

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

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 1 5

edp sciences

BUREAU DES LONGITUDES

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

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2015

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2015.

Agenda astronomique pour 2015.

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 2015.

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.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

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

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

Créée en 1679 par Joachim Dalancé, la *Connaissance des Temps* est publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795. Ce volume est le 337^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

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

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

Remerciements : Nous remercions vivement A. Fienga pour sa collaboration à la construction des tables des éphémérides planétaires, M. Chapront-Touzé qui nous a autorisé à reproduire de larges extraits du chapitre 4 qu'elle avait rédigé pour l'*Introduction aux éphémérides astronomiques*, P. Teyssandier qui nous a aidé dans la traduction de la section 3.2 et G. Francou pour ses conseils lors de l'élaboration des éphémérides. Le comité de rédaction composé de A. Fienga, M. Birlan, D. Gambis, J.-L. Simon et W. Thuillot a réalisé la refonte complète de l'ouvrage sur les éditions 2004 à 2007.

LISTE DES ACRONYMES

AIG	Association internationale de géodésie (voir aussi IAG)
BCRS	Barycentric Celestial Reference System
BEP	Basic Earth Parameters
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie
BRS	Barycentric Reference System
CCDS	Comit consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches godynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRS	Celestial Intermediate Reference System
CNES	Centre national d'études spatiales
DGRS	Dynamical Geocentric Reference System
DORIS	Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite
EOP	Earth Orientation Parameters
ERA	Earth Rotation Angle
ET	Ephemeris Time (voir aussi TE)
FCN	Free Core Nutation
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. Modèle dynamique	I. 170
6.3. Ajustement aux observations	I. 171
6.4. Bibliographie	I. 174
7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 175
7.1. Introduction	I. 175
7.2. Modèle dynamique	I. 175
7.3. Ajustement aux observations	I. 176
7.4. Représentation des solutions	I. 178
7.5. Bibliographie	I. 180
8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 181
8.1. Présentation des éphémérides	I. 181
8.2. Sources des éphémérides	I. 185
8.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 186
8.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 188
8.5. Précision des éphémérides	I. 190
8.6. Bibliographie	I. 194

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2015	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
Hypérion	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. 175
Chapitre 8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 181

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

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

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-coordonné est le TCB et pour un système de référence géocentrique dont le temps-coordonné est le TCG (*cf.* 2.7.1). L’emploi du TDB comme temps-coordonné d’un système barycentrique (Seidelmann et Fukushima, 1992) ou du TT comme temps-coordonné 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 :

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

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

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

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	$5\,028''.796\,195$ (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	$2\,439.7 \pm 1.0$
Vénus	6 052	$6\,051.8 \pm 1.0$
Terre	6 378.140	$6\,378.1366 \pm 0.0001$
Mars	3 397.2	$3\,396.19 \pm 0.1$
Jupiter	71 398	$71\,492 \pm 4$ ⁽¹⁾
Saturne	60 000	$60\,268 \pm 4$ ⁽¹⁾
Uranus	25 400	$25\,559 \pm 4$ ⁽¹⁾
Neptune	24 300	$24\,764 \pm 15$ ⁽¹⁾
Pluton	2 500	$1\,195 \pm 5$
Lune	1 738	$1\,737.4 \pm 1$
Soleil	696 000	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
Mercurure	0.387 098 31	252.250 905 52	0.044 660 60	0.200 723 31	0.040 615 63	0.045 635 50
Vénus	0.723 329 82	181.979 800 85	–0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 10	0.028 822 86
Terre	1.000 001 02	100.466 456 83	–0.003 740 82	0.016 284 48	0	0
Mars	1.523 679 34	355.432 999 58	0.085 365 60	–0.037 899 73	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	34.351 518 74	0.046 985 75	0.012 003 88	–0.002 065 60	0.011 183 75
Saturne	9.554 909 19	50.077 444 30	–0.002 959 99	0.055 429 61	–0.008 717 47	0.019 891 48
Uranus	19.218 446 06	314.055 005 11	–0.045 951 32	0.005 637 91	0.001 859 15	0.006 486 17
Neptune	30.110 386 87	304.348 665 48	0.005 999 78	0.006 692 42	–0.010 291 48	0.011 516 84
Pluton	39.544 617 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 (Seidelmann 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)	1.891 651 Cassini	1684
Dioné	IV	377.647	0.001/0.003	0.01/0.03	(e)	2.740 291 Cassini	1684
Hélène	XII	377.84	0.006/0.009	0.024	(e)	2.7424 Lecacheux/Laques	1980
Rhéa	V	527.228	0.0003/0.0016	0.30/0.38	(e)	4.520 275 Cassini	1672
Titan	VI	1 221.936	0.0286/0.0290	0.31/0.49	(e)	15.947 382 Huygens	1655
Hypériorion	VII	1 482.322	0.0736/0.1321	0.36/1.11	(e)	21.309 641 Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.697	0.0270/0.0300	14.70/16.19	(e)	79.369 244 Cassini	1671
Phœbé	IX	12 925	0.14/0.19 18	150.0/152.6	(e^9)	548.57 Pickering	1898
Uranus							
Anneaux		42/51	0.0/0.008	0.06/0.0002	(e^1)	Elliot et al.	1977
Cordélia	VI	49.752	0.0003	0.08	(e)	0.335 25 Voyager 2	1986
Ophélie	VII	53.764	0.0099	0.10	(e)	0.376 60 Voyager 2	1986
Bianca	VIII	59.165	0.0003	0.18	(e)	0.434 77 Voyager 2	1986
Cressida	IX	61.767	0.0002	0.04	(e)	0.463 75 Voyager 2	1986
Desdémone	X	62.658	0.0003	0.10	(e)	0.473 83 Voyager 2	1986
Juliette	XI	64.358	0.0000	0.05	(e)	0.493 24 Voyager 2	1986
Portia	XII	66.097	0.0005	0.03	(e)	0.513 37 Voyager 2	1986
Rosalinde	XIII	69.927	0.0006	0.09	(e)	0.558 63 Voyager 2	1986
Belinda	XIV	75.256	0.0003	0.03	(e)	0.623 68 Voyager 2	1986
Puck	XV	86.004	0.0004	0.32	(e)	0.761 97 Voyager 2	1985
Miranda	V	129.859	0.0013	4.35	(e^7)	1.413 72 Kuiper	1948
Ariel	I	190.925	0.0013	0.08	(e^7)	2.520 27 Lassell	1851
Umbriel	II	265.971	0.0039	0.13	(e^7)	4.143 85 Lassell	1851
Titania	III	436.253	0.0019	0.10	(e^7)	8.704 72 Herschel	1787
Obéron	IV	583.458	0.0015	0.16	(e^7)	13.463 66 Herschel	1787
Neptune							
Anneaux		42/62.9			(¹)	Hubbard et al.	1986
Naiade	III	48.233	0.000 33	4.75	(e)	0.294 65 Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.069	0.000 16	0.54	(e)	0.311 64 Voyager 2	1989
Despina	V	52.531	0.000 14	0.52	(e)	0.334 90 Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.945	0.000 12	0.53	(e)	0.428 85 Voyager 2	1989

Table 1.14. (fin).

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

(e) Équateur de la planète.

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

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

⁽³⁾ Équateur céleste J2000.

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

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

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

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

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

1.4.2. Éléments osculateurs des satellites découverts après 1990

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

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

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

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

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
Thémisto	XVIII	7 398	0.206	45.38	238.86	202.12	130.00	2000	1/04/01	M2000-Y16
Carpo	XLVI	17 056	0.295	55.15	83.28	45.26	455.07	2003	10/06/03	M2003-G67
Euporia	XXXIV	19 456	0.128	145.70	87.45	67.56	554.43	2001	22/11/02	M2003-C53
Jocaste	XXIV	20 424	0.389	150.37	80.01	271.32	596.29	2000	18/10/01	M2001-W07
Thyoné	XXIX	20 770	0.283	148.29	86.28	244.59	611.52	2001	22/11/02	M2002-V06
Mnémé	XL	20 823	0.223	148.51	62.18	19.66	613.88	2003	27/12/03	M2004-B42
Harpalycé	XXII	20 836	0.165	147.31	129.87	39.97	614.45	2000	18/10/01	M2001-U21
Hélicé	XLV	20 923	0.157	156.12	285.54	100.93	618.28	2003	10/06/03	M2003-E29
Euanthé	XXXIII	20 983	0.143	146.03	314.60	268.85	620.96	2001	22/11/02	M2003-A23
Hermippé	XXX	21 048	0.248	149.78	304.58	347.22	623.84	2001	22/11/02	M2002-V06
Orthosia	XXXV	21 263	0.240	141.95	223.56	222.85	633.44	2001	10/06/03	M2003-D36
Praxidicé	XXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Thelxinoé	XLII	21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
Aetna	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Calé	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Callichoré	XLIV	22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	2003	10/06/03	M2003-E29
Taygète	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldéné	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Calycé	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Hersé	L	23 035	0.199	164.16	355.68	329.01	714.23	2003	10/06/03	M2009-S76
Mégaclyté	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
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	XXVIII	24 413	0.459	152.06	57.62	273.23	779.27	2001	22/11/02	M2002-V03
Hégémoné	XXXIX	24 448	0.264	152.62	235.38	327.61	780.96	2003	10/06/03	M2003-E24
Eukéladé	XLVII	24 491	0.345	163.38	344.76	218.73	783.03	2003	10/06/03	M2003-E29
Coré	XLIX	24 974	0.222	140.89	124.42	339.81	806.29	2003	10/06/03	M2003-G10
S/2000 J 11		12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	M2001-A29
S/2003 J 2		28 494	0.380	151.83	167.11	4.73	982.61	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 3		18 291	0.241	143.73	98.23	240.36	505.36	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 4		23 196	0.204	144.86	193.98	190.71	721.71	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 5		24 020	0.210	165.01	122.05	198.68	760.51	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 9		22 382	0.269	164.46	327.85	61.47	684.05	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 10		24 185	0.214	164.09	185.20	173.41	768.36	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 12		18 952	0.376	145.76	23.36	62.94	532.99	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 15		22 012	0.113	140.85	41.58	243.05	667.17	2003	10/06/03	M2003-G17
S/2003 J 16		20 434	0.269	148.62	82.43	23.62	596.76	2003	10/06/03	M2003-G18

Table 1.15. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
S/2010 J 1		23 252	0.320	163.22	225.37	322.11	724.34	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2010 J 2		20 253	0.308	150.36	70.76	35.04	588.82	2010	27/08/11	M2011-L06
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
Palléné	XXXIII	211					1.14	2004		IAUC 8389
Kiviuq	XXIV	11 319	0.166	48.39	91.26	351.82	449.60	2000	18/10/01	M2001-T07
Ijiraq	XXII	11 359	0.359	49.18	70.73	150.97	452.00	2000	18/10/01	M2001-T06
Paaliaq	XX	14 985	0.462	45.86	241.98	350.03	684.86	2000	18/10/01	M2001-T06
Skathi	XXVII	15 472	0.212	148.71	207.65	285.51	718.51	2000	18/10/01	M2001-T23
Albiorix	XXVI	16 496	0.452	37.40	59.55	109.01	791.01	2000	18/10/01	M2001-T07
Bebhionn	XXXVII	17 154	0.333	40.75	9.71	193.15	820.13	2004	30/01/05	M2005-J13
Skoll	XLVII	17 474	0.422	155.62	206.42	296.79	862.37	2006	06/03/06	M2006-M48
Erriapus	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarqeq	LII	17 910	0.108	49.90	65.59	91.95	894.91	2007	10/04/07	M2007-G38
Tyros	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
Hyrokkinn	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	1 142.37	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2007 S 2		16 523	0.218	176.68	62.04	113.11	792.96	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2007 S 3		19 179	0.151	177.01	284.03	96.94	991.66	2007	10/04/07	M2007-J09
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
Psamathée	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 ces cinq premiers satellites. Les masses des planètes sont évaluées en enlevant à la masse du système planète-satellites, la somme des masses connues des satellites du système (Table 1.18). Les masses sont données dans deux systèmes d'unités : le système astronomique (unité = masse solaire) et le système SI (unité = kg). Ces quantités sont calculées à partir des données des paragraphes 1.3.2 et 1.3.3 et de la table 1.18.

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

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

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

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

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

Table 1.18. Masses des principaux satellites.

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Terre				
Lune		$3.694\ 3037 \times 10^{-8}$	$1.230\ 0038 \times 10^{-2}$	$4.902\ 8006 \times 10^{12}$
Mars				
Phobos		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°	<i>m</i>		<i>Gm</i> (m ³ s ⁻²)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Saturne				
Japet	VIII	7.99×10^{-10}	2.79×10^{-6}	1.06×10^{11}
Phœbé	IX	2×10^{-13}	7×10^{-10}	2.7×10^7
Uranus				
Cordélia	VI	7.0×10^{-15}	1.6×10^{-10}	9.3×10^5
Ophélie	VII	1.3×10^{-14}	2.9×10^{-10}	1.7×10^6
Miranda	V	0.33×10^{-10}	0.76×10^{-6}	4.4×10^9
Ariel	I	6.80×10^{-10}	1.56×10^{-5}	90.3×10^9
Umbriel	II	5.89×10^{-10}	1.35×10^{-5}	78.2×10^9
Titania	III	17.73×10^{-10}	4.061×10^{-5}	235.3×10^9
Obéron	IV	15.15×10^{-10}	3.471×10^{-5}	201.1×10^9
Naïade	III	5.0×10^{-14}	9.7×10^{-10}	6.6×10^6
Thalassa	IV	1.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	2.1×10^7
Despina	V	1.1×10^{-12}	2.1×10^{-8}	1.4×10^8
Galatée	VI	1.9×10^{-12}	3.6×10^{-8}	2.5×10^8
Larissa	VII	2.2×10^{-12}	4.2×10^{-8}	2.9×10^8
Protée	VIII	2.0×10^{-11}	3.9×10^{-7}	2.7×10^9
Triton	I	1.08×10^{-8}	2.09×10^{-4}	1.428×10^{12}
Néréide	II	1×10^{-11}	2×10^{-7}	1.4×10^9
Pluton				
Charon	I	0.733×10^{-9}	0.110	9.73×10^{10}

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

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Terre							
Lune		1737.4±1	1737.4 - 1737.4 - 1737.4	73.476	3.34	-12.7	0.12
Mars							
Phobos	I	11.1±0.15	13.4 - 11.2 - 9.2	1.02×10^{-5}	2.22	11.6	0.06
Déimos	II	6.2±0.18	7.5 - 6.1 - 5.2	2.25×10^{-6}	1.8	12.7	0.06
Jupiter							
Métis	XVI	21.5±4	30 - - 20	9.5×10^{-5}	2.3	17.5	0.05
Adrastéia	XV	8.2±4	10 - 8 - 7	1.9×10^{-5}	8.2	18.9	0.05
Amalthée	V	83.5±3	125 - 73 - 64	7.2×10^{-3}	3.0	14.1	0.05
Thébé	XIV	49.3±4	58 - 49 - 42	7.6×10^{-4}	1.5	15.7	0.04
Io	I	1821.46	1829.4 - 1819.3 - 1815.7	89.3	3.53	5.02	0.61
Europe	II	1562.09	1564.13 - 1561.23 - 1560.93	48.0	3.00	5.29	0.64
Ganymède	III	2632.345	2632.4 - 2632.29 - 2632.35	148.2	1.94	4.61	0.42
Callisto	IV	2409.3	2409.4 - 2409.2 - 2409.3	107.6	1.84	5.65	0.20
Léda	XIII	5		5.7×10^{-6}	11	20	
Himalia	VI	85±10		9.5×10^{-3}	3.7	14.8	0.03
Lysithéa	X	12		7.6×10^{-5}	10.5	18.4	
Elara	VII	40±10		7.6×10^{-4}	2.8	16.8	0.03
Ananké	XII	10		3.8×10^{-5}	9.1	18.9	
Carmé	XI	15		9.5×10^{-5}	6.7	18.0	
Pasiphaé	VIII	18		1.9×10^{-4}	7.8	17.0	
Sinopé	IX	14		7.6×10^{-5}	6.6	18.3	
Saturne							
Anneau C				9.7×10^{-4}			
Anneau B				2.4×10^{-2}			
Anneau A				6.3×10^{-3}			
Pan	XVIII	10±3					0.4-0.7
Atlas	XV	16±4	18.5 - 17.2 - 13.5			18	0.4
Prométhée	XVI	50.1±3	74.0 - 50.0 - 34.0			15	0.6
Pandore	XVII	41.9±2	55.0 - 44.0 - 31.0			15.5	0.6
Épiméthée	XI	59.5±3	69.0 - 55.0 - 55.0			15	0.4
Janus	X	88.8±4	97.0 - 95.0 - 77.0			14	0.4
Mimas	I	198.6±0.6	209.1 - 196.2 - 191.4	0.0455	1.4	12.9	0.77
Encelade	II	249.4±0.3	256.3 - 247.3 - 244.6	0.074	1.1	11.7	1.04
Téthys	III	529.8±1.5	535.6 - 528.2 - 525.8	0.674	1.1	10.3	0.8
Télésto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6
Calypso	XIV	9.5±4	15.0 - 8.0 - 8.0			18.5	0.8
Dioné	IV	560±5	560 - 560 - 560	1.052	1.4	10.4	0.55
Hélène	XII	16	17.5 - - -			17	0.5

Table 1.19. (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 :

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

Le gauss

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

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

Le gamma

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

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

L'atmosphère

L'atmosphère, unité employée pour la pression, vaut 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/mgsmr55sdpv1/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 $T_1 = a T_2 + b$. Les échelles liées par ce type de relation sont dites équivalentes. En restreignant la question de l'uniformité du TAI à cet aspect on peut fournir une réponse basée sur l'observation. Les comparaisons du TAI et du Temps des éphémérides effectuées depuis près de quarante ans indiquent que l'écart entre les deux échelles est demeuré constant

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

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

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

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

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

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

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

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

2.5.1. Définition et propriétés

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

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

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

Cependant lors du passage du temps astronomique au Temps atomique on a cru bon de ne pas perdre totalement la correspondance entre le temps et l'orientation de la Terre dans l'espace. Pour cela on a créé une échelle de temps, dite du *Temps universel coordonné* (dénomination officielle : UTC, Universal Time 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.

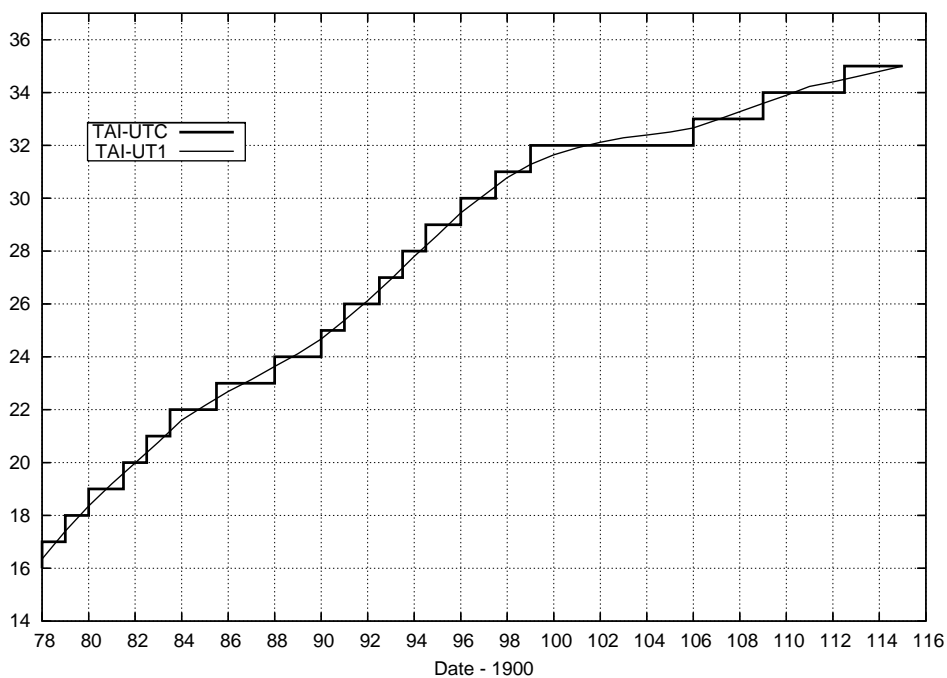
Cependant l'idée de remplacer l'UTC actuel par une échelle continue sans relation à long terme avec le temps solaire moyen ne fait pas l'unanimité, bien que le tendance soit vers une suppression des sauts de seconde avec un décalage de plusieurs années entre la décision et sa mise en œuvre. En France,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

De nombreuses consultations sont en cours et différentes solutions sont examinées au sein de groupes de travail, incluant :

- le statu-quo (avec une augmentation du nombre de sauts de seconde dans le futur en raison de l'allongement de la durée du jour),
- la suppression des sauts de seconde ce qui laisserait dériver l'échelle UTC par rapport à TAI,
- un élargissement de la tolérance conduisant à des sauts plus importants mais rares, combinés ou non à des sauts réguliers décidés à l'avance,
- le passage à une autre échelle qui pourrait être le TAI ou bien une échelle liée au GPS ou à Galileo,
- la possibilité la plus spectaculaire envisagée dans ces discussions (mais qui n'a aucune chance d'aboutir) étant de modifier la définition de la seconde pour maintenir l'accord approximatif de 86 400 secondes par jour solaire moyen.

Table 2.2. Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2015 (selon l'IIERS).

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

**Fig. 2.1.** Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1978 à 2015.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Idéalement, pour réaliser le Temps des éphémérides il faut observer la longitude du Soleil, effectuer toutes les corrections permettant d'en déterminer la longitude géométrique moyenne, puis résoudre l'équation de définition pour l'inconnue T . Mathématiquement il y a de nombreuses solutions, mais un encadrement préalable au moyen d'un garde-temps permet d'aboutir à une

solution unique. Avec une précision typique de $0''.5$ sur la détermination de la longitude du Soleil, on obtiendrait une incertitude de 12 s sur la lecture de l'horloge céleste. Heureusement on n'avait recours au Soleil (et à la Lune dont le mouvement est treize fois plus rapide) que pour des mesures d'intervalles longs.

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

2.7. LES ÉCHELLES DE TEMPS RELATIVISTES

2.7.1. Les échelles TCB et TCG

Depuis 1991, les systèmes de référence d'espace et de temps adoptés par l'UAI sont construits dans le cadre de la théorie de la relativité générale. La théorie est la forme standard obtenue en donnant aux paramètres post-newtoniens leur valeur nominale, $\gamma = 1$ et $\beta = 1$ pour les deux plus importants. Ce cadre général est présenté dans le paragraphe 3.2 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 $\Delta(t, \mathbf{x})$),

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

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

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

où $TDB_0 = -6.55 \times 10^{-5}$ s est une nouvelle constante de définition introduite pour maintenir la continuité avec les formules en usage.

Avec cette définition on conserve,

$$TDB = TT + P$$

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

2.7.3. Relations entre les échelles de temps

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

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

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

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

2.8. BIBLIOGRAPHIE

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

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

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	0	1656.674 564	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	6.444 4016	11.86	52	0	0.036 507	80.182 0931	6.248 8660	7.84
5	0	4.676 740	606.977 6755	4.021 1951	1.04	53	0	0.034 867	52.257 7418	5.210 0641	12.02
6	0	2.256 707	21.329 9095	5.543 1133	29.46	54	0	0.033 529	943.776 2935	2.404 7142	0.67
7	0	1.694 205	-0.352 3118	5.025 1327	1783.42	55	0	0.033 477	606.266 3208	4.144 9873	1.04
8	0	1.554 905	7 771.377 1468	5.198 4666	0.08	56	0	0.032 438	607.689 0302	0.749 3174	1.03
9	0	1.276 839	786.041 9392	5.988 8223	0.80	57	0	0.032 423	882.739 0270	5.541 4736	0.71
10	0	1.193 379	522.369 3920	3.649 8237	1.20	58	0	0.030 215	708.489 6781	3.389 6103	0.89
11	0	1.115 322	393.020 9696	1.422 7451	1.60	59	0	0.029 862	1 213.955 3509	1.770 1810	0.52
12	0	0.794 185	1 150.676 9770	2.322 3131	0.55	60	0	0.029 247	-7 143.069 5618	4.183 1792	0.09
13	0	0.600 309	157.734 3542	2.678 2719	3.98	61	0	0.028 244	-628.659 8968	5.069 6635	1.00
14	0	0.496 817	620.829 4251	5.696 7018	1.01	62	0	0.027 567	627.955 2732	5.040 8460	1.00
15	0	0.486 306	588.492 6847	0.520 0072	1.07	63	0	0.025 196	174.801 6413	2.901 8833	3.59
16	0	0.468 597	624.494 2814	5.866 3988	1.01	64	0	0.024 816	-119.444 7010	1.087 1369	5.26
17	0	0.447 061	2.629 8320	3.615 7965	238.92	65	0	0.022 567	613.351 2653	3.307 9848	1.02
18	0	0.435 206	-39.814 9003	4.349 3383	15.78	66	0	0.022 509	1 044.738 7840	1.460 7262	0.60
19	0	0.432 392	7.478 1599	2.435 8983	84.02	67	0	0.021 691	1 414.349 5242	5.952 6580	0.44
20	0	0.375 510	550.755 3239	4.103 4768	1.14	68	0	0.020 937	842.924 1266	0.652 3034	0.75
21	0	0.243 085	-77.552 2611	3.651 8379	8.10	69	0	0.020 322	41.948 4644	3.735 4306	14.98
22	0	0.230 685	585.647 7659	4.773 8526	1.07	70	0	0.017 806	7.329 7126	3.475 9751	85.72
23	0	0.203 747	1 203.646 0735	4.333 9878	0.52	71	0	0.017 673	681.276 6815	3.186 1298	0.92
24	0	0.173 435	1 884.922 7550	6.153 7435	0.33	72	0	0.016 155	1 021.328 5546	1.331 1032	0.62
25	0	0.159 080	1 097.707 8805	1.890 0752	0.57	73	0	0.015 974	-235.286 6154	6.145 3094	2.67
26	0	0.143 935	-79.629 8007	5.957 5178	7.89	74	0	0.015 949	-22.041 2642	4.005 2983	28.51
27	0	0.137 927	1 179.062 9089	1.135 9347	0.53	75	0	0.015 078	1 965.104 8481	3.969 4808	0.32
28	0	0.119 979	3.813 3036	4.551 5858	164.77	76	0	0.014 751	134.986 7410	4.308 9333	4.65
29	0	0.118 971	548.677 7843	1.914 5472	1.15	77	0	0.014 318	1 673.046 3690	3.016 0581	0.38
30	0	0.116 120	105.938 1930	0.873 5041	5.93	78	0	0.014 223	1 778.984 5620	2.104 5513	0.35
31	0	0.101 868	-557.314 2802	5.984 5034	1.13	79	0	0.013 671	-53.680 4512	5.971 6726	11.70
32	0	0.098 358	254.431 4420	0.092 7939	2.47	80	0	0.012 462	10.309 2774	1.737 4388	60.95
33	0	0.080 164	20.618 5548	2.095 3777	30.47	81	0	0.012 420	469.047 9836	4.734 0904	1.34
34	0	0.079 645	469.400 2955	2.949 2336	1.34	82	0	0.011 942	803.109 2263	2.053 4147	0.78
35	0	0.075 019	294.246 3423	4.980 9318	2.14	83	0	0.011 847	564.317 8564	5.489 0054	1.11
36	0	0.064 397	574.627 1338	1.280 3087	1.09	84	0	0.011 707	-470.573 2308	2.654 1256	1.34
37	0	0.063 814	576.049 8432	4.167 9017	1.09	85	0	0.011 622	512.060 1146	4.863 9319	1.23
38	0	0.062 617	2.077 5395	2.654 3948	302.43	86	0	0.010 962	0.359 0429	2.196 5677	1749.98
39	0	0.058 844	42.659 8191	4.839 6501	14.73	87	0	0.010 825	55.356 9403	0.842 7150	11.35
40	0	0.054 139	1 726.015 4655	3.411 0911	0.36	88	0	0.010 453	586.359 1206	1.913 7046	1.07
41	0	0.048 373	15.542 0399	2.251 5737	40.43	89	0	0.010 396	95.171 8406	5.717 7996	6.60
42	0	0.048 042	214.616 5416	1.495 8460	2.93	90	0	0.010 099	28.385 9319	1.942 1770	22.13
43	0	0.046 551	-0.098 0321	0.921 5735	6409.31	91	0	0.009 963	14.956 3197	4.870 6906	42.01
44	0	0.042 732	63.278 3739	5.720 6222	9.93	92	0	0.009 858	630.937 4170	1.061 8164	1.00
45	0	0.042 560	16 100.068 5737	1.270 8372	0.04	93	0	0.009 370	14 985.440 0134	0.673 8790	0.04
46	0	0.042 411	627.596 2303	2.869 5670	1.00	94	0	0.008 666	-13.506 5080	3.293 4065	46.52
47	0	0.040 759	1 235.285 2605	3.981 4970	0.51	95	0	0.008 610	334.061 2427	3.661 6989	1.88
48	0	0.040 480	1 572.083 8785	2.546 6101	0.40	96	0	0.008 323	1 176.985 3693	1.229 3920	0.53

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
193	0	0.001321	1820.9330264	2.6248664	0.35	241	0	0.000674	1494.5316174	6.2705105	0.42
194	0	0.001297	2122.8392024	0.3826035	0.30	242	0	0.000673	106.6495477	3.8765124	5.89
195	0	0.001297	2354.3230505	3.0638052	0.27	243	0	0.000662	2515.8601720	1.7940584	0.25
196	0	0.001288	-199.0745017	3.9130229	3.16	244	0	0.000660	62.5670192	5.8640919	10.04
197	0	0.001284	1057.5406683	5.3065382	0.59	245	0	0.000647	1185.6218652	3.3971331	0.53
198	0	0.001278	7.1812653	4.7134865	87.49	246	0	0.000646	1140.3676996	3.8529595	0.55
199	0	0.001238	480.4209276	5.5033797	1.31	247	0	0.000641	8346.7156353	3.2107273	0.08
200	0	0.001176	27.7034994	3.3355190	22.68	248	0	0.000631	576.7611979	4.0265323	1.09
201	0	0.001169	604.0347246	5.8417190	1.04	249	0	0.000630	3.6027867	0.1563685	174.40
202	0	0.001155	-1.4227094	3.0427008	441.64	250	0	0.000618	2200.3914635	2.4664270	0.29
203	0	0.001145	605.8731054	1.1694839	1.04	251	0	0.000611	-14357.1324284	2.4249797	0.04
204	0	0.001077	17.5166060	1.8449131	35.87	252	0	0.000609	1017.7257680	0.4371223	0.62
205	0	0.001070	-15471.7609887	1.8276245	0.04	253	0	0.000607	-3.9617508	2.8390216	158.60
206	0	0.001039	554.0085789	2.7697535	1.13	254	0	0.000603	-6514.7619768	4.1400836	0.10
207	0	0.001004	-17.0672871	0.7550081	36.81	255	0	0.000601	41.2371097	3.9842254	15.24
208	0	0.000991	470.1116502	4.3870018	1.34	256	0	0.000576	1108.7285126	4.7602931	0.57
209	0	0.000987	-626.230454	2.6564870	1.00	257	0	0.000575	1204.3574282	4.2164924	0.52
210	0	0.000979	554.7199336	5.4483760	1.13	258	0	0.000574	7214.0628666	1.7581909	0.09
211	0	0.000954	628.2095529	0.8822135	1.00	259	0	0.000567	363.4621025	1.6492647	1.73
212	0	0.000954	-628.4056171	0.9684809	1.00	260	0	0.000559	1119.0377900	5.7832364	0.56
213	0	0.000940	603.7244204	6.1974281	1.04	261	0	0.000553	1241.6588503	4.7721580	0.51
214	0	0.000908	13.1541962	2.5212575	47.77	262	0	0.000550	490.7302050	0.8640243	1.28
215	0	0.000907	3537.1887266	3.3701960	0.18	263	0	0.000531	648.9261398	1.6818888	0.97
216	0	0.000890	1391.6019110	5.6014983	0.45	264	0	0.000520	3930.2096962	4.7880029	0.16
217	0	0.000885	1171.2955318	3.2804149	0.54	265	0	0.000520	1034.4295065	2.4455978	0.61
218	0	0.000884	-155.1045223	1.0888317	4.05	266	0	0.000515	1863.5928455	3.9453459	0.34
219	0	0.000876	501.7508371	3.9699026	1.25	267	0	0.000509	84.6082835	3.0538746	7.43
220	0	0.000852	19.9072001	2.1896050	31.56	268	0	0.000495	734.2457780	3.8172858	0.86
221	0	0.000845	-43.3711738	4.7492452	14.49	269	0	0.000494	962.3688277	3.0226451	0.65
222	0	0.000819	866.2240324	5.9912478	0.73	270	0	0.000493	1842.2629359	1.6769393	0.34
223	0	0.000814	1765.4780540	4.6271226	0.36	271	0	0.000491	22.4344796	0.6783728	28.01
224	0	0.000806	1511.0466120	5.1428767	0.42	272	0	0.000486	-32.3505417	4.0616739	19.42
225	0	0.000806	30.9278323	6.0540644	20.32	273	0	0.000485	670.2560494	0.2105809	0.94
226	0	0.000798	14.8078724	5.9092251	42.43	274	0	0.000484	1726.7268202	3.2905891	0.36
227	0	0.000798	51.5463871	5.1519625	12.19	275	0	0.000481	574.9452732	4.3095920	1.09
228	0	0.000773	-413.6910434	0.0220678	1.52	276	0	0.000480	595.9570433	5.0313510	1.05
229	0	0.000764	-612.7655451	2.2363463	1.03	277	0	0.000480	575.7317038	1.1423486	1.09
230	0	0.000738	613.4997126	2.2426689	1.02	278	0	0.000478	126.5567479	5.4873146	4.96
231	0	0.000737	532.6786694	4.9238316	1.18	279	0	0.000472	-1256.9674818	5.1121333	0.50
232	0	0.000732	237.9164474	2.5018134	2.64	280	0	0.000472	-1.8159247	1.9997076	346.00
233	0	0.000726	542.9879468	6.0396069	1.16	281	0	0.000470	1202.9347188	1.4056112	0.52
234	0	0.000723	1725.6631536	6.0687196	0.36	282	0	0.000466	1256.2628582	4.9595816	0.50
235	0	0.000710	2876.6924424	5.6726177	0.22	283	0	0.000465	1725.3041108	0.3534963	0.36
236	0	0.000706	1255.9038153	2.8248489	0.50	284	0	0.000463	573.9157791	1.4112230	1.09
237	0	0.000704	1352.1751442	2.3009913	0.46	285	0	0.000461	617.9983076	0.5136693	1.02
238	0	0.000694	349.6032826	2.6683091	1.80	286	0	0.000458	1213.2439962	1.8801038	0.52
239	0	0.000689	468.6889408	6.2242711	1.34	287	0	0.000449	1160.9862544	4.1799896	0.54
240	0	0.000678	-548.1254919	6.2496667	1.15	288	0	0.000432	1685.8482533	1.1792564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
289	0	0.000 432	2 042.657 1092	6.003 8292	0.31	337	0	0.000 268	-22 685.823 8553	0.069 4338	0.03
290	0	0.000 430	1 351.787 0106	0.685 8275	0.46	338	0	0.000 268	614.801 0770	5.152 6663	1.02
291	0	0.000 426	605.554 9661	4.274 4765	1.04	339	0	0.000 267	1 044.027 4293	4.730 1085	0.60
292	0	0.000 416	-747.752 2860	1.082 3563	0.84	340	0	0.000 265	16 728.376 1587	4.369 3024	0.04
293	0	0.000 399	1.497 7854	2.094 4419	419.50	341	0	0.000 264	6 656.748 5864	4.601 1012	0.09
294	0	0.000 389	1.725 2277	1.395 7532	364.19	342	0	0.000 264	1 887.552 5870	1.417 2634	0.33
295	0	0.000 387	1 045.450 1387	2.541 1826	0.60	343	0	0.000 262	83.896 9288	1.327 7203	7.49
296	0	0.000 384	1 193.336 7961	5.827 7815	0.53	344	0	0.000 260	81.355 0284	2.389 4389	7.72
297	0	0.000 383	2 195.415 7609	3.747 3764	0.29	345	0	0.000 256	-364.635 0377	0.506 3648	1.72
298	0	0.000 374	1 799.603 1168	3.388 7165	0.35	346	0	0.000 250	1 649.636 1396	0.898 7698	0.38
299	0	0.000 368	-575.690 8003	0.731 3743	1.09	347	0	0.000 240	1 248.988 5629	5.684 5490	0.50
300	0	0.000 363	-64.087 7607	5.071 8210	9.80	348	0	0.000 236	211.876 3860	1.733 5788	2.97
301	0	0.000 362	2 908.881 1416	3.215 9770	0.22	349	0	0.000 234	586.752 3359	5.575 2091	1.07
302	0	0.000 362	-453.505 9437	1.583 8496	1.39	350	0	0.000 234	511.348 7599	1.716 0907	1.23
303	0	0.000 352	574.986 1767	3.000 2980	1.09	351	0	0.000 228	3 301.902 1112	4.656 9855	0.19
304	0	0.000 342	613.202 8180	4.322 2386	1.02	352	0	0.000 227	628.700 8003	2.911 8916	1.00
305	0	0.000 341	1 214.666 7056	4.700 6580	0.52	353	0	0.000 225	1 646.033 3530	2.596 4518	0.38
306	0	0.000 338	606.584 4601	0.877 7761	1.04	354	0	0.000 223	1 980.094 5956	3.069 3274	0.32
307	0	0.000 336	-238.889 4020	5.353 7960	2.63	355	0	0.000 222	590.570 2242	3.731 9903	1.06
308	0	0.000 332	2 019.909 4960	1.652 9014	0.31	356	0	0.000 222	1 182.316 1639	1.942 3866	0.53
309	0	0.000 331	1 805.292 9543	0.566 7906	0.35	357	0	0.000 220	-13.562 5325	1.765 4303	46.33
310	0	0.000 331	607.370 8908	4.007 8812	1.03	358	0	0.000 216	630.385 1245	3.862 9423	1.00
311	0	0.000 330	1 055.759 4161	3.710 0437	0.60	359	0	0.000 211	575.656 6279	3.789 3928	1.09
312	0	0.000 329	626.884 8756	3.033 8277	1.00	360	0	0.000 209	-1 098.880 8158	2.636 1401	0.57
313	0	0.000 325	1 567.108 1759	2.178 8505	0.40	361	0	0.000 209	575.020 3491	1.661 9435	1.09
314	0	0.000 325	2 059.724 3963	0.180 0444	0.31	362	0	0.000 208	-22.752 6189	4.127 8838	27.62
315	0	0.000 323	1 259.245 0020	1.072 2628	0.50	363	0	0.000 206	7.032 8180	5.934 0761	89.34
316	0	0.000 318	70.993 3048	5.941 2071	8.85	364	0	0.000 205	-627.948 5421	1.829 3627	1.00
317	0	0.000 318	13.851 7497	2.253 2530	45.36	365	0	0.000 205	628.666 6279	1.742 8823	1.00
318	0	0.000 311	691.585 9589	1.693 5742	0.91	366	0	0.000 204	22.747 6133	5.636 1927	27.62
319	0	0.000 305	938.800 5909	0.578 3402	0.67	367	0	0.000 203	158.195 9348	5.549 8536	3.97
320	0	0.000 304	-182.317 5189	3.409 0352	3.45	368	0	0.000 200	564.219 8243	1.016 1158	1.11
321	0	0.000 301	10.994 5689	0.510 9221	57.15	369	0	0.000 200	680.565 3268	0.868 2210	0.92
322	0	0.000 301	4 323.230 6658	6.205 3112	0.15	370	0	0.000 198	2 593.412 4331	3.832 7031	0.24
323	0	0.000 301	608.082 2455	2.135 3962	1.03	371	0	0.000 197	-7.084 9445	4.690 7025	88.68
324	0	0.000 299	31 642.822 8673	5.384 5937	0.02	372	0	0.000 197	53.362 3118	1.048 9829	11.77
325	0	0.000 297	2 407.292 1470	1.997 2494	0.26	373	0	0.000 195	406.121 9215	3.308 4634	1.55
326	0	0.000 294	-37.737 3608	3.708 7842	16.65	374	0	0.000 191	1 066.068 6935	5.405 5160	0.59
327	0	0.000 292	74.299 0061	2.714 3336	8.46	375	0	0.000 191	41.555 2491	4.401 1656	15.12
328	0	0.000 292	1 234.573 9058	4.096 0941	0.51	376	0	0.000 191	614.455 8353	5.020 3934	1.02
329	0	0.000 290	977.910 8676	1.812 3204	0.64	377	0	0.000 190	2 929.661 5390	4.175 6585	0.21
330	0	0.000 290	309.788 3823	4.075 2916	2.03	378	0	0.000 189	523.792 1014	5.245 3130	1.20
331	0	0.000 285	-53.321 4083	4.687 3132	11.78	379	0	0.000 189	15.377 8810	4.815 3726	40.86
332	0	0.000 284	563.606 5017	5.655 3858	1.11	380	0	0.000 188	1 311.972 1103	2.032 1958	0.48
333	0	0.000 280	1 235.996 6152	0.710 8725	0.51	381	0	0.000 188	147.886 6574	5.686 8658	4.25
334	0	0.000 280	2 823.723 3459	5.304 8291	0.22	382	0	0.000 187	4 716.251 6355	1.354 3719	0.13
335	0	0.000 276	2.429 8514	0.770 2994	258.58	383	0	0.000 187	1 191.914 0867	2.629 4566	0.53
336	0	0.000 271	1 309.584 2665	3.208 9122	0.48	384	0	0.000 185	-20.936 6942	4.694 7566	30.01

