-218.227	29.261	Août	4	11	202.486	-1.836		20	13	-197.021	24.527
	29	22	201.312	-5.019		14	13	-219.085	25.025		31	15	170.264	-6.859
Avril	9	1	-225.644	29.379		25	18	195.931	-2.059	Janv.	10	22	-199.924	25.455
	20	7	208.211	-5.785	Sept.	4	21	-211.611	24.464		21	22	171.418	-8.435
	30	9	-231.751	29.556		16	0	187.618	-2.218	Févr.	1	6	-205.545	26.519
Mai	11	13	211.987	-5.074		26	4	-205.710	23.908					

JAPET 2016

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.	16	4	-454.339	118.932	Juin	22	6	-537.305	138.301	Nov.	29	8	-444.261	108.397
Févr.	25	22	458.132	-114.616	Juill.	31	19	490.052	-123.820	Janv.	9	13	426.657	-97.869
Avril	5	9	-514.344	130.123	Sept.	9	2	-482.035	124.086					
Mai	14	19	511.680	-127.611	Oct.	19	22	433.998	-107.405					

SATELLITES D'URANUS

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

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

MIRANDA 2016

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	10	-2.647	8.632	Févr.	2	5	2.325	-8.445	Mars	5	1	-2.689	8.181
	2	3	2.683	-8.600		2	22	-2.335	8.452		5	18	2.723	-8.151
	2	20	-2.694	8.607		3	15	2.373	-8.428		6	11	-2.734	8.154
	3	13	2.729	-8.574		4	8	-2.383	8.436		7	4	2.770	-8.123
	4	6	-2.740	8.580		5	1	2.421	-8.410		7	21	-2.781	8.125
	4	23	2.773	-8.548	5	18	-2.431	8.419	8		14	2.817	-8.093	
	5	16	-2.785	8.551	6	11	2.466	-8.391	9		7	-2.826	8.097	
	6	9	2.818	-8.520	7	4	-2.479	8.400	9		23	2.169	-8.282	
	7	2	-2.830	8.522	7	21	2.513	-8.370	10		16	-2.181	8.294	
	7	19	2.863	-8.490	8	14	-2.526	8.379	11		9	2.221	-8.271	
	8	12	-2.872	8.490	9	7	2.559	-8.350	12		2	-2.233	8.284	
9	5	2.907	-8.458	10	0	-2.572	8.355	12	19	2.270	-8.259			
9	22	-2.915	8.458	10	17	2.606	-8.328	13	12	-2.285	8.271			
10	15	2.950	-8.424	11	10	-2.619	8.331	14	5	2.321	-8.245			
11	8	-2.957	8.426	12	3	2.652	-8.303	14	22	-2.337	8.257			
12	1	2.992	-8.388	12	20	-2.662	8.306	15	15	2.372	-8.232			
12	18	-2.999	8.391	13	13	2.699	-8.277	16	8	-2.387	8.240			
13	10	2.362	-8.576	14	6	-2.708	8.280	17	1	2.423	-8.216			
14	3	-2.373	8.586	14	23	2.744	-8.249	17	18	-2.437	8.222			
14	20	2.409	-8.560	15	16	-2.752	8.253	18	11	2.474	-8.198			
15	13	-2.422	8.569	16	9	2.789	-8.219	19	4	-2.486	8.204			
16	6	2.456	-8.542	17	2	-2.798	8.224	19	21	2.525	-8.178			
16	23	-2.470	8.550	17	19	2.833	-8.188	20	14	-2.536	8.184			
17	16	2.503	-8.524	18	12	-2.843	8.194	21	7	2.576	-8.156			
18	9	-2.516	8.529	19	5	2.875	-8.157	22	0	-2.586	8.164			
19	2	2.551	-8.503	19	21	-2.206	8.371	22	17	2.625	-8.133			
19	19	-2.563	8.507	20	14	2.241	-8.348	23	10	-2.637	8.142			
20	12	2.598	-8.481	21	7	-2.256	8.358	24	3	2.674	-8.108			
21	5	-2.607	8.484	22	0	2.290	-8.336	24	20	-2.687	8.117			
21	22	2.644	-8.456	22	17	-2.304	8.343	25	13	2.723	-8.084			
22	15	-2.653	8.460	23	10	2.340	-8.322	26	6	-2.737	8.090			
23	8	2.690	-8.430	24	3	-2.353	8.328	26	23	2.772	-8.057			
24	1	-2.698	8.435	24	20	2.389	-8.305	27	16	-2.787	8.063			
24	18	2.733	-8.402	25	13	-2.400	8.312	28	8	2.108	-8.251			
25	11	-2.743	8.408	26	6	2.438	-8.287	29	1	-2.124	8.262			
26	4	2.778	-8.373	26	23	-2.449	8.294	29	18	2.163	-8.243			
26	21	-2.788	8.379	27	16	2.487	-8.267	30	11	-2.177	8.253			
27	14	2.820	-8.345	28	9	-2.497	8.276	31	4	2.217	-8.234			
28	7	-2.832	8.348	29	2	2.534	-8.246	31	21	-2.230	8.244			
29	0	2.864	-8.314	29	19	-2.546	8.255	Avril	1	14	2.271	-8.222		
29	17	-2.876	8.316	Mars	1	12	2.581	-8.223	2	7	-2.284	8.233		
30	10	2.907	-8.282	2	5	-2.594	8.232	3	0	2.325	-8.208			
31	3	-2.917	8.282	2	22	2.628	-8.201	3	17	-2.338	8.221			
31	19	2.276	-8.460	3	15	-2.642	8.207	4	10	2.377	-8.194			
Févr.	1	12	-2.287	8.466	4	8	2.675	-8.177	5	3	-2.392	8.206		