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (fin).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	1	10.215 672	628.307 5850	4.249 0320	1.00	46	1	0.000 305	564.317 8564	1.362 6344	1.11
2	1	0.170 681	1 256.615 1700	4.205 9042	0.50	47	1	0.000 303	41.948 4644	5.286 4738	14.98
3	1	0.026 967	21.329 9095	3.400 2905	29.46	48	1	0.000 299	469.047 9836	6.235 8721	1.34
4	1	0.026 592	52.969 0965	5.836 0474	11.86	49	1	0.000 297	681.276 6815	1.583 0127	0.92
5	1	0.021 057	-0.352 3118	6.262 7383	1783.42	50	1	0.000 293	521.658 0373	2.319 9513	1.20
6	1	0.007 800	522.369 3920	4.670 3442	1.20	51	1	0.000 289	586.359 1206	0.095 1976	1.07
7	1	0.005 915	2.629 8320	1.083 0447	238.92	52	1	0.000 266	315.468 7085	2.487 4479	1.99
8	1	0.005 476	157.734 3542	4.534 8002	3.98	53	1	0.000 259	1 235.285 2605	1.991 9358	0.51
9	1	0.003 442	-39.814 9003	5.980 0774	15.78	54	1	0.000 257	80.182 0931	3.425 6115	7.84
10	1	0.003 359	550.755 3239	5.980 1623	1.14	55	1	0.000 250	643.849 6249	2.994 7798	0.98
11	1	0.003 209	1 884.922 7550	4.162 9135	0.33	56	1	0.000 244	1 044.738 7840	2.347 1392	0.60
12	1	0.002 920	585.647 7659	0.623 8119	1.07	57	1	0.000 243	523.080 7467	3.084 7528	1.20
13	1	0.002 776	15.542 0399	3.745 3181	40.43	58	1	0.000 205	708.489 6781	0.526 3239	0.89
14	1	0.002 519	574.627 1338	2.980 3305	1.09	59	1	0.000 189	803.109 2263	3.569 0037	0.78
15	1	0.002 498	576.049 8432	2.467 9137	1.09	60	1	0.000 180	-7 143.069 5618	2.192 2960	0.09
16	1	0.002 300	-79.629 8007	1.174 4118	7.89	61	1	0.000 178	0.393 2153	5.180 4337	1597.90
17	1	0.002 177	20.618 5548	3.854 7875	30.47	62	1	0.000 174	627.955 2732	0.087 4840	1.00
18	1	0.001 792	-77.552 2611	1.092 0660	8.10	63	1	0.000 174	584.936 4112	0.417 5584	1.07
19	1	0.001 379	42.659 8191	2.699 8320	14.73	64	1	0.000 170	-159.259 6014	3.997 0977	3.95
20	1	0.001 328	606.266 3208	5.845 8019	1.04	65	1	0.000 169	-470.573 2308	4.641 7792	1.34
21	1	0.001 287	607.689 0302	5.333 4257	1.03	66	1	0.000 168	3.813 3036	4.164 5294	164.77
22	1	0.001 215	105.938 1930	6.222 8745	5.93	67	1	0.000 164	842.924 1266	2.180 6196	0.75
23	1	0.001 177	1 203.646 0735	2.292 8321	0.52	68	1	0.000 163	763.294 3260	4.968 4457	0.82
24	1	0.001 108	-0.711 3547	5.154 7250	883.27	69	1	0.000 146	429.233 0833	1.356 0981	1.46
25	1	0.001 014	469.400 2955	4.044 0138	1.34	70	1	0.000 144	1 149.965 6223	0.974 3879	0.55
26	1	0.001 008	52.257 7418	0.749 3203	12.02	71	1	0.000 144	2.035 5319	3.895 4394	308.68
27	1	0.000 936	548.677 7843	3.416 0814	1.15	72	1	0.000 137	1 414.349 5242	3.987 5766	0.44
28	1	0.000 863	627.596 2303	4.562 0602	1.00	73	1	0.000 136	1 151.388 3317	0.495 5723	0.55
29	1	0.000 859	1 097.707 8805	2.777 1526	0.57	74	1	0.000 134	723.479 4256	0.090 4543	0.87
30	1	0.000 816	-22.041 2642	5.806 8915	28.51	75	1	0.000 126	683.664 5253	1.509 0694	0.92
31	1	0.000 775	254.431 4420	1.603 1971	2.47	76	1	0.000 117	10.309 2774	2.838 4968	60.95
32	1	0.000 767	214.616 5416	3.000 2004	2.93	77	1	0.000 116	416.431 1990	3.408 3878	1.51
33	1	0.000 710	7.478 1599	0.443 7258	84.02	78	1	0.000 109	606.977 6755	3.617 9427	1.04
34	1	0.000 618	-53.680 4512	1.302 6428	11.70	79	1	0.000 101	-625.677 7530	0.661 8265	1.00
35	1	0.000 609	174.801 6413	4.403 7652	3.59	80	1	0.000 101	1 778.984 5620	0.286 3502	0.35
36	1	0.000 598	-119.444 7010	2.583 4726	5.26	81	1	0.000 101	63.989 7286	1.610 7621	9.82
37	1	0.000 582	508.862 8840	4.827 7235	1.23						
38	1	0.000 526	55.356 9403	2.336 1073	11.35						
39	1	0.000 494	-628.659 8968	0.268 3052	1.00	1	2	0.043 230	628.307 5850	2.642 8937	1.00
40	1	0.000 477	134.986 7410	5.808 6367	4.65	2	2	0.004 065	0.000 0000	4.712 3890	
41	1	0.000 469	-24.272 8604	5.154 8906	25.89	3	2	0.001 226	1 256.615 1700	2.438 1406	0.50
42	1	0.000 423	95.171 8406	0.931 1722	6.60	4	2	0.000 195	21.329 9095	1.642 1870	29.46
						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. CAPITAINE (3.6)

3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

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

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

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

3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

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

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

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

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

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

3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

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

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

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

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

3.2.3. Description mathématique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans (3.2.7), la sommation est effectuée sur tous les corps A du système solaire (le Soleil, la Lune et les planètes principales), à l'exception de la Terre notée E . Bretagnon et Brumberg (2003) donnent une expression détaillée de \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 $\hat{P}_0^i(u)$ liés au KGRSC et à l'ITRS peuvent être considérés comme des EOP cinématiques (quantités observables). Les différences entre ces angles d'Euler dynamiques et cinématiques, fonctions de F_C , sont aussi données par Brumberg et Simon (2003).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec l'équation du temps relativiste

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

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

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

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

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

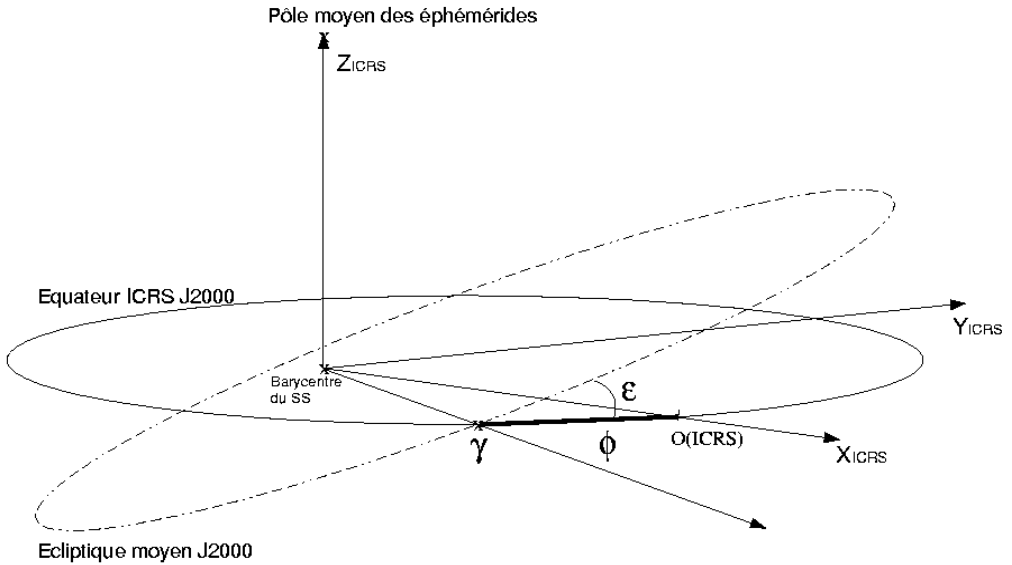


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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

3.3.2. Définitions

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

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

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

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

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

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

3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3.2. *Éphémérides semi-analytiques de la Lune*

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

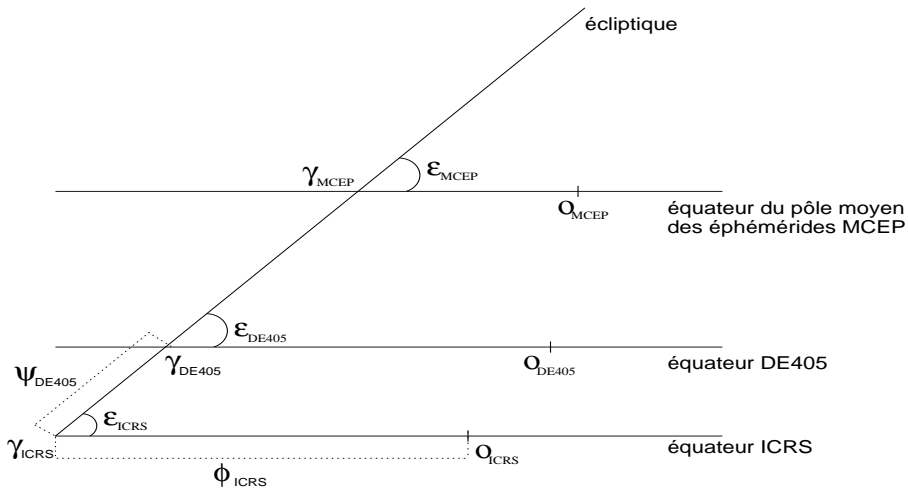


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d’après Chapront et al., 2002).

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

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

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

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

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

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

3.3.3.3. *Éphémérides planétaires analytiques VSOP*

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

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

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

3.3.4. Conclusion

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

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

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

3.4.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique

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

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

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

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

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

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

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

3.4.2. Les recommandations de l'UAI

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

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

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

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

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

3.4.3. Définition de l'ICRS

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

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

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

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

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

3.4.4. Maintenance de l'ICRS

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

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

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

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

3.4.5. Accessibilité à l'ICRS

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

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

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

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

3.4.6. Le repère de référence céleste international ICRF

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.4.8. Futur de l'ICRS

L'extension de l'ICRF à d'autres fréquences est un besoin permanent. Elle ne pourra se faire qu'avec l'ajout d'observations réalisées dans des fréquences autres qu'optiques et radio, dans des programmes astrométriques de routine. Le catalogue stellaire Hipparcos réalise l'ICRS dans les fréquences optiques. En raison des incertitudes dans les mouvements propres stellaires, il est nécessaire aussi de réaliser des opérations de maintenance sur le rattachement optique-radio. Des grands projets d'astrométrie spatiale vont sans doute y contribuer. 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), crée en 1988. L'IERS est en charge de trois références globales : l'ITRS, le Système International de Référence Céleste (ICRS) et la rotation de la Terre qui lie les deux systèmes.

L'idée de base de l'ITRF est de combiner les positions de stations (et 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 :

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

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 mouvements 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 :

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

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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

où Σ_θ est une matrice diagonale contenant des variances assez petites (de l'ordre du mm) pour chacun des paramètres de transformation. Le cumul de l'équation (3.5.8) à la matrice normale, N , permet donc son inversion et, dans le même temps, exprime la solution estimée dans le même RRF que la solution 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,

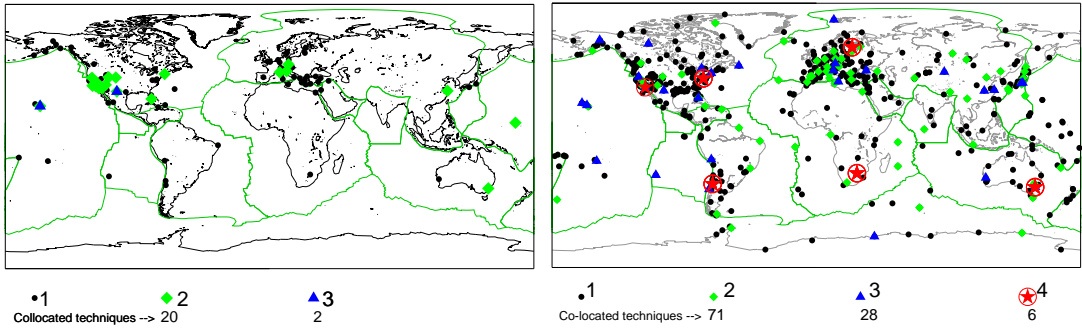


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

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 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

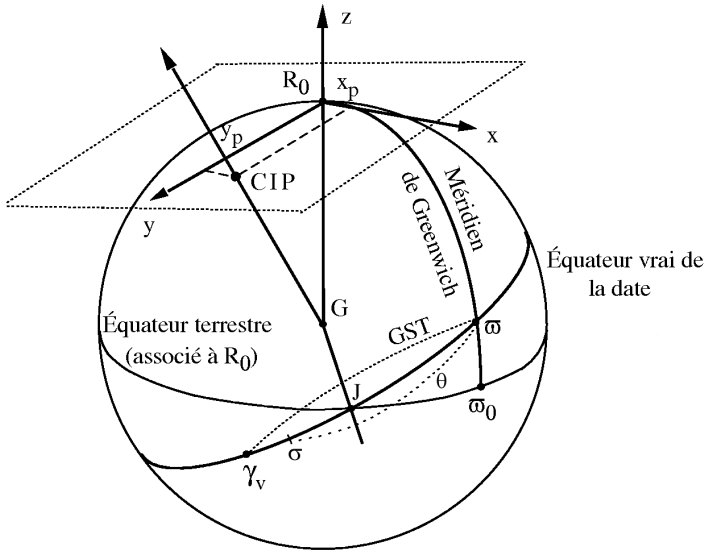


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

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

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

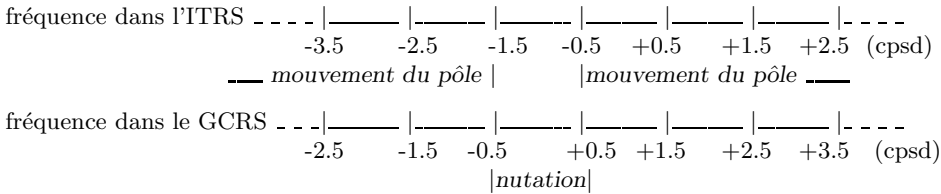
utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en R_0 . ϖ_0 est l'origine des longitudes, ϖ est l'intersection du méridien origine 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 12h 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_t , 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

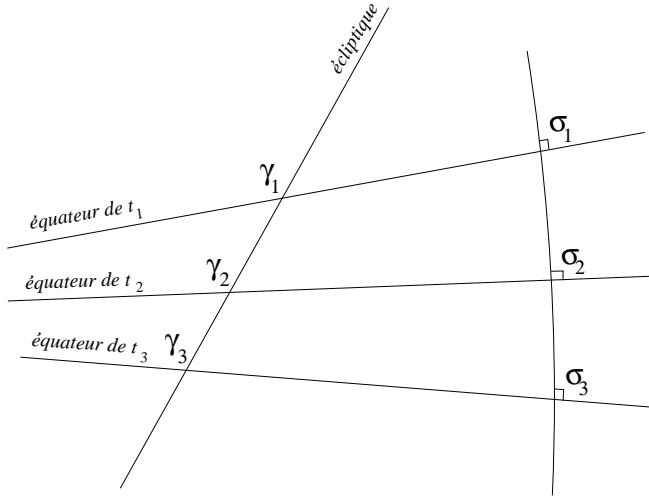


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

$X = \sin d \cos E$, $Y = \sin d \sin E$, $Z = \cos d$ 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 :

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

Ou bien, à des termes en d^4 près :

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

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

À cause du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre, on définit également, dans l'équateur mobile, une origine non-tournante, relative au système de référence terrestre, le TIO noté ϖ . Le déplacement angulaire du TIO sur l'équateur du CIP du fait du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre est noté s' ; son expression s'obtient en remplaçant X et Y dans (3.6.5) par les coordonnées du CIP dans le système de référence terrestre, x_p et $-y_p$ (cf. 3.6.5.1). On obtient :

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

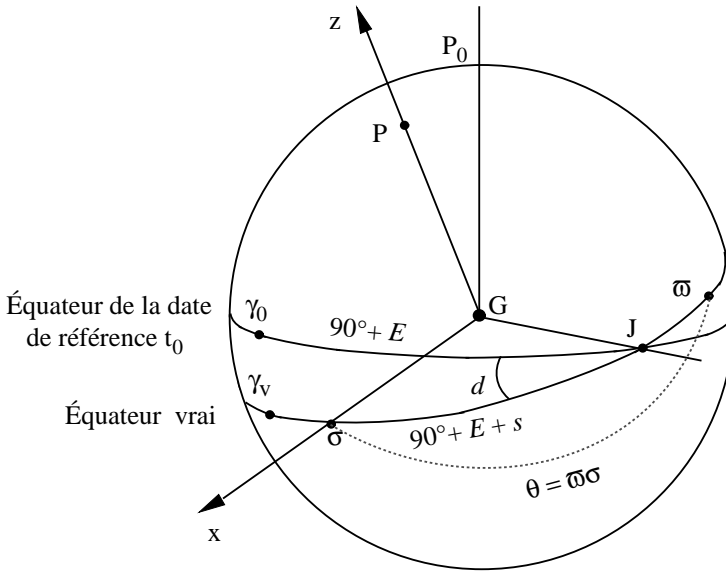


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

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 : $\varpi J = \varpi_0 J$, c'est-à-dire $s' = \varpi J - \varpi_0 J = 0$ (cf. Fig. 3.6.1).

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

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

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

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

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

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

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_o . L'effet total du déplacement céleste de l'axe du CIP dans le GCRS (incluant les écarts constants) se traduit par la matrice de rotation :

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

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

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

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

3.6.5.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où t est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay l, l', F, D, Ω), des longitudes des planètes $L_{Me}, L_{Ve}, L_E, L_{Ma}, L_J, L_{Sa}, L_U, L_{Ne}$ et de la précession p_A . Ces développements ont été déduits des expressions de X et Y (Capitaine, 1990) en fonction des quantités classiques de précession-nutation ; ils sont compatibles avec le modèle de nutation UAI 2000A et incluent les décalages à J2000 par rapport aux axes du GCRS (ξ_0, η_0 pour le CIP et $d\alpha_0$ pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 3.1. Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4}''$ sur les

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

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

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

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

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 :

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

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

Table 3.1. Termes périodiques les plus importants dans les développements des coordonnées $X(t)$ (partie supérieure) et $Y(t)$ (partie inférieure) du CIP dans le GCRS (unité $10^{-6''}$).

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

3.6.6.2. 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 :

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

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.
- Brzeźniński, A., Capitaine N. : 2003, Lunisolar perturbations in Earth rotation due to the triaxial figure of the Earth : geophysical aspects, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2001*, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 51.
- Capitaine, N. : 1990, The Celestial Pole Coordinates," *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **48**, 127.
- Capitaine, N. : 2000a, Overview and proposition for a modern definition of the CEP in "Polar motion : Historical and scientific problems", *ASP Conference series*, Vol 208, S. Dick, D.D. McCarthy and B. Luzum eds, 573.
- Capitaine, N. : 2000b, Definition of the Celestial Ephemeris Pole and the Celestial Ephemeris Origin, in "Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond astrometry", K.J. Johnston, D.D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan eds, USNO, 153.
- Capitaine, N., Gontier A.-M. : 1993, Accurate procedure for deriving UT1 at a submilliarcsecond accuracy from Greenwich sidereal time or from stellar angle, *Astron. Astrophys.* **275**, 645.
- Capitaine, N., Guinot, B., McCarthy, D.D. : 2000, Definition of the Celestial Ephemeris origin and of UT1 in the international Reference Frame, *Astron. Astrophys.* **335**, 398.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T : 2003a, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Capitaine, N., Wallace, P.T, McCarthy, D.D. : 2003b, Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1, *Astron. Astrophys.* **406**, 1135.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003c, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M. : 1997, Lunar motion : theory and observations, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **66**, 31.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 1999, Determination of the lunar orbital and rotational parameters of the ecliptic reference system orientation from LLR measurements and IERS data, *Astron. Astrophys.* **343**, 624.

- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.
- Chapront, J., Francou, G. : 2003, The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations, *Astron. Astrophys.* **404**, 735.
- Charlot, P., Sovers, O.J., Williams, J.G., Newhall, X.X. : 1995, Precession and Nutation from Joint Analysis of Radio Interferometric and Lunar Laser Ranging Observations, *Astron. J.* **109**, 418.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S. : 1994, Effect of recent revisions of the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.* **21** (20), 2191.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB–TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feissel-Vernier, M. : 2002, Selecting stable extragalactic compact radio sources from the permanent astrogodetic 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.

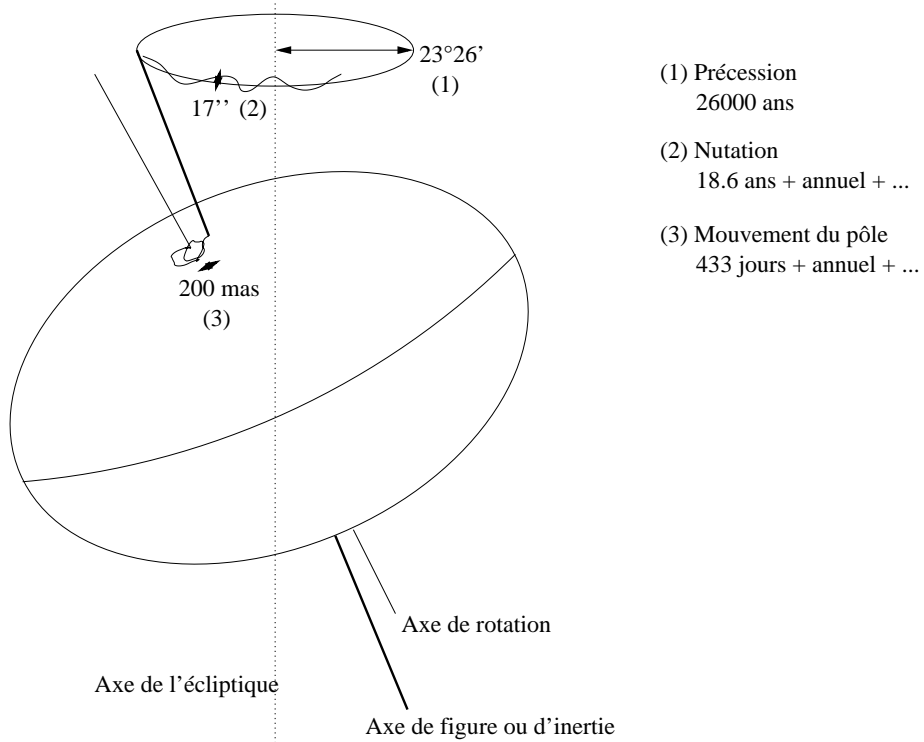


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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 :

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

où $e = (C - A)/A$ est l'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 $k = 1.002737909350795$ est le rapport de la durée du jour solaire moyen sur la durée du jour sidéral moyen.

4.1.3.4. La précession-nutation

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

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

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

4.2. LA PRÉCESSION

4.2.1. Quantités liées à la précession

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

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

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

On note :

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

4.2.2. Modèles de précession

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

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

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

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

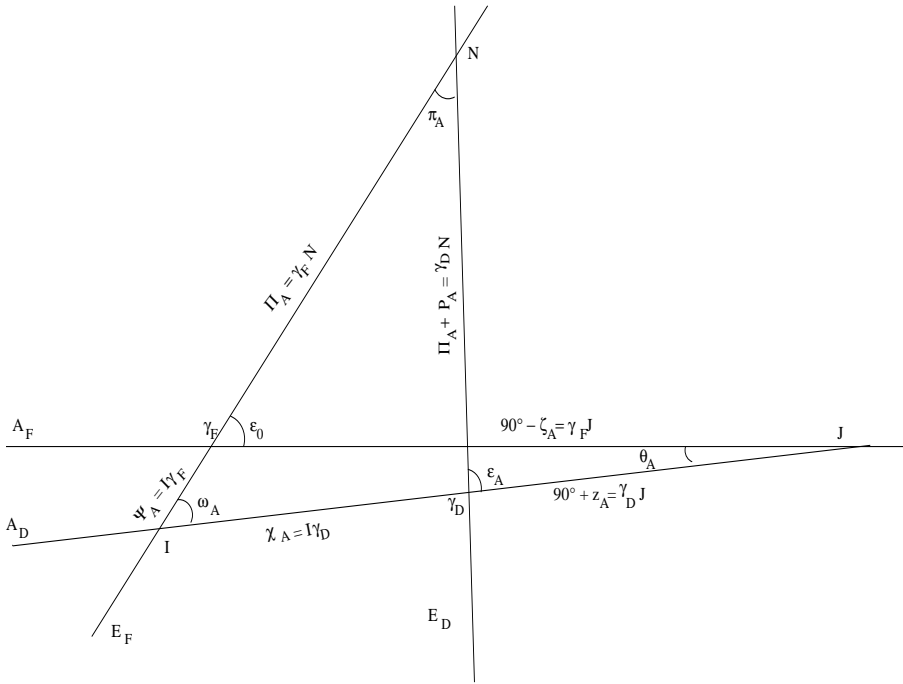


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.2.3. Le modèle UAI 2006

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

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

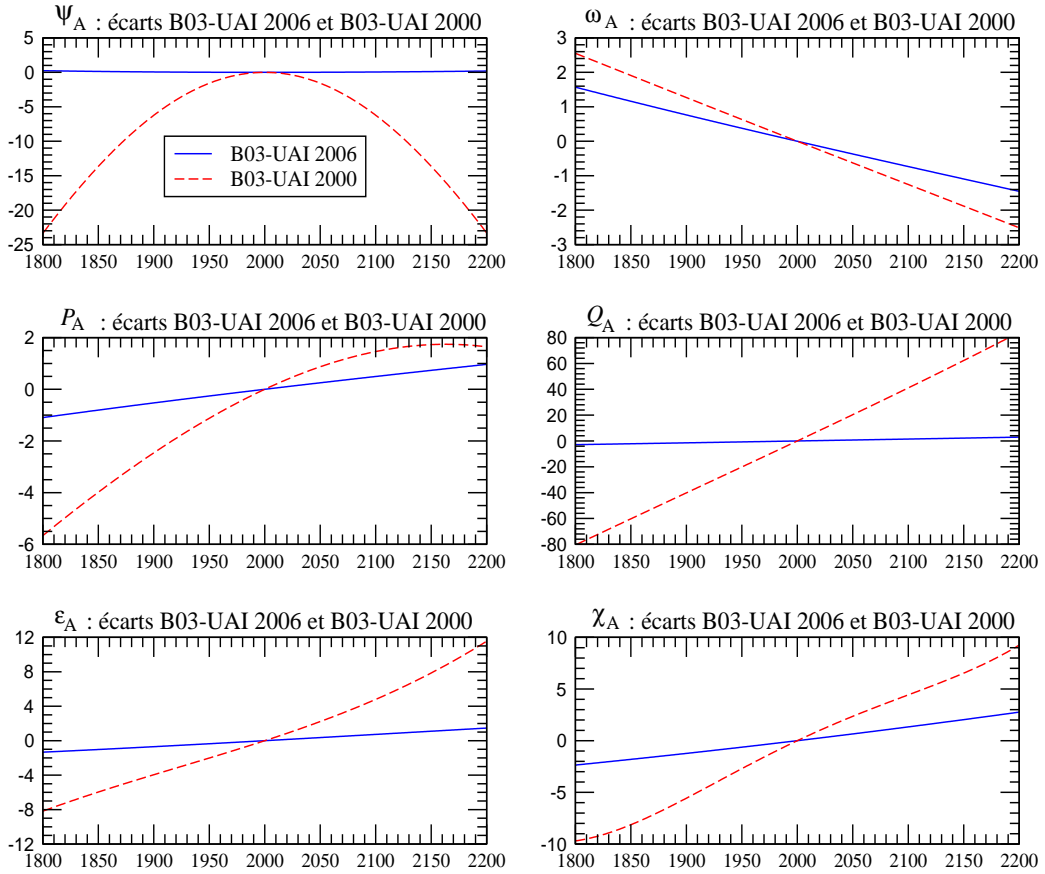


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001'').

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

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

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

4.2.2.4. Expressions de la précession et comparaisons entre les modèles

La table 4.2.1. donne les coefficients des polynômes du temps représentant la précession pour les douze variables définies par (4.2.1) et (4.2.2) et pour les trois modèles UAI 2000, B03 et UAI 2006. Ces polynômes peuvent aller jusqu'en t^3 pour UAI 2000, t^7 pour B03 et t^5 pour UAI 2006. Les coefficients sont exprimés en secondes de degré et le temps est compté en 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 B03 UAI 2006	P_A		41.976 41.99604 41.99094	19.447 19.39715 19.39873	- 0.179 - 0.22350 - 0.22466	- 0.01035 - 0.00912	0.00019 0.0012		
UAI 2000 B03 UAI 2006	Q_A		- 468.150 - 468.09550 - 468.11015	5.059 5.10421 5.10283	0.344 0.52228 0.52413	- 0.00569 - 0.00646	- 0.00014 - 0.00172	0.00001	
UAI 2000 B03 UAI 2006	π_A		470.029 469.97560 469.98973	- 3.302 - 3.35050 - 3.34926	0.060 - 0.12370 - 0.12559	0.00030 0.00113	- 0.00022		
UAI 2000 B03 UAI 2006	Π_A	629 554.982 629 543.988 629 546.7936	- 8698.089 - 8679.218 - 8679.5758	3.536 15.342 15.7992	0.005 - 0.5371	- 0.037 - 0.4797	- 0.001 0.0072		
UAI 2000 B03 UAI 2006	\mathcal{P}_A		50287.92262 50287.92262 50287.96195	111.113 111.24406 110.54348	- 0.006 0.07699 0.07964	- 0.23479 - 0.23857	- 0.00178 - 0.00383	0.00018	0.00001
UAI 2000 B03 UAI 2006	ε_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 468.150 - 468.36051 - 468.36769	- 0.059 - 0.01667 - 0.01831	1.813 1.99911 2.00340	- 0.00523 - 0.00576	- 0.00248 - 0.00434	- 0.00003	
UAI 2000 B03 UAI 2006	ω_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 0.25240 - 0.26501 - 0.25754	5.127 5.12769 5.12623	- 7.726 - 7.72723 - 7.72503	- 0.00492 - 0.00467	0.03329 0.0337	- 0.00031	- 0.00006
UAI 2000 B03 ⁽¹⁾ UAI 2006	ψ_A		50384.78750 50384.78750 50384.81507	- 107.259 - 107.89530 - 107.90069	- 1.147 - 1.14366 - 1.14045	1.32832 1.32851	- 0.00940 - 0.00951	- 0.00350	0.00017
UAI 2000 B03 UAI 2006	χ_A		105.526 105.57686 105.56403	- 238.064 - 238.13769 - 238.14292	- 1.125 - 1.21258 - 1.21197	1.70238 1.70663	- 0.00770 - 0.00560	- 0.00399	0.00016

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

Table 4.2.1. (fin).

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

4.3. MODÈLES DE NUTATION

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

4.3.1. Introduction

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

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

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

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ces équations décrivent les variations des vecteurs vitesse angulaire $\mathbf{\Omega}$, $\mathbf{\Omega}_f$, $\mathbf{\Omega}_s$ du manteau, du noyau externe fluide et du noyau interne solide, sous la forme

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

où $\Omega_0\mathbf{i}_3 \equiv \mathbf{\Omega}_0$ est le vecteur vitesse angulaire moyenne du manteau, \mathbf{i}_3 étant son axe de moment d'inertie maximum, que l'on choisit confondu avec l'axe polaire du repère terrestre de référence (TRF, Terrestrial Reference Frame). Les deux premières composantes (équatoriales) de \mathbf{m} sont les variables du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau. Celles de \mathbf{m}_f et \mathbf{m}_s représentent des mouvements des axes instantanés de rotation différentielle du noyau externe fluide et de la graine solide par rapport au manteau. Les troisièmes composantes de ces vecteurs décrivent les variations des vitesses de rotation de chacune des régions. Un autre paramètre à introduire dans la dynamique du problème est la déviation \mathbf{n}_s de la direction de l'axe de symétrie de la graine par rapport à \mathbf{i}_3 . Les trois équations de bilan du moment cinétique ainsi que l'équation cinématique reliant \mathbf{n}_s à \mathbf{m}_s , constituent un système de quatre équations vectorielles couplées pour les variables dynamiques \mathbf{m} , \mathbf{m}_f , \mathbf{m}_s , et \mathbf{n}_s (toutes très faibles en amplitude, typiquement d'environ 10^{-8} radian). Les propriétés de la Terre importantes pour la nutation sont prises en considération dans ces équations par l'intermédiaire de paramètres que nous appellerons dans la suite les BEP (Basic Earth Parameters). Par exemple, les ellipticités dynamiques de la Terre globale e , du noyau fluide e_f et de la graine solide e_s font partie des BEP, de même que les paramètres représentant les déformations des différentes régions. Dans les équations de bilan du moment cinétique, les termes non linéaires par rapport aux variables dynamiques ne contribuent que marginalement aux solutions. Il faut donc, en premier lieu, linéariser les équations, ce qui transforme le système des quatre équations en deux systèmes d'équations indépendants, l'un pour les mouvements de l'axe instantané de rotation, impliquant seulement les deux premières composantes de chacun des quatre vecteurs, et l'autre pour les variations des vitesses de rotation. Les solutions du système homogène des équations des mouvements de l'axe instantané de rotation donnent les fréquences des modes normaux de rotation de la Terre (on considère les moments de force extérieurs nuls). La solution du système non-homogène donne les mouvements forcés pour les trois régions en réponse à un potentiel extérieur connu. Une fois les amplitudes des mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau calculées pour une Terre non rigide, la fonction de transfert est obtenue directement, puisque l'amplitude de ces mouvements pour une Terre rigide est une fonction très simple de la fréquence. Les amplitudes des nutations pour une Terre non rigide peuvent alors être déterminées en multipliant les amplitudes correspondantes pour une Terre rigide par la fonction de transfert. Des tables regroupant les amplitudes des nutations pour une Terre rigide sont disponibles avec des précisions inférieures à 1 microseconde de degré (μas). Sur la base d'études théoriques poussées,

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

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

4.3.4. Modèle géophysique

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

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

- On a tenu compte de la présence du champ magnétique qui traverse la frontière noyau-manteau et la frontière noyau-graine. Il en résulte un couplage électromagnétique qui modifie les mouvements de l'axe instantané de rotation du noyau fluide par rapport au manteau et à la graine.