MIRANDA 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	5	20	2.430	-8.178	Mai	7	15	-2.177	8.298	Juin	8	10	1.983	-8.460
	6	13	-2.446	8.190		8	8	2.222	-8.274		9	3	-2.002	8.477
	7	6	2.483	-8.162		9	1	-2.238	8.290		9	20	2.050	-8.460
	7	23	-2.500	8.171		9	18	2.280	-8.265		10	13	-2.068	8.478
	8	16	2.536	-8.144		10	11	-2.299	8.281		11	6	2.117	-8.457
	9	9	-2.553	8.151		11	4	2.341	-8.255		11	23	-2.136	8.476
	10	2	2.590	-8.124		11	21	-2.360	8.269		12	16	2.184	-8.453
	10	19	-2.604	8.130		12	14	2.400	-8.244		13	9	-2.204	8.472
	11	12	2.644	-8.102		13	7	-2.420	8.256		14	2	2.249	-8.448
	12	5	-2.657	8.108		14	0	2.461	-8.231		14	19	-2.272	8.466
	12	22	2.698	-8.078		14	17	-2.480	8.241		15	12	2.316	-8.441
	13	15	-2.709	8.086		15	10	2.522	-8.216		16	5	-2.339	8.457
14	8	2.750	-8.052	16	3	-2.538	8.225	16	22	2.383	-8.433			
15	1	-2.762	8.061	16	20	2.583	-8.198	17	15	-2.405	8.447			
15	17	2.066	-8.253	17	13	-2.598	8.208	18	8	2.450	-8.423			
16	10	-2.081	8.269	18	6	2.643	-8.179	19	1	-2.471	8.435			
17	3	2.121	-8.247	18	23	-2.657	8.190	19	18	2.517	-8.411			
17	20	-2.139	8.262	19	16	2.702	-8.157	20	11	-2.536	8.423			
18	13	2.178	-8.240	20	9	-2.718	8.170	21	4	2.584	-8.395			
19	6	-2.197	8.254	21	2	2.761	-8.135	21	21	-2.602	8.408			
19	23	2.235	-8.232	21	18	-1.990	8.381	22	14	2.651	-8.379			
20	16	-2.253	8.243	22	11	2.033	-8.361	23	7	-2.668	8.393			
21	9	2.292	-8.222	23	4	-2.055	8.379	24	0	2.716	-8.360			
22	2	-2.309	8.232	23	21	2.097	-8.359	24	17	-2.734	8.374			
22	19	2.350	-8.210	24	14	-2.119	8.376	25	10	2.781	-8.339			
23	12	-2.364	8.220	25	7	2.161	-8.356	26	2	-1.964	8.596			
24	5	2.408	-8.196	26	0	-2.181	8.370	26	19	2.010	-8.577			
24	22	-2.421	8.207	26	17	2.226	-8.350	27	12	-2.035	8.597			
25	15	2.465	-8.180	27	10	-2.245	8.363	28	5	2.080	-8.578			
26	8	-2.478	8.192	28	3	2.290	-8.342	28	22	-2.105	8.596			
27	1	2.520	-8.162	28	20	-2.307	8.356	29	15	2.151	-8.577			
27	18	-2.535	8.175	29	13	2.355	-8.332	30	8	-2.173	8.593			
28	11	2.576	-8.144	30	6	-2.371	8.346	Juill.	1	1	2.222	-8.574		
29	4	-2.592	8.156	30	23	2.418	-8.320	1	18	-2.243	8.588			
29	21	2.631	-8.125	31	16	-2.435	8.336	2	11	2.292	-8.568			
Mai	30	14	-2.649	8.134	Juin	1	9	2.480	-8.307	3	4	-2.311	8.584	
	1	7	2.688	-8.104	2	2	-2.499	8.322	3	21	2.362	-8.559		
	2	0	-2.705	8.112	2	19	2.543	-8.292	4	14	-2.381	8.576		
	2	17	2.744	-8.081	3	12	-2.563	8.307	5	7	2.431	-8.550		
	3	9	-1.997	8.309	4	5	2.605	-8.278	6	0	-2.451	8.567		
	4	2	2.040	-8.293	4	22	-2.627	8.289	6	17	2.498	-8.538		
	4	19	-2.057	8.306	5	15	2.669	-8.260	7	10	-2.521	8.556		
5	12	2.101	-8.289	6	8	-2.690	8.270	8	3	2.567	-8.525			
6	5	-2.116	8.303	7	1	2.733	-8.241	8	20	-2.590	8.541			
6	22	2.161	-8.282	7	18	-2.750	8.249	9	13	2.635	-8.512			

MIRANDA 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	10	6	-2.658	8.525	Août	11	1	2.547	-8.800	Sept.	11	20	-2.390	9.066
	10	23	-2.704	-8.496		11	18	-2.572	8.817		12	13	2.440	-9.037
	11	16	-2.727	8.507		12	11	2.619	-8.786		13	6	-2.462	9.055
	12	9	2.773	-8.478		13	4	-2.644	8.802		13	23	2.511	-9.024
	13	2	-2.792	8.488		13	21	2.689	-8.772		14	16	-2.533	9.041
	13	18	1.984	-8.707		14	14	-2.714	8.784		15	9	2.579	-9.009
	14	11	-2.006	8.726		15	7	2.760	-8.755		16	2	-2.604	9.025
	15	4	2.058	-8.709		16	0	-2.783	8.765		16	19	2.648	-8.993
	15	21	-2.078	8.729		16	17	2.831	-8.734		17	12	-2.674	9.007
	16	14	2.129	-8.707		17	10	-2.851	8.745		18	5	2.717	-8.975
	17	7	-2.151	8.728		18	2	2.021	-8.966		18	22	-2.741	8.986
	18	0	2.201	-8.704		18	19	-2.044	8.986		19	15	2.786	-8.954
	18	17	-2.224	8.725		19	12	2.096	-8.966		20	8	-2.808	8.963
	19	10	2.271	-8.701		20	5	-2.118	8.987		21	1	2.854	-8.930
	20	3	-2.297	8.719		20	22	2.170	-8.963		21	18	-2.873	8.941
	20	20	2.343	-8.695		21	15	-2.194	8.985		22	10	2.046	-9.146
21	13	-2.369	8.712	22	8	2.243	-8.959	23	3	-2.068	9.165			
22	6	2.415	-8.688	23	1	-2.268	8.980	23	20	2.119	-9.142			
22	23	-2.439	8.702	23	18	2.315	-8.954	24	13	-2.141	9.162			
23	16	2.487	-8.678	24	11	-2.342	8.972	25	6	2.189	-9.135			
24	9	-2.510	8.691	25	4	2.388	-8.947	25	23	-2.214	9.156			
25	2	2.558	-8.666	25	21	-2.415	8.963	26	16	2.261	-9.127			
25	19	-2.578	8.680	26	14	2.461	-8.938	27	9	-2.286	9.147			
26	12	2.629	-8.651	27	7	-2.486	8.951	28	2	2.330	-9.119			
27	5	-2.649	8.665	28	0	2.534	-8.926	28	19	-2.357	9.135			
27	22	2.700	-8.634	28	17	-2.557	8.938	29	12	2.400	-9.108			
28	15	-2.719	8.650	29	10	2.606	-8.911	30	5	-2.427	9.122			
29	8	2.768	-8.615	30	3	-2.627	8.925	30	22	2.470	-9.094			
30	1	-2.789	8.631	30	20	2.677	-8.893	Oct.	1	15	-2.494	9.106		
30	17	1.962	-8.837	31	13	-2.697	8.909		2	8	2.540	-9.078		
Août	31	10	-1.988	8.861	Sept.	1	6		2.748	-8.875	3	1	-2.561	9.090
	1	3	2.035	-8.841		1	23		-2.767	8.890	3	18	2.608	-9.060
	1	20	-2.063	8.861		2	16	2.815	-8.854	4	11	-2.628	9.072	
	2	13	2.110	-8.842		3	9	-2.838	8.869	5	4	2.675	-9.038	
	3	6	-2.137	8.860		4	2	2.883	-8.831	5	21	-2.694	9.052	
	3	23	2.184	-8.841		4	18	-2.027	9.093	6	14	2.741	-9.015	
	4	16	-2.208	8.857		5	11	2.072	-9.071	7	7	-2.760	9.029	
	5	9	2.259	-8.837		6	4	-2.101	9.090	8	0	2.803	-8.991	
	6	2	-2.282	8.853		6	21	2.147	-9.069	8	17	-2.826	9.004	
	6	19	2.333	-8.831		7	14	-2.175	9.087	9	10	2.867	-8.965	
7	12	-2.354	8.848	8	7	2.222	-9.065	10	3	-2.890	8.976			
8	5	2.405	-8.822	9	0	-2.246	9.081	10	19	2.070	-9.177			
8	22	-2.426	8.840	9	17	2.296	-9.058	11	12	-2.097	9.193			
9	15	2.478	-8.811	10	10	-2.318	9.074	12	5	2.141	-9.170			
10	8	-2.500	8.830	11	3	2.369	-9.049	12	22	-2.167	9.185			