- Une autre amélioration a été d'introduire l'interaction entre les différents types de réponses de la Terre à l'action des marées (mouvement de l'axe instantané de rotation, déformation de la Terre solide, marées océaniques) par une intégration globale des trois phénomènes. La contribution totale de l'inélasticité du manteau (par sa contribution sur les déformations), des marées océaniques et des couplages électromagnétiques, sur les nutations, calculée à partir d'une théorie intégrée globalement donne des différences allant jusqu'à $30 \mu\text{as}$ par rapport à la somme de chacune des contributions prises individuellement. Ce qui montre l'utilité d'un tel traitement pour l'obtention de solutions de grande précision.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les deux premiers points conduisent à l'expression

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.7. Fréquences des nutations et mouvement du pôle

Afin de compléter cette description des variations de la rotation de la Terre (autres que celles de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même), nous allons considérer brièvement les variations induites par les déviations de la structure terrestre par rapport à un ellipsoïde axisymétrique. De telles structures sont décrites par l'intermédiaire des coefficients du géopotential (C_{nm}, S_{nm}) où $n = 3, 4, \dots$. Pour tout m différent de zéro, les nutations générées sont en dehors de la bande des basses fréquences. Ces mouvements peuvent aussi être considérés comme des mouvements du pôle de fréquences se trouvant en dehors de la bande de fréquences rétrogrades diurnes qui s'étend de $-(3/2)$ cpsd à $(-1/2)$ cpsd. C'est ce dernier point de vue qui est recommandé par l'UAI (2001). Ce mouvement est celui du pôle défini par ces résolutions, ses coordonnées dans le repère de référence terrestre étant notées $(x_p(t), -y_p(t))$. Les seules composantes spectrales du mouvement ayant des amplitudes supérieures à $1 \mu\text{as}$ correspondent soit à des mouvements de basses fréquences induits par un potentiel de marées d'ordre 3 et de degré 0 agissant sur les coefficients du géopotential ($C_{3,1}$ et $S_{3,1}$), soit à des mouvements du pôle diurnes progrades induits par un potentiel 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., 2002) par rapport à un système de référence non-tournant réalisé par le repère de référence céleste international (International Celestial Reference Frame, ICRF ; Ma et al., 1998). Ainsi, pour la navigation spatiale, on a besoin de connaître l'orientation de la Terre par rapport à un repère céleste et une erreur dans l'orientation terrestre se propage sur la position calculée du satellite.

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

4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

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

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

4.4.2.1. Mouvement du pôle ou *polhodie*

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

Le terme de Chandler

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

Les variations saisonnières

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

Mouvement séculaire

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

du pôle, notamment depuis la contribution des données spatiales depuis plusieurs décades ainsi que par l'utilisation de modèles précis de mouvements locaux des stations d'observation dus aux plaques tectoniques. Ces variations séculaires qui apparaissent dans le mouvement du pôle sont généralement attribuées aux effets du rebond postglaciaire, réponse lente et anélastique de la Terre à la fonte des glaces des calottes polaires depuis le dernier âge glaciaire il y a environ 10 000 ans. Ce phénomène est responsable des variations du terme zonal d'ordre deux, noté J2, ainsi que celles d'autres termes du modèle de champ de gravité de la Terre observées notamment par télémétrie laser du satellite Lageos. Les échelles de temps concernées par le rebond postglaciaire sont si grandes, plusieurs milliers d'années, que le mouvement séculaire du pôle apparaît comme un terme linéaire. L'étude du rebond postglaciaire est de grande importance pour l'analyse de la variation du niveau de la mer provenant du réchauffement global. Les mouvements verticaux de l'ordre de quelques millimètres par an sont comparables aux effets provenant de l'expansion thermique et de ceux résultant de la fonte des glaces. Les données récentes du mouvement du pôle sont sensibles aux redistributions de masse et donnent de fortes contraintes sur les modèles de variation du niveau de la mer. Des études récentes montrent que les fontes de glaciers et les bassins hydrologiques pourraient être également responsables de 20% de l'excitation du mouvement observé du pôle séculaire. Plusieurs auteurs dans le passé ont mis en évidence l'existence d'un terme décennal de période d'environ 20 à 30 ans dite oscillation de Markowitz. L'existence de ce terme que certains ont attribué à des erreurs systématiques dans la position de stations d'observation est cependant controversée.

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.

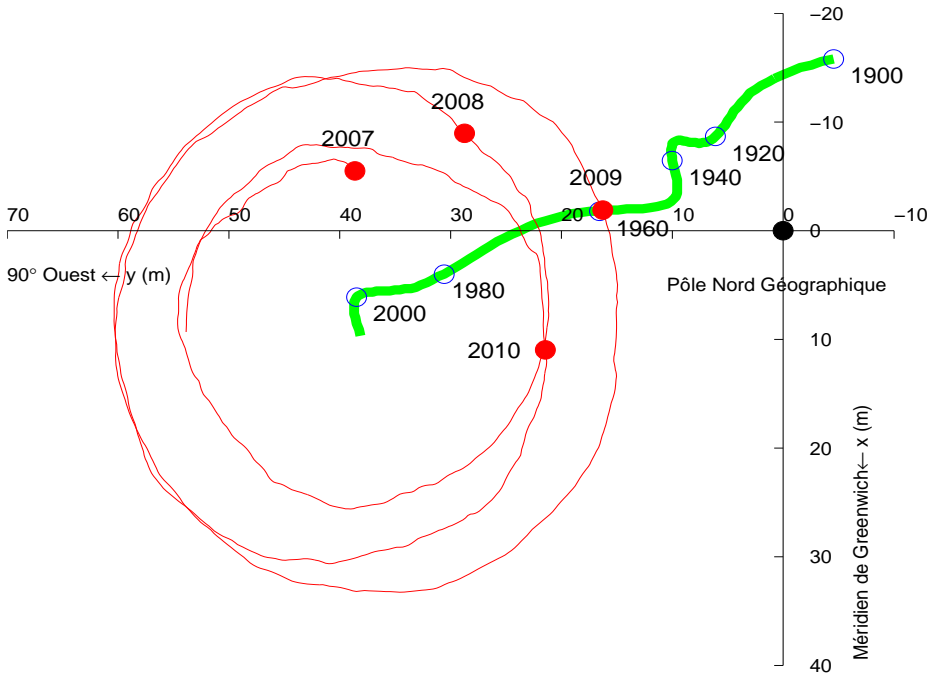


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré.

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).

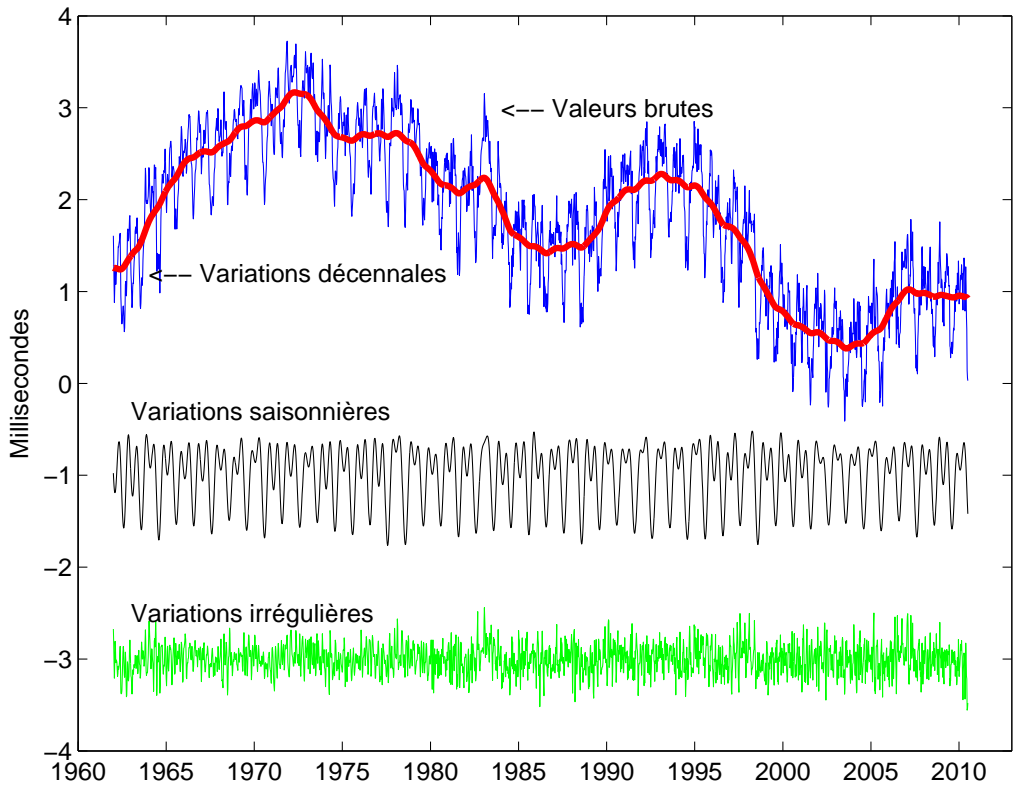


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières. L'unité est la milliseconde.

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

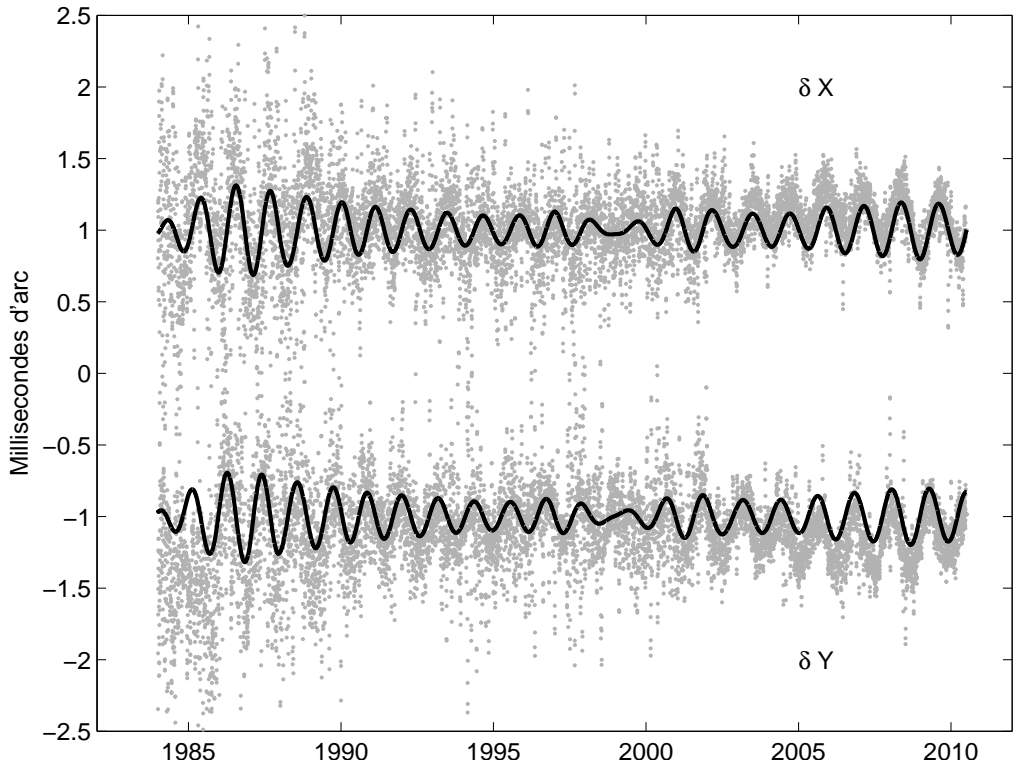


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

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 2012 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., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107 (B10)**, 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Anderson, P.H. : 1995, High-precision station positioning and satellite orbit determination, *Ph.D. Thesis, NDRE/publication 95/01094*, FFI/ E, Box 25, N-2007, Kjeller, Norway.
- Barnes, R.T.H., Hide, R., et al. : 1983, Atmospheric angular momentum fluctuations, length-of-day changes and polar motion dans *Proc. R. Soc. Lond.* **387**, 31.
- Bevington, P.R. :1969, Data reduction and error analysis for the physical sciences, *McGraw-Hill Book Company*, New York, USA.
- Bougeard, M., Gambis, D., Ray, R. : 2000, Algorithms for box constrained M-estimation : fitting large data sets with applications to Earth Orientation Parameters series, *Physics and Chemistry of the Earth* **25(9-11)**, 679.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions consistent with the IAU 2000A model, *Astron. Astrophys.* **400**, 785.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., et al. : 1998, SMART97 : a new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 2000, Nonrigid Earth Rotation Solution, in : *Towards Models and Constants for Sub-microarcsecond Astrometry.*, IAU Colloquium 180, K. Johnson, D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan, eds, Washington, USA, 230.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Francou, G. : 1992, in *Systèmes de référence spatio-temporels. Journées 1991*, N. Capitaine, ed., observatoire de Paris
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2004, Comparison between high precision precession models for the ecliptic and the equator, *Astron. Astrophys.* **421**, 365.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1988, ELP2000-85 : a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astron. Astrophys.* **190**, 342.
- Defraigne, P., Dehant, V., Paquet, P. : 1995, Link between the retrograde-prograde nutations and nutations in obliquity and longitude, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **62**, 363.

- Dziewonski, A.D., Anderson, D.L. : 1981, Preliminary Reference Earth Model., *Phys. Earth planet. Inter.* **25**, 297.
- Eubanks, T.M. : 1993, Variations in Earth Orientation, in *Contributions of Space Techniques to geodynamics*, Smith, D.E., Turcotte, D.L., eds, Wahshington D.C., 1.
- Fukushima, T. : 2003, A New precession formula, *Astron. J.* **126**, 1.
- Gambis, D. : 2002, Allan Variance analysis applied to Earth Orientation Analysis, *Adv. Space Research* **30(2)**, 207.
- Gambis, D. : 2004, Monitoring Earth Orientation at the IERS using space-geodetic observations., *J. of Geodesy*, 78.
- Gross, 2000, The excitation of the Chandler wobble. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2329.
- Gwinn, C. R., Herring, T. A., Shapiro, I. I. : 1986, Geodesy by radiointerferometry : studies of the forced nutations of the Earth, 2. Interpretation, *J. Geophys. Res.* **91**, 4755.
- Hilton, J.L., Capitaine, N., Chapront, J., Ferrandiz, J.M., Fienga, A., Fukushima, T., Getino, J., Mathews, P., Simon, J.-L., Soffel, M., Vondrak, J., Wallace, P., Williams, J. : 2006, Report of the International Astronomic Union Division I Working Group on Precession and the Ecliptic, *Cel. Mech. Dyn. Astron.* **94**, 351.
- IERS : 2000, IERS Conventions 2000, <http://www.usno.mil/Conventions2000>, draft.
- IERS : 2003, IERS Conventions 2003, *IERS Technical Note 32*, McCarthy, D.D., Petit, G. eds., Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, ISBN 3-89888-884-3.
- Lambert, S., Capitaine, N. : 2004, Effects of zonal deformations and Earth's rotation rate variations on precession-nutation, *Astron. Astrophys.* **428**, 255.
- Lambert, S., Mathews, P.M. : 2006, Second-order torque on the tidal redistribution and the Earth's rotation, *Astron. Astrophys.* **453**, 363.
- Lieske, J.H., Lederle, T., et al. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame as realized by Very Long Baseline Astrometry, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon, P. : 2003, Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle., *Astron. Astrophys.* **400**, 1113.
- Mathews, P.M., Buffett, B.A., et al. : 1991, Forced nutations of the Earth : Influence of inner core dynamics, 1. Theory, *J. Geophys. Res.* **96**, 8219.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation and precession : new nutation series for nonrigid Earth and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res.* **107** (B4), DOI :10.1029/2001JB000390.
- Roosbeek, F., Dehant, V. : 1998, RDAN97 : An analytical development of rigid Earth nutation series using the torque approach, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **70**, 215.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU Theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.

- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Souchay, J., Folgueira, M. : 2000, The effect of zonal tides on the dynamical ellipticity of the Earth and its influence on the nutation, *Earth Moon Planets* **81**, 201.
- Souchay, J., Loysel, B., et al. : 1999, Corrections and new developments in rigid Earth nutation theory : III. Final tables REN-2000 including crossed-nutation and spin-orbit coupling effects., *Astron. Astrophys.* **318**, 639.
- Standish, E.M : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, JPL IOM **312.F**, 98.
- Standish, E.M., Williams, J.G., Newhall, XX. : 1981, Intégration numérique DE200/LE200, bande magnétique.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**.
- Vondrák, J., Cepek, A. : 2000, Combined smoothing method and its use in combining Earth orientation parameters measured by space techniques, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **147**, 347.
- Vondrák, J., Gambis, D. : 2000, Accuracy of Earth orientation parameters obtained by different techniques in different frequency windows, in : it Journées 1999 Systèmes de référence spatio-temporels and IX Lohrmann Colloquium, Soffel, M., Capitaine, N., eds, observatoire de Paris, 206.
- Wahr, J.M. : 1981, The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic and oceanless Earth., *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **64**, 705.
- Wahr, J.M. and Sasao, T. : 1981, A diurnal resonance in the ocean tide and in the Earth's load response due to the resonant free core nutation., *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **64**, 747.
- Wahr, J. and Bergen, Z. : 1986, The effects of mantle anelasticity on nutations, Earth tides, and tidal variations in the rotation rate, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **87**, 633.
- Williams, J. G. : 1994, Contributions to the Earth's obliquity rate, precession and nutation, *Astron. J.* **108**, 7.
- Yaya, P. : 2002, Apport des combinaisons de techniques astométriques et géodésiques à l'estimation des paramètres d'orientation de la Terre, *PhD Thesis*, observatoire de Paris.

CHAPITRE 5

CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

J.-L. SIMON (5.1 – 5.3)¹, A. FIENGA & S. LAMBERT (5.4)

5.1. NOTIONS PRÉLIMINAIRES

5.1.1. Coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires

Nous représenterons un point M de l'espace soit par ses coordonnées cartésiennes (x, y, z) dans un système d'axes (Ox, Oy, Oz) orthonormé direct, soit par ses coordonnées polaires (ψ, ϕ, r) dans le même système d'axes. Par définition :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

et

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

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

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

et

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

5.2. COORDONNÉES USUELLES

5.2.1. Coordonnées liées à un repère de référence céleste

5.2.1.1 Définitions

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2.1.2. Coordonnées écliptiques et équatoriales

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

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

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

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

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

5.2.1.3. Coordonnées astronomiques

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

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

5.2.1.4. Coordonnées horaires et coordonnées horizontales

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

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

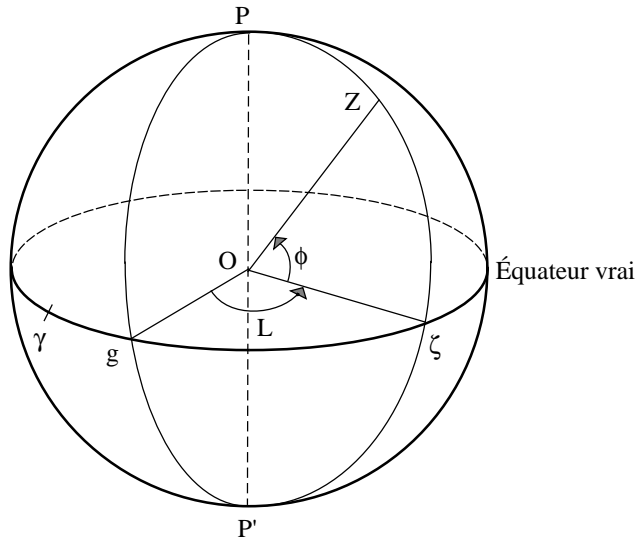


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

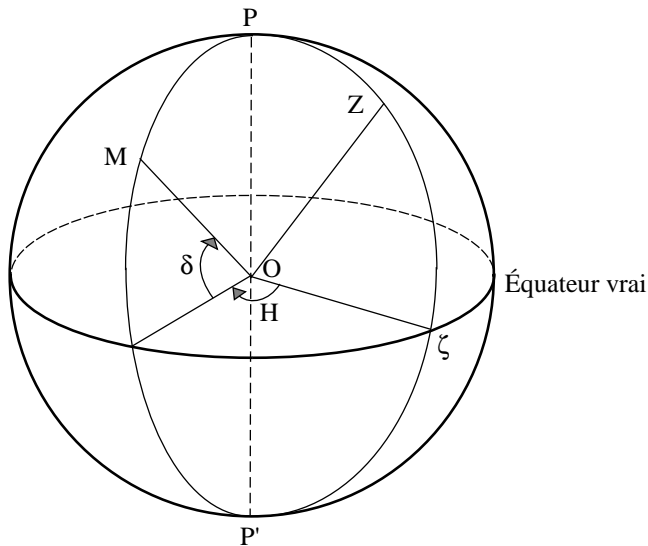


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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

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

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

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

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

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

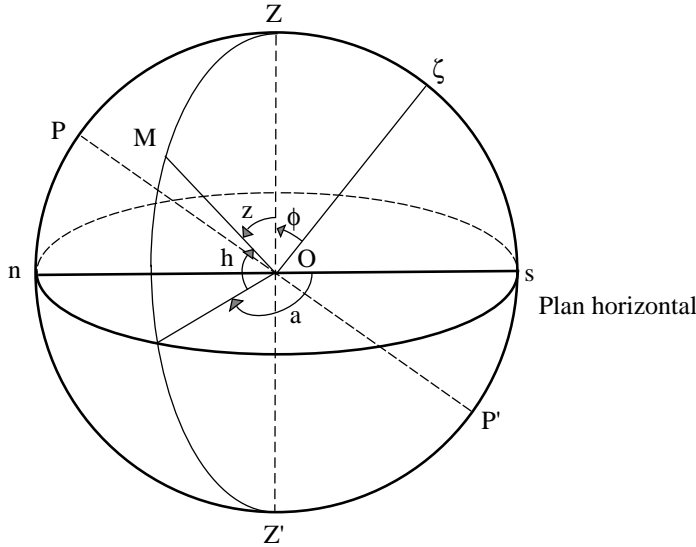


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

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

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

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

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

Table 5.1. Les coordonnées célestes usuelles.

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

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

5.2.2. Coordonnées liées à un repère de référence terrestre

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

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

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

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

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

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques

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

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

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

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

En coordonnées polaires :

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

d'où

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

et

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

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

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

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

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F (dans la pratique J2000) aux coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le 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 , α_D et δ_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On écrit :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec

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

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

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

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

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

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

5.3.3. Relations entre les coordonnées éclipitiques moyennes de deux dates

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

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

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

La matrice de nutation s'écrit donc :

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

On déduit de ces produits de matrices

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

D'où :

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

$$\sin h = \cos \phi \cos H \cos \delta + \sin \phi \sin \delta,$$

$$\cos H \cos \delta = \sin \phi \cos a \cos h + \cos \phi \sin h,$$

$$\sin H \cos \delta = \sin a \cos h, \quad (5.29)$$

$$\sin \delta = -\cos \phi \cos a \cos h + \sin \phi \sin h.$$

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

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

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

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

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

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

$$\gamma_F N_F = \Omega_F,$$

$$\gamma_D N_D = \Omega_D,$$

$$\varpi_F = \gamma_F N_F + N_F P,$$

$$\varpi_D = \gamma_D N_D + N_D P.$$

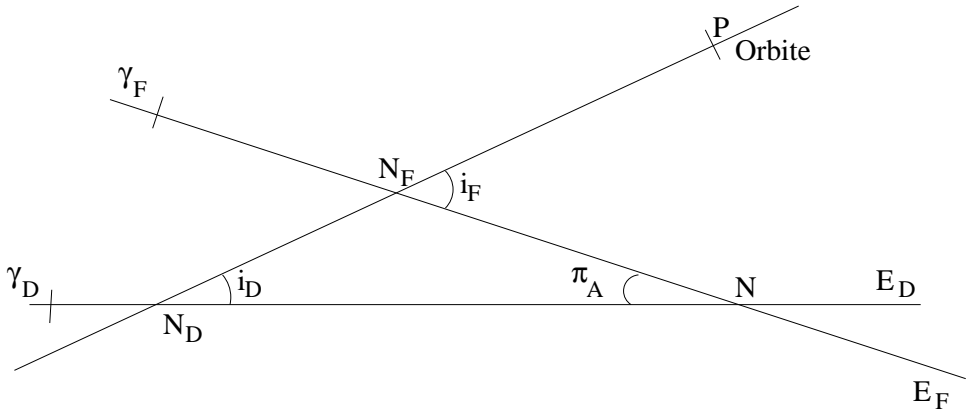


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

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 $\gamma_1\gamma_2$.

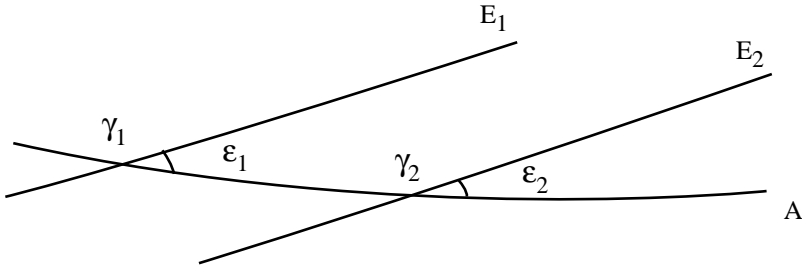


Fig. 5.5. Changement de repère.

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) : $\eta_0 = -0.016617''$, $\zeta_0 = -0.006819''$. Le décalage $d\alpha_0$ est (Chapront et al., 2002) : $d\alpha_0 = -0.0146''$.

2. On applique la matrice de précession, P définie en 5.3.2, pour passer de l'équateur et de l'équinoxe moyens J2000 à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date.
3. On applique la matrice de nutation, N définie en 5.3.5, pour passer de l'équateur et de l'équinoxe moyens de la date à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. Ici, il est possible de passer aux coordonnées sphériques et d'obtenir les (α_e, δ_e) géocentriques de l'objet par rapport à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date.
4. Afin de passer du vecteur géocentrique de l'objet donné par rapport à l'équateur et l'équinoxe vrais de la date au vecteur géocentrique exprimé dans le système de référence terrestre, appelé TIRS (Terrestrial Intermediate Reference System), on effectue une rotation $R_3(GST)$ liée à l'angle de rotation terrestre GST , appelé le temps sidéral vrai, c'est-à-dire l'angle entre l'équinoxe vrai de la date et l'origine du repère terrestre (cf. 3.6.4.1). Le vecteur est alors exprimé dans le repère terrestre.

Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite observer à partir des relations données en 5.3.6. L'angle horaire H est obtenu avec $H = GST - \alpha_e$. Le temps sidéral GST est tabulé pages II. 4 – II. 7.

5.4.2. Origine non-tournante

L'origine non-tournante favorise une représentation linéaire de la rotation de la Terre. C'est la raison pour laquelle l'origine du CIRS (Celestial Intermediate Reference System), appelée CIO (cf. 3.6.3), est utilisée en remplacement des équinoxes dynamiques. L'utilisation de l'origine non-tournante permet aussi de regrouper les transformations (1), (2) et (3) précédentes en une seule transformation permettant le passage de l'ICRS vers le CIRS. Cette transformation, correspondant à la matrice de rotation C , représente :

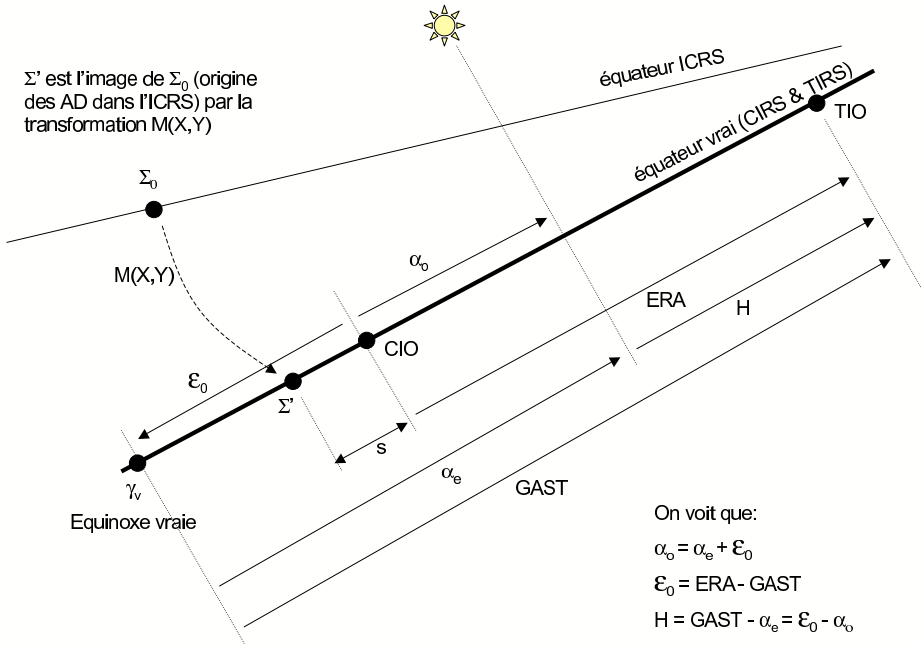


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- l'angle s qui définit la position du CIO, origine des ascensions droites du CIRS, sur l'équateur du CIRS (cf. fig. 5.6) ;
- le décalage entre le pôle de l'ICRS et le pôle du CIRS, le CIP (cf. 3.6.3), dont les coordonnées X, Y dans l'ICRS sont fonction des matrices B, P et N .

La matrice C s'écrit alors :

$$C = R_3(-s)M(X, Y) \tag{5.39}$$

où

$$M(X, Y) = \begin{pmatrix} 1 - aX^2 & -aXY & -X \\ -aXY & 1 - aY^2 & -Y \\ X & Y & 1 - a(X^2 + Y^2) \end{pmatrix}, \tag{5.40}$$

avec $a = 1/2 + (X^2 + Y^2)/8$.

En appliquant au vecteur \mathbf{X}_{ICRS} , la matrice C , on obtient directement les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{CIRS} , dans le CIRS dont l'équateur correspond à l'équateur vrai de la date mais dont l'origine CIO est décalée de l'équinoxe vrai d'une quantité ϵ_0 , appelée *équation des origines*. Si

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

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

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

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

Le décalage entre le CIO et le TIO permet, de plus, le passage entre le CIRS et le TIRS. Ainsi, pour obtenir les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{TIRS} , dans le système de référence terrestre, on applique au vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , une rotation $R_3(ERA)$. On effectue ainsi une transformation équivalente à l'étape 4 de l'algorithme classique. Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite 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

6.1. INTRODUCTION

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes publiées dans la *Connaissance des Temps* sont issues de la théorie INPOP (Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Pour le Soleil et les planètes, la théorie INPOP06 ajustée aux observations (Fienga et al., 2008) a été utilisée. Pour la Lune, on s'est basé sur la théorie INPOP06 ajustée à la solution DE405/LE405 du JPL (Standish, 1998) pour la partie lunaire.

La théorie INPOP est une intégration numérique du mouvement des planètes et de la Lune ajustée aux observations. Les éphémérides numériques contemporaines sont basées sur une intégration numérique des équations du mouvement par la méthode Adams-Cowell. Le modèle tient compte des interactions entre masses ponctuelles (entre les neuf planètes, le Soleil, les astéroïdes), les effets relativistes PPN (Moyer, 2000), les effets de figure, les marées solides et la libration de la Lune. Dans le cas d'INPOP, l'ensemble de l'intégration est effectué en précision étendue. L'ajustement d'INPOP a été effectué sur un grand nombre (environ 50 000) d'observations terrestres et spatiales.

6.2. MODÈLE DYNAMIQUE

Les équations du mouvement utilisées sont celles décrites par Moyer (1971) dans le cadre d'une approximation PPN. Les perturbations sur l'ensemble des planètes et sur le Soleil des 300 astéroïdes les plus perturbateurs du point de vue de Mars ont été incluses. Ces objets ont leurs orbites intégrées en même temps que celles des planètes principales. De plus, afin d'affiner le modèle dynamique des planètes et du Soleil, les perturbations induites par un anneau d'astéroïdes ont été ajoutées.

Les interactions entre corps non-sphériques et objets ponctuels ont été prises en compte. Il s'agit des interactions entre le terme d'aplatissement du Soleil (J2) et les planètes, des interactions entre le terme d'aplatissement de la Terre et la Lune, le Soleil, Vénus et Jupiter. Enfin, on tient compte des perturbations induites par les interactions entre les termes (J2, C22, C21, S21, S22) de la Lune et la Terre, le Soleil, Vénus et Jupiter. De plus, les déformations des corps non-sphériques (le Soleil, la Terre et la Lune) interagissent aussi avec les corps ponctuels et réciproquement. Dans INPOP, on tient compte des interactions suivantes :

- la Terre déformée par le Soleil et la Lune interagissant avec la Lune, le Soleil, Vénus et Jupiter,
- la Lune déformée par la Terre et le Soleil interagissant avec la Terre, le Soleil, Vénus et Jupiter,
- la forme de la Terre interagissant avec la forme de la Lune.

Une nouvelle définition plus complète du barycentre du système solaire a été donnée par INPOP. L'orbite du Soleil par rapport au barycentre du système solaire est intégrée en même temps que celles des planètes et les relations de conservation d'énergie sont vérifiées à la date initiale d'intégration (J2000) de telle façon que :

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

où les r_i sont les vecteurs position barycentrique des corps. Les μ_i^* sont les fonctions suivantes des masses $\mu_i = Gm$:

$$\mu_i^* = \mu_i \left(1 + \frac{v_i^2}{2c^2} - \frac{1}{2c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j}{r_{ij}} \right).$$

Le second terme de l'équation (6.1) est en général omis dans les définitions du barycentre du système solaire. Cet ajout permet une meilleure cohérence de la solution planétaire avec les recommandations de l'UAI (UAI, 2001) et n'induit pas d'effets détectables dans les calculs (Le Poncin-Lafitte, 2006).

Enfin, afin de suivre les recommandations de l'UAI concernant les échelles de temps (UAI, 2001), deux versions d'INPOP sont disponibles depuis 2007 : l'une en TCB et l'autre en TDB.

L'échelle de temps TCB réalisée par INPOP est construite à partir de la définition donnée par l'UAI (Soffel et al., 2003) :

$$\begin{aligned} TCB - TCG = & \frac{1}{c^2} \left[\int_{t_0}^t \left[U + \frac{v_E^2}{2} \right] dt + v_E^i r_E^i \right] \\ & + \frac{1}{c^4} \left[\int_{t_0}^t \left[\frac{v_E^4}{8} + \frac{3v_E^2 U}{2} - \frac{U^2}{2} - 4v_E^i U^i \right] dt - \left(3U + \frac{v_E^2}{2} \right) v_E^i r_E^i \right], \end{aligned} \quad (6.2)$$

le TCG étant défini par une relation linéaire de TAI (*cf.* 2.7.3). Dans l'équation (6.2), x_E^i et v_E^i sont les coordonnées barycentriques position et vitesse du géocentre, $r_E^i = x^i - x_E^i$, et U est le potentiel gravitationnel imposé par les autres corps du système solaire sur la Terre. Un processus itératif est nécessaire pour estimer la relation TCB-TCG réalisée avec INPOP et pour mettre en place une nouvelle solution d'INPOP en TCB.

6.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

La partie planétaire d'INPOP a été ajustée aux observations présentées dans la table 6.1. Un grand nombre d'observations issues des données de suivi des sondes spatiales a été utilisé en particulier pour les planètes Mars, Vénus et Jupiter. Ces observations consistent d'une part, en l'enregistrement du signal aller-retour émis depuis la Terre, capté puis ré-émis par la sonde, soit en orbite autour de la planète (la sonde est alors appelée orbiter), soit au sol (la sonde est appelée lander). De telles données permettent une estimation très précise de la distance géocentrique (quelques mètres) et de la vitesse radiale (quelques millimètres par seconde) de la planète. Dans la table 6.1, ces données sont nommées respectivement données radar et Doppler.

D'autre part, l'enregistrement VLBI du signal émis par la sonde passant au voisinage d'une source de référence radio extragalactique ICRF permet d'estimer une position angulaire différentielle de la sonde et de la planète par rapport à la source ICRF. Ce dernier type d'observation a une précision de quelques millisecondes de degrés et permet de raccorder le repère de référence dynamique de la solution planétaire à l'ICRF (*cf.* 3.3).

Depuis trente ans, plusieurs missions spatiales ont été envoyées en orbite ou sur le sol de Mars. Cette planète est ainsi celle dont le suivi a été le plus intensif et le plus précis jamais effectué. Elle requiert donc une modélisation très précise de son orbite. Or, du fait de son voisinage proche de la ceinture principale d'astéroïdes, elle subit de nombreuses perturbations induites par des objets de masses et de tailles mal connues. C'est pourquoi, un modèle dynamique complexe a été mis en place (prise en compte des perturbations induites par les masses ponctuelles de 300 astéroïdes et par un potentiel en anneau représentant l'ensemble des autres petits corps de masses et de tailles non déterminées). De plus, il a été nécessaire d'ajuster les masses des objets les plus massifs, les densités des autres petits corps classés en classes taxonomiques (objets riches en carbone, en silicate et en métaux) ainsi que les caractéristiques physiques de l'anneau d'astéroïdes. Par cette modélisation de l'orbite de Mars et ces ajustements, une précision de quelques mètres a été obtenue dans l'estimation des distances géocentriques de Mars.

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

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

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

des observations des satellites sont utilisées afin de limiter l’utilisation d’observations directes du photocentre de la planète. La description complète des méthodes d’analyses des observations et d’ajustement peuvent être retrouvées dans Fienga et al. (2008).