MIRANDA 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	13 15	2.211	-9.162	Nov.	13 1	-2.722	8.982	Déc.	13 10	2.356	-8.888
	14 8	-2.234	9.176		13 18	2.758	-8.943		14 3	-2.373	8.899
	15 1	2.281	-9.150		14 11	-2.780	8.952		14 20	2.411	-8.863
	15 18	-2.302	9.164		15 4	2.815	-8.913		15 13	-2.429	8.875
	16 11	2.349	-9.137		15 21	-2.835	8.919		16 6	2.465	-8.837
	17 4	-2.369	9.152		16 14	2.871	-8.881		16 23	-2.484	8.849
	17 21	2.414	-9.120		17 7	-2.890	8.885		17 16	2.517	-8.812
	18 14	-2.436	9.137		17 23	2.117	-9.084		18 9	-2.538	8.821
	19 7	2.480	-9.103		18 16	-2.137	9.097		19 2	2.570	-8.783
	20 0	-2.502	9.119		19 9	2.180	-9.069		19 19	-2.591	8.791
	20 17	2.543	-9.085		20 2	-2.199	9.082		20 12	2.623	-8.754
	21 10	-2.568	9.098		20 19	2.242	-9.053		21 5	-2.641	8.759
	22 3	2.607	-9.064		21 12	-2.261	9.067		21 22	2.675	-8.723
	22 20	-2.632	9.076		22 5	2.300	-9.034		22 15	-2.692	8.726
	23 13	2.671	-9.042		22 22	-2.322	9.049		23 8	2.727	-8.689
	24 6	-2.693	9.051		23 15	2.360	-9.014		24 1	-2.741	8.694
	24 23	2.734	-9.018		24 8	-2.382	9.028		24 18	2.777	-8.652
	25 16	-2.754	9.025		25 1	2.417	-8.994		25 11	-2.791	8.659
	26 9	2.796	-8.990		25 18	-2.440	9.005		26 3	2.057	-8.839
	27 2	-2.814	8.999		26 11	2.476	-8.972		26 20	-2.075	8.854
27 19	2.857	-8.960	27 4	-2.498	8.981	27 13	2.111	-8.822			
28 12	-2.874	8.970	27 21	2.533	-8.948	28 6	-2.132	8.837			
29 5	2.916	-8.928	28 14	-2.553	8.955	28 23	2.166	-8.804			
29 21	-2.099	9.176	29 7	2.591	-8.921	29 16	-2.187	8.818			
30 14	2.141	-9.147	30 0	-2.609	8.927	30 9	2.220	-8.785			
Nov.	31 7	-2.166	9.166	Déc.	30 17	2.647	-8.892	Janv.	31 2	-2.242	8.796
	1 0	2.207	-9.135		1 10	-2.663	8.900		31 19	2.274	-8.765
	1 17	-2.232	9.153		2 3	2.701	-8.860		1 12	-2.296	8.774
	2 10	2.271	-9.123		2 20	-2.717	8.869		2 5	2.328	-8.742
	3 3	-2.296	9.137		3 13	2.755	-8.828		2 22	-2.347	8.750
	3 20	2.335	-9.108		4 6	-2.771	8.837		3 15	2.382	-8.718
	4 13	-2.360	9.120		4 23	2.806	-8.794		4 8	-2.399	8.725
	5 6	2.399	-9.091		5 16	-2.825	8.803		5 1	2.435	-8.691
	5 23	-2.420	9.101		6 8	2.066	-8.979		5 18	-2.451	8.700
	6 16	2.463	-9.071		7 1	-2.090	8.994		6 11	2.486	-8.662
	7 9	-2.482	9.081		7 18	2.125	-8.965		7 4	-2.503	8.672
	8 2	2.525	-9.049		8 11	-2.148	8.977		7 21	2.538	-8.632
8 19	-2.542	9.060	9 4	2.184	-8.949	8 14	-2.554	8.642			
9 12	2.584	-9.024	9 21	-2.206	8.959	9 7	2.586	-8.602			
10 5	-2.603	9.037	10 14	2.242	-8.931	10 0	-2.605	8.610			
10 22	2.644	-8.998	11 7	-2.261	8.941	10 17	2.636	-8.570			
11 15	-2.663	9.011	12 0	2.300	-8.910						
12 8	2.701	-8.972	12 17	-2.318	8.920						

ARIEL 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	1 14	-3.082	12.892	Févr.	27 7	2.843	-12.386	Avril	24 0	-2.682	12.272
	2 20	2.930	-12.916		28 14	-3.310	12.243		25 6	2.523	-12.309
	4 3	-3.396	12.781		29 20	3.163	-12.294		26 13	-3.038	12.194
	5 9	3.250	-12.822	Mars	2 2	-2.990	12.319	27 19	2.881	-12.250	
	6 15	-3.070	12.836		3 8	2.840	-12.354	29 1	-2.696	12.282	
	7 21	2.926	-12.857	4 15	-3.303	12.211	Mai	30 7	2.536	-12.324	
	9 4	-3.383	12.726	5 21	3.163	-12.261		1 14	-3.048	12.206	
	10 10	3.243	-12.763	7 3	-2.983	12.291		2 20	2.899	-12.262	
	11 16	-3.064	12.779	8 9	2.838	-12.324		4 2	-2.705	12.299	
	12 22	2.914	-12.804	9 16	-3.305	12.181		5 8	2.550	-12.339	
	14 5	-3.376	12.667	10 22	3.159	-12.235	6 15	-3.069	12.220		
	15 11	3.231	-12.711	12 4	-2.984	12.262	7 21	2.911	-12.280		
16 17	-3.055	12.721	13 10	2.833	-12.302	9 3	-2.723	12.315			
17 23	2.908	-12.749	14 16	-2.653	12.314	10 9	2.561	-12.363			
19 6	-3.364	12.614	15 23	3.161	-12.210	11 16	-3.088	12.235			
20 12	3.223	-12.652	17 5	-2.980	12.242	12 22	2.932	-12.299			
21 18	-3.045	12.671	18 11	2.834	-12.279	14 4	-2.737	12.340			
23 0	2.899	-12.692	19 17	-2.649	12.298	15 10	2.580	-12.384			
24 7	-3.357	12.559	21 0	3.163	-12.186	16 17	-3.106	12.259			
25 13	3.212	-12.602	22 6	-2.984	12.222	17 23	2.952	-12.319			
26 19	-3.036	12.615	23 12	2.833	-12.265	19 5	-2.759	12.364			
28 1	2.891	-12.644	24 18	-2.650	12.279	20 11	2.596	-12.414			
29 8	-3.346	12.504	26 1	3.165	-12.173	21 18	-3.131	12.280			
30 14	3.206	-12.549	27 7	-2.985	12.205	23 0	2.973	-12.349			
31 20	-3.027	12.568	28 13	2.837	-12.251	24 6	-2.779	12.390			
Févr.	2 2	2.880	-12.591	29 19	-2.650	12.271	25 12	2.619	-12.444		
	3 9	-3.339	12.458	31 2	3.169	-12.155	26 19	-3.153	12.310		
	4 15	3.195	-12.498	Avril	1 8	-2.990	12.197	28 1	2.997	-12.375	
	5 21	-3.021	12.519		2 14	2.839	-12.239	29 7	-2.802	12.425	
	7 3	2.872	-12.546		3 20	-2.655	12.263	30 13	2.640	-12.474	
	8 10	-3.329	12.407	5 3	3.176	-12.149	Juin	31 19	-2.441	12.508	
	9 16	3.189	-12.454	6 9	-2.994	12.186		2 2	3.022	-12.410	
	10 22	-3.010	12.471	7 15	2.846	-12.236		3 8	-2.826	12.455	
	12 4	2.867	-12.502	8 21	-2.657	12.258		4 14	2.665	-12.514	
	13 11	-3.323	12.364	10 4	3.186	-12.142		5 20	-2.461	12.543	
	14 17	3.179	-12.407	11 10	-3.002	12.185	7 3	3.053	-12.443		
	15 23	-3.006	12.430	12 16	2.850	-12.231	8 9	-2.852	12.494		
17 5	2.855	-12.459	13 22	-2.665	12.261	9 15	2.688	-12.549			
18 12	-3.319	12.320	15 5	3.193	-12.138	10 21	-2.489	12.587			
19 18	3.174	-12.367	16 11	-3.014	12.184	12 4	3.078	-12.477			
21 0	-2.995	12.389	17 17	2.860	-12.235	13 10	-2.883	12.532			
22 6	2.853	-12.421	18 23	-2.670	12.263	14 16	2.717	-12.592			
23 13	-3.310	12.280	20 6	3.209	-12.141	15 22	-2.512	12.627			
24 19	3.171	-12.327	21 12	-3.021	12.187	17 5	3.112	-12.518			
26 1	-2.992	12.354	22 18	2.873	-12.240	18 11	-2.910	12.572			

ARIEL 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juin	19 17	2.749	-12.633	Août	15 10	-2.936	13.205	Oct.	11 3	3.144	-13.536
	20 23	-2.542	12.673		16 16	2.767	-13.266		12 9	-2.927	13.569
	22 6	3.140	-12.558		17 22	-2.548	13.304		13 15	2.756	-13.611
	23 12	-2.945	12.616		19 5	3.186	-13.193		14 22	-3.337	13.475
	24 18	2.775	-12.677		20 11	-2.980	13.249		16 4	3.164	-13.529
	26 0	-2.575	12.718		21 17	2.801	-13.308		17 10	-2.955	13.567
	27 7	3.176	-12.601		22 23	-2.590	13.347		18 16	2.776	-13.604
	28 13	-2.974	12.659		24 6	3.228	-13.234		19 23	-3.361	13.465
	29 19	2.812	-12.723		25 12	-3.014	13.289		21 5	3.187	-13.522
	Juill.	1 1	-2.602		12.767	26 18	2.844		-13.350	22 11	-2.973
	2 8	3.215	-12.643	28 0	-2.624	13.388	23 17	2.804	-13.594		
	3 14	-3.011	12.705	29 7	3.269	-13.269	25 0	-3.375	13.451		
	4 20	2.841	-12.771	30 13	-3.055	13.327	26 6	3.209	-13.506		
	6 2	-2.639	12.815	31 19	2.878	-13.388	27 12	-2.996	13.540		
	7 8	2.464	-12.868	Sept.	2 1	-2.667	13.425	28 18	2.819	-13.576	
	8 15	-3.048	12.749	3 8	3.301	-13.305	30 1	-3.396	13.432		
	9 21	2.879	-12.820	4 14	-3.095	13.360	31 7	3.221	-13.487		
	11 3	-2.669	12.866	5 20	2.918	-13.422	Nov.	1 13	-3.016	13.518	
	12 9	2.502	-12.916	7 2	-2.699	13.460	2 19	2.840	-13.555		
	13 16	-3.082	12.800	8 9	3.342	-13.333	4 2	-3.404	13.409		
	14 22	2.917	-12.866	9 15	-3.127	13.392	5 8	3.239	-13.461		
	16 4	-2.708	12.916	10 21	2.957	-13.450	6 14	-3.027	13.493		
	17 10	2.533	-12.970	12 3	-2.739	13.491	7 20	2.858	-13.526		
	18 17	-3.122	12.844	13 10	3.373	-13.362	9 3	-3.418	13.380		
	19 23	2.952	-12.918	14 16	-3.166	13.415	10 9	3.247	-13.432		
	21 5	-2.745	12.963	15 22	2.989	-13.479	11 15	-3.043	13.460		
	22 11	2.572	-13.022	17 4	-2.776	13.514	12 21	2.867	-13.498		
	23 18	-3.158	12.895	18 11	3.410	-13.383	14 4	-3.428	13.343		
	25 0	2.992	-12.963	19 17	-3.196	13.440	15 10	3.259	-13.398		
	26 6	-2.781	13.017	20 23	3.025	-13.497	16 16	-3.049	13.427		
	27 12	2.609	-13.070	22 5	-2.808	13.539	17 22	2.881	-13.458		
	28 19	-3.201	12.941	23 12	3.441	-13.398	19 5	-3.432	13.310		
	30 1	3.029	-13.015	24 18	-3.231	13.456	20 11	3.266	-13.356		
	31 7	-2.819	13.063	26 0	3.055	-13.518	21 17	-3.060	13.388		
Août	1 13	2.648	-13.125	27 6	-2.842	13.551	22 23	2.887	-13.421		
	2 20	-3.239	12.984	28 12	2.666	-13.597	24 6	-3.437	13.264		
	4 2	3.072	-13.061	29 19	-3.260	13.466	25 12	3.270	-13.318		
	5 8	-2.858	13.115	Oct.	1 1	3.088	-13.529	26 18	-3.065	13.342	
	6 14	2.685	-13.170	2 7	-2.872	13.566	28 0	2.897	-13.377		
	7 21	-3.280	13.033	3 13	2.696	-13.604	29 7	-3.437	13.222		
	9 3	3.108	-13.105	4 20	-3.289	13.477	Déc.	30 13	3.272	-13.268	
	10 9	-2.901	13.161	6 2	3.115	-13.532	1 19	-3.069	13.299		
	11 15	2.725	-13.221	7 8	-2.904	13.571	3 1	2.899	-13.326		
	12 21	-2.507	13.254	8 14	2.725	-13.612	4 8	-3.440	13.173		
	14 4	3.151	-13.152	9 21	-3.313	13.476	5 14	3.273	-13.222		