Dans la table 6.1, on donne en dernière colonne des estimations de la précision externe d’INPOP pour chaque type d’observations. Ces valeurs reflètent la qualité du modèle dynamique mis en place, de l’ajustement effectué et des observations utilisées.

Pour la Lune, un ajustement à la solution DE/LE405 a été effectué dans l’attente d’une solution complètement ajustée aux observations laser-Lune. Des incertitudes de quelques milliarcsecondes en longitude et latitude géocentriques et de quelques millimètres sur la distance géocentrique ont été estimées sur un siècle, par comparaison à LE405. Les différences entre les angles de libration issus de LE405 et ceux issus d’INPOP06 sont de l’ordre de quelques milliarcsecondes sur un siècle.

Au cours de l’ajustement de la partie planétaire aux observations et de la partie lunaire à LE405, plusieurs paramètres physiques liés principalement aux perturbations induites par les astéroïdes sur Mars et à la dynamique lunaire ont été déterminés. Un ajustement du taux d’aplatissement du

Table 6.2. Paramètres physiques ajustés dans INPOP. Comparaisons avec d'autres valeurs.

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

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

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

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

6.4. BIBLIOGRAPHIE

- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *A&A* **477**, 315.
- Konopliv, A.S., Yoder, C.F., Standish, E.M., Yuan, D.-N., Sjogren, W.L. : 2006, A global solution for the Mars static and seasonal gravity, Mars orientation, Phobos and Deimos masses, and Mars ephemeris. *Icarus* **182**, 23.
- Le Poncin-Lafitte, Ch. : 2006, communication privée.
- Moyer, T.D. : 2000, Formulation for Observed and Computed Values of Deep Space Network Data Types for Navigation, Joseph H. Yuen d, John Wiley & Sons.
- Pitjeva, E.V. : 2005, High-Precision Ephemerides of Planets—EPM and Determination of Some Astronomical Constants, *Solar System Research* **39**, 176.
- Soffel, M., Klioner, S.A., Petit, G., Wolf, P., Kopeikin, S.M., Bretagnon, P., Brumberg, V.A. et 13 co-auteurs : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28–40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).

CHAPITRE 7

MODÈLES ORBITAUX DES SATELLITES NATURELS

V. LAINEY ET A. VIENNE

7.1. INTRODUCTION

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

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

7.2. MODÈLE DYNAMIQUE

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

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

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

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

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

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

7.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

La résolution des équations différentielles, gouvernant l'évolution des mouvements orbitaux des satellites, nécessite l'utilisation d'un certain nombre de constantes et conditions initiales du système. Les constantes correspondent en général aux valeurs des masses et coefficients caractérisant l'aplatissement des corps présents, l'orientation des pôles nord de rotation dans l'espace, etc. Les conditions initiales, elles, sont les positions et vitesses (ou leur équivalent sous forme d'éléments képlériens) à une date origine. Au départ, ces différentes valeurs sont affectées d'une erreur causant des différences importantes entre les positions prédites par le modèle et celles que l'on peut observer dans la réalité. Il est donc indispensable d'ajuster les conditions initiales et parfois 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
Rhéea	(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 occuring in 2006-2009, *Astron. Astrophys.*, **456**, 1173.
- Duriez L., Vienne A. : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.*, **324**, 366.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons, *Astron. Astrophys.*, **465**, 1075.
- Lainey, V., Duriez, V., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion, *Astron. Astrophys.*, **420**, 1171.
- Lainey, V., Duriez, L., Vienne, A. : 2006, Synthetic representation of the Galilean satellites' orbital motions from L1 ephemerides, *Astron. Astrophys.*, **456**, 783.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86 - an analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.*, **188**, 212.
- Laskar, J. : 1986, A general theory for the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.*, **166**, 349.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.*, **297**, 588.

CHAPITRE 8

EXPLICATIONS LIÉES AUX ÉPHÉMÉRIDES DE LA CONNAISSANCE DES TEMPS

J.-L. SIMON, J. NORMAND 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 présenté sur le CD-ROM qui accompagne l'ouvrage. Ce logiciel permet le calcul non seulement des coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi celui des coordonnées horizontales et des levers et couchers des astres.

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

8.1.2. Définitions astronomiques

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

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

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

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

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

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

8.1.3. Échelles de temps

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

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

Le temps sidéral est une fonction à la fois du Temps universel TU et de TT. Nous l'avons calculé par la formule (3.6.25), en prenant $t - t_u = 66$ s. Notons qu'une erreur de 1 s sur $t - t_u$ entraîne une erreur inférieure à 0.2×10^{-6} s sur le temps sidéral pour l'année 2007. L'angle de rotation de la Terre donné par (3.6.17) et l'équation des origines donnée par (5.41) sont des fonctions de TU. Ces trois quantités sont donc tabulées pour des dates en TU.

Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle s (*cf.* 5.4.2) sont des fonctions de TT et sont donc tabulés pour des dates en TT. L'équation des équinoxes (*cf.* 3.6.6.2) qui n'est donnée que sur le CD-ROM est une fonction de TT.

Les éphémérides électroniques peuvent être calculées dans l'échelle de temps TT ou dans l'échelle UTC (sauf les coordonnées horizontales et les levers/couchers dont le calcul se fait seulement en UTC). La table 8.1 donne la relation entre TT et UTC depuis le 1 juillet 1983, d'après la relation entre TAI et UTC (*cf.* 2.5.1) publiée par l'IERS.

Table 8.1. TT–UTC depuis le 1 juillet 1983.

			TT – UTC
1983	Juil. 1 – 1985	Juil. 1	54.184 s
1985	Juil. 1 – 1988	Jan. 1	55.184 s
1988	Jan. 1 – 1990	Jan. 1	56.184 s
1990	Jan. 1 – 1991	Jan. 1	57.184 s
1991	Jan. 1 – 1992	Juil. 1	58.184 s
1992	Juil. 1 – 1993	Juil. 1	59.184 s
1993	Juil. 1 – 1994	Juil. 1	60.184 s
1994	Juil. 1 – 1996	Jan. 1	61.184 s
1996	Jan. 1 – 1997	Juil. 1	62.184 s
1997	Juil. 1 – 1999	Jan. 1	63.184 s
1999	Jan. 1 – 2006	Jan. 1	64.184 s
2006	Jan. 1 – 2009	Jan. 1	65.184 s
2009	Jan. 1 – 2012	Juil. 1	66.184 s
2012	Juil. 1 –		67.184 s

8.1.4. Contenu de l'ouvrage

La *Connaissance des Temps* publie des tables donnant :

- Le temps sidéral vrai au méridien de Greenwich *GST pour chaque jour de l'année* à 0h TU, et les nutations en longitude $\Delta\psi$ et en obliquité $\Delta\epsilon$ *pour chaque jour de l'année* à 0h TT (p. II. 4 – II. 7).
- L'angle de rotation de la Terre *ERA* et l'équation des origines \mathcal{E}_0 *pour chaque jour de l'année* à 0h TU (p. II. 10 – II. 13).
- Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle *s pour chaque jour de l'année* à 0h TT (p. II. 16 – II. 19).
- Les éphémérides géocentriques du Soleil, *pour chaque jour de l'année* à 0h TT :
 - les coordonnées écliptiques du Soleil, longitude, latitude et rayon vecteur géométrique; la longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000 (p. II. 22 – II. 25);
 - les coordonnées équatoriales du Soleil, ascension droite et déclinaison; ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date (p. II. 26 – II. 29);
 - le temps de passage du Soleil, en TT, au *méridien des éphémérides*, méridien situé à $-1.002\,7379$ (TT – TU) du méridien de Greenwich, les longitudes étant comptées positivement vers l'ouest. C'est aussi le temps de passage au méridien de Greenwich en TU (p. II. 26 – II. 29);
 - les coordonnées rectangulaires du Soleil X, Y, Z. Ce sont des coordonnées moyennes; le plan OX, OY est le plan de l'équateur moyen J2000, l'axe OX est dirigé vers l'équinoxe moyen J2000 (p. II. 30 – II. 33).

- Les éphémérides géocentriques de la Lune, *toutes les six heures* (TT) (p. II. 36 – II. 52) :
 - les coordonnées équatoriales de la Lune, ascension droite et déclinaison. Ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date ;
 - la distance à la Terre, sans correction d'aberration.
- Les éphémérides des planètes principales Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune :
 - les coordonnées héliocentriques, longitude, latitude héliocentriques et rayon vecteur. La longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000. Ces coordonnées sont données à 0h TT, *chaque jour de l'année* pour Mercure (p. II. 54 – II. 57), *tous les deux jours* pour Vénus (p. II. 58 – II. 59), *tous les quatre jours* pour Mars (p. II. 60), *tous les seize jours* pour Jupiter et Saturne et *tous les trente-deux jours* pour Uranus et Neptune (p. II. 61) ;
 - les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre, *pour chaque jour de l'année* à 0h TT. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration (p. II. 62 – II. 89).
- Les éphémérides de Pluton et des petites planètes Cérès, Pallas, Junon et Vesta, *tous les quatre jours* à 0h TT (p. II. 92 – II. 96) :
 - les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées astrométriques rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens J2000. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration.
- Les coordonnées tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes 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 CD-ROM

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

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

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

8.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

8.2.1. Soleil, Lune, Planètes et Pluton

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune, des planètes et de la planète naine Pluton (résolution B6 de l'UAI, 2006), publiées dans la *Connaissance des Temps*, sont issues de la solution 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 Hypérion ;
- cinq premiers satellites d'Uranus : la théorie LA07 (Lainey, 2007, Arlot et al. 2007).

8.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

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

8.3.1. Interpolation par la formule de Bessel

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

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

Formons le tableau des différences :

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

Soit à calculer $f(t)$ où t est compris entre t_1 et t_2 . Posons $m = \frac{t - t_1}{h}$.

La formule de Bessel s'écrit, en se limitant aux différences troisièmes :

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

8.3.2. Exemple

Calculer les coordonnées équatoriales apparentes de la Lune pour le 20 janvier 2015 à 8h 28m TT.

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

20/01	α	Δ^1 (s)	Δ^2 (s)	Δ^3 (s)	δ	Δ^1 (")	Δ^2 (")	Δ^3 (")
0h	19h 31m 19.867s				$-16^\circ 44' 54.95''$			
		919.03				2018.10		
6h	19h 46m 38.899s		-1.92		$-16^\circ 11' 16.85''$		253.53	
		917.11		-0.95		2271.63		-10.37
12h	20h 01m 56.011s		-2.87		$-15^\circ 33' 25.22''$		243.16	
		914.24				2514.79		
18h	20h 17m 10.246s				$-14^\circ 51' 30.43''$			

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

$$\alpha(t) = 19\text{h } 46\text{m } 38.90\text{s} + 377.03\text{s} + 0.29\text{s} - 0.003\text{s} = 19\text{h } 52\text{m } 56.22\text{s}$$

$$\delta(t) = -16^\circ 11' 16.85'' + 933.89'' - 30.06'' - 0.04'' = -15^\circ 56' 13.06''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 19\text{h } 52\text{m } 56.22\text{s}$$

$$\delta(t) = -15^\circ 56' 13.06''$$

8.3.3. Utilisation de la formule de Bessel

L'utilisation de la formule de Bessel développée jusqu'aux différences troisièmes est nécessaire pour le calcul des éphémérides de la Lune et des éphémérides géocentriques de Mercure. Pour les autres coordonnées tabulées dans la *Connaissance des Temps* on peut se contenter de la formule bornée aux différences secondes et parfois même, de l'interpolation linéaire. On trouvera de plus amples informations sur l'application de la formule de Bessel aux éphémérides tabulées au paragraphe 9.1 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997) et dans l'explication et usage de la *Connaissance des Temps* 1979 (Bureau des longitudes, 1978).

8.4. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES ÉLECTRONIQUES

8.4.1. Le logiciel de calcul eCdT

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

8.4.1.1. Description de l'interface graphique

• Coordonnées locales

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) permet d'indiquer les coordonnées du lieu d'observation :

- longitude en degrés, minutes et secondes ;
- latitude en degrés, minutes et secondes ;
- altitude en mètres.

Ces coordonnées ne sont nécessaires que dans le cas des calculs de l'azimut, la hauteur, le lever, le coucher ou le passage au méridien d'un astre.

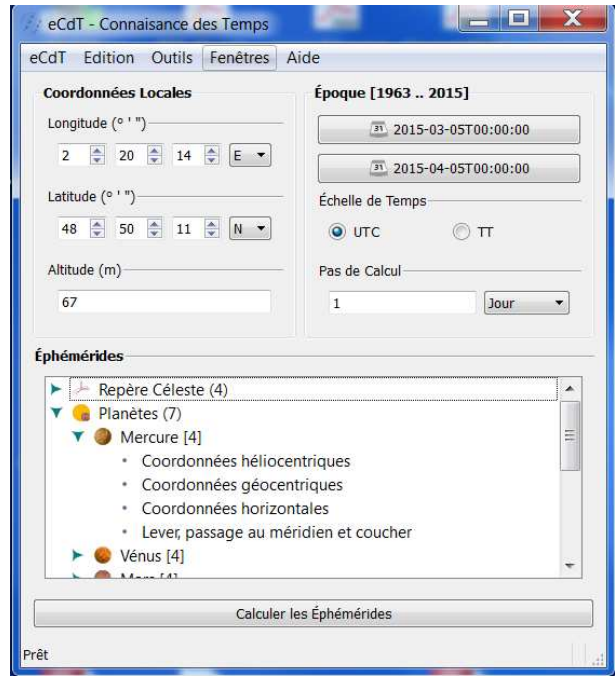


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

• Période de calcul

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) permet d'indiquer :

- la date de début des calculs ;
- la date de fin des calculs ;
- l'échelle de temps à utiliser ;
- le pas de calcul.

Pour saisir les dates de début et de fin, il faut cliquer sur les boutons *Date de début* et *Date de fin*. Ces instants peuvent être saisis sous forme de date et heure ou sous forme de jours juliens. Il faut, pour cela, activer la zone de saisie correspondante (cf. fig. 8.2).

• Liste des éphémérides disponibles

La partie du bas de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) permet de choisir les éphémérides à calculer. Elles sont présentées sous la forme d'une arborescence. Pour la déployer il faut cliquer deux fois sur

les titres. Il est possible de choisir plusieurs éphémérides simultanément en maintenant la touche *Ctrl* enfoncée, ou encore l'ensemble des éphémérides pour un objet en le sélectionnant.

- *Lancement des calculs*

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

8.4.1.2. Utilisation simple du logiciel

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

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

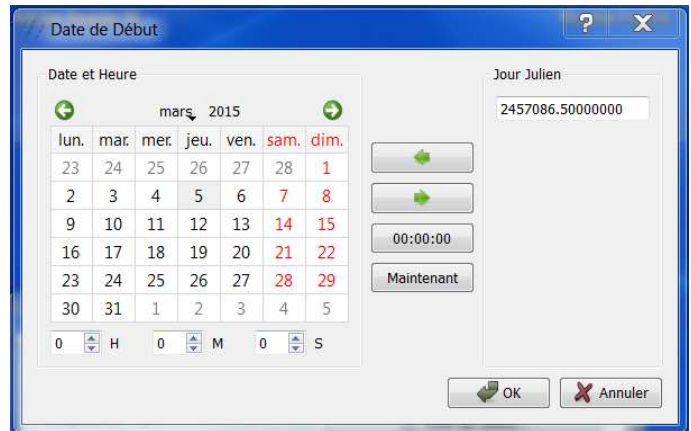


Fig. 8.2. Fenêtre pour choisir la date.

8.4.1.3. Autres possibilités

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

- une visualisation des coefficients utilisés pour représenter les coordonnées (cf. 8.4.2) ;
- les prédictions des phénomènes des satellites galiléens ;
- un convertisseur jour julien / date du calendrier (grégorien après le 15/10/1582 0h, julien avant cette date) ;
- un gestionnaire de lieux (permettant de choisir les coordonnées locales dans une liste) ;
- l'impression et la sauvegarde des résultats.

8.4.1.4. Disponibilité du logiciel

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

8.4.2. Représentation des coordonnées

L'angle de rotation de la Terre est calculé à partir de la formule (3.6.17). Les autres coordonnées données sur le CD-ROM sont représentées sous formes de polynômes de Tchebychev. La représentation sous forme de polynômes de Tchebychev est utilisée pour les coordonnées du

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

Soient t une date julienne appartenant à l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ et y une coordonnée d'un astre. On calcule $y(t)$ par la formule :

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

où :

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

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

- a_0, a_1, \dots, a_n sont les coefficients numériques publiés dans la *Connaissance des Temps*, valables pour l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ contenant t ;

- $T_1(x), \dots, T_n(x)$ sont des polynômes de Tchebychev, en x , que l'on calcule :

– soit par la relation :

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

– soit par la relation de récurrence :

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

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

La précision des approximations en polynômes de Tchebychev données sur le CD-ROM est très grande, bien meilleure que celle des éditions antérieures de la *Connaissance des Temps*. Notons toutefois que la déviation relativiste des rayons lumineux dans le champ gravitationnel du Soleil n'est pas prise en compte dans le calcul des coordonnées apparentes des planètes, les variations angulaires produites par ce phénomène étant difficilement représentables dans une éphéméride Tchebychev. La valeur de cette déviation peut être dans certains cas de l'ordre de la seconde de degré. Nous donnons, dans les tables 8.2 et 8.3, les caractéristiques des approximations en polynômes de Tchebychev avec les précisions de représentation.

8.5. PRÉCISION DES ÉPHÉMÉRIDES

Pour juger de la précision globale d'une éphéméride, il faut distinguer plusieurs composantes :

a) *La précision interne* de la théorie. Elle rend compte à la fois de la précision numérique des calculs effectués pour élaborer la théorie et de la perfection du modèle physique introduit, les constantes physiques du problème (constantes d'intégration, masses, etc.) étant supposées parfaitement connues.

b) *La précision externe*. Elle représente essentiellement ce qui, dans l'écart entre la théorie et l'observation, est dû aux erreurs sur les constantes physiques et sur la définition du repère dans

lequel les coordonnées sont mesurées. Cette précision est directement liée à la précision avec laquelle ont été effectuées les observations ayant servi à déterminer les constantes physiques du problème.

c) *La précision de la représentation.* Elle traduit l'écart entre la théorie et son approximation soit en polynômes de Tchebychev (cas des planètes, du Soleil et de la Lune), soit en fonctions mixtes (cas des satellites des planètes). Elle est déterminée par le choix de la représentation.

La précision globale de l'éphéméride est la somme de ces trois composantes. Comme le montre la table 8.2, la précision de représentation est très grande pour le Soleil, la Lune et les planètes. La précision globale est du même ordre que la précision interne dans le cas de la Lune ; elle est du même ordre que la précision externe pour tous les autres corps.

La table 8.4 donne une estimation de la précision globale pour les corps dont on publie les éphémérides.

On trouvera des explications détaillées sur ces différentes précisions dans le volume *Introduction aux Éphémérides Astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997) et dans Standish (1985).

Table 8.2. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev données sur le CD-ROM.

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
	Temps sidéral	19	16	1.7×10^{-5} s
	Équation des équinoxes	19	16	2×10^{-8} s
	Nutations	19	16	3×10^{-7} ''
	Équation des origines	10	5	5×10^{-7} ''
	Coordonnées du CIP	10	5	2×10^{-7} ''
	s	10	5	2×10^{-10} ''
Soleil	Longitude	15	16	6×10^{-10} degré
	Latitude	15	16	4×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	16	4×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Temps de passage	15	16	1×10^{-3} ''
	Coordonnées rectangulaires	15	16	1×10^{-11} ua
Lune	Ascension droite	9	2	2×10^{-6} s
	Déclinaison	9	2	2×10^{-5} ''
	Distance à la Terre	9	2	2×10^{-5} km
Mercure	Longitude	15	16	3×10^{-9} degré
	Latitude	15	16	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	16	2×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	6×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	5×10^{-5} ''
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua

Table 8.2. (fin).

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Vénus	Longitude	15	46	7×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	3×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	8×10^{-12} ua
Mars	Longitude	15	46	2×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	4×10^{-12} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	1×10^{-11} ua
Jupiter	Longitude	15	92	2×10^{-9} degré
	Latitude	15	92	1×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	92	5×10^{-11} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	8×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-11} ua
Saturne	Longitude	15	92	2×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	2×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-9} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua
Uranus	Longitude	15	92	3×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	3×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	2×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	6×10^{-9} ua
Neptune	Longitude	15	92	2×10^{-7} degré
	Latitude	15	92	6×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	8×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-5} s
	Déclinaison	15	16	6×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	3×10^{-8} ua
Pluton	Ascension droite	10	31	3×10^{-5} s
	Déclinaison	10	31	8×10^{-5} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua
Astéroïdes	Ascension droite	10	31	4×10^{-4} s
	Déclinaison	10	31	3×10^{-3} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua

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

Satellite	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Phobos	Tangentielles (X, Y)	472	16	4.85×10^{-8} rad
Déimos	"	162	16	4.85×10^{-8} "
Io	Tangentielles (X, Y)	88	16	9.70×10^{-8} rad
Europe	"	24	4	9.70×10^{-8} "
Ganymède	"	16	4	9.70×10^{-8} "
Callisto	"	11	4	9.70×10^{-8} "
Mimas	Tangentielles (X, Y)	164	16	9.70×10^{-8} rad
Encelade	"	878	184	9.70×10^{-8} "
Téthys	"	224	64	7.27×10^{-8} "
Dioné	"	45	16	7.27×10^{-8} "
Rhée	"	113	64	7.27×10^{-8} "
Titan	"	79	96	7.27×10^{-8} "
Hypérior	"	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 2015

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

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

TEMPS SIDÉRAL 2015 à 0h TU, NUTATION 2015 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Janv.	0	6	37	22.872 18	4.835 48	-9.508 00	Févr.	15	9	38	44.438 12	5.146 01	-8.924 33
	1	6	41	19.429 76	4.871 64	-9.540 37		16	9	42	40.997 72	5.215 24	-8.894 85
	2	6	45	15.989 50	4.943 15	-9.566 67		17	9	46	37.556 08	5.264 14	-8.847 45
	3	6	49	12.550 76	5.039 42	-9.580 92		18	9	50	34.111 79	5.269 88	-8.788 78
	4	6	53	9.112 62	5.145 56	-9.579 91		19	9	54	30.664 14	5.220 57	-8.730 38
	5	6	57	5.674 11	5.245 71	-9.563 48		20	9	58	27.213 48	5.121 96	-8.684 87
	6	7	1	2.234 40	5.326 16	-9.534 11		21	10	2	23.761 15	4.996 14	-8.660 94
	7	7	4	58.792 91	5.377 49	-9.496 20		22	10	6	20.308 94	4.872 24	-8.659 99
	8	7	8	55.349 38	5.395 57	-9.455 08		23	10	10	16.858 35	4.774 86	-8.676 50
	9	7	12	51.903 89	5.381 58	-9.416 05		24	10	14	13.410 16	4.716 62	-8.701 06
	10	7	16	48.456 79	5.341 20	-9.383 71		25	10	18	9.964 35	4.697 30	-8.724 05
	11	7	20	45.008 63	5.283 55	-9.361 45		26	10	22	6.520 33	4.707 30	-8.738 04
	12	7	24	41.560 11	5.220 03	-9.351 18		27	10	26	3.077 22	4.732 17	-8.738 82
	13	7	28	38.112 01	5.163 25	-9.353 12		28	10	29	59.634 08	4.756 63	-8.725 33
14	7	32	34.665 09	5.125 89	-9.365 67	Mars	1	10	33	56.190 09	4.767 10	-8.699 10	
15	7	36	31.220 06	5.119 24	-9.385 25	2	10	37	52.744 62	4.753 30	-8.663 51		
16	7	40	27.777 38	5.151 22	-9.406 31	3	10	41	49.297 28	4.709 09	-8.623 12		
17	7	44	24.337 19	5.223 67	-9.421 73	4	10	45	45.847 98	4.632 86	-8.582 99		
18	7	48	20.899 03	5.329 60	-9.423 96	5	10	49	42.396 90	4.527 48	-8.548 02		
19	7	52	17.461 88	5.451 79	-9.407 05	6	10	53	38.944 47	4.399 91	-8.522 32		
20	7	56	14.024 16	5.564 91	-9.369 33	7	10	57	35.491 29	4.260 25	-8.508 67		
21	8	0	10.584 28	5.642 49	-9.315 25	8	11	1	32.038 11	4.120 50	-8.508 14		
22	8	4	7.141 12	5.666 73	-9.254 98	9	11	5	28.585 68	3.992 99	-8.519 88		
23	8	8	3.694 62	5.636 21	-9.201 08	10	11	9	25.134 68	3.888 74	-8.541 18		
24	8	12	0.245 72	5.566 34	-9.163 78	11	11	13	21.685 59	3.815 90	-8.567 69		
25	8	15	56.795 96	5.482 52	-9.147 59	12	11	17	18.238 66	3.778 31	-8.593 91		
26	8	19	53.346 91	5.410 27	-9.150 55	13	11	21	14.793 78	3.774 25	-8.613 79		
27	8	23	49.899 67	5.367 71	-9.166 05	14	11	25	11.350 46	3.795 66	-8.621 71		
28	8	27	46.454 72	5.362 41	-9.185 54	15	11	29	7.907 80	3.827 94	-8.613 71		
29	8	31	43.011 90	5.392 06	-9.200 86	16	11	33	4.464 61	3.851 39	-8.588 93		
30	8	35	39.570 64	5.447 06	-9.205 83	17	11	37	1.019 59	3.845 04	-8.550 95		
31	8	39	36.130 08	5.513 73	-9.196 93	18	11	40	57.571 76	3.792 95	-8.508 13		
Févr.	1	8	43	32.689 34	5.577 26	-9.173 43	19	11	44	54.120 92	3.691 43	-8.472 01	
	2	8	47	29.247 58	5.624 23	-9.137 08	20	11	48	50.667 83	3.553 14	-8.453 58	
	3	8	51	25.804 18	5.644 47	-9.091 59	21	11	52	47.214 08	3.404 01	-8.458 75	
	4	8	55	22.358 81	5.632 34	-9.041 86	22	11	56	43.761 44	3.273 18	-8.485 87	
	5	8	59	18.911 41	5.587 21	-8.993 16	23	12	0	40.311 21	3.181 49	-8.526 72	
	6	9	3	15.462 25	5.513 19	-8.950 37	24	12	4	36.863 74	3.135 20	-8.570 36	
	7	9	7	12.011 82	5.418 39	-8.917 30	25	12	8	33.418 61	3.126 95	-8.607 08	
	8	9	11	8.560 78	5.313 63	-8.896 30	26	12	12	29.974 85	3.141 27	-8.630 76	
9	9	15	5.109 88	5.211 13	-8.887 94	27	12	16	26.531 40	3.160 49	-8.639 32		
10	9	19	1.659 87	5.123 12	-8.891 02	28	12	20	23.087 28	3.168 98	-8.633 95		
11	9	22	58.211 41	5.060 48	-8.902 52	29	12	24	19.641 81	3.155 18	-8.618 08		
12	9	26	54.764 99	5.031 26	-8.917 80	30	12	28	16.194 55	3.112 30	-8.596 31		
13	9	30	51.320 83	5.039 02	-8.930 87	31	12	32	12.745 39	3.038 21	-8.573 70		
14	9	34	47.878 76	5.080 90	-8.935 09	Avril	1	12	36	9.294 45	2.935 16	-8.555 16	

TEMPS SIDÉRAL 2015 à 0h TU, NUTATION 2015 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Avril	2	12	40	5.84212	2.80925	-8.54495	Mai	18	15	41	27.28501	1.10808	-9.46266
	3	12	44	2.38896	2.66983	-8.54620		19	15	45	23.84419	1.17038	-9.51342
	4	12	47	58.93568	2.52852	-8.56048		20	15	49	20.40489	1.25748	-9.54888
	5	12	51	55.48306	2.39787	-8.58751		21	15	53	16.96584	1.34879	-9.56671
	6	12	55	52.03181	2.28960	-8.62496		22	15	57	13.52592	1.42579	-9.56872
	7	12	59	48.58248	2.21274	-8.66870		23	16	1	10.08434	1.47567	-9.55948
	8	13	3	45.13535	2.17189	-8.71323		24	16	5	6.64073	1.49234	-9.54472
	9	13	7	41.69035	2.16587	-8.75249		25	16	9	3.19508	1.47586	-9.53020
	10	13	11	38.24703	2.18725	-8.78089		26	16	12	59.74771	1.43112	-9.52090
	11	13	15	34.80457	2.22275	-8.79446		27	16	16	56.29913	1.36649	-9.52065
	12	13	19	31.36190	2.25492	-8.79196		28	16	20	52.84999	1.29276	-9.53187
13	13	23	27.91789	2.26512	-8.77576	29	16	24	49.40104	1.22216	-9.55539		
14	13	27	24.47160	2.23794	-8.75215	30	16	28	45.95305	1.16728	-9.59027		
15	13	31	21.02258	2.16638	-8.73054	31	16	32	42.50673	1.13963	-9.63361		
16	13	35	17.57120	2.05600	-8.72125	Juin	1	16	36	39.06259	1.14767	-9.68062	
17	13	39	14.11859	1.92550	-8.73218		2	16	40	35.62083	1.19462	-9.72505	
18	13	43	10.66638	1.80173	-8.76561		3	16	44	32.18121	1.27653	-9.76018	
19	13	47	7.21616	1.71021	-8.81693		4	16	48	28.74301	1.38155	-9.78031	
20	13	51	3.76880	1.66565	-8.87638		5	16	52	25.30510	1.49145	-9.78249	
21	13	55	0.32430	1.66770	-8.93285		6	16	56	21.86622	1.58548	-9.76773	
22	13	58	56.88185	1.70336	-8.97759		7	17	0	18.42526	1.64566	-9.74130	
23	14	2	53.44027	1.75333	-9.00623		8	17	4	14.98163	1.66207	-9.71165	
24	14	6	49.99841	1.79853	-9.01872		9	17	8	11.53540	1.63600	-9.68834	
25	14	10	46.55534	1.82410	-9.01819		10	17	12	8.08735	1.58002	-9.67945	
26	14	14	43.11052	1.82106	-9.00949	11	17	16	4.63873	1.51481	-9.68940		
27	14	18	39.66375	1.78611	-8.99802	12	17	20	1.19097	1.46367	-9.71766		
28	14	22	36.21512	1.72086	-8.98899	13	17	23	57.74526	1.44607	-9.75894		
29	14	26	32.76499	1.63095	-8.98688	14	17	27	54.30224	1.47241	-9.80460		
30	14	30	29.31389	1.52516	-8.99512	15	17	31	50.86184	1.54143	-9.84518		
Mai	1	14	34	25.86250	1.41468	-9.01571	16	17	35	47.42331	1.64124	-9.87292	
	2	14	38	22.41158	1.31198	-9.04899	17	17	39	43.98554	1.75344	-9.88362	
	3	14	42	18.96191	1.22947	-9.09328	18	17	43	40.54734	1.85852	-9.87719	
	4	14	46	15.51410	1.17759	-9.14493	19	17	47	37.10772	1.94052	-9.85698	
	5	14	50	12.06856	1.16270	-9.19855	20	17	51	33.66610	1.98978	-9.82845	
	6	14	54	8.62531	1.18523	-9.24781	21	17	55	30.22231	2.00352	-9.79768	
	7	14	58	5.18395	1.23860	-9.28657	22	17	59	26.77653	1.98487	-9.77027	
	8	15	2	1.74366	1.30962	-9.31026	23	18	3	23.32924	1.94139	-9.75063	
	9	15	5	58.30337	1.38057	-9.31717	24	18	7	19.88107	1.88346	-9.74170	
	10	15	9	54.86192	1.43269	-9.30922	25	18	11	16.43274	1.82306	-9.74477	
	11	15	13	51.41838	1.45053	-9.29205	26	18	15	12.98502	1.77261	-9.75944	
12	15	17	47.97226	1.42626	-9.27407	27	18	19	9.53864	1.74390	-9.78359		
13	15	21	44.52374	1.36278	-9.26468	28	18	23	6.09418	1.74668	-9.81326		
14	15	25	41.07370	1.27427	-9.27180	29	18	27	2.65200	1.78677	-9.84292		
15	15	29	37.62351	1.18335	-9.29933	30	18	30	59.21209	1.86394	-9.86594		
16	15	33	34.17468	1.11472	-9.34554	Juill.	1	18	34	55.77395	1.97012	-9.87581	
17	15	37	30.72837	1.08731	-9.40338		2	18	38	52.33660	2.08914	-9.86786	

TEMPS SIDÉRAL 2015 à 0h TU, NUTATION 2015 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.			
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s			
Juill.	3	18	42	48.89870	2.19922	-9.84114	Août	18	21	44	10.43141	1.96664	-9.01591	
	4	18	46	45.45892	2.27859	-9.79959		19	21	48	6.97970	1.85084	-9.00633	
	5	18	50	42.01636	2.31237	-9.75152		20	21	52	3.52874	1.74736	-9.00805	
	6	18	54	38.57084	2.29795	-9.70741		21	21	56	0.07915	1.66631	-9.01825	
	7	18	58	35.12304	2.24623	-9.67665		22	21	59	56.63138	1.61505	-9.03278	
	8	19	2	31.67424	2.17793	-9.66473		23	22	3	53.18566	1.59716	-9.04646	
	9	19	6	28.22588	2.11701	-9.67187		24	22	7	49.74189	1.61124	-9.05358	
	10	19	10	24.77922	2.08380	-9.69334		25	22	11	46.29962	1.64982	-9.04863	
	11	19	14	21.33497	2.09007	-9.72119		26	22	15	42.85798	1.69876	-9.02756	
	12	19	18	17.89321	2.13700	-9.74648		27	22	19	39.41577	1.73839	-8.98936	
	13	19	22	14.45341	2.21599	-9.76146		28	22	23	35.97169	1.74735	-8.93758	
	14	19	26	11.01463	2.31162	-9.76118		29	22	27	32.52474	1.70947	-8.88069	
	15	19	30	7.57576	2.40583	-9.74425		30	22	31	29.07471	1.62136	-8.83035	
	16	19	34	4.13579	2.48205	-9.71266		31	22	35	25.62242	1.49615	-8.79742	
	17	19	38	0.69399	2.52834	-9.67097		Sept.	1	22	39	22.16944	1.35970	-8.78755
	18	19	41	57.25001	2.53905	-9.62498		2	22	43	18.71752	1.24039	-8.79899	
	19	19	45	53.80390	2.51486	-9.58058		3	22	47	15.26787	1.15844	-8.82387	
20	19	49	50.35601	2.46170	-9.54277	4	22	51	11.82091	1.12034	-8.85167			
21	19	53	46.90695	2.38918	-9.51509	5	22	55	8.37624	1.11968	-8.87291			
22	19	57	43.45741	2.30894	-9.49933	6	22	59	4.93296	1.14180	-8.88127			
23	20	1	40.00814	2.23324	-9.49558	7	23	3	1.49000	1.16907	-8.87428			
24	20	5	36.55988	2.17378	-9.50221	8	23	6	58.04635	1.18506	-8.85285			
25	20	9	33.11322	2.14060	-9.51600	9	23	10	54.60123	1.17709	-8.82041			
26	20	13	29.66860	2.14077	-9.53223	10	23	14	51.15417	1.13752	-8.78186			
27	20	17	26.22617	2.17681	-9.54504	11	23	18	47.70505	1.06408	-8.74272			
28	20	21	22.78571	2.24490	-9.54806	12	23	22	44.25402	0.95961	-8.70823			
29	20	25	19.34649	2.33349	-9.53565	13	23	26	40.80154	0.83126	-8.68270			
30	20	29	15.90738	2.42369	-9.50473	14	23	30	37.34823	0.68930	-8.66895			
31	20	33	12.46696	2.49253	-9.45660	15	23	34	33.89480	0.54561	-8.66808			
Août	1	20	37	9.02399	2.51971	-9.39780	16	23	38	30.44201	0.41209	-8.67927		
2	20	41	5.57786	2.49536	-9.33892	17	23	42	26.99047	0.29918	-8.70003			
3	20	45	2.12893	2.42502	-9.29131	18	23	46	23.54066	0.21458	-8.72645			
4	20	48	58.67837	2.32821	-9.26296	19	23	50	20.09283	0.16224	-8.75365			
5	20	52	55.22780	2.23112	-9.25588	20	23	54	16.64694	0.14154	-8.77631			
6	20	56	51.77866	2.15739	-9.26596	21	23	58	13.20263	0.14680	-8.78933			
7	21	0	48.33183	2.12133	-9.28505	22	0	2	9.75923	0.16703	-8.78868			
8	21	4	44.88746	2.12567	-9.30381	23	0	6	6.31579	0.18647	-8.77245			
9	21	8	41.44511	2.16293	-9.31417	24	0	10	2.87117	0.18660	-8.74208			
10	21	12	38.00391	2.21896	-9.31084	25	0	13	59.42431	0.15028	-8.70316			
11	21	16	34.56282	2.27689	-9.29188	26	0	17	55.97464	0.06792	-8.66524			
12	21	20	31.12087	2.32071	-9.25850	27	0	21	52.52239	-0.05660	-8.63960			
13	21	24	27.67729	2.33802	-9.21444	28	0	25	49.06874	-0.20403	-8.63522			
14	21	28	24.23166	2.32164	-9.16494	29	0	29	45.61546	-0.34544	-8.65479			
15	21	32	20.78388	2.27025	-9.11574	30	0	33	42.16421	-0.45361	-8.69322			
16	21	36	17.33421	2.18794	-9.07208	Oct.	1	0	37	38.71590	-0.51383	-8.73989		
17	21	40	13.88316	2.08305	-9.03801	2	0	41	35.27042	-0.52778	-8.78319			