ARIEL 2016**X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Déc.	6 20	-3.069	13.245	Déc.	18 4	2.900	-13.172	Déc.	29 13	-3.417	12.897
	8 2	2.903	-13.279		19 11	-3.426	13.011		30 19	3.253	-12.945
	9 9	-3.435	13.120		20 17	3.267	-13.059	Janv.	1 1	-3.051	12.971
	10 15	3.274	-13.169		21 23	-3.062	13.085		2 7	2.890	-13.000
	11 21	-3.069	13.196		23 5	2.901	-13.115		3 14	-3.405	12.841
	13 3	2.900	-13.224		24 12	-3.422	12.956		4 20	3.247	-12.885
	14 10	-3.434	13.069		25 18	3.257	-13.002		6 2	-3.048	12.913
	15 16	3.268	-13.113		27 0	-3.062	13.029		7 8	2.880	-12.943
	16 22	-3.070	13.141		28 6	2.891	-13.058		8 15	-3.400	12.781

UMBRIEL 2016

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	4.317	-18.020	Avril	3 9	-4.045	16.974	Juill.	5 15	4.104	-17.806
	3 5	-4.535	17.838		5 11	4.093	-17.053		7 16	-3.752	17.824
	5 7	4.580	-17.889		7 13	-4.348	16.894		9 18	3.816	-17.936
	7 8	-4.269	17.830		9 14	3.814	-17.108		11 20	-4.135	17.809
	9 10	4.308	-17.887		11 16	-4.078	16.965		13 22	4.186	-17.912
	11 12	-4.540	17.704		13 18	4.121	-17.041		15 23	-3.845	17.940
	13 14	4.573	-17.748		15 19	-3.802	17.029		18 1	3.902	-18.041
	15 15	-4.270	17.704		17 21	3.843	-17.106		20 3	-4.223	17.927
	17 17	4.303	-17.749		19 23	-4.117	16.971		22 4	3.609	-18.159
	19 19	-4.541	17.575		22 1	4.150	-17.039		24 6	-3.935	18.057
21 21	4.566	-17.615	24 2	-3.837	17.049	26 8	3.995	-18.152			
23 22	-4.271	17.578	26 4	3.881	-17.115	28 10	-4.315	18.037			
26 0	4.298	-17.617	28 6	-4.151	16.991	30 11	3.704	-18.270			
28 2	-4.537	17.458	30 8	4.197	-17.053	Août	1 13	-4.023	18.177		
30 4	4.563	-17.481	Mai	2 9	-3.875		17.078	3 15	4.095	-18.256	
Févr.	1 5	-4.268	17.463	4 11	3.922	-17.140	5 17	-4.404	18.145		
	3 7	4.298	-17.495	6 13	-4.195	17.025	7 18	3.806	-18.384		
	5 9	-4.531	17.340	8 14	3.648	-17.219	9 20	-4.111	18.282		
	7 11	4.563	-17.360	10 16	-3.911	17.120	11 22	4.198	-18.363		
	9 12	-4.264	17.357	12 18	3.977	-17.180	13 23	-3.810	18.404		
	11 14	4.298	-17.378	14 20	-4.243	17.066	16 1	3.904	-18.490		
	13 16	-4.525	17.234	16 21	3.698	-17.274	18 3	-4.201	18.382		
	15 17	4.033	-17.388	18 23	-3.959	17.170	20 5	4.301	-18.465		
	17 19	-4.256	17.255	21 1	4.036	-17.234	22 6	-3.898	18.498		
	19 21	4.305	-17.281	23 2	-3.675	17.265	24 8	4.006	-18.593		
21 23	-4.524	17.134	25 4	3.756	-17.339	26 10	-4.297	18.466			
24 0	4.035	-17.298	27 6	-4.013	17.228	28 12	4.392	-18.559			
26 2	-4.254	17.164	29 8	4.099	-17.307	30 13	-3.995	18.583			
28 4	4.315	-17.194	31 9	-3.729	17.330	Sept.	1 15	4.104	-18.682		
Mars	1 5	-3.977	17.180	Juin	2 11		3.816	-17.420	3 17	-4.387	18.541
3 7	4.045	-17.224	4 13	-4.078	17.299	5 19	4.487	-18.640			
5 9	-4.259	17.079	6 15	4.164	-17.385	7 20	-4.096	18.650			
7 11	4.319	-17.126	8 16	-3.793	17.408	9 22	4.188	-18.760			
9 12	-3.985	17.106	10 18	3.883	-17.512	12 0	-4.486	18.601			
11 14	4.054	-17.160	12 20	-4.149	17.374	14 1	3.888	-18.859			
13 16	-4.266	17.012	14 21	3.593	-17.620	16 3	-4.189	18.711			
15 18	4.332	-17.067	16 23	-3.871	17.496	18 5	4.275	-18.816			
17 19	-3.999	17.044	19 1	3.947	-17.606	20 7	-4.582	18.645			
19 21	4.062	-17.116	21 3	-4.233	17.463	22 8	3.969	-18.912			
21 23	-4.287	16.954	23 4	3.664	-17.723	24 10	-4.285	18.751			
24 1	4.344	-17.020	25 6	-3.951	17.592	26 12	4.354	-18.851			
26 2	-4.018	17.004	27 8	4.022	-17.707	28 13	-3.986	18.840			
28 4	4.075	-17.077	29 9	-3.668	17.709	30 15	4.049	-18.936			
30 6	-4.314	16.913	Juill.	1 11	3.732	-17.829	Oct.	2 17	-4.372	18.778	
Avril	1 7	3.798		-17.126	3 13	-4.042		17.699	4 19	4.431	-18.869

UMBRIEL 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Oct.	6 20	-4.069	18.858	Nov.	11 2	4.383	-18.770	Déc.	16 7	-4.117	18.300	
	8 22	4.127	-18.942		13 4	-4.641	18.611		18 9	4.173	-18.365	
	11 0	-4.450	18.789		15 5	4.079	-18.801		20 11	-4.441	18.167	
	13 2	4.499	-18.857		17 7	-4.336	18.641		22 13	4.485	-18.223	
	15 3	-4.143	18.861		19 9	4.421	-18.691		24 14	-4.137	18.173	
	17 5	4.203	-18.928		21 11	-4.672	18.511		26 16	4.184	-18.227	
	19 7	-4.511	18.775		23 12	4.117	-18.712		28 18	-4.450	18.035	
	21 9	4.567	-18.831		25 14	-4.367	18.541		30 20	4.491	-18.082	
	23 10	-4.207	18.841		27 16	4.451	-18.591		Janv.	1 21	-4.152	18.041
	25 12	4.266	-18.891		29 18	-4.698	18.397			3 23	4.185	-18.086
Nov.	27 14	-4.565	18.744	Déc.	1 19	4.144	-18.613	6 1	-4.459	17.903		
	29 16	4.631	-18.784		3 21	-4.396	18.421	8 3	4.495	-17.935		
	31 17	-4.253	18.797		5 23	4.469	-18.480	10 4	-4.152	17.913		
	2 19	4.330	-18.840		8 0	-4.094	18.429	12 6	4.195	-17.944		
		4 21	-4.610		18.686	10 2	4.161	-18.493	14 8	-4.460	17.769	
	6 22	4.027	-18.875		12 4	-4.420	18.296					
	9 0	-4.299	18.731		14 6	4.483	-18.359					

TITANIA 2016

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Janv. 3 9	-7.458	29.390	Mai 8 14	6.473	-28.057	Sept. 11 19	-6.716	30.780
7 17	7.213	-29.208	12 22	-6.256	28.228	16 4	7.075	-30.700
12 2	-7.426	29.166	17 7	6.505	-28.156	20 12	-6.799	30.885
16 10	7.172	-28.992	21 15	-6.286	28.337	24 21	7.162	-30.781
20 19	-7.381	28.944	26 0	6.552	-28.268	29 5	-6.889	30.967
25 3	7.140	-28.779	30 8	-6.321	28.494	Oct. 3 14	7.194	-30.833
29 12	-7.314	28.760	3 17	6.577	-28.389	7 22	-6.975	30.997
Févr. 2 20	7.098	-28.564	8 1	-6.382	28.649	12 7	7.261	-30.853
7 4	-6.862	28.674	12 9	6.133	-28.662	16 15	-7.034	30.992
11 13	7.055	-28.384	16 18	-6.439	28.815	21 0	7.325	-30.827
15 21	-6.826	28.497	21 2	6.205	-28.837	25 8	-7.077	30.980
20 6	7.030	-28.230	25 11	-6.471	29.022	29 17	7.345	-30.749
24 14	-6.756	28.347	29 19	6.276	-29.012	Nov. 3 1	-7.129	30.905
28 23	7.007	-28.083	Juill. 4 4	-6.552	29.220	7 9	6.862	-30.777
Mars 4 7	-6.728	28.225	8 12	6.349	-29.214	11 18	-7.158	30.790
8 16	6.979	-27.964	12 21	-6.636	29.417	16 2	6.900	-30.648
13 0	-6.709	28.117	17 5	6.443	-29.432	20 11	-7.139	30.669
17 9	6.955	-27.897	21 14	-6.680	29.625	24 19	6.916	-30.475
21 17	-6.664	28.025	25 22	6.544	-29.636	29 4	-7.150	30.505
26 1	6.512	-27.941	30 7	-6.775	29.834	Déc. 3 12	6.915	-30.295
30 10	-6.649	27.979	Août 3 15	6.633	-29.841	7 21	-7.147	30.308
Avril 3 18	6.500	-27.902	7 23	-6.347	30.149	12 5	6.916	-30.108
8 3	-6.652	27.953	12 8	6.719	-30.065	16 14	-7.089	30.096
12 11	6.467	-27.918	16 16	-6.418	30.323	20 22	6.909	-29.891
16 20	-6.653	27.941	21 1	6.826	-30.250	25 7	-7.065	29.879
21 4	6.477	-27.941	25 9	-6.513	30.506	29 15	6.880	-29.667
25 13	-6.660	27.973	29 18	6.923	-30.412	Janv. 3 0	-7.042	29.646
29 21	6.492	-27.983	Sept. 3 2	-6.622	30.663	7 8	6.837	-29.470
Mai 4 6	-6.690	28.039	7 11	6.979	-30.579	11 17	-6.986	29.399

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2016

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			60
1	Ven	2457389	1	1	Lun	2457420	32	1	Mar	2457449	61
2	Sam	7390	2	2	Mar	7421	33	2	Mer	7450	62
3	Dim	7391	3	3	Mer	7422	34	3	Jeu	7451	63
4	Lun	7392	4	4	Jeu	7423	35	4	Ven	7452	64
5	Mar	7393	5	5	Ven	7424	36	5	Sam	7453	65
6	Mer	7394	6	6	Sam	7425	37	6	Dim	7454	66
7	Jeu	7395	7	7	Dim	7426	38	7	Lun	7455	67
8	Ven	7396	8	8	Lun	7427	39	8	Mar	7456	68
9	Sam	7397	9	9	Mar	7428	40	9	Mer	7457	69
10	Dim	7398	10	10	Mer	7429	41	10	Jeu	7458	70
11	Lun	7399	11	11	Jeu	7430	42	11	Ven	7459	71
12	Mar	7400	12	12	Ven	7431	43	12	Sam	7460	72
13	Mer	7401	13	13	Sam	7432	44	13	Dim	7461	73
14	Jeu	7402	14	14	Dim	7433	45	14	Lun	7462	74
15	Ven	7403	15	15	Lun	7434	46	15	Mar	7463	75
16	Sam	7404	16	16	Mar	7435	47	16	Mer	7464	76
17	Dim	7405	17	17	Mer	7436	48	17	Jeu	7465	77
18	Lun	7406	18	18	Jeu	7437	49	18	Ven	7466	78
19	Mar	7407	19	19	Ven	7438	50	19	Sam	7467	79
20	Mer	7408	20	20	Sam	7439	51	20	Dim	7468	80
21	Jeu	7409	21	21	Dim	7440	52	21	Lun	7469	81
22	Ven	7410	22	22	Lun	7441	53	22	Mar	7470	82
23	Sam	7411	23	23	Mar	7442	54	23	Mer	7471	83
24	Dim	7412	24	24	Mer	7443	55	24	Jeu	7472	84
25	Lun	7413	25	25	Jeu	7444	56	25	Ven	7473	85
26	Mar	7414	26	26	Ven	7445	57	26	Sam	7474	86
27	Mer	7415	27	27	Sam	7446	58	27	Dim	7475	87
28	Jeu	7416	28	28	Dim	7447	59	28	Lun	7476	88
29	Ven	7417	29	29	Lun	7448	60	29	Mar	7477	89
30	Sam	7418	30					30	Mer	7478	90
31	Dim	7419	31					31	Jeu	7479	91
AVRIL				MAI				JUIN			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			91	0			121	0			152
1	Ven	2457480	92	1	Dim	2457510	122	1	Mer	2457541	153
2	Sam	7481	93	2	Lun	7511	123	2	Jeu	7542	154
3	Dim	7482	94	3	Mar	7512	124	3	Ven	7543	155
4	Lun	7483	95	4	Mer	7513	125	4	Sam	7544	156
5	Mar	7484	96	5	Jeu	7514	126	5	Dim	7545	157
6	Mer	7485	97	6	Ven	7515	127	6	Lun	7546	158
7	Jeu	7486	98	7	Sam	7516	128	7	Mar	7547	159
8	Ven	7487	99	8	Dim	7517	129	8	Mer	7548	160
9	Sam	7488	100	9	Lun	7518	130	9	Jeu	7549	161
10	Dim	7489	101	10	Mar	7519	131	10	Ven	7550	162
11	Lun	7490	102	11	Mer	7520	132	11	Sam	7551	163
12	Mar	7491	103	12	Jeu	7521	133	12	Dim	7552	164
13	Mer	7492	104	13	Ven	7522	134	13	Lun	7553	165
14	Jeu	7493	105	14	Sam	7523	135	14	Mar	7554	166
15	Ven	7494	106	15	Dim	7524	136	15	Mer	7555	167
16	Sam	7495	107	16	Lun	7525	137	16	Jeu	7556	168
17	Dim	7496	108	17	Mar	7526	138	17	Ven	7557	169
18	Lun	7497	109	18	Mer	7527	139	18	Sam	7558	170
19	Mar	7498	110	19	Jeu	7528	140	19	Dim	7559	171
20	Mer	7499	111	20	Ven	7529	141	20	Lun	7560	172
21	Jeu	7500	112	21	Sam	7530	142	21	Mar	7561	173
22	Ven	7501	113	22	Dim	7531	143	22	Mer	7562	174
23	Sam	7502	114	23	Lun	7532	144	23	Jeu	7563	175
24	Dim	7503	115	24	Mar	7533	145	24	Ven	7564	176
25	Lun	7504	116	25	Mer	7534	146	25	Sam	7565	177
26	Mar	7505	117	26	Jeu	7535	147	26	Dim	7566	178
27	Mer	7506	118	27	Ven	7536	148	27	Lun	7567	179
28	Jeu	7507	119	28	Sam	7537	149	28	Mar	7568	180
29	Ven	7508	120	29	Dim	7538	150	29	Mer	7569	181
30	Sam	7509	121	30	Lun	7539	151	30	Jeu	7570	182
				31	Mar	7540	152				