TEMPS SIDÉRAL 2015 à 0h TU, NUTATION 2015 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Oct.	3	0	45	31.826 88	-0.509 88	-8.814 42	Nov.	18	3	46	53.290 45	-1.873 00	-9.507 78
	4	0	49	28.384 07	-0.480 15	-8.829 50		19	3	50	49.846 13	-1.867 86	-9.488 75
	5	0	53	24.940 80	-0.457 79	-8.828 76		20	3	54	46.399 43	-1.901 60	-9.473 08
	6	0	57	21.496 19	-0.457 44	-8.815 60		21	3	58	42.950 80	-1.966 93	-9.469 41
	7	1	1	18.049 71	-0.487 75	-8.795 11		22	4	2	39.501 32	-2.046 29	-9.484 26
	8	1	5	14.601 17	-0.551 50	-8.772 89		23	4	6	36.052 47	-2.115 16	-9.519 64
	9	1	9	11.150 74	-0.646 36	-8.754 28		24	4	10	32.605 76	-2.149 22	-9.571 56
	10	1	13	7.698 80	-0.765 82	-8.743 72		25	4	14	29.162 13	-2.132 90	-9.630 74
	11	1	17	4.245 94	-0.900 22	-8.744 36		26	4	18	25.721 62	-2.065 53	-9.685 60
	12	1	21	0.792 88	-1.038 04	-8.757 71		27	4	22	22.283 36	-1.961 36	-9.726 29
	13	1	24	57.340 35	-1.167 20	-8.783 48		28	4	26	18.845 94	-1.843 59	-9.747 74
	14	1	28	53.889 03	-1.276 65	-8.819 56		29	4	30	15.407 89	-1.735 95	-9.750 39
15	1	32	50.439 43	-1.357 87	-8.862 25	30	4	34	11.968 13	-1.656 17	-9.738 92		
16	1	36	46.991 84	-1.406 19	-8.906 71	Déc.	1	4	38	8.526 13	-1.613 18	-9.719 99	
17	1	40	43.546 26	-1.421 69	-8.947 60		2	4	42	5.081 83	-1.607 65	-9.700 39	
18	1	44	40.102 38	-1.409 55	-8.979 82	3	4	46	1.635 59	-1.633 99	-9.685 82		
19	1	48	36.659 56	-1.379 86	-8.999 37	4	4	49	58.187 98	-1.682 73	-9.680 34		
20	1	52	33.216 96	-1.346 66	-9.004 19	5	4	53	54.739 70	-1.742 25	-9.686 26		
21	1	56	29.773 58	-1.326 21	-8.994 95	6	4	57	51.291 52	-1.800 27	-9.704 15		
22	2	0	26.328 47	-1.334 02	-8.975 65	7	5	1	47.844 17	-1.844 84	-9.732 92		
23	2	4	22.880 97	-1.380 90	-8.953 58	8	5	5	44.398 27	-1.865 52	-9.769 83		
24	2	8	19.430 99	-1.468 29	-8.938 37	9	5	9	40.954 31	-1.854 61	-9.810 67		
25	2	12	15.979 22	-1.584 94	-8.939 51	10	5	13	37.512 49	-1.808 68	-9.850 08		
26	2	16	12.527 08	-1.707 66	-8.962 91	11	5	17	34.072 68	-1.729 89	-9.882 25		
27	2	20	9.076 31	-1.808 04	-9.007 96	12	5	21	30.634 36	-1.626 66	-9.901 90		
28	2	24	5.628 30	-1.863 28	-9.066 98	13	5	25	27.196 68	-1.513 08	-9.905 60		
29	2	28	2.183 55	-1.865 33	-9.128 10	14	5	29	23.758 56	-1.406 64	-9.892 82		
30	2	31	58.741 51	-1.823 05	-9.179 90	15	5	33	20.318 94	-1.324 56	-9.866 58		
31	2	35	55.300 93	-1.756 74	-9.215 16	16	5	37	16.877 07	-1.279 39	-9.833 15		
Nov.	1	2	39	51.860 40	-1.689 61	-9.232 15	17	5	41	13.432 68	-1.275 45	-9.800 90	
2	2	43	48.418 75	-1.640 91	-9.233 66	18	5	45	9.986 13	-1.306 87	-9.778 34		
3	2	47	44.975 23	-1.622 65	-9.225 05	19	5	49	6.538 35	-1.358 20	-9.772 01		
4	2	51	41.529 58	-1.639 33	-9.212 55	20	5	53	3.090 70	-1.407 69	-9.784 58		
5	2	55	38.081 90	-1.689 23	-9.202 00	21	5	56	59.644 54	-1.432 65	-9.813 82		
6	2	59	34.632 57	-1.766 00	-9.198 22	22	6	0	56.200 94	-1.415 84	-9.852 85		
7	3	3	31.182 17	-1.860 17	-9.204 66	23	6	4	52.760 28	-1.350 88	-9.891 81		
8	3	7	27.731 42	-1.960 34	-9.223 17	24	6	8	49.322 16	-1.244 51	-9.920 78		
9	3	11	24.281 03	-2.054 40	-9.253 94	25	6	12	45.885 48	-1.114 51	-9.932 67		
10	3	15	20.831 73	-2.130 75	-9.295 37	26	6	16	42.448 84	-0.983 90	-9.925 08		
11	3	19	17.384 10	-2.179 78	-9.344 17	27	6	20	39.010 93	-0.873 94	-9.900 46		
12	3	23	13.938 52	-2.195 35	-9.395 66	28	6	24	35.570 88	-0.798 98	-9.864 68		
13	3	27	10.495 06	-2.176 20	-9.444 30	29	6	28	32.128 36	-0.764 37	-9.824 93		
14	3	31	7.053 46	-2.126 69	-9.484 61	30	6	32	28.683 55	-0.767 34	-9.787 93		
15	3	35	3.613 11	-2.056 70	-9.512 13	31	6	36	25.236 96	-0.799 40	-9.758 81		
16	3	39	0.173 14	-1.980 42	-9.524 41	32	6	40	21.789 30	-0.848 88	-9.740 70		
17	3	42	56.732 57	-1.914 11	-9.521 80	33	6	44	18.341 35	-0.903 05	-9.734 70		

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 2015 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Janv.	0	99	9	6.93495	-11	36.14768	Févr.	15	144	29	24.32986	-11	42.24189
	1	100	8	15.13919	-11	36.30718		16	145	28	32.53409	-11	42.43169
	2	101	7	23.34342	-11	36.49910		17	146	27	40.73833	-11	42.60282
	3	102	6	31.54766	-11	36.71373		18	147	26	48.94257	-11	42.73434
	4	103	5	39.75190	-11	36.93740		19	148	25	57.14681	-11	42.81535
	5	104	4	47.95614	-11	37.15557		20	149	25	5.35104	-11	42.85113
	6	105	3	56.16037	-11	37.35566		21	150	24	13.55528	-11	42.86196
	7	106	3	4.36461	-11	37.52901		22	151	23	21.75952	-11	42.87459
	8	107	2	12.56885	-11	37.67187		23	152	22	29.96375	-11	42.91155
	9	108	1	20.77308	-11	37.78530		24	153	21	38.16799	-11	42.98443
	10	109	0	28.97732	-11	37.87452		25	154	20	46.37223	-11	43.09302
	11	109	59	37.18156	-11	37.94790		26	155	19	54.57647	-11	43.22850
	12	110	58	45.38580	-11	38.01591		27	156	19	2.78070	-11	43.37761
	13	111	57	53.59003	-11	38.09012		28	157	18	10.98494	-11	43.52633
14	112	57	1.79427	-11	38.18214	Mars	1	158	17	19.18918	-11	43.66221	
15	113	56	9.99851	-11	38.30235		2	159	16	27.39341	-11	43.77582	
16	114	55	18.20274	-11	38.45801		3	160	15	35.59765	-11	43.86152	
17	115	54	26.40698	-11	38.65080		4	161	14	43.80189	-11	43.91785	
18	116	53	34.61122	-11	38.87430		5	162	13	52.00613	-11	43.94743	
19	117	52	42.81545	-11	39.11270		6	163	13	0.21036	-11	43.95666	
20	118	51	51.01969	-11	39.34277		7	164	12	8.41460	-11	43.95480	
21	119	50	59.22393	-11	39.54020		8	165	11	16.61884	-11	43.95287	
22	120	50	7.42817	-11	39.68869		9	166	10	24.82307	-11	43.96218	
23	121	49	15.63240	-11	39.78694		10	167	9	33.02731	-11	43.99284	
24	122	48	23.83664	-11	39.84910		11	168	8	41.23155	-11	44.05232	
25	123	47	32.04088	-11	39.89848		12	169	7	49.43578	-11	44.14414	
26	124	46	40.24511	-11	39.95850	13	170	6	57.64002	-11	44.26673		
27	125	45	48.44935	-11	40.04576	14	171	6	5.84426	-11	44.41267		
28	126	44	56.65359	-11	40.16722	15	172	5	14.04850	-11	44.56858		
29	127	44	4.85783	-11	40.32073	16	173	4	22.25273	-11	44.71637		
30	128	43	13.06206	-11	40.49749	17	174	3	30.45697	-11	44.83681		
31	129	42	21.26630	-11	40.68495	18	175	2	38.66121	-11	44.91527		
Févr.	1	130	41	29.47054	-11	40.86952	19	176	1	46.86544	-11	44.94837	
	2	131	40	37.67477	-11	41.03889	20	177	0	55.06968	-11	44.94776	
	3	132	39	45.87901	-11	41.18373	21	178	0	3.27392	-11	44.93723	
	4	133	38	54.08325	-11	41.29887	22	178	59	11.47816	-11	44.94350	
	5	134	38	2.28749	-11	41.38372	23	179	58	19.68239	-11	44.98569	
	6	135	37	10.49172	-11	41.44208	24	180	57	27.88663	-11	45.06953	
	7	136	36	18.69596	-11	41.48137	25	181	56	36.09087	-11	45.18828	
	8	137	35	26.90020	-11	41.51154	26	182	55	44.29510	-11	45.32771	
9	138	34	35.10443	-11	41.54379	27	183	54	52.49934	-11	45.47164		
10	139	33	43.30867	-11	41.58935	28	184	54	0.70358	-11	45.60570		
11	140	32	51.51291	-11	41.65818	29	185	53	8.90782	-11	45.71930		
12	141	31	59.71715	-11	41.75768	30	186	52	17.11205	-11	45.80623		
13	142	31	7.92138	-11	41.89112	31	187	51	25.31629	-11	45.86452		
14	143	30	16.12562	-11	42.05585	Avril	1	188	50	33.52053	-11	45.89624	

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2015 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Avril	2	189	49	41.72476	-11	45.90698	Mai	18	235	9	59.11967	-11	50.15552	
	3	190	48	49.92900	-11	45.90535		19	236	9	7.32391	-11	50.33900	
	4	191	47	58.13324	-11	45.90199		20	237	8	15.52815	-11	50.54522	
	5	192	47	6.33748	-11	45.90841		21	238	7	23.73238	-11	50.75528	
	6	193	46	14.54171	-11	45.93538		22	239	6	31.93662	-11	50.95220	
	7	194	45	22.74595	-11	45.99118		23	240	5	40.14086	-11	51.12422	
	8	195	44	30.95019	-11	46.08001		24	241	4	48.34509	-11	51.26579	
	9	196	43	39.15442	-11	46.20080		25	242	3	56.54933	-11	51.37694	
	10	197	42	47.35866	-11	46.34672		26	243	3	4.75357	-11	51.46215	
	11	198	41	55.56290	-11	46.50558		27	244	2	12.95781	-11	51.52913	
	12	199	41	3.76714	-11	46.66138		28	245	1	21.16204	-11	51.58777	
	13	200	40	11.97137	-11	46.79700		29	246	0	29.36628	-11	51.64929	
	14	201	39	20.17561	-11	46.89832		30	246	59	37.57052	-11	51.72524	
	15	202	38	28.37985	-11	46.95892		31	247	58	45.77475	-11	51.82618	
	16	203	37	36.58408	-11	46.98391		Jun	1	248	57	53.97899	-11	51.95987
	17	204	36	44.78832	-11	46.99045		2	249	57	2.18323	-11	52.12927	
18	205	35	52.99256	-11	47.00320	3	250	56	10.38747	-11	52.33073			
19	206	35	1.19680	-11	47.04555	4	251	55	18.59170	-11	52.55338			
20	207	34	9.40103	-11	47.13098	5	252	54	26.79594	-11	52.78051			
21	208	33	17.60527	-11	47.25919	6	253	53	35.00018	-11	52.99305			
22	209	32	25.80951	-11	47.41821	7	254	52	43.20441	-11	53.17453			
23	210	31	34.01374	-11	47.59035	8	255	51	51.40865	-11	53.31584			
24	211	30	42.21798	-11	47.75810	9	256	50	59.61289	-11	53.41818			
25	212	29	50.42222	-11	47.90783	10	257	50	7.81713	-11	53.49309			
26	213	28	58.62646	-11	48.03131	11	258	49	16.02136	-11	53.55956			
27	214	28	6.83069	-11	48.12550	12	259	48	24.22560	-11	53.63894			
28	215	27	15.03493	-11	48.19191	13	260	47	32.42984	-11	53.74911			
29	216	26	23.23917	-11	48.23568	14	261	46	40.63407	-11	53.89960			
30	217	25	31.44340	-11	48.26491	15	262	45	48.83831	-11	54.08924			
Mai	1	218	24	39.64764	-11	48.28982	16	263	44	57.04255	-11	54.30712		
2	219	23	47.85188	-11	48.32189	17	264	44	5.24679	-11	54.53636			
3	220	22	56.05611	-11	48.37250	18	265	43	13.45102	-11	54.75904			
4	221	22	4.26035	-11	48.45121	19	266	42	21.65526	-11	54.96054			
5	222	21	12.46459	-11	48.56386	20	267	41	29.85950	-11	55.13201			
6	223	20	20.66883	-11	48.71085	21	268	40	38.06373	-11	55.27087			
7	224	19	28.87306	-11	48.88612	22	269	39	46.26797	-11	55.38003			
8	225	18	37.07730	-11	49.07758	23	270	38	54.47221	-11	55.46641			
9	226	17	45.28154	-11	49.26896	24	271	38	2.67644	-11	55.53955			
10	227	16	53.48577	-11	49.44305	25	272	37	10.88068	-11	55.61042			
11	228	16	1.69001	-11	49.58567	26	273	36	19.08492	-11	55.69043			
12	229	15	9.89425	-11	49.68967	27	274	35	27.28916	-11	55.79040			
13	230	14	18.09849	-11	49.75769	28	275	34	35.49339	-11	55.91926			
14	231	13	26.30272	-11	49.80276	29	276	33	43.69763	-11	56.08236			
15	232	12	34.50696	-11	49.84563	30	277	32	51.90187	-11	56.27948			
16	233	11	42.71120	-11	49.90897	Juill.	1	278	32	0.10610	-11	56.50321		
17	234	10	50.91543	-11	50.01015	2	279	31	8.31034	-11	56.73869			

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2015 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Juill.	3	280	30	16.51458	-11	56.96597	Août	18	325	50	33.90949	-12	2.56170
	4	281	29	24.71882	-11	57.16506		19	326	49	42.11372	-12	2.58174
	5	282	28	32.92305	-11	57.32230		20	327	48	50.31796	-12	2.61310
	6	283	27	41.12729	-11	57.43533		21	328	47	58.52220	-12	2.66504
	7	284	26	49.33153	-11	57.51414		22	329	47	6.72643	-12	2.74432
	8	285	25	57.53576	-11	57.57776		23	330	46	14.93067	-12	2.85421
	9	286	25	5.74000	-11	57.64817		24	331	45	23.13491	-12	2.99344
	10	287	24	13.94424	-11	57.74401		25	332	44	31.33915	-12	3.15514
	11	288	23	22.14848	-11	57.87609		26	333	43	39.54338	-12	3.32634
	12	289	22	30.35271	-11	58.04546		27	334	42	47.74762	-12	3.48897
	13	290	21	38.55695	-11	58.24423		28	335	41	55.95186	-12	3.62345
	14	291	20	46.76119	-11	58.45827		29	336	41	4.15609	-12	3.71495
15	292	19	54.96542	-11	58.67100	30	337	40	12.36033	-12	3.76036		
16	293	19	3.16966	-11	58.86720	31	338	39	20.56457	-12	3.77175		
17	294	18	11.37390	-11	59.03593	Sept. 1	339	38	28.76881	-12	3.77285		
18	295	17	19.57814	-11	59.17202	2	340	37	36.97304	-12	3.78969		
19	296	16	27.78237	-11	59.27609	3	341	36	45.17728	-12	3.84082		
20	297	15	35.98661	-11	59.35359	4	342	35	53.38152	-12	3.93217		
21	298	14	44.19085	-11	59.41333	5	343	35	1.58575	-12	4.05788		
22	299	13	52.39508	-11	59.46600	6	344	34	9.78999	-12	4.20448		
23	300	13	0.59932	-11	59.52283	7	345	33	17.99423	-12	4.35578		
24	301	12	8.80356	-11	59.59458	8	346	32	26.19847	-12	4.49673		
25	302	11	17.00780	-11	59.69045	9	347	31	34.40270	-12	4.61569		
26	303	10	25.21203	-11	59.81692	10	348	30	42.60694	-12	4.70564		
27	304	9	33.41627	-11	59.97631	11	349	29	50.81118	-12	4.76452		
28	305	8	41.62051	-12	0.16508	12	350	28	59.01541	-12	4.79494		
29	306	7	49.82474	-12	0.37267	13	351	28	7.21965	-12	4.80346		
30	307	6	58.02898	-12	0.58170	14	352	27	15.42389	-12	4.79949		
31	308	6	6.23322	-12	0.77114	15	353	26	23.62813	-12	4.79394		
Août 1	309	5	14.43746	-12	0.92232	16	354	25	31.83236	-12	4.79773		
2	310	4	22.64169	-12	1.02624	17	355	24	40.03660	-12	4.82045		
3	311	3	30.84593	-12	1.08796	18	356	23	48.24084	-12	4.86914		
4	312	2	39.05017	-12	1.12542	19	357	22	56.44507	-12	4.94742		
5	313	1	47.25440	-12	1.16263	20	358	22	4.64931	-12	5.05474		
6	314	0	55.45864	-12	1.22129	21	359	21	12.85355	-12	5.18587		
7	315	0	3.66288	-12	1.31453	22	0	20	21.05779	-12	5.33073		
8	315	59	11.86712	-12	1.44482	23	1	19	29.26202	-12	5.47484		
9	316	58	20.07135	-12	1.60532	24	2	18	37.46626	-12	5.60123		
10	317	57	28.27559	-12	1.78302	25	3	17	45.67050	-12	5.69416		
11	318	56	36.47983	-12	1.96245	26	4	16	53.87473	-12	5.74485		
12	319	55	44.68406	-12	2.12894	27	5	16	2.07897	-12	5.75687		
13	320	54	52.88830	-12	2.27108	28	6	15	10.28321	-12	5.74788		
14	321	54	1.09254	-12	2.38232	29	7	14	18.48745	-12	5.74444		
15	322	53	9.29677	-12	2.46143	30	8	13	26.69168	-12	5.77151		
16	323	52	17.50101	-12	2.51218	Oct. 1	9	12	34.89592	-12	5.84258		
17	324	51	25.70525	-12	2.54222	2	10	11	43.10016	-12	5.95610		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2015 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Oct.	3	11	10	51.304 39	-12	6.098 83	Nov.	18	56	31	8.699 30	-12	10.657 42	
	4	12	9	59.508 63	-12	6.252 40		19	57	30	16.903 54	-12	10.788 40	
	5	13	9	7.712 87	-12	6.399 18		20	58	29	25.107 78	-12	10.883 70	
	6	14	8	15.917 10	-12	6.525 77		21	59	28	33.312 01	-12	10.950 03	
	7	15	7	24.121 34	-12	6.624 23		22	60	27	41.516 25	-12	11.003 51	
	8	16	6	32.325 58	-12	6.692 01		23	61	26	49.720 49	-12	11.066 62	
	9	17	5	40.529 82	-12	6.731 24		24	62	25	57.924 72	-12	11.161 69	
	10	18	4	48.734 05	-12	6.747 91		25	63	25	6.128 96	-12	11.302 99	
	11	19	3	56.938 29	-12	6.750 87		26	64	24	14.333 20	-12	11.491 13	
	12	20	3	5.142 53	-12	6.750 71		27	65	23	22.537 43	-12	11.713 01	
	13	21	2	13.346 76	-12	6.758 50		28	66	22	30.741 67	-12	11.947 36	
	14	22	1	21.551 00	-12	6.784 39		29	67	21	38.945 91	-12	12.172 39	
	15	23	0	29.755 24	-12	6.836 18		30	68	20	47.150 15	-12	12.371 86	
	16	23	59	37.959 48	-12	6.918 15		Déc.	1	69	19	55.354 38	-12	12.537 56
	17	24	58	46.163 71	-12	7.030 25			2	70	19	3.558 62	-12	12.668 90
	18	25	57	54.367 95	-12	7.167 69			3	71	18	11.762 86	-12	12.771 00
	19	26	57	2.572 19	-12	7.321 23			4	72	17	19.967 09	-12	12.852 56
20	27	56	10.776 42	-12	7.477 97	5	73		16	28.171 33	-12	12.924 23		
21	28	55	18.980 66	-12	7.623 02	6	74		15	36.375 57	-12	12.997 29		
22	29	54	27.184 90	-12	7.742 11	7	75		14	44.579 81	-12	13.082 70		
23	30	53	35.389 14	-12	7.825 35	8	76	13	52.784 04	-12	13.190 04			
24	31	52	43.593 37	-12	7.871 44	9	77	13	0.988 28	-12	13.326 36			
25	32	51	51.797 61	-12	7.890 69	10	78	12	9.192 52	-12	13.494 81			
26	33	51	0.001 85	-12	7.904 38	11	79	11	17.396 75	-12	13.693 41			
27	34	50	8.206 08	-12	7.938 59	12	80	10	25.600 99	-12	13.914 43			
28	35	49	16.410 32	-12	8.014 24	13	81	9	33.805 23	-12	14.144 94			
29	36	48	24.614 56	-12	8.138 68	14	82	8	42.009 47	-12	14.368 87			
30	37	47	32.818 80	-12	8.303 79	15	83	7	50.213 70	-12	14.570 45			
31	38	46	41.023 03	-12	8.490 92	16	84	6	58.417 94	-12	14.738 15			
Nov.	1	39	45	49.227 27	-12	8.678 80	17	85	6	6.622 18	-12	14.868 02		
	2	40	44	57.431 51	-12	8.849 75	18	86	5	14.826 41	-12	14.965 47		
	3	41	44	5.635 74	-12	8.992 77	19	87	4	23.030 65	-12	15.044 65		
	4	42	43	13.839 98	-12	9.103 73	20	88	3	31.234 89	-12	15.125 55		
	5	43	42	22.044 22	-12	9.184 21	21	89	2	39.439 13	-12	15.228 96		
	6	44	41	30.248 46	-12	9.240 05	22	90	1	47.643 36	-12	15.370 70		
	7	45	40	38.452 69	-12	9.279 93	23	91	0	55.847 60	-12	15.556 63		
	8	46	39	46.656 93	-12	9.314 31	24	92	0	4.051 84	-12	15.780 54		
	9	47	38	54.861 17	-12	9.354 30	25	92	59	12.256 07	-12	16.026 11		
	10	48	38	3.065 40	-12	9.410 55	26	93	58	20.460 31	-12	16.272 23		
	11	49	37	11.269 64	-12	9.491 89	27	94	57	28.664 55	-12	16.499 39		
	12	50	36	19.473 88	-12	9.603 91	28	95	56	36.868 79	-12	16.694 43		
	13	51	35	27.678 12	-12	9.747 79	29	96	55	45.073 02	-12	16.852 44		
	14	52	34	35.882 35	-12	9.919 52	30	97	54	53.277 26	-12	16.975 98		
	15	53	33	44.086 59	-12	10.110 04	31	98	54	1.481 50	-12	17.072 83		
	16	54	32	52.290 83	-12	10.306 31	32	99	53	9.685 73	-12	17.153 72		
	17	55	32	0.495 06	-12	10.493 44	33	100	52	17.889 97	-12	17.230 31		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2015 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Janv.	0 302.424 47	-10.028 97	0.008 41	Févr.	15 305.073 61	-9.454 30	0.007 92
	1 302.493 60	-10.061 58	0.008 43		16 305.156 10	-9.425 11	0.007 90
	2 302.576 81	-10.088 15	0.008 45		17 305.230 57	-9.377 96	0.007 86
	3 302.669 92	-10.102 72	0.008 46		18 305.287 92	-9.319 49	0.007 82
	4 302.766 99	-10.102 04	0.008 45		19 305.323 37	-9.261 21	0.007 77
	5 302.861 74	-10.085 93	0.008 44		20 305.339 17	-9.215 76	0.007 74
	6 302.948 70	-10.056 85	0.008 42		21 305.344 07	-9.191 84	0.007 72
	7 303.024 10	-10.019 20	0.008 39		22 305.349 67	-9.190 91	0.007 72
	8 303.086 29	-9.978 29	0.008 36		23 305.365 74	-9.207 47	0.007 73
	9 303.135 72	-9.939 42	0.008 33		24 305.397 36	-9.232 15	0.007 75
	10 303.174 63	-9.907 22	0.008 30		25 305.444 46	-9.255 30	0.007 77
	11 303.206 64	-9.885 07	0.008 28		26 305.503 25	-9.269 48	0.007 78
	12 303.236 28	-9.874 90	0.008 28		27 305.568 00	-9.270 49	0.007 77
	13 303.268 55	-9.876 95	0.008 28		28 305.632 64	-9.257 22	0.007 76
	14 303.308 51	-9.889 64	0.008 29	Mars	1 305.691 75	-9.231 19	0.007 74
	15 303.360 66	-9.909 39	0.008 30		2 305.741 25	-9.195 77	0.007 72
	16 303.428 17	-9.930 68	0.008 31		3 305.778 67	-9.155 51	0.007 69
	17 303.511 80	-9.946 39	0.008 32		4 305.803 35	-9.115 47	0.007 65
	18 303.608 78	-9.948 94	0.008 32		5 305.816 42	-9.080 54	0.007 63
	19 303.712 29	-9.932 39	0.008 31		6 305.820 64	-9.054 86	0.007 61
	20 303.812 27	-9.895 01	0.008 28		7 305.820 00	-9.041 20	0.007 60
	21 303.898 17	-9.841 22	0.008 24		8 305.819 29	-9.040 67	0.007 60
	22 303.962 88	-9.781 17	0.008 19		9 305.823 40	-9.052 43	0.007 61
	23 304.005 78	-9.727 41	0.008 15		10 305.836 73	-9.073 77	0.007 62
	24 304.032 99	-9.690 21	0.008 12		11 305.862 53	-9.100 38	0.007 64
	25 304.054 57	-9.674 09	0.008 11		12 305.902 35	-9.126 72	0.007 66
	26 304.080 69	-9.677 14	0.008 11		13 305.955 53	-9.146 79	0.007 68
	27 304.118 57	-9.692 77	0.008 12		14 306.018 88	-9.154 93	0.007 68
	28 304.171 26	-9.712 43	0.008 13		15 306.086 61	-9.147 16	0.007 67
	29 304.237 86	-9.727 98	0.008 14		16 306.150 89	-9.122 60	0.007 65
	30 304.314 58	-9.733 22	0.008 15		17 306.203 35	-9.084 80	0.007 62
	31 304.395 99	-9.724 60	0.008 14		18 306.237 65	-9.042 09	0.007 59
Févr.	1 304.476 20	-9.701 36	0.008 12		19 306.252 26	-9.006 03	0.007 56
	2 304.549 86	-9.665 26	0.008 09		20 306.252 18	-8.987 59	0.007 55
	3 304.612 93	-9.619 99	0.008 06		21 306.247 72	-8.992 75	0.007 55
	4 304.663 14	-9.570 43	0.008 02		22 306.250 46	-9.019 88	0.007 57
	5 304.700 21	-9.521 86	0.007 98		23 306.268 71	-9.060 80	0.007 60
	6 304.725 79	-9.479 16	0.007 95		24 306.305 02	-9.104 56	0.007 64
	7 304.743 06	-9.446 15	0.007 92		25 306.356 47	-9.141 46	0.007 66
	8 304.756 33	-9.425 19	0.007 91		26 306.416 95	-9.165 35	0.007 68
	9 304.770 45	-9.416 88	0.007 90		27 306.479 43	-9.174 12	0.007 68
	10 304.790 31	-9.420 03	0.007 90		28 306.537 68	-9.168 95	0.007 68
	11 304.820 22	-9.431 63	0.007 91		29 306.587 11	-9.153 25	0.007 67
	12 304.863 41	-9.447 05	0.007 92		30 306.625 00	-9.131 61	0.007 65
	13 304.921 31	-9.460 33	0.007 93		31 306.650 47	-9.109 09	0.007 63
	14 304.992 81	-9.464 79	0.007 93	Avril	1 306.664 41	-9.090 60	0.007 62

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2015 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Avril 2	306.669 24	-9.080 40	0.007 61	Mai 18	308.513 19	-10.004 48	0.008 26
3	306.668 65	-9.081 65	0.007 61	19	308.592 65	-10.055 52	0.008 29
4	306.667 26	-9.095 93	0.007 62	20	308.682 04	-10.091 28	0.008 32
5	306.670 07	-9.122 96	0.007 64	21	308.773 15	-10.109 43	0.008 33
6	306.681 74	-9.160 46	0.007 67	22	308.858 63	-10.111 74	0.008 33
7	306.705 89	-9.204 29	0.007 70	23	308.933 36	-10.102 75	0.008 32
8	306.744 35	-9.248 95	0.007 73	24	308.994 90	-10.088 21	0.008 31
9	306.796 69	-9.288 39	0.007 76	25	309.043 26	-10.073 85	0.008 29
10	306.859 96	-9.317 00	0.007 78	26	309.080 36	-10.064 68	0.008 29
11	306.928 89	-9.330 81	0.007 79	27	309.109 52	-10.064 53	0.008 29
12	306.996 56	-9.328 54	0.007 79	28	309.135 02	-10.075 84	0.008 29
13	307.055 53	-9.312 54	0.007 77	29	309.161 72	-10.099 45	0.008 31
14	307.099 66	-9.289 08	0.007 76	30	309.194 64	-10.134 45	0.008 34
15	307.126 14	-9.267 57	0.007 74	31	309.238 35	-10.177 94	0.008 37
16	307.137 14	-9.258 31	0.007 73	Juin 1	309.296 25	-10.225 15	0.008 40
17	307.140 06	-9.269 26	0.007 74	2	309.369 63	-10.269 83	0.008 43
18	307.145 59	-9.302 71	0.007 76	3	309.456 95	-10.305 26	0.008 46
19	307.163 87	-9.354 09	0.007 80	4	309.553 51	-10.325 73	0.008 47
20	307.200 81	-9.413 67	0.007 85	5	309.652 07	-10.328 25	0.008 47
21	307.256 30	-9.470 33	0.007 89	6	309.744 38	-10.313 81	0.008 46
22	307.325 19	-9.515 30	0.007 92	7	309.823 27	-10.287 65	0.008 44
23	307.399 82	-9.544 20	0.007 94	8	309.884 76	-10.258 22	0.008 41
24	307.472 62	-9.556 95	0.007 95	9	309.929 33	-10.235 06	0.008 39
25	307.537 65	-9.556 64	0.007 94	10	309.961 96	-10.226 29	0.008 39
26	307.591 34	-9.548 12	0.007 94	11	309.990 85	-10.236 34	0.008 39
27	307.632 34	-9.536 79	0.007 93	12	310.025 28	-10.264 72	0.008 41
28	307.661 28	-9.527 86	0.007 92	13	310.073 00	-10.306 16	0.008 44
29	307.680 39	-9.525 82	0.007 92	14	310.138 18	-10.352 05	0.008 48
30	307.693 16	-9.534 10	0.007 92	15	310.220 35	-10.392 92	0.008 50
Mai 1	307.704 01	-9.554 74	0.007 94	16	310.314 81	-10.420 98	0.008 52
2	307.717 91	-9.588 06	0.007 96	17	310.414 25	-10.432 03	0.008 53
3	307.739 81	-9.632 43	0.008 00	18	310.510 93	-10.425 93	0.008 52
4	307.773 86	-9.684 19	0.008 03	19	310.598 47	-10.406 03	0.008 50
5	307.822 62	-9.737 98	0.008 07	20	310.673 02	-10.377 75	0.008 48
6	307.886 27	-9.787 47	0.008 11	21	310.733 45	-10.347 20	0.008 46
7	307.962 22	-9.826 48	0.008 14	22	310.780 99	-10.319 95	0.008 44
8	308.045 25	-9.850 46	0.008 15	23	310.818 63	-10.300 45	0.008 42
9	308.128 30	-9.857 65	0.008 16	24	310.850 49	-10.291 62	0.008 41
10	308.203 92	-9.849 97	0.008 15	25	310.881 32	-10.294 80	0.008 41
11	308.265 94	-9.833 01	0.008 13	26	310.916 06	-10.309 60	0.008 42
12	308.311 21	-9.815 18	0.008 12	27	310.959 42	-10.333 89	0.008 44
13	308.340 86	-9.805 90	0.008 11	28	311.015 29	-10.363 76	0.008 46
14	308.360 49	-9.813 09	0.008 12	29	311.085 99	-10.393 67	0.008 48
15	308.379 10	-9.840 68	0.008 14	30	311.171 46	-10.416 99	0.008 50
16	308.406 51	-9.887 00	0.008 17	Juill. 1	311.268 52	-10.427 19	0.008 50
17	308.450 28	-9.944 98	0.008 21	2	311.370 74	-10.419 60	0.008 50

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2015 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Juill.	3	311.46947	-10.39322	0.00847	Août	18	313.90351	-9.57651	0.00779
	4	311.55605	-10.35197	0.00844		19	313.91235	-9.56696	0.00779
	5	311.62451	-10.30414	0.00840		20	313.92605	-9.56873	0.00779
	6	311.67379	-10.26020	0.00837		21	313.94864	-9.57901	0.00780
	7	311.70819	-10.22956	0.00834		22	313.98307	-9.59366	0.00781
	8	311.73593	-10.21774	0.00833		23	314.03077	-9.60751	0.00782
	9	311.76654	-10.22498	0.00834		24	314.09120	-9.61484	0.00782
	10	311.80812	-10.24660	0.00835		25	314.16143	-9.61014	0.00781
	11	311.86538	-10.27465	0.00837		26	314.23583	-9.58933	0.00780
	12	311.93882	-10.30020	0.00839		27	314.30658	-9.55138	0.00777
	13	312.02504	-10.31548	0.00840		28	314.36519	-9.49980	0.00773
	14	312.11793	-10.31552	0.00840		29	314.40519	-9.44305	0.00768
	15	312.21032	-10.29891	0.00838		30	314.42518	-9.39279	0.00764
	16	312.29560	-10.26763	0.00836		31	314.43037	-9.35988	0.00762
	17	312.36902	-10.22619	0.00832	Sept.	1	314.43100	-9.35001	0.00761
	18	312.42830	-10.18040	0.00829		2	314.43837	-9.36148	0.00762
	19	312.47370	-10.13617	0.00825		3	314.46055	-9.38643	0.00764
	20	312.50755	-10.09848	0.00822		4	314.50016	-9.41438	0.00766
	21	312.53367	-10.07088	0.00820		5	314.55469	-9.43581	0.00767
	22	312.55667	-10.05521	0.00819		6	314.61832	-9.44439	0.00768
	23	312.58144	-10.05155	0.00819		7	314.68405	-9.43763	0.00767
	24	312.61263	-10.05829	0.00819		8	314.74535	-9.41642	0.00765
	25	312.65425	-10.07222	0.00820		9	314.79716	-9.38416	0.00763
	26	312.70912	-10.08865	0.00821		10	314.83642	-9.34575	0.00760
	27	312.77828	-10.10170	0.00822		11	314.86221	-9.30670	0.00757
	28	312.86021	-10.10500	0.00822		12	314.87564	-9.27226	0.00754
	29	312.95034	-10.09291	0.00821		13	314.87955	-9.24674	0.00752
	30	313.04118	-10.06231	0.00818		14	314.87801	-9.23299	0.00751
	31	313.12360	-10.01446	0.00815		15	314.87572	-9.23210	0.00751
Août	1	313.18947	-9.95589	0.00810		16	314.87744	-9.24331	0.00752
	2	313.23486	-9.89717	0.00805		17	314.88733	-9.26410	0.00753
	3	313.26191	-9.84966	0.00802		18	314.90846	-9.29060	0.00755
	4	313.27837	-9.82137	0.00800		19	314.94240	-9.31792	0.00757
	5	313.29464	-9.81434	0.00799		20	314.98895	-9.34074	0.00759
	6	313.32014	-9.82451	0.00800		21	315.04586	-9.35396	0.00760
	7	313.36060	-9.84375	0.00801		22	315.10878	-9.35353	0.00760
	8	313.41712	-9.86271	0.00802		23	315.17143	-9.33753	0.00758
	9	313.48677	-9.87331	0.00803		24	315.22644	-9.30735	0.00756
	10	313.56392	-9.87025	0.00803		25	315.26700	-9.26857	0.00753
	11	313.64189	-9.85156	0.00801		26	315.28924	-9.23073	0.00750
	12	313.71430	-9.81844	0.00798		27	315.29467	-9.20511	0.00748
	13	313.77620	-9.77460	0.00795		28	315.29092	-9.20072	0.00748
	14	313.82472	-9.72527	0.00791		29	315.28947	-9.22029	0.00749
	15	313.85932	-9.67618	0.00787		30	315.30118	-9.25875	0.00752
	16	313.88159	-9.63260	0.00784	Oct.	1	315.33193	-9.30554	0.00756
	17	313.89486	-9.59858	0.00781		2	315.38109	-9.34901	0.00759