CALENDRIER 2016

JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			182	0			213	0			244
1	Ven	2457571	183	1	Lun	2457602	214	1	Jeu	2457633	245
2	Sam	7572	184	2	Mar	7603	215	2	Ven	7634	246
3	Dim	7573	185	3	Mer	7604	216	3	Sam	7635	247
4	Lun	7574	186	4	Jeu	7605	217	4	Dim	7636	248
5	Mar	7575	187	5	Ven	7606	218	5	Lun	7637	249
6	Mer	7576	188	6	Sam	7607	219	6	Mar	7638	250
7	Jeu	7577	189	7	Dim	7608	220	7	Mer	7639	251
8	Ven	7578	190	8	Lun	7609	221	8	Jeu	7640	252
9	Sam	7579	191	9	Mar	7610	222	9	Ven	7641	253
10	Dim	7580	192	10	Mer	7611	223	10	Sam	7642	254
11	Lun	7581	193	11	Jeu	7612	224	11	Dim	7643	255
12	Mar	7582	194	12	Ven	7613	225	12	Lun	7644	256
13	Mer	7583	195	13	Sam	7614	226	13	Mar	7645	257
14	Jeu	7584	196	14	Dim	7615	227	14	Mer	7646	258
15	Ven	7585	197	15	Lun	7616	228	15	Jeu	7647	259
16	Sam	7586	198	16	Mar	7617	229	16	Ven	7648	260
17	Dim	7587	199	17	Mer	7618	230	17	Sam	7649	261
18	Lun	7588	200	18	Jeu	7619	231	18	Dim	7650	262
19	Mar	7589	201	19	Ven	7620	232	19	Lun	7651	263
20	Mer	7590	202	20	Sam	7621	233	20	Mar	7652	264
21	Jeu	7591	203	21	Dim	7622	234	21	Mer	7653	265
22	Ven	7592	204	22	Lun	7623	235	22	Jeu	7654	266
23	Sam	7593	205	23	Mar	7624	236	23	Ven	7655	267
24	Dim	7594	206	24	Mer	7625	237	24	Sam	7656	268
25	Lun	7595	207	25	Jeu	7626	238	25	Dim	7657	269
26	Mar	7596	208	26	Ven	7627	239	26	Lun	7658	270
27	Mer	7597	209	27	Sam	7628	240	27	Mar	7659	271
28	Jeu	7598	210	28	Dim	7629	241	28	Mer	7660	272
29	Ven	7599	211	29	Lun	7630	242	29	Jeu	7661	273
30	Sam	7600	212	30	Mar	7631	243	30	Ven	7662	274
31	Dim	7601	213	31	Mer	7632	244				
OCTOBRE				NOVEMBRE				DÉCEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			274	0			305	0			335
1	Sam	2457663	275	1	Mar	2457694	306	1	Jeu	2457724	336
2	Dim	7664	276	2	Mer	7695	307	2	Ven	7725	337
3	Lun	7665	277	3	Jeu	7696	308	3	Sam	7726	338
4	Mar	7666	278	4	Ven	7697	309	4	Dim	7727	339
5	Mer	7667	279	5	Sam	7698	310	5	Lun	7728	340
6	Jeu	7668	280	6	Dim	7699	311	6	Mar	7729	341
7	Ven	7669	281	7	Lun	7700	312	7	Mer	7730	342
8	Sam	7670	282	8	Mar	7701	313	8	Jeu	7731	343
9	Dim	7671	283	9	Mer	7702	314	9	Ven	7732	344
10	Lun	7672	284	10	Jeu	7703	315	10	Sam	7733	345
11	Mar	7673	285	11	Ven	7704	316	11	Dim	7734	346
12	Mer	7674	286	12	Sam	7705	317	12	Lun	7735	347
13	Jeu	7675	287	13	Dim	7706	318	13	Mar	7736	348
14	Ven	7676	288	14	Lun	7707	319	14	Mer	7737	349
15	Sam	7677	289	15	Mar	7708	320	15	Jeu	7738	350
16	Dim	7678	290	16	Mer	7709	321	16	Ven	7739	351
17	Lun	7679	291	17	Jeu	7710	322	17	Sam	7740	352
18	Mar	7680	292	18	Ven	7711	323	18	Dim	7741	353
19	Mer	7681	293	19	Sam	7712	324	19	Lun	7742	354
20	Jeu	7682	294	20	Dim	7713	325	20	Mar	7743	355
21	Ven	7683	295	21	Lun	7714	326	21	Mer	7744	356
22	Sam	7684	296	22	Mar	7715	327	22	Jeu	7745	357
23	Dim	7685	297	23	Mer	7716	328	23	Ven	7746	358
24	Lun	7686	298	24	Jeu	7717	329	24	Sam	7747	359
25	Mar	7687	299	25	Ven	7718	330	25	Dim	7748	360
26	Mer	7688	300	26	Sam	7719	331	26	Lun	7749	361
27	Jeu	7689	301	27	Dim	7720	332	27	Mar	7750	362
28	Ven	7690	302	28	Lun	7721	333	28	Mer	7751	363
29	Sam	7691	303	29	Mar	7722	334	29	Jeu	7752	364
30	Dim	7692	304	30	Mer	7723	335	30	Ven	7753	365
31	Lun	7693	305					31	Sam	7754	366

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : Daniel HESTROFFER

Directeur adjoint : Florent DELEFLIE

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : Jean-Eudes ARLOT,
Daniel HESTROFFER,
William THUILLOT.

Astronomes adjoints : Benoît CARRY,
Florent DELEFLIE,
Pascal DESCAMPS,
Valéry LAINEY,
Lucie MAQUET,
Jérémie VAUBAILLON.

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : Jacques LASKAR.

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

CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

Professeurs : Alain CHENCINER,
Jacques FEJOZ,
Alain VIENNE.

Maîtres de conférences : Gwenaël BOUÉ,
Marc FOUCHARD,
Laurent NIEDERMAN,
Nicolas RAMBAUX,

Stéfan RENNER.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

Ingénieurs de recherche : Jérôme BERTHIER,
Mirel BIRLAN,
Mickaël GASTINEAU,
Frédéric VACHIER.

Ingénieurs d'études : Pédro DAVID,
Sébastien LOUVEL,
Hervé MANCHE,
Mokhtar SADJI.

Assistants ingénieurs : Rachida AMHIDEZ.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DE RECHERCHE ET DE FORMATION

Ingénieurs de recherche : Frédéric DAUVERGNE,
Min-Kyung KWON.

Ingénieurs d'études : Sem BENDJEDDOU,
Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER,
Jonathan NORMAND,
Nicolas THOUVENIN.

Assistants ingénieurs : François NOCTULLE.

Techniciens : Maïder BUGNON OLANO,
Yohann GOMINET,
Erica HELIMHAJA,
Agnès PATU.

ÉTUDIANTS pour l'année 2014

Thésitifs : Pierre AUCLAIR-DESROTOUT,
Farida BAIDOLDA,
Marcelo CAETANO,
Thibaut CASTAN,
Jérôme DAQUIN,
Yann DUCHEMIN,
Bogdan DUMITRU,
Auriane EGAL,

Nathan HARA,
Fatoumata KEBE,
Irina KOVALENKO,
Adrien LEULEU,
Shan-Na LI,
Myriam PAJUELO,
William POLYCARPE,
Alexandre POUSSE,
Melanie SAILLENFEST,
Éléonore SAQUET,
Delphine THOMASSON.
Siegfried EGGL,
Maria KUDRYASHOVA,
Jessica MASSETI.

Post doctorants :

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2014

<i>Président :</i>	François BARLIER
<i>Vice-Président :</i>	Claude BOUCHER
<i>Secrétaire :</i>	Marie-Françoise LALANCETTE

MEMBRES TITULAIRES

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

Roger CAYREL, astronome, observatoire de Paris.

Nicole CAPITAINE, astronome, observatoire de Paris.

Jean-Louis LE MOUËL(*), membre de l'Académie des sciences, institut de physique du globe de Paris.

Suzanne DÉBARBAT, astronome titulaire honoraire, observatoire de Paris.

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

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

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

Noël DIMARCO, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Jacques LASKAR, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Claude BOUCHER, ingénieur des Ponts, Eaux et Forêts.

François MIGNARD, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.

Anny CAZENAVE, membre de l'Académie des sciences, directrice adjointe du LEGOS, observatoire de Midi-Pyrénées.

MEMBRES TITULAIRES HONORAIRES

Bernard GUINOT, astronome honoraire, observatoire de Paris.

MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

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

(*) Au titre de l'Académie des sciences.

(*) Au titre de l'Académie des sciences.

Daniel HESTROFFER (°), astronome, directeur de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Mioara MANDEA, responsable de la thématique Terre solide, Direction de la stratégie et des programmes au CNES.

Denis PRIOU, directeur de la recherche et de l'enseignement à l'Institut national de l'information géographique et forestière.

Jacques PARENT DU CHAÂTELET, directeur adjoint de la recherche à Météo France.

MEMBRES CORRESPONDANTS

Marcel GOLAY, professeur, ancien directeur de l'observatoire de Genève.

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.

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 général 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".

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.

Véronique DEHANT, chef de section, observatoire royal de Belgique.

Michel DIAMENT, institut de physique du globe de Paris.

Annie SOURIAU, sismologue émérite l'observatoire Midi-Pyrénées.

Alessandro MORBIDELLI, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur.

Patrick CHARLOT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Bordeaux .

Terry QUINN, directeur honoraire du BIPM.

Luc BLANCHET, directeur de recherche au CNRS, Institut d'astrophysique de Paris.

Pierre BRIOLE, directeur de recherche au CNRS, École normale supérieure.

Marie-Françoise LALANCETTE, Chef du Bureau géophysique marine au SHOM.

Jean PAILLEUX, Météo-France.

(°) Au titre de l'Observatoire de Paris

Agnès FIENGA, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

Gilles REVERDIN, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.

MEMBRES CORRESPONDANTS HONORAIRES

Gilbert AMAT, professeur honoraire, université de Paris VI.

Jean-Claude PECKER, membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France.

Raymond MICHARD, astronome titulaire honoraire, ancien président de l'observatoire de Paris.

Michel LEFEBVRE, ingénieur honoraire CNES, Groupe de recherches de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées.

Secrétaire administratif : Pascale CHARPENTIER.

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 1 6

Cet ouvrage d'éphémérides destiné aux astronomes, aux professeurs et aux étudiants est divisé en deux parties.

La première partie donne l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées. On y trouve aussi les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie et à l'usage du logiciel accompagnant l'ouvrage.

La deuxième partie donne pour l'année en cours, sous forme d'éphémérides tabulées, le Temps sidéral, les nutations en longitude et en obliquité, les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'UAI (angle de rotation de la Terre, équation des origines, coordonnées du pôle céleste intermédiaire, angle s) et les coordonnées du Soleil, de la Lune et des planètes. Elle donne aussi les coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des élongations des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus.

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

Des éphémérides électroniques accompagnent l'ouvrage et constituent maintenant les éphémérides de précision proprement dites. Elles permettent de calculer, d'une manière interactive, non seulement toutes les variables tabulées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi les coordonnées horizontales et les levers et couchers des astres. Elles sont donc bien adaptées à la préparation d'observations.

La *Connaissance des Temps* a été créée en 1679 par Joachim Dalancé. Cette édition, publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795, est la 338^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.



9 782759 817894

29 euros

978-2-7598-1789-4

www.edpsciences.org

edp sciences