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2015 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Oct. 3	315.44296	-9.38046	0.00761	Nov. 18	317.42205	-10.08084	0.00810
4	315.50959	-9.39578	0.00762	19	317.47903	-10.06201	0.00808
5	315.57335	-9.39526	0.00762	20	317.52053	-10.04649	0.00807
6	315.62840	-9.38229	0.00761	21	317.54942	-10.04292	0.00807
7	315.67128	-9.36195	0.00759	22	317.57267	-10.05786	0.00808
8	315.70087	-9.33984	0.00757	23	317.60001	-10.09333	0.00811
9	315.71807	-9.32129	0.00756	24	317.64114	-10.14540	0.00814
10	315.72546	-9.31076	0.00755	25	317.70229	-10.20480	0.00819
11	315.72686	-9.31140	0.00755	26	317.78375	-10.25995	0.00823
12	315.72687	-9.32475	0.00756	27	317.87989	-10.30098	0.00826
13	315.73027	-9.35053	0.00758	28	317.98152	-10.32279	0.00827
14	315.74148	-9.38666	0.00761	29	318.07918	-10.32580	0.00827
15	315.76389	-9.42943	0.00764	30	318.16581	-10.31463	0.00826
16	315.79938	-9.47402	0.00767	Déc. 1	318.23783	-10.29556	0.00825
17	315.84793	-9.51508	0.00770	2	318.29497	-10.27656	0.00823
18	315.90751	-9.54750	0.00773	3	318.33940	-10.26215	0.00822
19	315.97411	-9.56729	0.00774	4	318.37490	-10.25680	0.00821
20	316.04216	-9.57235	0.00774	5	318.40607	-10.26282	0.00822
21	316.10519	-9.56334	0.00773	6	318.43779	-10.28083	0.00823
22	316.15701	-9.54421	0.00772	7	318.47483	-10.30973	0.00825
23	316.19331	-9.52228	0.00770	8	318.52133	-10.34680	0.00828
24	316.21347	-9.50714	0.00769	9	318.58039	-10.38786	0.00831
25	316.22194	-9.50831	0.00769	10	318.65337	-10.42753	0.00834
26	316.22791	-9.53174	0.00771	11	318.73946	-10.46000	0.00836
27	316.24269	-9.57684	0.00774	12	318.83530	-10.48000	0.00837
28	316.27538	-9.63597	0.00779	13	318.93532	-10.48405	0.00837
29	316.32921	-9.69728	0.00783	14	319.03256	-10.47162	0.00836
30	316.40070	-9.74933	0.00787	15	319.12016	-10.44569	0.00834
31	316.48181	-9.78488	0.00790	16	319.19310	-10.41253	0.00831
Nov. 1	316.56331	-9.80216	0.00791	17	319.24965	-10.38048	0.00829
2	316.63753	-9.80393	0.00791	18	319.29209	-10.35807	0.00827
3	316.69969	-9.79555	0.00790	19	319.32656	-10.35186	0.00826
4	316.74796	-9.78322	0.00789	20	319.36170	-10.36456	0.00827
5	316.78302	-9.77279	0.00788	21	319.40653	-10.39396	0.00829
6	316.80736	-9.76910	0.00788	22	319.46794	-10.43320	0.00832
7	316.82475	-9.77560	0.00788	23	319.54850	-10.47246	0.00835
8	316.83971	-9.79417	0.00789	24	319.64556	-10.50178	0.00837
9	316.85705	-9.82500	0.00792	25	319.75207	-10.51404	0.00838
10	316.88140	-9.86651	0.00795	26	319.85891	-10.50684	0.00837
11	316.91659	-9.91544	0.00799	27	319.95759	-10.48257	0.00835
12	316.96508	-9.96710	0.00802	28	320.04239	-10.44709	0.00832
13	317.02739	-10.01596	0.00806	29	320.11116	-10.40758	0.00828
14	317.10179	-10.05654	0.00809	30	320.16497	-10.37078	0.00825
15	317.18439	-10.08435	0.00811	31	320.20718	-10.34181	0.00823
16	317.26955	-10.09693	0.00812	32	320.24243	-10.32383	0.00822
17	317.35079	-10.09461	0.00811	33	320.27577	-10.31795	0.00821

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 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua		
Janv.	0	279 0 20.20	+6.39	0.983 334 78	Févr.	15	325 45 34.70	+3.89	0.987 625 82
	1	280 1 28.39	+6.24	0.983 311 31		16	326 46 12.31	+3.78	0.987 827 46
	2	281 2 36.46	+6.11	0.983 293 85		17	327 46 48.68	+3.64	0.988 031 64
	3	282 3 44.44	+6.00	0.983 282 58		18	328 47 23.71	+3.46	0.988 238 04
	4	283 4 52.33	+5.91	0.983 277 63		19	329 47 57.32	+3.25	0.988 446 42
	5	284 6 0.15	+5.85	0.983 279 07		20	330 48 29.38	+3.02	0.988 656 65
	6	285 7 7.93	+5.81	0.983 286 90		21	331 48 59.80	+2.77	0.988 868 71
	7	286 8 15.68	+5.80	0.983 301 09		22	332 49 28.47	+2.52	0.989 082 70
	8	287 9 23.40	+5.81	0.983 321 55		23	333 49 55.30	+2.27	0.989 298 80
	9	288 10 31.12	+5.85	0.983 348 17		24	334 50 20.23	+2.02	0.989 517 26
	10	289 11 38.82	+5.90	0.983 380 80		25	335 50 43.21	+1.80	0.989 738 32
	11	290 12 46.51	+5.96	0.983 419 25		26	336 51 4.22	+1.60	0.989 962 23
	12	291 13 54.17	+6.03	0.983 463 33		27	337 51 23.24	+1.42	0.990 189 21
	13	292 15 1.78	+6.10	0.983 512 80		28	338 51 40.28	+1.28	0.990 419 47
14	293 16 9.33	+6.17	0.983 567 43	Mars	1	339 51 55.33	+1.16	0.990 653 15	
15	294 17 16.78	+6.23	0.983 626 96	2	340 52 8.41	+1.07	0.990 890 38		
16	295 18 24.09	+6.27	0.983 691 09	3	341 52 19.54	+1.00	0.991 131 25		
17	296 19 31.20	+6.29	0.983 759 53	4	342 52 28.76	+0.96	0.991 375 80		
18	297 20 38.06	+6.28	0.983 831 99	5	343 52 36.07	+0.94	0.991 624 04		
19	298 21 44.56	+6.24	0.983 908 19	6	344 52 41.53	+0.94	0.991 875 95		
20	299 22 50.63	+6.16	0.983 987 90	7	345 52 45.15	+0.95	0.992 131 47		
21	300 23 56.14	+6.05	0.984 070 95	8	346 52 46.98	+0.96	0.992 390 49		
22	301 25 0.98	+5.90	0.984 157 31	9	347 52 47.04	+0.97	0.992 652 86		
23	302 26 5.03	+5.73	0.984 247 02	10	348 52 45.37	+0.97	0.992 918 39		
24	303 27 8.17	+5.53	0.984 340 23	11	349 52 42.00	+0.96	0.993 186 88		
25	304 28 10.32	+5.32	0.984 437 19	12	350 52 36.94	+0.93	0.993 458 04		
26	305 29 11.41	+5.11	0.984 538 18	13	351 52 30.22	+0.88	0.993 731 58		
27	306 30 11.37	+4.90	0.984 643 51	14	352 52 21.85	+0.80	0.994 007 16		
28	307 31 10.17	+4.69	0.984 753 46	15	353 52 11.83	+0.69	0.994 284 40		
29	308 32 7.80	+4.51	0.984 868 32	16	354 52 0.14	+0.54	0.994 562 90		
30	309 33 4.23	+4.34	0.984 988 29	17	355 51 46.77	+0.36	0.994 842 25		
31	310 33 59.48	+4.20	0.985 113 59	18	356 51 31.65	+0.16	0.995 122 02		
Févr.	1	311 34 53.55	+4.09	0.985 244 34	19	357 51 14.74	-0.08	0.995 401 88	
	2	312 35 46.46	+4.00	0.985 380 64	20	358 50 55.95	-0.33	0.995 681 51	
	3	313 36 38.21	+3.94	0.985 522 56	21	359 50 35.18	-0.60	0.995 960 76	
	4	314 37 28.84	+3.91	0.985 670 09	22	0 50 12.36	-0.86	0.996 239 54	
	5	315 38 18.35	+3.90	0.985 823 19	23	1 49 47.38	-1.12	0.996 517 91	
	6	316 39 6.77	+3.90	0.985 981 79	24	2 49 20.19	-1.36	0.996 796 01	
	7	317 39 54.12	+3.92	0.986 145 76	25	3 48 50.74	-1.57	0.997 074 03	
	8	318 40 40.40	+3.95	0.986 314 96	26	4 48 18.98	-1.76	0.997 352 18	
	9	319 41 25.62	+3.98	0.986 489 19	27	5 47 44.91	-1.92	0.997 630 68	
	10	320 42 9.80	+4.00	0.986 668 24	28	6 47 8.51	-2.05	0.997 909 73	
	11	321 42 52.93	+4.02	0.986 851 84	29	7 46 29.80	-2.15	0.998 189 51	
	12	322 43 35.00	+4.02	0.987 039 73	30	8 45 48.80	-2.22	0.998 470 17	
	13	323 44 16.00	+4.00	0.987 231 59	31	9 45 5.52	-2.26	0.998 751 82	
	14	324 44 55.92	+3.96	0.987 427 07	Avril	1	10 44 20.00	-2.28	0.999 034 58

SOLEIL 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua		
Avril	2 11 43	32.28	-2.28	0.999 318 51	Mai	18 56 32	56.70	-6.48	1.011 390 03
	3 12 42	42.40	-2.27	0.999 603 65		19 57 30	45.85	-6.62	1.011 596 39
	4 13 41	50.40	-2.26	0.999 890 01		20 58 28	33.52	-6.73	1.011 797 92
	5 14 40	56.33	-2.24	1.000 177 55		21 59 26	19.70	-6.81	1.011 994 70
	6 15 40	0.25	-2.23	1.000 466 21		22 60 24	4.35	-6.86	1.012 186 86
	7 16 39	2.21	-2.22	1.000 755 86		23 61 21	47.46	-6.87	1.012 374 57
	8 17 38	2.27	-2.24	1.001 046 36		24 62 19	29.03	-6.86	1.012 558 02
	9 18 37	0.48	-2.27	1.001 337 49		25 63 17	9.06	-6.83	1.012 737 39
	10 19 35	56.89	-2.33	1.001 628 99		26 64 14	47.58	-6.77	1.012 912 89
	11 20 34	51.53	-2.42	1.001 920 56		27 65 12	24.61	-6.70	1.013 084 69
	12 21 33	44.46	-2.54	1.002 211 84		28 66 10	0.18	-6.62	1.013 252 99
13 22 32	35.69	-2.69	1.002 502 46	29 67 7	34.34	-6.53	1.013 417 96		
14 23 31	25.22	-2.87	1.002 791 98	30 68 5	7.14	-6.44	1.013 579 77		
15 24 30	13.07	-3.08	1.003 079 98	31 69 2	38.63	-6.36	1.013 738 57		
16 25 28	59.19	-3.31	1.003 366 06	1 70 0	8.89	-6.29	1.013 894 49		
17 26 27	43.54	-3.55	1.003 649 83	2 70 57	37.98	-6.24	1.014 047 63		
18 27 26	26.07	-3.79	1.003 931 01	3 71 55	5.99	-6.21	1.014 198 05		
19 28 25	6.72	-4.03	1.004 209 40	4 72 52	33.02	-6.20	1.014 345 76		
20 29 23	45.40	-4.26	1.004 484 91	5 73 49	59.14	-6.23	1.014 490 68		
21 30 22	22.06	-4.46	1.004 757 57	6 74 47	24.46	-6.28	1.014 632 68		
22 31 20	56.64	-4.64	1.005 027 48	7 75 44	49.07	-6.36	1.014 771 55		
23 32 19	29.11	-4.78	1.005 294 79	8 76 42	13.03	-6.47	1.014 907 02		
24 33 17	59.44	-4.90	1.005 559 68	9 77 39	36.43	-6.59	1.015 038 74		
25 34 16	27.64	-4.98	1.005 822 37	10 78 36	59.29	-6.73	1.015 166 35		
26 35 14	53.69	-5.03	1.006 083 03	11 79 34	21.67	-6.87	1.015 289 47		
27 36 13	17.62	-5.06	1.006 341 85	12 80 31	43.58	-7.01	1.015 407 73		
28 37 11	39.45	-5.06	1.006 599 00	13 81 29	5.01	-7.14	1.015 520 77		
29 38 9	59.22	-5.04	1.006 854 61	14 82 26	25.95	-7.26	1.015 628 31		
30 39 8	16.96	-5.01	1.007 108 83	15 83 23	46.38	-7.35	1.015 730 11		
Mai 1 40 6	32.71	-4.97	1.007 361 76	16 84 21	6.25	-7.41	1.015 826 03		
2 41 4	46.54	-4.92	1.007 613 49	17 85 18	25.54	-7.45	1.015 915 99		
3 42 2	58.50	-4.88	1.007 864 09	18 86 15	44.22	-7.45	1.015 999 99		
4 43 1	8.66	-4.84	1.008 113 57	19 87 13	2.24	-7.42	1.016 078 10		
5 43 59	17.09	-4.82	1.008 361 93	20 88 10	19.61	-7.36	1.016 150 45		
6 44 57	23.85	-4.81	1.008 609 10	21 89 7	36.29	-7.28	1.016 217 19		
7 45 55	29.03	-4.83	1.008 854 96	22 90 4	52.30	-7.18	1.016 278 49		
8 46 53	32.71	-4.88	1.009 099 34	23 91 2	7.65	-7.06	1.016 334 56		
9 47 51	34.95	-4.96	1.009 341 99	24 91 59	22.33	-6.93	1.016 385 61		
10 48 49	35.82	-5.07	1.009 582 62	25 92 56	36.39	-6.79	1.016 431 85		
11 49 47	35.37	-5.20	1.009 820 88	26 93 53	49.85	-6.65	1.016 473 51		
12 50 45	33.65	-5.36	1.010 056 39	27 94 51	2.75	-6.52	1.016 510 80		
13 51 43	30.67	-5.54	1.010 288 75	28 95 48	15.13	-6.40	1.016 543 97		
14 52 41	26.45	-5.73	1.010 517 53	29 96 45	27.05	-6.30	1.016 573 23		
15 53 39	20.97	-5.93	1.010 742 36	30 97 42	38.59	-6.21	1.016 598 79		
16 54 37	14.22	-6.13	1.010 962 88	Juill. 1 98 39	49.82	-6.15	1.016 620 85		
17 55 35	6.15	-6.31	1.011 178 83	2 99 37	0.82	-6.12	1.016 639 52		

SOLEIL 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.					
	° / "	"	ua		° / "	"	ua					
Juill.	3	100 34	11.71	-6.12	1.016 654 91	Août	18	144 32	47.32	-3.39	1.012 395 55	
	4	101 31	22.57	-6.15	1.016 666 98		19	145 30	30.45	-3.16	1.012 198 81	
	5	102 28	33.52	-6.20	1.016 675 67		20	146 28	14.72	-2.93	1.011 997 67	
	6	103 25	44.65	-6.27	1.016 680 78		21	147 26	0.13	-2.72	1.011 792 37	
	7	104 22	56.05	-6.36	1.016 682 06		22	148 23	46.66	-2.52	1.011 583 16	
	8	105 20	7.78	-6.45	1.016 679 19		23	149 21	34.33	-2.34	1.011 370 34	
	9	106 17	19.91	-6.54	1.016 671 84		24	150 19	23.15	-2.18	1.011 154 22	
	10	107 14	32.46	-6.62	1.016 659 67		25	151 17	13.15	-2.06	1.010 935 14	
	11	108 11	45.45	-6.69	1.016 642 34		26	152 15	4.35	-1.96	1.010 713 45	
	12	109 8	58.88	-6.73	1.016 619 55		27	153 12	56.82	-1.89	1.010 489 50	
	13	110 6	12.75	-6.74	1.016 591 07		28	154 10	50.60	-1.86	1.010 263 64	
	14	111 3	27.04	-6.73	1.016 556 71		29	155 8	45.79	-1.84	1.010 036 16	
	15	112 0	41.71	-6.68	1.016 516 36		30	156 6	42.48	-1.85	1.009 807 28	
	16	112 57	56.75	-6.61	1.016 469 95		31	157 4	40.77	-1.88	1.009 577 11	
	17	113 55	12.13	-6.50	1.016 417 50		Sept.	1	158 2	40.77	-1.90	1.009 345 65
	18	114 52	27.82	-6.37	1.016 359 06		2	159 0	42.57	-1.92	1.009 112 79	
	19	115 49	43.81	-6.22	1.016 294 76		3	159 58	46.25	-1.92	1.008 878 32	
20	116 47	0.09	-6.05	1.016 224 73	4	160 56	51.87	-1.91	1.008 641 99			
21	117 44	16.65	-5.87	1.016 149 15	5	161 54	59.48	-1.86	1.008 403 54			
22	118 41	33.48	-5.69	1.016 068 24	6	162 53	9.08	-1.79	1.008 162 70			
23	119 38	50.60	-5.50	1.015 982 21	7	163 51	20.70	-1.68	1.007 919 24			
24	120 36	8.03	-5.32	1.015 891 31	8	164 49	34.33	-1.55	1.007 672 94			
25	121 33	25.77	-5.15	1.015 795 79	9	165 47	49.96	-1.38	1.007 423 66			
26	122 30	43.87	-4.99	1.015 695 93	10	166 46	7.55	-1.19	1.007 171 26			
27	123 28	2.36	-4.86	1.015 592 02	11	167 44	27.10	-0.98	1.006 915 68			
28	124 25	21.29	-4.75	1.015 484 34	12	168 42	48.57	-0.74	1.006 656 87			
29	125 22	40.72	-4.67	1.015 373 19	13	169 41	11.92	-0.50	1.006 394 84			
30	126 20	0.73	-4.61	1.015 258 84	14	170 39	37.12	-0.25	1.006 129 65			
31	127 17	21.40	-4.59	1.015 141 49	15	171 38	4.14	+0.01	1.005 861 38			
Août	1	128 14	42.84	-4.59	1.015 021 31	16	172 36	32.95	+0.26	1.005 590 16		
2	129 12	5.15	-4.62	1.014 898 35	17	173 35	3.51	+0.50	1.005 316 16			
3	130 9	28.45	-4.66	1.014 772 57	18	174 33	35.80	+0.72	1.005 039 57			
4	131 6	52.82	-4.72	1.014 643 81	19	175 32	9.78	+0.93	1.004 760 65			
5	132 4	18.36	-4.77	1.014 511 84	20	176 30	45.45	+1.11	1.004 479 66			
6	133 1	45.14	-4.81	1.014 376 39	21	177 29	22.78	+1.26	1.004 196 90			
7	133 59	13.20	-4.83	1.014 237 14	22	178 28	1.77	+1.38	1.003 912 72			
8	134 56	42.57	-4.84	1.014 093 79	23	179 26	42.42	+1.47	1.003 627 48			
9	135 54	13.27	-4.81	1.013 946 05	24	180 25	24.74	+1.52	1.003 341 59			
10	136 51	45.31	-4.76	1.013 793 69	25	181 24	8.77	+1.55	1.003 055 43			
11	137 49	18.66	-4.67	1.013 636 51	26	182 22	54.56	+1.56	1.002 769 42			
12	138 46	53.32	-4.56	1.013 474 36	27	183 21	42.16	+1.54	1.002 483 88			
13	139 44	29.26	-4.42	1.013 307 15	28	184 20	31.66	+1.52	1.002 199 09			
14	140 42	6.46	-4.24	1.013 134 85	29	185 19	23.15	+1.50	1.001 915 20			
15	141 39	44.89	-4.05	1.012 957 45	30	186 18	16.73	+1.49	1.001 632 25			
16	142 37	24.52	-3.84	1.012 775 03	Oct.	1	187 17	12.47	+1.50	1.001 350 16		
17	143 35	5.34	-3.62	1.012 587 68	2	188 16	10.45	+1.53	1.001 068 77			

SOLEIL 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude	rayon v.	Date	longitude			latitude	rayon v.		
	°	'	"	"	ua		°	'	"	"	ua		
Oct.	3	189	15	10.71	+1.60	1.000 787 85	Nov.	18	235	5	55.08	+7.08	0.988 650 30
	4	190	14	13.28	+1.69	1.000 507 18		19	236	6	25.72	+7.04	0.988 432 28
	5	191	13	18.17	+1.81	1.000 226 53		20	237	6	57.60	+6.98	0.988 217 62
	6	192	12	25.39	+1.97	0.999 945 68		21	238	7	30.67	+6.90	0.988 006 73
	7	193	11	34.92	+2.15	0.999 664 45		22	239	8	4.94	+6.81	0.987 800 00
	8	194	10	46.73	+2.36	0.999 382 70		23	240	8	40.40	+6.73	0.987 597 83
	9	195	10	0.80	+2.58	0.999 100 31		24	241	9	17.08	+6.65	0.987 400 57
	10	196	9	17.10	+2.81	0.998 817 20		25	242	9	55.02	+6.60	0.987 208 49
	11	197	8	35.58	+3.06	0.998 533 32		26	243	10	34.27	+6.57	0.987 021 76
	12	198	7	56.20	+3.30	0.998 248 66		27	244	11	14.88	+6.56	0.986 840 47
	13	199	7	18.91	+3.55	0.997 963 24		28	245	11	56.90	+6.59	0.986 664 58
	14	200	6	43.66	+3.78	0.997 677 11		29	246	12	40.36	+6.64	0.986 493 99
15	201	6	10.40	+4.00	0.997 390 38	30	247	13	25.29	+6.73	0.986 328 54		
16	202	5	39.08	+4.19	0.997 103 18	Déc.	1	248	14	11.69	+6.84	0.986 168 04	
17	203	5	9.64	+4.36	0.996 815 71		2	249	14	59.56	+6.96	0.986 012 29	
18	204	4	42.04	+4.51	0.996 528 18		3	250	15	48.88	+7.10	0.985 861 08	
19	205	4	16.24	+4.62	0.996 240 86		4	251	16	39.61	+7.25	0.985 714 22	
20	206	3	52.18	+4.70	0.995 954 06		5	252	17	31.73	+7.40	0.985 571 51	
21	207	3	29.85	+4.75	0.995 668 13		6	253	18	25.19	+7.55	0.985 432 80	
22	208	3	9.22	+4.77	0.995 383 45		7	254	19	19.94	+7.68	0.985 297 90	
23	209	2	50.28	+4.77	0.995 100 42		8	255	20	15.92	+7.81	0.985 166 67	
24	210	2	33.04	+4.74	0.994 819 48		9	256	21	13.05	+7.91	0.985 038 99	
25	211	2	17.53	+4.70	0.994 541 03		10	257	22	11.27	+7.99	0.984 914 74	
26	212	2	3.79	+4.66	0.994 265 43		11	258	23	10.50	+8.04	0.984 793 84	
27	213	1	51.89	+4.62	0.993 992 98		12	259	24	10.64	+8.06	0.984 676 26	
28	214	1	41.89	+4.60	0.993 723 85	13	260	25	11.60	+8.05	0.984 562 02		
29	215	1	33.87	+4.59	0.993 458 09	14	261	26	13.29	+8.00	0.984 451 18		
30	216	1	27.90	+4.62	0.993 195 68	15	262	27	15.61	+7.93	0.984 343 88		
31	217	1	24.02	+4.67	0.992 936 47	16	263	28	18.48	+7.83	0.984 240 32		
Nov.	1	218	1	22.28	+4.76	0.992 680 29	17	264	29	21.79	+7.71	0.984 140 75	
2	219	1	22.68	+4.87	0.992 426 93	18	265	30	25.50	+7.57	0.984 045 48		
3	220	1	25.23	+5.02	0.992 176 17	19	266	31	29.53	+7.43	0.983 954 87		
4	221	1	29.92	+5.18	0.991 927 82	20	267	32	33.85	+7.29	0.983 869 27		
5	222	1	36.73	+5.37	0.991 681 70	21	268	33	38.42	+7.15	0.983 789 05		
6	223	1	45.62	+5.56	0.991 437 65	22	269	34	43.26	+7.03	0.983 714 55		
7	224	1	56.56	+5.77	0.991 195 54	23	270	35	48.35	+6.94	0.983 646 09		
8	225	2	9.50	+5.98	0.990 955 25	24	271	36	53.74	+6.87	0.983 583 88		
9	226	2	24.38	+6.18	0.990 716 71	25	272	37	59.45	+6.83	0.983 528 08		
10	227	2	41.15	+6.38	0.990 479 85	26	273	39	5.50	+6.82	0.983 478 76		
11	228	2	59.76	+6.56	0.990 244 63	27	274	40	11.95	+6.83	0.983 435 89		
12	229	3	20.12	+6.72	0.990 011 07	28	275	41	18.80	+6.88	0.983 399 39		
13	230	3	42.16	+6.85	0.989 779 21	29	276	42	26.08	+6.94	0.983 369 11		
14	231	4	5.82	+6.96	0.989 549 14	30	277	43	33.79	+7.01	0.983 344 86		
15	232	4	31.01	+7.04	0.989 320 99	31	278	44	41.92	+7.10	0.983 326 44		
16	233	4	57.66	+7.08	0.989 094 97	32	279	45	50.47	+7.19	0.983 313 63		
17	234	5	25.71	+7.10	0.988 871 31	33	280	46	59.39	+7.27	0.983 306 21		

SOLEIL 2015 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 40 5.426	-23 6 53.97	12	2 56.93		
	1	18 44 30.549	-23 2 26.32	12	3 25.35		
	2	18 48 55.359	-22 57 31.07	12	3 53.44		
	3	18 53 19.827	-22 52 8.38	12	4 21.18		
	4	18 57 43.927	-22 46 18.41	12	4 48.53		
	5	19 2 7.631	-22 40 1.32	12	5 15.47		
	6	19 6 30.913	-22 33 17.28	12	5 41.98		
	7	19 10 53.749	-22 26 6.50	12	6 8.03		
	8	19 15 16.114	-22 18 29.16	12	6 33.60		
	9	19 19 37.985	-22 10 25.49	12	6 58.67		
	10	19 23 59.339	-22 1 55.70	12	7 23.21		
	11	19 28 20.155	-21 53 0.04	12	7 47.20		
	12	19 32 40.412	-21 43 38.75	12	8 10.62		
	13	19 37 0.090	-21 33 52.11	12	8 33.45		
14	19 41 19.169	-21 23 40.37	12	8 55.67			
15	19 45 37.629	-21 13 3.84	12	9 17.26			
16	19 49 55.453	-21 2 2.82	12	9 38.20			
17	19 54 12.619	-20 50 37.62	12	9 58.47			
18	19 58 29.109	-20 38 48.58	12	10 18.05			
19	20 2 44.902	-20 26 36.03	12	10 36.92			
20	20 6 59.978	-20 14 0.34	12	10 55.07			
21	20 11 14.315	-20 1 1.84	12	11 12.47			
22	20 15 27.894	-19 47 40.91	12	11 29.11			
23	20 19 40.697	-19 33 57.91	12	11 44.96			
24	20 23 52.711	-19 19 53.19	12	12 0.02			
25	20 28 3.923	-19 5 27.14	12	12 14.27			
26	20 32 14.325	-18 50 40.11	12	12 27.71			
27	20 36 23.910	-18 35 32.50	12	12 40.32			
28	20 40 32.672	-18 20 4.69	12	12 52.11			
29	20 44 40.608	-18 4 17.07	12	13 3.07			
30	20 48 47.716	-17 48 10.04	12	13 13.20			
31	20 52 53.993	-17 31 43.98	12	13 22.49			
Févr.	1	20 56 59.442	-17 14 59.28	12	13 30.96		
	2	21 1 4.063	-16 57 56.35	12	13 38.61		
	3	21 5 7.859	-16 40 35.57	12	13 45.43		
	4	21 9 10.836	-16 22 57.34	12	13 51.44		
	5	21 13 12.998	-16 5 2.05	12	13 56.64		
	6	21 17 14.353	-15 46 50.11	12	14 1.03		
	7	21 21 14.909	-15 28 21.89	12	14 4.63		
	8	21 25 14.674	-15 9 37.81	12	14 7.45		
	9	21 29 13.658	-14 50 38.27	12	14 9.49		
	10	21 33 11.871	-14 31 23.67	12	14 10.77		
	11	21 37 9.323	-14 11 54.42	12	14 11.28		
	12	21 41 6.025	-13 52 10.94	12	14 11.05		
	13	21 45 1.987	-13 32 13.63	12	14 10.08		
	14	21 48 57.219	-13 12 2.92	12	14 8.39		
Févr.	15	21 52 51.730	-12 51 39.24	12	14 5.97		
	16	21 56 45.529	-12 31 3.01	12	14 2.85		
	17	22 0 38.624	-12 10 14.68	12	13 59.03		
	18	22 4 31.021	-11 49 14.68	12	13 54.53		
	19	22 8 22.729	-11 28 3.44	12	13 49.33		
	20	22 12 13.754	-11 6 41.40	12	13 43.47		
	21	22 16 4.108	-10 45 8.98	12	13 36.94		
	22	22 19 53.801	-10 23 26.60	12	13 29.75		
	23	22 23 42.847	-10 1 34.68	12	13 21.92		
	24	22 27 31.259	-9 39 33.64	12	13 13.46		
	25	22 31 19.051	-9 17 23.90	12	13 4.39		
	26	22 35 6.240	-8 55 5.86	12	12 54.72		
	27	22 38 52.841	-8 32 39.93	12	12 44.48		
	28	22 42 38.871	-8 10 6.51	12	12 33.67		
Mars	1	22 46 24.351	-7 47 26.00	12	12 22.32		
	2	22 50 9.298	-7 24 38.79	12	12 10.45		
	3	22 53 53.733	-7 1 45.25	12	11 58.09		
	4	22 57 37.677	-6 38 45.79	12	11 45.24		
	5	23 1 21.152	-6 15 40.76	12	11 31.94		
	6	23 5 4.180	-5 52 30.54	12	11 18.21		
	7	23 8 46.784	-5 29 15.51	12	11 4.06		
	8	23 12 28.987	-5 5 56.03	12	10 49.52		
	9	23 16 10.813	-4 42 32.48	12	10 34.62		
	10	23 19 52.286	-4 19 5.21	12	10 19.38		
	11	23 23 33.427	-3 55 34.59	12	10 3.81		
	12	23 27 14.260	-3 32 1.01	12	9 47.94		
	13	23 30 54.806	-3 8 24.81	12	9 31.80		
	14	23 34 35.088	-2 44 46.39	12	9 15.40		
15	23 38 15.124	-2 21 6.12	12	8 58.77			
16	23 41 54.934	-1 57 24.38	12	8 41.92			
17	23 45 34.537	-1 33 41.55	12	8 24.87			
18	23 49 13.948	-1 9 58.02	12	8 7.64			
19	23 52 53.186	-0 46 14.19	12	7 50.25			
20	23 56 32.266	-0 22 30.43	12	7 32.72			
21	0 0 11.205	0 1 12.88	12	7 15.05			
22	0 3 50.020	0 24 55.36	12	6 57.26			
23	0 7 28.728	0 48 36.62	12	6 39.38			
24	0 11 7.345	1 12 16.30	12	6 21.40			
25	0 14 45.889	1 35 54.02	12	6 3.37			
26	0 18 24.376	1 59 29.41	12	5 45.28			
27	0 22 2.825	2 23 2.10	12	5 27.16			
28	0 25 41.255	2 46 31.73	12	5 9.04			
29	0 29 19.685	3 9 57.95	12	4 50.93			
30	0 32 58.137	3 33 20.41	12	4 32.85			
31	0 36 36.630	3 56 38.77	12	4 14.83			
Avril	1	0 40 15.188	4 19 52.68	12	3 56.88		

SOLEIL 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Avril	2	0	43	53.831	4	43	1.80	12	3	39.03	Mai	18	3	37	50.478	19	25	41.56	11	56	24.31
	3	0	47	32.583	5	6	5.81	12	3	21.30		19	3	41	49.417	19	38	53.66	11	56	26.96
	4	0	51	11.466	5	29	4.37	12	3	3.72		20	3	45	48.905	19	51	45.71	11	56	30.16
	5	0	54	50.502	5	51	57.16	12	2	46.29		21	3	49	48.928	20	4	17.43	11	56	33.88
	6	0	58	29.714	6	14	43.85	12	2	29.06		22	3	53	49.475	20	16	28.57	11	56	38.13
	7	1	2	9.125	6	37	24.10	12	2	12.03		23	3	57	50.534	20	28	18.86	11	56	42.88
	8	1	5	48.756	6	59	57.60	12	1	55.23		24	4	1	52.094	20	39	48.04	11	56	48.13
	9	1	9	28.627	7	22	24.02	12	1	38.67		25	4	5	54.144	20	50	55.89	11	56	53.87
	10	1	13	8.760	7	44	43.02	12	1	22.39		26	4	9	56.674	21	1	42.15	11	57	0.08
	11	1	16	49.173	8	6	54.28	12	1	6.39		27	4	13	59.672	21	12	6.62	11	57	6.76
	12	1	20	29.883	8	28	57.44	12	0	50.71		28	4	18	3.129	21	22	9.06	11	57	13.89
13	1	24	10.907	8	50	52.17	12	0	35.34	29	4	22	7.033	21	31	49.27	11	57	21.46		
14	1	27	52.261	9	12	38.13	12	0	20.32	30	4	26	11.373	21	41	7.06	11	57	29.46		
15	1	31	33.960	9	34	14.96	12	0	5.65	31	4	30	16.138	21	50	2.23	11	57	37.88		
16	1	35	16.018	9	55	42.32	11	59	51.34	1	4	34	21.316	21	58	34.59	11	57	46.70		
17	1	38	58.448	10	16	59.86	11	59	37.42	2	4	38	26.896	22	6	43.99	11	57	55.92		
18	1	42	41.261	10	38	7.23	11	59	23.88	3	4	42	32.863	22	14	30.25	11	58	5.51		
19	1	46	24.469	10	59	4.09	11	59	10.74	4	4	46	39.206	22	21	53.20	11	58	15.48		
20	1	50	8.082	11	19	50.10	11	58	58.01	5	4	50	45.909	22	28	52.71	11	58	25.79		
21	1	53	52.109	11	40	24.90	11	58	45.69	6	4	54	52.957	22	35	28.62	11	58	36.45		
22	1	57	36.556	12	0	48.14	11	58	33.79	7	4	59	0.334	22	41	40.78	11	58	47.43		
23	2	1	21.432	12	20	59.48	11	58	22.33	8	5	3	8.024	22	47	29.05	11	58	58.71		
24	2	5	6.747	12	40	58.58	11	58	11.31	9	5	7	16.010	22	52	53.31	11	59	10.29		
25	2	8	52.508	13	0	45.09	11	58	0.74	10	5	11	24.272	22	57	53.43	11	59	22.13		
26	2	12	38.727	13	20	18.68	11	57	50.64	11	5	15	32.793	23	2	29.31	11	59	34.23		
27	2	16	25.413	13	39	39.03	11	57	41.01	12	5	19	41.551	23	6	40.84	11	59	46.54		
28	2	20	12.578	13	58	45.80	11	57	31.87	13	5	23	50.524	23	10	27.95	11	59	59.06		
29	2	24	0.232	14	17	38.68	11	57	23.22	14	5	27	59.686	23	13	50.56	12	0	11.75		
30	2	27	48.387	14	36	17.36	11	57	15.08	15	5	32	9.012	23	16	48.61	12	0	24.59		
Mai	1	2	31	37.054	14	54	41.52	11	57	7.46	16	5	36	18.472	23	19	22.04	12	0	37.54	
2	2	35	26.243	15	12	50.85	11	57	0.36	17	5	40	28.038	23	21	30.80	12	0	50.59		
3	2	39	15.966	15	30	45.06	11	56	53.81	18	5	44	37.679	23	23	14.85	12	1	3.70		
4	2	43	6.232	15	48	23.84	11	56	47.79	19	5	48	47.369	23	24	34.15	12	1	16.85		
5	2	46	57.051	16	5	46.89	11	56	42.34	20	5	52	57.077	23	25	28.67	12	1	30.00		
6	2	50	48.433	16	22	53.93	11	56	37.44	21	5	57	6.779	23	25	58.40	12	1	43.13		
7	2	54	40.384	16	39	44.66	11	56	33.12	22	6	1	16.447	23	26	3.33	12	1	56.22		
8	2	58	32.913	16	56	18.78	11	56	29.38	23	6	5	26.056	23	25	43.46	12	2	9.25		
9	3	2	26.023	17	12	36.00	11	56	26.22	24	6	9	35.584	23	24	58.81	12	2	22.17		
10	3	6	19.720	17	28	36.01	11	56	23.65	25	6	13	45.005	23	23	49.41	12	2	34.98		
11	3	10	14.005	17	44	18.53	11	56	21.68	26	6	17	54.298	23	22	15.28	12	2	47.65		
12	3	14	8.881	17	59	43.24	11	56	20.30	27	6	22	3.441	23	20	16.49	12	3	0.16		
13	3	18	4.349	18	14	49.87	11	56	19.51	28	6	26	12.412	23	17	53.08	12	3	12.48		
14	3	22	0.408	18	29	38.11	11	56	19.31	29	6	30	21.191	23	15	5.13	12	3	24.60		
15	3	25	57.055	18	44	7.68	11	56	19.70	30	6	34	29.758	23	11	52.72	12	3	36.49		
16	3	29	54.287	18	58	18.29	11	56	20.67	Juill.	1	6	38	38.093	23	8	15.93	12	3	48.14	
17	3	33	52.097	19	12	9.68	11	56	22.21	2	6	42	46.177	23	4	14.86	12	3	59.53		

SOLEIL 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Juill.	3	6	46	53.993	22	59	49.61	12	4	10.65	Août	18	9	48	11.676	13	15	59.19	12	3	54.66
	4	6	51	1.522	22	55	0.28	12	4	21.47		19	9	51	54.993	12	56	37.53	12	3	41.17
	5	6	55	8.749	22	49	46.99	12	4	31.98		20	9	55	37.803	12	37	3.62	12	3	27.18
	6	6	59	15.656	22	44	9.85	12	4	42.17		21	9	59	20.118	12	17	17.79	12	3	12.70
	7	7	3	22.231	22	38	8.98	12	4	52.02		22	10	3	1.947	11	57	20.35	12	2	57.74
	8	7	7	28.456	22	31	44.53	12	5	1.52		23	10	6	43.304	11	37	11.63	12	2	42.32
	9	7	11	34.318	22	24	56.64	12	5	10.64		24	10	10	24.200	11	16	51.96	12	2	26.43
	10	7	15	39.801	22	17	45.48	12	5	19.37		25	10	14	4.648	10	56	21.65	12	2	10.11
	11	7	19	44.886	22	10	11.23	12	5	27.69		26	10	17	44.664	10	35	41.03	12	1	53.35
	12	7	23	49.555	22	2	14.08	12	5	35.58		27	10	21	24.262	10	14	50.41	12	1	36.20
	13	7	27	53.789	21	53	54.23	12	5	43.03		28	10	25	3.458	9	53	50.11	12	1	18.65
	14	7	31	57.568	21	45	11.88	12	5	50.01		29	10	28	42.270	9	32	40.43	12	1	0.72
	15	7	36	0.873	21	36	7.24	12	5	56.51		30	10	32	20.718	9	11	21.68	12	0	42.45
16	7	40	3.684	21	26	40.53	12	6	2.51	31	10	35	58.824	8	49	54.13	12	0	23.86		
17	7	44	5.983	21	16	51.96	12	6	7.99	Sept.	1	10	39	36.613	8	28	18.08	12	0	4.95	
18	7	48	7.755	21	6	41.76	12	6	12.93	2	10	43	14.106	8	6	33.82	11	59	45.76		
19	7	52	8.985	20	56	10.16	12	6	17.33	3	10	46	51.327	7	44	41.65	11	59	26.30		
20	7	56	9.658	20	45	17.37	12	6	21.17	4	10	50	28.294	7	22	41.89	11	59	6.60		
21	8	0	9.764	20	34	3.65	12	6	24.43	5	10	54	5.028	7	0	34.85	11	58	46.68		
22	8	4	9.291	20	22	29.24	12	6	27.11	6	10	57	41.545	6	38	20.87	11	58	26.54		
23	8	8	8.232	20	10	34.38	12	6	29.20	7	11	1	17.861	6	16	0.29	11	58	6.21		
24	8	12	6.579	19	58	19.32	12	6	30.70	8	11	4	53.993	5	53	33.43	11	57	45.70		
25	8	16	4.324	19	45	44.33	12	6	31.58	9	11	8	29.955	5	31	0.64	11	57	25.04		
26	8	20	1.463	19	32	49.66	12	6	31.86	10	11	12	5.764	5	8	22.26	11	57	4.23		
27	8	23	57.992	19	19	35.59	12	6	31.52	11	11	15	41.436	4	45	38.63	11	56	43.29		
28	8	27	53.907	19	6	2.38	12	6	30.56	12	11	19	16.986	4	22	50.07	11	56	22.25		
29	8	31	49.207	18	52	10.30	12	6	28.99	13	11	22	52.432	3	59	56.94	11	56	1.10		
30	8	35	43.890	18	37	59.64	12	6	26.80	14	11	26	27.790	3	36	59.57	11	55	39.88		
31	8	39	37.959	18	23	30.65	12	6	24.00	15	11	30	3.078	3	13	58.30	11	55	18.60		
Août	1	8	43	31.414	18	8	43.61	12	6	20.60	16	11	33	38.312	2	50	53.47	11	54	57.27	
2	8	47	24.262	17	53	38.79	12	6	16.59	17	11	37	13.511	2	27	45.42	11	54	35.92		
3	8	51	16.506	17	38	16.44	12	6	11.98	18	11	40	48.693	2	4	34.50	11	54	14.55		
4	8	55	8.156	17	22	36.84	12	6	6.78	19	11	44	23.875	1	41	21.04	11	53	53.19		
5	8	58	59.217	17	6	40.26	12	6	1.00	20	11	47	59.075	1	18	5.40	11	53	31.86		
6	9	2	49.699	16	50	26.99	12	5	54.64	21	11	51	34.312	0	54	47.91	11	53	10.57		
7	9	6	39.605	16	33	57.32	12	5	47.71	22	11	55	9.604	0	31	28.92	11	52	49.34		
8	9	10	28.942	16	17	11.56	12	5	40.20	23	11	58	44.970	0	8	8.78	11	52	28.20		
9	9	14	17.712	16	0	10.03	12	5	32.13	24	12	2	20.429	-	0	15	12.16	11	52	7.17	
10	9	18	5.918	15	42	53.04	12	5	23.49	25	12	5	56.003	-	0	38	33.57	11	51	46.26	
11	9	21	53.562	15	25	20.91	12	5	14.30	26	12	9	31.713	-	1	1	55.12	11	51	25.50	
12	9	25	40.648	15	7	33.97	12	5	4.55	27	12	13	7.584	-	1	25	16.47	11	51	4.92	
13	9	29	27.179	14	49	32.54	12	4	54.25	28	12	16	43.643	-	1	48	37.31	11	50	44.54	
14	9	33	13.158	14	31	16.93	12	4	43.40	29	12	20	19.917	-	2	11	57.33	11	50	24.39	
15	9	36	58.591	14	12	47.47	12	4	32.01	30	12	23	56.434	-	2	35	16.22	11	50	4.49	
16	9	40	43.483	13	54	4.48	12	4	20.08	Oct.	1	12	27	33.219	-	2	58	33.65	11	49	44.87
17	9	44	27.842	13	35	8.28	12	4	7.63	2	12	31	10.298	-	3	21	49.30	11	49	25.55	

SOLEIL 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s
Oct. 3	12 34 47.692	- 3 45 2.82	11 49 6.55	Nov. 18	15 31 53.606	-19 5 17.11	11 45 6.33
4	12 38 25.423	- 4 8 13.86	11 48 47.90	19	15 36 2.647	-19 19 36.29	11 45 19.21
5	12 42 3.509	- 4 31 22.05	11 48 29.62	20	15 40 12.490	-19 33 34.57	11 45 32.89
6	12 45 41.969	- 4 54 27.02	11 48 11.72	21	15 44 23.127	-19 47 11.56	11 45 47.37
7	12 49 20.822	- 5 17 28.42	11 47 54.22	22	15 48 34.551	-20 0 26.91	11 46 2.63
8	12 53 0.086	- 5 40 25.87	11 47 37.15	23	15 52 46.756	-20 13 20.26	11 46 18.66
9	12 56 39.780	- 6 3 18.99	11 47 20.51	24	15 56 59.736	-20 25 51.27	11 46 35.47
10	13 0 19.919	- 6 26 7.41	11 47 4.33	25	16 1 13.485	-20 37 59.62	11 46 53.04
11	13 4 0.523	- 6 48 50.75	11 46 48.63	26	16 5 27.995	-20 49 44.98	11 47 11.36
12	13 7 41.607	- 7 11 28.64	11 46 33.41	27	16 9 43.254	-21 1 7.03	11 47 30.43
13	13 11 23.189	- 7 34 0.69	11 46 18.69	28	16 13 59.252	-21 12 5.47	11 47 50.23
14	13 15 5.284	- 7 56 26.51	11 46 4.50	29	16 18 15.975	-21 22 39.97	11 48 10.74
15	13 18 47.909	- 8 18 45.72	11 45 50.84	30	16 22 33.406	-21 32 50.24	11 48 31.96
16	13 22 31.078	- 8 40 57.94	11 45 37.73	Déc. 1	16 26 51.529	-21 42 35.96	11 48 53.87
17	13 26 14.807	- 9 3 2.76	11 45 25.18	2	16 31 10.325	-21 51 56.84	11 49 16.44
18	13 29 59.108	- 9 24 59.80	11 45 13.22	3	16 35 29.776	-22 0 52.60	11 49 39.66
19	13 33 43.997	- 9 46 48.65	11 45 1.84	4	16 39 49.858	-22 9 22.96	11 50 3.50
20	13 37 29.486	-10 8 28.91	11 44 51.08	5	16 44 10.551	-22 17 27.66	11 50 27.94
21	13 41 15.590	-10 30 0.19	11 44 40.93	6	16 48 31.828	-22 25 6.44	11 50 52.95
22	13 45 2.322	-10 51 22.08	11 44 31.42	7	16 52 53.665	-22 32 19.08	11 51 18.51
23	13 48 49.698	-11 12 34.18	11 44 22.57	8	16 57 16.034	-22 39 5.33	11 51 44.58
24	13 52 37.733	-11 33 36.10	11 44 14.38	9	17 1 38.906	-22 45 24.98	11 52 11.14
25	13 56 26.446	-11 54 27.45	11 44 6.89	10	17 6 2.250	-22 51 17.83	11 52 38.16
26	14 0 15.855	-12 15 7.86	11 44 0.10	11	17 10 26.035	-22 56 43.69	11 53 5.60
27	14 4 5.981	-12 35 36.93	11 43 54.03	12	17 14 50.225	-23 1 42.37	11 53 33.42
28	14 7 56.843	-12 55 54.32	11 43 48.71	13	17 19 14.786	-23 6 13.72	11 54 1.60
29	14 11 48.461	-13 15 59.65	11 43 44.14	14	17 23 39.681	-23 10 17.57	11 54 30.09
30	14 15 40.849	-13 35 52.54	11 43 40.36	15	17 28 4.873	-23 13 53.78	11 54 58.87
31	14 19 34.024	-13 55 32.60	11 43 37.36	16	17 32 30.324	-23 17 2.22	11 55 27.89
Nov. 1	14 23 27.996	-14 14 59.43	11 43 35.17	17	17 36 55.999	-23 19 42.76	11 55 57.12
2	14 27 22.777	-14 34 12.63	11 43 33.79	18	17 41 21.862	-23 21 55.31	11 56 26.52
3	14 31 18.376	-14 53 11.80	11 43 33.23	19	17 45 47.880	-23 23 39.76	11 56 56.06
4	14 35 14.802	-15 11 56.52	11 43 33.51	20	17 50 14.019	-23 24 56.05	11 57 25.70
5	14 39 12.062	-15 30 26.38	11 43 34.63	21	17 54 40.248	-23 25 44.14	11 57 55.42
6	14 43 10.163	-15 48 40.98	11 43 36.60	22	17 59 6.537	-23 26 3.99	11 58 25.18
7	14 47 9.111	-16 6 39.90	11 43 39.41	23	18 3 32.856	-23 25 55.59	11 58 54.95
8	14 51 8.908	-16 24 22.74	11 43 43.07	24	18 7 59.173	-23 25 18.94	11 59 24.71
9	14 55 9.559	-16 41 49.08	11 43 47.59	25	18 12 25.458	-23 24 14.05	11 59 54.41
10	14 59 11.065	-16 58 58.53	11 43 52.97	26	18 16 51.680	-23 22 40.95	12 0 24.04
11	15 3 13.425	-17 15 50.67	11 43 59.19	27	18 21 17.809	-23 20 39.68	12 0 53.56
12	15 7 16.640	-17 32 25.10	11 44 6.27	28	18 25 43.815	-23 18 10.29	12 1 22.94
13	15 11 20.706	-17 48 41.41	11 44 14.19	29	18 30 9.667	-23 15 12.83	12 1 52.16
14	15 15 25.619	-18 4 39.20	11 44 22.96	30	18 34 35.336	-23 11 47.39	12 2 21.18
15	15 19 31.372	-18 20 18.07	11 44 32.56	31	18 39 0.791	-23 7 54.05	12 2 49.97
16	15 23 37.960	-18 35 37.61	11 44 43.00	32	18 43 26.002	-23 3 32.93	12 3 18.51
17	15 27 45.374	-18 50 37.42	11 44 54.25	33	18 47 50.940	-22 58 44.15	12 3 46.75

SOLEIL 2015 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	0.153 922 58	-0.891 082 83	-0.386 298 48	Févr.	15	0.816 454 88	-0.509 855 23	-0.221 029 02
	1	0.171 165 17	-0.888 409 12	-0.385 140 05		16	0.826 296 26	-0.496 667 27	-0.215 311 89
	2	0.188 353 43	-0.885 460 11	-0.383 862 19		17	0.835 883 52	-0.483 325 18	-0.209 528 13
	3	0.205 482 35	-0.882 236 88	-0.382 465 33		18	0.845 213 42	-0.469 833 29	-0.203 679 60
	4	0.222 546 94	-0.878 740 52	-0.380 949 94		19	0.854 282 87	-0.456 196 06	-0.197 768 21
	5	0.239 542 24	-0.874 972 15	-0.379 316 47		20	0.863 088 92	-0.442 418 13	-0.191 795 96
	6	0.256 463 30	-0.870 932 87	-0.377 565 42		21	0.871 628 84	-0.428 504 26	-0.185 764 85
	7	0.273 305 17	-0.866 623 84	-0.375 697 28		22	0.879 900 17	-0.414 459 26	-0.179 676 92
	8	0.290 062 86	-0.862 046 24	-0.373 712 58		23	0.887 900 64	-0.400 287 95	-0.173 534 22
	9	0.306 731 40	-0.857 201 32	-0.371 611 87		24	0.895 628 21	-0.385 995 14	-0.167 338 79
	10	0.323 305 79	-0.852 090 35	-0.369 395 73		25	0.903 080 98	-0.371 585 58	-0.161 092 65
	11	0.339 780 98	-0.846 714 69	-0.367 064 77		26	0.910 257 22	-0.357 063 94	-0.154 797 80
	12	0.356 151 95	-0.841 075 76	-0.364 619 63		27	0.917 155 28	-0.342 434 85	-0.148 456 24
	13	0.372 413 63	-0.835 175 05	-0.362 060 98		28	0.923 773 61	-0.327 702 89	-0.142 069 92
14	0.388 560 94	-0.829 014 14	-0.359 389 55	Mars	1	0.930 110 73	-0.312 872 60	-0.135 640 81	
15	0.404 588 77	-0.822 594 69	-0.356 606 07	2	0.936 165 24	-0.297 948 46	-0.129 170 88		
16	0.420 491 98	-0.815 918 46	-0.353 711 35	3	0.941 935 76	-0.282 934 95	-0.122 662 05		
17	0.436 265 42	-0.808 987 29	-0.350 706 23	4	0.947 421 02	-0.267 836 51	-0.116 116 28		
18	0.451 903 89	-0.801 803 19	-0.347 591 58	5	0.952 619 74	-0.252 657 57	-0.109 535 51		
19	0.467 402 16	-0.794 368 28	-0.344 368 37	6	0.957 530 72	-0.237 402 54	-0.102 921 67		
20	0.482 755 01	-0.786 684 90	-0.341 037 61	7	0.962 152 78	-0.222 075 84	-0.096 276 70		
21	0.497 957 25	-0.778 755 54	-0.337 600 39	8	0.966 484 80	-0.206 681 88	-0.089 602 54		
22	0.513 003 76	-0.770 582 95	-0.334 057 89	9	0.970 525 66	-0.191 225 08	-0.082 901 14		
23	0.527 889 55	-0.762 170 03	-0.330 411 35	10	0.974 274 31	-0.175 709 86	-0.076 174 46		
24	0.542 609 80	-0.753 519 87	-0.326 662 06	11	0.977 729 70	-0.160 140 71	-0.069 424 45		
25	0.557 159 90	-0.744 635 65	-0.322 811 37	12	0.980 890 84	-0.144 522 09	-0.062 653 10		
26	0.571 535 39	-0.735 520 64	-0.318 860 65	13	0.983 756 74	-0.128 858 56	-0.055 862 40		
27	0.585 732 03	-0.726 178 14	-0.314 811 28	14	0.986 326 48	-0.113 154 69	-0.049 054 36		
28	0.599 745 68	-0.716 611 45	-0.310 664 66	15	0.988 599 16	-0.097 415 14	-0.042 231 02		
29	0.613 572 38	-0.706 823 87	-0.306 422 19	16	0.990 573 95	-0.081 644 64	-0.035 394 43		
30	0.627 208 21	-0.696 818 69	-0.302 085 27	17	0.992 250 08	-0.065 848 04	-0.028 546 70		
Févr.	31	0.640 649 39	-0.686 599 20	-0.297 655 30	18	0.993 626 87	-0.050 030 27	-0.021 689 96	
	1	0.653 892 16	-0.676 168 67	-0.293 133 70	19	0.994 703 82	-0.034 196 40	-0.014 826 37	
	2	0.666 932 85	-0.665 530 39	-0.288 521 89	20	0.995 480 57	-0.018 351 59	-0.007 958 14	
3	0.679 767 82	-0.654 687 64	-0.283 821 29	21	0.995 957 02	-0.002 501 05	-0.001 087 48		
4	0.692 393 47	-0.643 643 70	-0.279 033 33	22	0.996 133 30	0.013 349 99	0.005 783 39		
5	0.704 806 22	-0.632 401 88	-0.274 159 47	23	0.996 009 76	0.029 196 35	0.012 652 28		
6	0.717 002 53	-0.620 965 52	-0.269 201 18	24	0.995 586 97	0.045 032 93	0.019 517 02		
7	0.728 978 89	-0.609 337 99	-0.264 159 93	25	0.994 865 65	0.060 854 75	0.026 375 47		
8	0.740 731 77	-0.597 522 69	-0.259 037 22	26	0.993 846 64	0.076 656 93	0.033 225 56		
9	0.752 257 71	-0.585 523 07	-0.253 834 59	27	0.992 530 90	0.092 434 72	0.040 065 23		
10	0.763 553 25	-0.573 342 63	-0.248 553 59	28	0.990 919 41	0.108 183 44	0.046 892 46		
11	0.774 614 93	-0.560 984 93	-0.243 195 77	29	0.989 013 25	0.123 898 51	0.053 705 25		
12	0.785 439 33	-0.548 453 61	-0.237 762 76	30	0.986 813 52	0.139 575 42	0.060 501 66		
13	0.796 023 05	-0.535 752 34	-0.232 256 18	31	0.984 321 38	0.155 209 72	0.067 279 73		
14	0.806 362 69	-0.522 884 92	-0.226 677 70	Avril	1	0.981 538 04	0.170 797 01	0.074 037 53	

SOLEIL 2015 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Avril	2	0.978 464 72	0.186 332 97	0.080 773 17	Mai	18	0.557 500 84	0.774 240 62	0.335 639 78
	3	0.975 102 70	0.201 813 28	0.087 484 75		19	0.543 340 70	0.782 893 50	0.339 390 50
	4	0.971 453 28	0.217 233 70	0.094 170 41		20	0.529 024 60	0.791 321 07	0.343 043 70
	5	0.967 517 79	0.232 590 02	0.100 828 28		21	0.514 557 13	0.799 520 99	0.346 598 37
	6	0.963 297 57	0.247 878 03	0.107 456 51		22	0.499 942 89	0.807 491 08	0.350 053 56
	7	0.958 794 00	0.263 093 56	0.114 053 26		23	0.485 186 50	0.815 229 32	0.353 408 40
	8	0.954 008 46	0.278 232 45	0.120 616 70		24	0.470 292 53	0.822 733 78	0.356 662 03
	9	0.948 942 35	0.293 290 53	0.127 144 99		25	0.455 265 56	0.830 002 67	0.359 813 66
	10	0.943 597 13	0.308 263 59	0.133 636 28		26	0.440 110 13	0.837 034 28	0.362 862 53
	11	0.937 974 25	0.323 147 42	0.140 088 73		27	0.424 830 75	0.843 826 99	0.365 807 91
	12	0.932 075 24	0.337 937 77	0.146 500 49		28	0.409 431 94	0.850 379 29	0.368 649 12
13	0.925 901 67	0.352 630 31	0.152 869 68	29	0.393 918 17	0.856 689 71	0.371 385 49		
14	0.919 455 19	0.367 220 69	0.159 194 42	30	0.378 293 86	0.862 756 88	0.374 016 39		
15	0.912 737 58	0.381 704 47	0.165 472 80	31	0.362 563 45	0.868 579 49	0.376 541 23		
16	0.905 750 76	0.396 077 17	0.171 702 92	Juin	1	0.346 731 28	0.874 156 28	0.378 959 43	
17	0.898 496 79	0.410 334 25	0.177 882 84		2	0.330 801 70	0.879 486 03	0.381 270 44	
18	0.890 977 98	0.424 471 19	0.184 010 65		3	0.314 778 99	0.884 567 58	0.383 473 71	
19	0.883 196 83	0.438 483 50	0.190 084 46		4	0.298 667 38	0.889 399 73	0.385 568 72	
20	0.875 156 03	0.452 366 79	0.196 102 41		5	0.282 471 11	0.893 981 31	0.387 554 94	
21	0.866 858 47	0.466 116 78	0.202 062 67		6	0.266 194 40	0.898 311 11	0.389 431 86	
22	0.858 307 14	0.479 729 36	0.207 963 51	7	0.249 841 49	0.902 387 91	0.391 198 93		
23	0.849 505 16	0.493 200 55	0.213 803 20	8	0.233 416 68	0.906 210 44	0.392 855 63		
24	0.840 455 67	0.506 526 52	0.219 580 10	9	0.216 924 36	0.909 777 43	0.394 401 44		
25	0.831 161 87	0.519 703 59	0.225 292 61	10	0.200 369 00	0.913 087 60	0.395 835 83		
26	0.821 626 98	0.532 728 15	0.230 939 16	11	0.183 755 20	0.916 139 73	0.397 158 32		
27	0.811 854 22	0.545 596 72	0.236 518 23	12	0.167 087 67	0.918 932 62	0.398 368 42		
28	0.801 846 84	0.558 305 90	0.242 028 32	13	0.150 371 27	0.921 465 17	0.399 465 71		
29	0.791 608 10	0.570 852 37	0.247 467 97	14	0.133 610 95	0.923 736 40	0.400 449 79		
30	0.781 141 28	0.583 232 87	0.252 835 74	15	0.116 811 76	0.925 745 46	0.401 320 33		
Mai	1	0.770 449 65	0.595 444 24	0.258 130 24	16	0.099 978 81	0.927 491 67	0.402 077 06	
	2	0.759 536 48	0.607 483 35	0.263 350 07	17	0.083 117 25	0.928 974 49	0.402 719 76	
	3	0.748 405 07	0.619 347 15	0.268 493 89	18	0.066 232 25	0.930 193 58	0.403 248 28	
	4	0.737 058 69	0.631 032 64	0.273 560 35	19	0.049 328 93	0.931 148 71	0.403 662 54	
	5	0.725 500 59	0.642 536 85	0.278 548 15	20	0.032 412 39	0.931 839 84	0.403 962 48	
	6	0.713 734 04	0.653 856 83	0.283 455 97	21	0.015 487 69	0.932 267 02	0.404 148 12	
	7	0.701 762 29	0.664 989 64	0.288 282 52	22	-0.001 440 20	0.932 430 41	0.404 219 52	
	8	0.689 588 59	0.675 932 34	0.293 026 50	23	-0.018 366 34	0.932 330 29	0.404 176 75	
	9	0.677 216 21	0.686 681 97	0.297 686 62	24	-0.035 285 86	0.931 967 00	0.404 019 95	
	10	0.664 648 47	0.697 235 55	0.302 261 58	25	-0.052 193 94	0.931 340 98	0.403 749 27	
	11	0.651 888 74	0.707 590 05	0.306 750 08	26	-0.069 085 83	0.930 452 74	0.403 364 90	
12	0.638 940 47	0.717 742 41	0.311 150 81	27	-0.085 956 84	0.929 302 84	0.402 867 06		
13	0.625 807 21	0.727 689 58	0.315 462 47	28	-0.102 802 34	0.927 891 93	0.402 256 01		
14	0.612 492 65	0.737 428 46	0.319 683 75	29	-0.119 617 78	0.926 220 69	0.401 532 00		
15	0.599 000 65	0.746 955 98	0.323 813 37	30	-0.136 398 67	0.924 289 87	0.400 695 33		
16	0.585 335 21	0.756 269 12	0.327 850 06	Juill.	1	-0.153 140 62	0.922 100 20	0.399 746 31	
17	0.571 500 49	0.765 364 94	0.331 792 59		2	-0.169 839 28	0.919 652 45	0.398 685 24	

SOLEIL 2015 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z			
	ua	ua	ua		ua	ua	ua			
Juill.	3	-0.186 490 36	0.916 947 33	0.397 512 44	Août	18	-0.824 683 56	0.538 781 71	0.233 572 33	
	4	-0.203 089 59	0.913 985 55	0.396 228 20		19	-0.834 264 19	0.525 900 05	0.227 988 67	
	5	-0.219 632 71	0.910 767 76	0.394 832 84		20	-0.843 605 32	0.512 868 64	0.222 340 08	
	6	-0.236 115 39	0.907 294 59	0.393 326 65		21	-0.852 704 23	0.499 691 41	0.216 628 20	
	7	-0.252 533 22	0.903 566 66	0.391 709 93		22	-0.861 558 34	0.486 372 28	0.210 854 73	
	8	-0.268 881 71	0.899 584 60	0.389 983 01		23	-0.870 165 16	0.472 915 23	0.205 021 35	
	9	-0.285 156 27	0.895 349 13	0.388 146 22		24	-0.878 522 32	0.459 324 22	0.199 129 76	
	10	-0.301 352 21	0.890 861 01	0.386 199 94		25	-0.886 627 59	0.445 603 22	0.193 181 66	
	11	-0.317 464 77	0.886 121 14	0.384 144 62		26	-0.894 478 84	0.431 756 17	0.187 178 75	
	12	-0.333 489 12	0.881 130 56	0.381 980 71		27	-0.902 074 07	0.417 786 99	0.181 122 73	
	13	-0.349 420 40	0.875 890 43	0.379 708 76		28	-0.909 411 34	0.403 699 53	0.175 015 26	
	14	-0.365 253 75	0.870 402 10	0.377 329 35		29	-0.916 488 78	0.389 497 55	0.168 858 01	
	15	-0.380 984 32	0.864 667 03	0.374 843 14		30	-0.923 304 54	0.375 184 75	0.162 652 61	
	16	-0.396 607 30	0.858 686 86	0.372 250 83		31	-0.929 856 74	0.360 764 77	0.156 400 67	
	17	-0.412 117 94	0.852 463 36	0.369 553 17		Sept.	1	-0.936 143 42	0.346 241 23	0.150 103 81
	18	-0.427 511 55	0.845 998 43	0.366 750 98			2	-0.942 162 56	0.331 617 75	0.143 763 66
	19	-0.442 783 55	0.839 294 05	0.363 845 09			3	-0.947 912 08	0.316 898 05	0.137 381 87
20	-0.457 929 43	0.832 352 35	0.360 836 40	4	-0.953 389 84		0.302 085 97	0.130 960 13		
21	-0.472 944 77	0.825 175 49	0.357 725 82	5	-0.958 593 72		0.287 185 43	0.124 500 20		
22	-0.487 825 25	0.817 765 74	0.354 514 30	6	-0.963 521 66		0.272 200 54	0.118 003 84		
23	-0.502 566 64	0.810 125 43	0.351 202 82	7	-0.968 171 64		0.257 135 48	0.111 472 91		
24	-0.517 164 78	0.802 256 94	0.347 792 39	8	-0.972 541 74		0.241 994 58	0.104 909 25		
25	-0.531 615 63	0.794 162 71	0.344 284 04	9	-0.976 630 15		0.226 782 25	0.098 314 78		
26	-0.545 915 23	0.785 845 24	0.340 678 81	10	-0.980 435 17		0.211 502 99	0.091 691 43		
27	-0.560 059 71	0.777 307 05	0.336 977 78	11	-0.983 955 23		0.196 161 37	0.085 041 17		
28	-0.574 045 33	0.768 550 68	0.333 182 02	12	-0.987 188 90		0.180 762 01	0.078 365 97		
29	-0.587 868 42	0.759 578 70	0.329 292 63	13	-0.990 134 85		0.165 309 62	0.071 667 84		
30	-0.601 525 43	0.750 393 64	0.325 310 71	14	-0.992 791 93		0.149 808 91	0.064 948 81		
31	-0.615 012 85	0.740 997 99	0.321 237 32	15	-0.995 159 09		0.134 264 63	0.058 210 89		
Août	1	-0.628 327 24	0.731 394 22	0.317 073 56	16		-0.997 235 44	0.118 681 57	0.051 456 13	
	2	-0.641 465 15	0.721 584 71	0.312 820 47	17		-0.999 020 22	0.103 064 49	0.044 686 57	
	3	-0.654 423 09	0.711 571 80	0.308 479 12	18	-1.000 512 80	0.087 418 20	0.037 904 26		
	4	-0.667 197 50	0.701 357 84	0.304 050 55	19	-1.001 712 71	0.071 747 45	0.031 111 24		
	5	-0.679 784 75	0.690 945 19	0.299 535 85	20	-1.002 619 59	0.056 057 01	0.024 309 56		
	6	-0.692 181 09	0.680 336 30	0.294 936 11	21	-1.003 233 21	0.040 351 62	0.017 501 23		
	7	-0.704 382 76	0.669 533 72	0.290 252 49	22	-1.003 553 47	0.024 635 95	0.010 688 29		
	8	-0.716 385 91	0.658 540 11	0.285 486 16	23	-1.003 580 42	0.008 914 65	0.003 872 74		
	9	-0.728 186 73	0.647 358 30	0.280 638 39	24	-1.003 314 17	-0.006 807 73	-0.002 943 44		
	10	-0.739 781 41	0.635 991 24	0.275 710 45	25	-1.002 754 97	-0.022 526 71	-0.009 758 30		
	11	-0.751 166 19	0.624 442 02	0.270 703 71	26	-1.001 903 09	-0.038 237 92	-0.016 569 92		
	12	-0.762 337 37	0.612 713 86	0.265 619 55	27	-1.000 758 85	-0.053 937 09	-0.023 376 41		
	13	-0.773 291 34	0.600 810 11	0.260 459 42	28	-0.999 322 51	-0.069 620 02	-0.030 175 91		
	14	-0.784 024 57	0.588 734 23	0.255 224 80	29	-0.997 594 32	-0.085 282 56	-0.036 966 56		
	15	-0.794 533 65	0.576 489 78	0.249 917 22	30	-0.995 574 43	-0.100 920 57	-0.043 746 53		
	16	-0.804 815 28	0.564 080 38	0.244 538 22	Oct.	1	-0.993 262 95	-0.116 529 83	-0.050 513 93	
	17	-0.814 866 28	0.551 509 77	0.239 089 38		2	-0.990 659 97	-0.132 106 02	-0.057 266 86	

SOLEIL 2015 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Oct.	3	-0.987 765 62	-0.147 644 74	-0.064 003 39	Nov.	18	-0.565 671 53	-0.743 935 40	-0.322 498 47
	4	-0.984 580 09	-0.163 141 46	-0.070 721 55		19	-0.551 190 95	-0.752 788 81	-0.326 337 13
	5	-0.981 103 67	-0.178 591 56	-0.077 419 33		20	-0.536 542 84	-0.761 410 56	-0.330 075 45
	6	-0.977 336 78	-0.193 990 35	-0.084 094 70		21	-0.521 731 85	-0.769 798 18	-0.333 712 35
	7	-0.973 279 97	-0.209 333 08	-0.090 745 63		22	-0.506 762 55	-0.777 949 34	-0.337 246 76
	8	-0.968 933 94	-0.224 614 96	-0.097 370 06		23	-0.491 639 50	-0.785 861 82	-0.340 677 68
	9	-0.964 299 50	-0.239 831 18	-0.103 965 93		24	-0.476 367 15	-0.793 533 47	-0.344 004 15
	10	-0.959 377 63	-0.254 976 91	-0.110 531 16		25	-0.460 949 90	-0.800 962 20	-0.347 225 20
	11	-0.954 169 45	-0.270 047 33	-0.117 063 71		26	-0.445 392 08	-0.808 145 91	-0.350 339 89
	12	-0.948 676 20	-0.285 037 59	-0.123 561 49		27	-0.429 697 99	-0.815 082 47	-0.353 347 28
	13	-0.942 899 28	-0.299 942 88	-0.130 022 45		28	-0.413 871 97	-0.821 769 72	-0.356 246 42
	14	-0.936 840 24	-0.314 758 41	-0.136 444 55		29	-0.397 918 37	-0.828 205 44	-0.359 036 36
15	-0.930 500 77	-0.329 479 41	-0.142 825 75	30	-0.381 841 67	-0.834 387 41	-0.361 716 15		
16	-0.923 882 69	-0.344 101 18	-0.149 164 03	Déc.	1	-0.365 646 41	-0.840 313 43	-0.364 284 84	
17	-0.916 987 97	-0.358 619 04	-0.155 457 40		2	-0.349 337 29	-0.845 981 30	-0.366 741 51	
18	-0.909 818 71	-0.373 028 40	-0.161 703 87	3	-0.332 919 07	-0.851 388 89	-0.369 085 26		
19	-0.902 377 13	-0.387 324 75	-0.167 901 51	4	-0.316 396 64	-0.856 534 12	-0.371 315 22		
20	-0.894 665 56	-0.401 503 66	-0.174 048 39	5	-0.299 774 99	-0.861 414 99	-0.373 430 56		
21	-0.886 686 46	-0.415 560 79	-0.180 142 65	6	-0.283 059 19	-0.866 029 59	-0.375 430 48		
22	-0.878 442 37	-0.429 491 92	-0.186 182 43	7	-0.266 254 41	-0.870 376 08	-0.377 314 21		
23	-0.869 935 88	-0.443 292 97	-0.192 165 95	8	-0.249 365 90	-0.874 452 75	-0.379 081 02		
24	-0.861 169 65	-0.456 959 95	-0.198 091 46	9	-0.232 399 00	-0.878 257 94	-0.380 730 24		
25	-0.852 146 34	-0.470 489 03	-0.203 957 25	10	-0.215 359 13	-0.881 790 13	-0.382 261 23		
26	-0.842 868 55	-0.483 876 45	-0.209 761 64	11	-0.198 251 80	-0.885 047 94	-0.383 673 40		
27	-0.833 338 87	-0.497 118 52	-0.215 502 99	12	-0.181 082 60	-0.888 030 09	-0.384 966 23		
28	-0.823 559 81	-0.510 211 60	-0.221 179 67	13	-0.163 857 17	-0.890 735 48	-0.386 139 22		
29	-0.813 533 81	-0.523 151 99	-0.226 790 03	14	-0.146 581 19	-0.893 163 17	-0.387 191 98		
30	-0.803 263 33	-0.535 935 94	-0.232 332 43	15	-0.129 260 39	-0.895 312 38	-0.388 124 17		
31	-0.792 750 84	-0.548 559 61	-0.237 805 18	16	-0.111 900 49	-0.897 182 51	-0.388 935 49		
Nov.	1	-0.781 998 89	-0.561 019 11	-0.243 206 60	17	-0.094 507 16	-0.898 773 15	-0.389 625 76	
	2	-0.771 010 17	-0.573 310 48	-0.248 534 96	18	-0.077 086 05	-0.900 084 03	-0.390 194 80	
	3	-0.759 787 44	-0.585 429 73	-0.253 788 55	19	-0.059 642 71	-0.901 115 04	-0.390 642 55	
	4	-0.748 333 65	-0.597 372 86	-0.258 965 67	20	-0.042 182 63	-0.901 866 19	-0.390 968 96	
	5	-0.736 651 85	-0.609 135 88	-0.264 064 60	21	-0.024 711 16	-0.902 337 59	-0.391 174 04	
	6	-0.724 745 26	-0.620 714 83	-0.269 083 66	22	-0.007 233 56	-0.902 529 40	-0.391 257 82	
	7	-0.712 617 20	-0.632 105 78	-0.274 021 17	23	0.010 245 00	-0.902 441 85	-0.391 220 36	
	8	-0.700 271 13	-0.643 304 85	-0.278 875 48	24	0.027 719 44	-0.902 075 16	-0.391 061 75	
	9	-0.687 710 64	-0.654 308 20	-0.283 644 95	25	0.045 184 73	-0.901 429 54	-0.390 782 05	
	10	-0.674 939 46	-0.665 112 04	-0.288 327 98	26	0.062 635 86	-0.900 505 20	-0.390 381 35	
	11	-0.661 961 42	-0.675 712 69	-0.292 922 99	27	0.080 067 81	-0.899 302 32	-0.389 859 76	
	12	-0.648 780 50	-0.686 106 49	-0.297 428 42	28	0.097 475 53	-0.897 821 10	-0.389 217 35	
13	-0.635 400 79	-0.696 289 92	-0.301 842 78	29	0.114 853 89	-0.896 061 76	-0.388 454 26		
14	-0.621 826 52	-0.706 259 53	-0.306 164 58	30	0.132 197 72	-0.894 024 55	-0.387 570 63		
15	-0.608 062 00	-0.716 012 01	-0.310 392 40	31	0.149 501 78	-0.891 709 80	-0.386 566 62		
16	-0.594 111 65	-0.725 544 16	-0.314 524 87	32	0.166 760 78	-0.889 117 91	-0.385 442 45		
17	-0.579 979 97	-0.734 852 93	-0.318 560 65	33	0.183 969 38	-0.886 249 40	-0.384 198 35		

LUNE

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

LUNE 2015 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 2 22 21.244	12 10 35.43	380 146.768	Janv. 11	0 11 35 41.172	0 46 49.06	404 561.777
	6 2 35 41.264	12 58 42.86	381 002.309		6 11 46 54.928	- 0 9 45.21	404 175.480
	12 2 49 3.050	13 44 6.36	381 857.342		12 11 58 9.893	- 1 6 23.40	403 714.104
	18 3 2 26.620	14 26 37.79	382 711.213		18 12 9 26.714	- 2 2 58.74	403 177.098
1	0 3 15 51.925	15 6 9.60	383 563.394	12	0 12 20 46.049	- 2 59 24.38	402 564.258
	6 3 29 18.845	15 42 34.81	384 413.459		6 12 32 8.561	- 3 55 33.35	401 875.743
	12 3 42 47.193	16 15 47.14	385 261.056		12 12 43 34.914	- 4 51 18.52	401 112.092
	18 3 56 16.715	16 45 40.98	386 105.879		18 12 55 5.779	- 5 46 32.55	400 274.244
2	0 4 9 47.096	17 12 11.49	386 947.642	13	0 13 6 41.819	- 6 41 7.86	399 363.544
	6 4 23 17.962	17 35 14.61	387 786.053		6 13 18 23.695	- 7 34 56.60	398 381.764
	12 4 36 48.891	17 54 47.12	388 620.789		12 13 30 12.059	- 8 27 50.60	397 331.111
	18 4 50 19.416	18 10 46.61	389 451.472		18 13 42 7.548	- 9 19 41.33	396 214.233
3	0 5 3 49.034	18 23 11.61	390 277.645	14	0 13 54 10.779	-10 10 19.89	395 034.229
	6 5 17 17.220	18 32 1.49	391 098.752		6 14 6 22.348	-10 59 36.97	393 794.651
	12 5 30 43.428	18 37 16.54	391 914.124		12 14 18 42.814	-11 47 22.85	392 499.503
	18 5 44 7.111	18 38 57.92	392 722.955		18 14 31 12.703	-12 33 27.37	391 153.243
4	0 5 57 27.723	18 37 7.68	393 524.296	15	0 14 43 52.489	-13 17 39.96	389 760.773
	6 6 10 44.734	18 31 48.69	394 317.041		6 14 56 42.595	-13 59 49.62	388 327.431
	12 6 23 57.637	18 23 4.62	395 099.917		12 15 9 43.374	-14 39 44.99	386 858.978
	18 6 37 5.959	18 10 59.90	395 871.482		18 15 22 55.110	-15 17 14.34	385 361.575
5	0 6 50 9.264	17 55 39.62	396 630.119	16	0 15 36 17.997	-15 52 5.70	383 841.766
	6 7 3 7.167	17 37 9.53	397 374.038		6 15 49 52.140	-16 24 6.90	382 306.446
	12 7 15 59.334	17 15 35.93	398 101.278		12 16 3 37.537	-16 53 5.70	380 762.825
	18 7 28 45.485	16 51 5.59	398 809.714		18 16 17 34.077	-17 18 49.87	379 218.395
6	0 7 41 25.404	16 23 45.71	399 497.061	17	0 16 31 41.529	-17 41 7.40	377 680.880
	6 7 53 58.934	15 53 43.81	400 160.886		6 16 45 59.541	-17 59 46.62	376 158.185
	12 8 6 25.982	15 21 7.71	400 798.622		12 17 0 27.633	-18 14 36.42	374 658.344
	18 8 18 46.515	14 46 5.39	401 407.580		18 17 15 5.204	-18 25 26.41	373 189.458
7	0 8 31 0.562	14 8 45.00	401 984.966	18	0 17 29 51.529	-18 32 7.15	371 759.624
	6 8 43 8.212	13 29 14.74	402 527.898		6 17 44 45.773	-18 34 30.35	370 376.870
	12 8 55 9.609	12 47 42.85	403 033.427		12 17 59 46.996	-18 32 29.10	369 049.081
	18 9 7 4.951	12 4 17.54	403 498.557		18 18 14 54.174	-18 25 58.01	367 783.919
8	0 9 18 54.489	11 19 6.98	403 920.265	19	0 18 30 6.213	-18 14 53.44	366 588.750
	6 9 30 38.516	10 32 19.21	404 295.526		6 18 45 21.969	-17 59 13.61	365 470.562
	12 9 42 17.375	9 44 2.20	404 621.336		12 19 0 40.274	-17 38 58.73	364 435.891
	18 9 53 51.444	8 54 23.75	404 894.734		18 19 15 59.957	-17 14 11.06	363 490.747
9	0 10 5 21.142	8 3 31.51	405 112.828	20	0 19 31 19.867	-16 44 54.95	362 640.543
	6 10 16 46.917	7 11 33.01	405 272.820		6 19 46 38.899	-16 11 16.85	361 890.036
	12 10 28 9.253	6 18 35.60	405 372.029		12 20 1 56.011	-15 33 25.22	361 243.264
	18 10 39 28.659	5 24 46.47	405 407.919		18 20 17 10.246	-14 51 30.43	360 703.505
10	0 10 50 45.668	4 30 12.72	405 378.116	21	0 20 32 20.742	-14 5 44.66	360 273.238
	6 11 2 0.838	3 35 1.29	405 280.444		6 20 47 26.748	-13 16 21.70	359 954.116
	12 11 13 14.745	2 39 19.03	405 112.936		12 21 2 27.633	-12 23 36.77	359 746.953
	18 11 24 27.986	1 43 12.71	404 873.869		18 21 17 22.882	-11 27 46.32	359 651.724

LUNE 2015 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	21 32 12.107	-10 29 7.78	359 667.571	Févr. 2 0	7 27 41.905	16 50 51.83	400 394.801
	6 21 46 55.036	- 9 27 59.36	359 792.831		6 7 40 15.728	16 24 47.45	401 006.553
	12 22 1 31.512	- 8 24 39.82	360 025.065		12 7 52 44.050	15 56 1.48	401 586.820
	18 22 16 1.488	- 7 19 28.28	360 361.109		18 8 5 6.785	15 24 40.87	402 135.474
23 0	22 30 25.011	- 6 12 43.98	360 797.123	3 0	8 17 23.889	14 50 52.82	402 652.291
	6 22 44 42.218	- 5 4 46.11	361 328.655		6 8 29 35.368	14 14 44.75	403 136.932
	12 22 58 53.323	- 3 55 53.70	361 950.714		12 8 41 41.269	13 36 24.26	403 588.940
	18 23 12 58.605	- 2 46 25.39	362 657.837		18 8 53 41.687	12 55 59.07	404 007.731
24 0	23 26 58.398	- 1 36 39.40	363 444.172	4 0	9 5 36.758	12 13 36.99	404 392.594
	6 23 40 53.081	- 0 26 53.37	364 303.555		6 9 17 26.659	11 29 25.88	404 742.682
	12 23 54 43.062	0 42 35.69	365 229.587		12 9 29 11.609	10 43 33.66	405 057.022
	18 0 8 28.775	1 51 31.44	366 215.715		18 9 40 51.861	9 56 8.21	405 334.510
25 0	0 22 10.666	2 59 38.31	367 255.305	5 0	9 52 27.704	9 7 17.40	405 573.923
	6 0 35 49.185	4 6 41.44	368 341.713		6 10 3 59.460	8 17 9.07	405 773.922
	12 0 49 24.777	5 12 26.78	369 468.350		12 10 15 27.480	7 25 51.00	405 933.061
	18 1 2 57.874	6 16 41.03	370 628.746		18 10 26 52.145	6 33 30.87	406 049.805
26 0	1 16 28.893	7 19 11.67	371 816.602	6 0	10 38 13.860	5 40 16.33	406 122.535
	6 1 29 58.220	8 19 46.93	373 025.838		6 10 49 33.055	4 46 14.91	406 149.571
	12 1 43 26.214	9 18 15.79	374 250.635		12 11 0 50.179	3 51 34.08	406 129.181
	18 1 56 53.194	10 14 27.96	375 485.471		18 11 12 5.705	2 56 21.23	406 059.607
27 0	2 10 19.442	11 8 13.86	376 725.147	7 0	11 23 20.119	2 0 43.68	405 939.079
	6 2 23 45.191	11 59 24.62	377 964.812		6 11 34 33.928	1 4 48.69	405 765.842
	12 2 37 10.628	12 47 52.03	379 199.974		12 11 45 47.649	0 8 43.46	405 538.170
	18 2 50 35.889	13 33 28.59	380 426.513		18 11 57 1.815	- 0 47 24.82	405 254.395
28 0	3 4 1.057	14 16 7.45	381 640.687	8 0	12 8 16.968	- 1 43 29.00	404 912.931
	6 3 17 26.164	14 55 42.43	382 839.124		6 12 19 33.662	- 2 39 21.91	404 512.294
	12 3 30 51.185	15 32 8.02	384 018.827		12 12 30 52.455	- 3 34 56.35	404 051.131
	18 3 44 16.044	16 5 19.36	385 177.155		18 12 42 13.916	- 4 30 5.07	403 528.244
29 0	3 57 40.616	16 35 12.28	386 311.815	9 0	12 53 38.614	- 5 24 40.76	402 942.615
	6 4 11 4.724	17 1 43.29	387 420.847		6 13 5 7.121	- 6 18 36.00	402 293.433
	12 4 24 28.149	17 24 49.56	388 502.601		12 13 16 40.008	- 7 11 43.23	401 580.118
	18 4 37 50.630	17 44 28.97	389 555.717		18 13 28 17.844	- 8 3 54.77	400 802.346
30 0	4 51 11.871	18 0 40.09	390 579.103	10 0	13 40 1.191	- 8 55 2.72	399 960.078
	6 5 4 31.547	18 13 22.17	391 571.911		6 13 51 50.601	- 9 44 59.01	399 053.578
	12 5 17 49.307	18 22 35.19	392 533.507		12 14 3 46.612	-10 33 35.34	398 083.439
	18 5 31 4.786	18 28 19.79	393 463.450		18 14 15 49.744	-11 20 43.17	397 050.609
31 0	5 44 17.609	18 30 37.30	394 361.457	11 0	14 28 0.496	-12 6 13.69	395 956.407
	6 5 57 27.399	18 29 29.72	395 227.387		6 14 40 19.337	-12 49 57.86	394 802.546
	12 6 10 33.782	18 24 59.70	396 061.201		12 14 52 46.702	-13 31 46.34	393 591.149
	18 6 23 36.398	18 17 10.52	396 862.947		18 15 5 22.986	-14 11 29.53	392 324.765
Févr. 1 0	6 36 34.902	18 6 6.07	397 632.726	12 0	15 18 8.538	-14 48 57.62	391 006.386
	6 6 49 28.977	17 51 50.76	398 370.670		6 15 31 3.652	-15 24 0.54	389 639.454
	12 7 2 18.333	17 34 29.58	399 076.920		12 15 44 8.561	-15 56 28.06	388 227.869
	18 7 15 2.715	17 14 7.97	399 751.601		18 15 57 23.430	-16 26 9.80	386 775.997

LUNE 2015 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 16 10 48.349	-16 52 55.32	385 288.666	Févr. 24	0 2 48 30.702	13 13 13.10	374 562.833
	6 16 24 23.327	-17 16 34.20	383 771.164		6 3 2 19.213	13 57 32.51	376 058.769
	12 16 38 8.286	-17 36 56.11	382 229.231		12 3 16 6.002	14 38 35.73	377 559.537
	18 16 52 3.055	-17 53 50.95	380 669.043		18 3 29 50.969	15 16 17.52	379 058.414
14	0 17 6 7.370	-18 7 8.96	379 097.194	25	0 3 43 33.983	15 50 33.59	380 549.051
	6 17 20 20.870	-18 16 40.87	377 520.670		6 3 57 14.877	16 21 20.58	382 025.506
	12 17 34 43.101	-18 22 18.03	375 946.816		12 4 10 53.455	16 48 35.94	383 482.255
	18 17 49 13.514	-18 23 52.59	374 383.297		18 4 24 29.495	17 12 18.01	384 914.210
15	0 18 3 51.477	-18 21 17.68	372 838.053	26	0 4 38 2.755	17 32 25.90	386 316.728
	6 18 18 36.277	-18 14 27.52	371 319.243		6 4 51 32.975	17 48 59.48	387 685.605
	12 18 33 27.135	-18 3 17.64	369 835.190		12 5 4 59.884	18 1 59.33	389 017.084
	18 18 48 23.215	-17 47 45.00	368 394.310		18 5 18 23.208	18 11 26.74	390 307.842
16	0 19 3 23.641	-17 27 48.13	367 005.041	27	0 5 31 42.669	18 17 23.63	391 554.979
	6 19 18 27.513	-17 3 27.27	365 675.763		6 5 44 57.998	18 19 52.50	392 756.011
	12 19 33 33.922	-16 34 44.45	364 414.715		12 5 58 8.933	18 18 56.45	393 908.848
	18 19 48 41.967	-16 1 43.53	363 229.909		18 6 11 15.231	18 14 39.08	395 011.777
17	0 20 3 50.774	-15 24 30.28	362 129.037	28	0 6 24 16.665	18 7 4.47	396 063.441
	6 20 18 59.509	-14 43 12.36	361 119.384		6 6 37 13.034	17 56 17.16	397 062.817
	12 20 34 7.392	-13 57 59.29	360 207.738		12 6 50 4.164	17 42 22.08	398 009.196
	18 20 49 13.711	-13 9 2.39	359 400.300		18 7 2 49.911	17 25 24.52	398 902.149
18	0 21 4 17.830	-12 16 34.66	358 702.608	Mars 1	0 7 15 30.162	17 5 30.11	399 741.510
	6 21 19 19.196	-11 20 50.70	358 119.455		6 7 28 4.841	16 42 44.77	400 527.348
	12 21 34 17.342	-10 22 6.52	357 654.829		12 7 40 33.904	16 17 14.67	401 259.936
	18 21 49 11.893	-9 20 39.37	357 311.850		18 7 52 57.343	15 49 6.22	401 939.730
19	0 22 4 2.560	-8 16 47.57	357 092.733	2	0 8 5 15.190	15 18 26.01	402 567.340
	6 22 18 49.141	-7 10 50.30	356 998.752		6 8 17 27.506	14 45 20.81	403 143.503
	12 22 33 31.514	-6 3 7.41	357 030.225		12 8 29 34.393	14 9 57.55	403 669.060
	18 22 48 9.631	-4 53 59.16	357 186.510		18 8 41 35.983	13 32 23.24	404 144.928
20	0 23 2 43.514	-3 43 46.09	357 466.022	3	0 8 53 32.442	12 52 45.03	404 572.079
	6 23 17 13.240	-2 32 48.77	357 866.255		6 9 5 23.965	12 11 10.13	404 951.514
	12 23 31 38.938	-1 21 27.61	358 383.826		12 9 17 10.780	11 27 45.83	405 284.244
	18 23 46 0.776	-0 10 2.75	359 014.524		18 9 28 53.139	10 42 39.47	405 571.267
21	0 0 0 18.954	1 1 6.17	359 753.379	4	0 9 40 31.321	9 55 58.43	405 813.549
	6 0 14 33.694	2 11 40.12	360 594.731		6 9 52 5.630	9 7 50.12	406 012.009
	12 0 28 45.231	3 21 20.76	361 532.312		12 10 3 36.391	8 18 21.98	406 167.501
	18 0 42 53.805	4 29 50.62	362 559.331		18 10 15 3.949	7 27 41.46	406 280.799
22	0 0 56 59.653	5 36 53.10	363 668.566	5	0 10 26 28.668	6 35 56.04	406 352.588
	6 1 11 3.001	6 42 12.60	364 852.451		6 10 37 50.930	5 43 13.19	406 383.450
	12 1 25 4.058	7 45 34.51	366 103.169		12 10 49 11.129	4 49 40.41	406 373.862
	18 1 39 3.014	8 46 45.29	367 412.739		18 11 0 29.676	3 55 25.20	406 324.181
23	0 1 53 0.027	9 45 32.46	368 773.101	6	0 11 11 46.992	3 0 35.06	406 234.649
	6 2 6 55.227	10 41 44.62	370 176.196		6 11 23 3.511	2 5 17.52	406 105.387
	12 2 20 48.708	11 35 11.45	371 614.042		12 11 34 19.674	1 9 40.12	405 936.397
	18 2 34 40.527	12 25 43.68	373 078.799		18 11 45 35.931	0 13 50.42	405 727.564

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mars 7 0	11 56 52.738	- 0 42 4.00	405 478.661	Mars 18 0	21 36 44.302	-10 9 16.68	360 659.574
6	12 8 10.557	- 1 37 55.53	405 189.360	6	21 51 22.942	- 9 8 57.97	359 895.885
12	12 19 29.854	- 2 33 36.52	404 859.235	12	22 6 0.341	- 8 6 11.47	359 232.730
18	12 30 51.095	- 3 28 59.28	404 487.779	18	22 20 36.393	- 7 1 13.85	358 675.473
8 0	12 42 14.748	- 4 23 56.05	404 074.416	19 0	22 35 11.044	- 5 54 22.77	358 228.821
6	12 53 41.282	- 5 18 19.04	403 618.515	6	22 49 44.285	- 4 45 56.70	357 896.745
12	13 5 11.159	- 6 12 0.38	403 119.408	12	23 4 16.144	- 3 36 14.82	357 682.426
18	13 16 44.839	- 7 4 52.11	402 576.411	18	23 18 46.681	- 2 25 36.80	357 588.199
9 0	13 28 22.774	- 7 56 46.21	401 988.842	20 0	23 33 15.984	- 1 14 22.68	357 615.516
6	13 40 5.408	- 8 47 34.57	401 356.041	6	23 47 44.156	- 0 2 52.70	357 764.916
12	13 51 53.169	- 9 37 8.96	400 677.398	12	0 2 11.310	1 8 32.88	358 036.015
18	14 3 46.475	-10 25 21.07	399 952.375	18	0 16 37.562	2 19 33.97	358 427.507
10 0	14 15 45.721	-11 12 2.50	399 180.531	21 0	0 31 3.022	3 29 50.77	358 937.174
6	14 27 51.285	-11 57 4.72	398 361.544	6	0 45 27.788	4 39 3.97	359 561.923
12	14 40 3.516	-12 40 19.12	397 495.247	12	0 59 51.936	5 46 54.88	360 297.819
18	14 52 22.737	-13 21 37.01	396 581.642	18	1 14 15.520	6 53 5.59	361 140.143
11 0	15 4 49.235	-14 0 49.59	395 620.939	22 0	1 28 38.558	7 57 19.05	362 083.451
6	15 17 23.264	-14 37 48.02	394 613.573	6	1 43 1.035	8 59 19.23	363 121.648
12	15 30 5.033	-15 12 23.43	393 560.236	12	1 57 22.895	9 58 51.22	364 248.064
18	15 42 54.708	-15 44 26.91	392 461.900	18	2 11 44.040	10 55 41.25	365 455.537
12 0	15 55 52.404	-16 13 49.60	391 319.841	23 0	2 26 4.328	11 49 36.84	366 736.498
6	16 8 58.184	-16 40 22.70	390 135.664	6	2 40 23.572	12 40 26.76	368 083.059
12	16 22 12.056	-17 3 57.53	388 911.324	12	2 54 41.544	13 28 1.13	369 487.098
18	16 35 33.967	-17 24 25.57	387 649.146	18	3 8 57.973	14 12 11.41	370 940.343
13 0	16 49 3.803	-17 41 38.59	386 351.839	24 0	3 23 12.551	14 52 50.37	372 434.453
6	17 2 41.392	-17 55 28.63	385 022.516	6	3 37 24.938	15 29 52.14	373 961.095
12	17 16 26.495	-18 5 48.15	383 664.700	12	3 51 34.764	16 3 12.10	375 512.017
18	17 30 18.817	-18 12 30.13	382 282.336	18	4 5 41.640	16 32 46.92	377 079.107
14 0	17 44 18.003	-18 15 28.08	380 879.792	25 0	4 19 45.159	16 58 34.47	378 654.462
6	17 58 23.644	-18 14 36.24	379 461.858	6	4 33 44.909	17 20 33.74	380 230.431
12	18 12 35.281	-18 9 49.61	378 033.741	12	4 47 40.476	17 38 44.81	381 799.670
18	18 26 52.414	-18 1 4.07	376 601.053	18	5 1 31.456	17 53 8.77	383 355.175
15 0	18 41 14.508	-17 48 16.49	375 169.794	26 0	5 15 17.456	18 3 47.61	384 890.315
6	18 55 41.000	-17 31 24.82	373 746.326	6	5 28 58.107	18 10 44.18	386 398.866
12	19 10 11.311	-17 10 28.18	372 337.345	12	5 42 33.066	18 14 2.07	387 875.023
18	19 24 44.856	-16 45 26.93	370 949.843	18	5 56 2.023	18 13 45.57	389 313.422
16 0	19 39 21.051	-16 16 22.75	369 591.063	27 0	6 9 24.708	18 9 59.51	390 709.149
6	19 53 59.326	-15 43 18.72	368 268.445	6	6 22 40.889	18 2 49.29	392 057.743
12	20 8 39.133	-15 6 19.34	366 989.572	12	6 35 50.380	17 52 20.69	393 355.203
18	20 23 19.957	-14 25 30.56	365 762.102	18	6 48 53.043	17 38 39.90	394 597.980
17 0	20 38 1.319	-13 40 59.80	364 593.693	28 0	7 1 48.785	17 21 53.36	395 782.978
6	20 52 42.788	-12 52 55.98	363 491.934	6	7 14 37.562	17 2 7.79	396 907.538
12	21 7 23.984	-12 1 29.45	362 464.255	12	7 27 19.377	16 39 30.06	397 969.434
18	21 22 4.578	-11 6 51.97	361 517.847	18	7 39 54.279	16 14 7.18	398 966.852

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars	29 0	7 52 22.361	15 46 6.26	399 898.382	Avril	9 0	16 36 16.898	-17 24 34.82	389 480.050
	6	8 4 43.760	15 15 34.46	400 762.995		6	16 49 41.708	-17 41 32.50	388 499.491
	12	8 16 58.652	14 42 38.97	401 560.023		12	17 3 12.556	-17 55 8.46	387 496.615
	18	8 29 7.251	14 7 27.00	402 289.146		18	17 16 49.115	-18 5 16.50	386 472.337
	30 0	8 41 9.806	13 30 5.74	402 950.362	10 0	17 30 31.017	-18 11 51.06	385 427.776	
	6	8 53 6.596	12 50 42.34	403 543.970	6	17 44 17.858	-18 14 47.26	384 364.279	
	12	9 4 57.931	12 9 23.95	404 070.543	12	17 58 9.203	-18 14 0.92	383 283.442	
	18	9 16 44.147	11 26 17.68	404 530.910	18	18 12 4.596	-18 9 28.69	382 187.135	
	31 0	9 28 25.602	10 41 30.58	404 926.126	11 0	18 26 3.565	-18 1 8.04	381 077.515	
	6	9 40 2.675	9 55 9.71	405 257.450	6	18 40 5.629	-17 48 57.31	379 957.045	
	12	9 51 35.764	9 7 22.09	405 526.323	12	18 54 10.310	-17 32 55.81	378 828.504	
	18	10 3 5.284	8 18 14.73	405 734.337	18	19 8 17.139	-17 13 3.77	377 694.996	
Avril	1 0	10 14 31.660	7 27 54.63	405 883.219	12 0	19 22 25.663	-16 49 22.43	376 559.959	
	6	10 25 55.332	6 36 28.79	405 974.800	6	19 36 35.457	-16 21 54.05	375 427.158	
	12	10 37 16.748	5 44 4.25	406 010.997	12	19 50 46.126	-15 50 41.91	374 300.686	
	18	10 48 36.365	4 50 48.08	405 993.785	18	20 4 57.315	-15 15 50.33	373 184.952	
	2 0	10 59 54.646	3 56 47.38	405 925.178	13 0	20 19 8.712	-14 37 24.68	372 084.668	
	6	11 11 12.057	3 2 9.31	405 807.204	6	20 33 20.053	-13 55 31.37	371 004.825	
	12	11 22 29.069	2 7 1.13	405 641.891	12	20 47 31.127	-13 10 17.85	369 950.668	
	18	11 33 46.153	1 11 30.15	405 431.240	18	21 1 41.774	-12 21 52.61	368 927.661	
	3 0	11 45 3.782	0 15 43.78	405 177.210	14 0	21 15 51.890	-11 30 25.15	367 941.452	
	6	11 56 22.426	- 0 40 10.44	404 881.704	6	21 30 1.421	-10 36 5.96	366 997.821	
	12	12 7 42.553	- 1 36 4.88	404 546.550	12	21 44 10.367	- 9 39 6.52	366 102.636	
	18	12 19 4.626	- 2 31 51.77	404 173.486	18	21 58 18.776	- 8 39 39.23	365 261.793	
	4 0	12 30 29.101	- 3 27 23.22	403 764.155	15 0	22 12 26.741	- 7 37 57.43	364 481.154	
	6	12 41 56.428	- 4 22 31.22	403 320.088	6	22 26 34.395	- 6 34 15.30	363 766.488	
	12	12 53 27.045	- 5 17 7.59	402 842.699	12	22 40 41.905	- 5 28 47.83	363 123.394	
	18	13 5 1.381	- 6 11 4.04	402 333.280	18	22 54 49.468	- 4 21 50.81	362 557.240	
	5 0	13 16 39.847	- 7 4 12.14	401 792.998	16 0	23 8 57.303	- 3 13 40.68	362 073.086	
	6	13 28 22.840	- 7 56 23.32	401 222.889	6	23 23 5.644	- 2 4 34.51	361 675.616	
	12	13 40 10.737	- 8 47 28.90	400 623.865	12	23 37 14.730	- 0 54 49.92	361 369.070	
	18	13 52 3.895	- 9 37 20.08	399 996.713	18	23 51 24.802	0 15 15.06	361 157.180	
	6 0	14 4 2.642	-10 25 47.96	399 342.104	17 0	0 5 36.092	1 25 22.07	361 043.106	
	6	14 16 7.284	-11 12 43.55	398 660.596	6	0 19 48.813	2 35 12.52	361 029.385	
	12	14 28 18.090	-11 57 57.83	397 952.651	12	0 34 3.156	3 44 27.75	361 117.884	
	18	14 40 35.299	-12 41 21.69	397 218.642	18	0 48 19.276	4 52 49.14	361 309.763	
	7 0	14 52 59.113	-13 22 46.06	396 458.869	18 0	1 2 37.290	5 59 58.26	361 605.446	
	6	15 5 29.690	-14 2 1.87	395 673.577	6	1 16 57.266	7 5 37.00	362 004.600	
	12	15 18 7.148	-14 39 0.10	394 862.973	12	1 31 19.220	8 9 27.76	362 506.134	
	18	15 30 51.559	-15 13 31.86	394 027.246	18	1 45 43.105	9 11 13.52	363 108.198	
	8 0	15 43 42.943	-15 45 28.37	393 166.592	19 0	2 0 8.815	10 10 38.06	363 808.196	
	6	15 56 41.275	-16 14 41.08	392 281.231	6	2 14 36.174	11 7 26.03	364 602.817	
	12	16 9 46.473	-16 41 1.67	391 371.437	12	2 29 4.938	12 1 23.16	365 488.062	
	18	16 22 58.409	-17 4 22.13	390 437.559	18	2 43 34.794	12 52 16.28	366 459.292	

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Avril 20 0	2 58 5.365	13 39 53.51	367 511.276	Mai 1 0	12 17 22.151	- 2 22 3.25	403 384.191
6	3 12 36.206	14 24 4.30	368 638.248	6	12 28 46.694	- 3 17 52.42	402 921.732
12	3 27 6.818	15 4 39.51	369 833.973	12	12 40 14.482	- 4 13 22.12	402 413.238
18	3 41 36.648	15 41 31.45	371 091.808	18	12 51 46.021	- 5 8 24.35	401 861.893
21 0	3 56 5.103	16 14 33.92	372 404.772	2 0	13 3 21.797	- 6 2 50.88	401 270.896
6	4 10 31.556	16 43 42.21	373 765.619	6	13 15 2.276	- 6 56 33.28	400 643.441
12	4 24 55.359	17 8 53.09	375 166.902	12	13 26 47.903	- 7 49 22.84	399 982.690
18	4 39 15.851	17 30 4.76	376 601.046	18	13 38 39.093	- 8 41 10.64	399 291.760
22 0	4 53 32.378	17 47 16.81	378 060.414	3 0	13 50 36.232	- 9 31 47.55	398 573.693
6	5 7 44.297	18 0 30.14	379 537.368	6	14 2 39.673	-10 21 4.21	397 831.448
12	5 21 50.990	18 9 46.84	381 024.329	12	14 14 49.730	-11 8 51.08	397 067.874
18	5 35 51.876	18 15 10.16	382 513.838	18	14 27 6.672	-11 54 58.50	396 285.702
23 0	5 49 46.421	18 16 44.33	383 998.599	4 0	14 39 30.725	-12 39 16.65	395 487.526
6	6 3 34.143	18 14 34.50	385 471.533	6	14 52 2.062	-13 21 35.65	394 675.794
12	6 17 14.621	18 8 46.57	386 925.816	12	15 4 40.804	-14 1 45.60	393 852.799
18	6 30 47.501	17 59 27.11	388 354.916	18	15 17 27.010	-14 39 36.65	393 020.668
24 0	6 44 12.499	17 46 43.23	389 752.627	5 0	15 30 20.680	-15 14 59.01	392 181.363
6	6 57 29.399	17 30 42.47	391 113.094	6	15 43 21.750	-15 47 43.10	391 336.674
12	7 10 38.060	17 11 32.70	392 430.837	12	15 56 30.089	-16 17 39.58	390 488.220
18	7 23 38.413	16 49 22.03	393 700.769	18	16 9 45.500	-16 44 39.41	389 637.455
25 0	7 36 30.454	16 24 18.71	394 918.209	6 0	16 23 7.721	-17 8 34.01	388 785.672
6	7 49 14.248	15 56 31.07	396 078.898	6	16 36 36.423	-17 29 15.26	387 934.009
12	8 1 49.922	15 26 7.44	397 178.998	12	16 50 11.218	-17 46 35.65	387 083.466
18	8 14 17.662	14 53 16.14	398 215.103	18	17 3 51.659	-18 0 28.32	386 234.911
26 0	8 26 37.707	14 18 5.36	399 184.235	7 0	17 17 37.250	-18 10 47.18	385 389.102
6	8 38 50.345	13 40 43.21	400 083.847	6	17 31 27.449	-18 17 26.95	384 546.703
12	8 50 55.908	13 1 17.65	400 911.813	12	17 45 21.681	-18 20 23.23	383 708.302
18	9 2 54.769	12 19 56.48	401 666.427	18	17 59 19.342	-18 19 32.58	382 874.434
27 0	9 14 47.334	11 36 47.35	402 346.389	8 0	18 13 19.815	-18 14 52.54	382 045.606
6	9 26 34.041	10 51 57.73	402 950.801	6	18 27 22.477	-18 6 21.68	381 222.316
12	9 38 15.354	10 5 34.95	403 479.149	12	18 41 26.715	-17 53 59.62	380 405.082
18	9 49 51.759	9 17 46.19	403 931.293	18	18 55 31.928	-17 37 47.02	379 594.464
28 0	10 1 23.761	8 28 38.50	404 307.452	9 0	19 9 37.550	-17 17 45.61	378 791.091
6	10 12 51.881	7 38 18.82	404 608.185	6	19 23 43.049	-16 53 58.16	377 995.681
12	10 24 16.655	6 46 53.99	404 834.378	12	19 37 47.941	-16 26 28.45	377 209.069
18	10 35 38.625	5 54 30.80	404 987.222	18	19 51 51.798	-15 55 21.25	376 432.227
29 0	10 46 58.343	5 1 15.99	405 068.196	10 0	20 5 54.253	-15 20 42.26	375 666.283
6	10 58 16.368	4 7 16.30	405 079.043	6	20 19 55.005	-14 42 38.12	374 912.536
12	11 9 33.259	3 12 38.46	405 021.757	12	20 33 53.822	-14 1 16.29	374 172.479
18	11 20 49.580	2 17 29.27	404 898.552	18	20 47 50.542	-13 16 45.07	373 447.800
30 0	11 32 5.890	1 21 55.57	404 711.847	11 0	21 1 45.078	-12 29 13.51	372 740.400
6	11 43 22.750	0 26 4.32	404 464.240	6	21 15 37.408	-11 38 51.37	372 052.389
12	11 54 40.716	- 0 29 57.40	404 158.485	12	21 29 27.581	-10 45 49.09	371 386.093
18	12 6 0.336	- 1 26 2.39	403 797.470	18	21 43 15.710	- 9 50 17.75	370 744.046

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km
Mai	12 0	21 57	1.968	- 8 52	29.01		370 128.980	Mai	23 0	8 9	21.640	15 16	26.69		394 898.825
	6	22 10	46.580	- 7 52	35.11		369 543.815		6	8 21	58.203	14 41	43.39		395 979.729
	12	22 24	29.824	- 6 50	48.80		368 991.640		12	8 34	26.338	14 4	41.31		397 009.573
	18	22 38	12.017	- 5 47	23.35		368 475.685		18	8 46	46.304	13 25	29.48		397 983.912
13 0	22 51	53.513	- 4 42	32.50		367 999.302	24 0	8 58	58.418	12 44	16.79		398 898.640		
	6	23 5 34.692	- 3 36	30.41		367 565.923		6	9 11	3.050	12 1	11.88		399 750.004	
	12	23 19 15.958	- 2 29	31.71		367 179.029		12	9 23	0.615	11 16	23.17		400 534.616	
	18	23 32 57.723	- 1 21	51.39		366 842.112		18	9 34	51.569	10 29	58.83		401 249.469	
14 0	23 46	40.407	- 0 13	44.77		366 558.625	25 0	9 46	36.403	9 42	6.79		401 891.936		
	6	0 0 24.423	0 54	32.47		366 331.940		6	9 58	15.639	8 52	54.73		402 459.785	
	12	0 14 10.175	2 2	44.40		366 165.303		12	10 9 49.826	8 2	30.12		402 951.176		
	18	0 27 58.044	3 10	34.90		366 061.779		18	10 21 19.532	7 11	0.20		403 364.665		
15 0	0 41	48.380	4 17	47.66		366 024.207	26 0	10 32	45.346	6 18	32.03		403 699.204		
	6	0 55 41.499	5 24	6.31		366 055.151		6	10 44 7.871	5 25	12.51		403 954.141		
	12	1 9 37.667	6 29	14.50		366 156.852		12	10 55 27.721	4 31	8.43		404 129.210		
	18	1 23 37.096	7 32	55.94		366 331.185		18	11 6 45.519	3 36	26.44		404 224.536		
16 0	1 37	39.939	8 34	54.57		366 579.621	27 0	11 18	1.896	2 41	13.16		404 240.616		
	6	1 51 46.274	9 34	54.63		366 903.183		6	11 29 17.486	1 45	35.18		404 178.321		
	12	2 5 56.110	10 32	40.78		367 302.424		12	11 40 32.927	0 49	39.09		404 038.882		
	18	2 20 9.370	11 27	58.24		367 777.395		18	11 51 48.853	- 0 6	28.49		403 823.877		
17 0	2 34	25.895	12 20	32.91		368 327.629	28 0	12 3	5.901	- 1 2	40.82		403 535.221		
	6	2 48 45.438	13 10	11.50		368 952.128		6	12 14 24.699	- 1 58	51.08		403 175.152		
	12	3 3 7.668	13 56	41.66		369 649.356		12	12 25 45.873	- 2 54	52.27		402 746.214		
	18	3 17 32.165	14 39	52.08		370 417.243		18	12 37 10.037	- 3 50	37.22		402 251.241		
18 0	3 31	58.428	15 19	32.64		371 253.194	29 0	12 48	37.794	- 4 45	58.54		401 693.338		
	6	3 46 25.881	15 55	34.47		372 154.101		6	13 0 9.734	- 5 40	48.60		401 075.861		
	12	4 0 53.880	16 27	50.06		373 116.369		12	13 11 46.429	- 6 34	59.50		400 402.400		
	18	4 15 21.722	16 56	13.31		374 135.939		18	13 23 28.430	- 7 28	23.05		399 676.751		
19 0	4 29	48.661	17 20	39.56		375 208.325	30 0	13 35	16.262	- 8 20	50.75		398 902.895		
	6	4 44 13.916	17 41	5.65		376 328.651		6	13 47 10.423	- 9 12	13.82		398 084.976		
	12	4 58 36.689	17 57	29.88		377 491.689		12	13 59 11.375	-10 2	23.15		397 227.269		
	18	5 12 56.179	18 9	51.99		378 691.906		18	14 11 19.543	-10 51	9.30		396 334.160		
20 0	5 27	11.599	18 18	13.09		379 923.513	31 0	14 23	35.307	-11 38	22.59		395 410.114		
	6	5 41 22.186	18 22	35.64		381 180.506		6	14 35 58.996	-12 23	53.03		394 459.647		
	12	5 55 27.220	18 23	3.30		382 456.723		12	14 48 30.885	-13 7	30.42		393 487.300		
	18	6 9 26.032	18 19	40.86		383 745.886		18	15 1 11.185	-13 49	4.37		392 497.606		
21 0	6 23	18.019	18 12	34.09		385 041.654	Juin	1 0	15 14	0.041	-14 28	24.36		391 495.062	
	6	6 37 2.647	18 1	49.66		386 337.670		6	15 26 57.526	-15 5	19.81		390 484.102		
	12	6 50 39.463	17 47	34.95		387 627.600		12	15 40 3.632	-15 39	40.17		389 469.067		
	18	7 4 8.099	17 29	57.97		388 905.187		18	15 53 18.271	-16 11	15.00		388 454.176		
22 0	7 17	28.270	17 9	7.22		390 164.283	2 0	16 6	41.270	-16 39	54.06		387 443.500		
	6	7 30 39.780	16 45	11.55		391 398.891		6	16 20 12.368	-17 5	27.45		386 440.937		
	12	7 43 42.517	16 18	20.07		392 603.203		12	16 33 51.217	-17 27	45.72		385 450.191		
	18	7 56 36.453	15 48	42.01		393 771.628		18	16 47 37.384	-17 46	39.98		384 474.744		

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Juin 3 0	17 1 30.353	-18 2 2.01	383517.846	Juin 14 0	3 12 41.971	14 21 28.39	374000.354
6	17 15 29.533	-18 13 44.42	382582.491	6	3 26 48.431	15 2 12.91	374618.320
12	17 29 34.265	-18 21 40.75	381671.409	12	3 40 57.473	15 39 34.72	375279.705
18	17 43 43.830	-18 25 45.55	380787.052	18	3 55 8.639	16 13 25.47	375983.896
4 0	17 57 57.463	-18 25 54.51	379931.594	15 0	4 9 21.395	16 43 37.90	376729.979
6	18 12 14.368	-18 22 4.54	379106.920	6	4 23 35.135	17 10 5.91	377516.731
12	18 26 33.726	-18 14 13.79	378314.635	12	4 37 49.194	17 32 44.60	378342.610
18	18 40 54.719	-18 2 21.75	377556.063	18	4 52 2.856	17 51 30.32	379205.745
5 0	18 55 16.536	-17 46 29.22	376832.257	16 0	5 6 15.369	18 6 20.76	380103.945
6	19 9 38.397	-17 26 38.35	376144.013	6	5 20 25.958	18 17 14.88	381034.693
12	19 23 59.561	-17 2 52.56	375491.882	12	5 34 33.840	18 24 12.95	381995.161
18	19 38 19.342	-16 35 16.58	374876.192	18	5 48 38.239	18 27 16.51	382982.217
6 0	19 52 37.119	-16 3 56.33	374297.066	17 0	6 2 38.400	18 26 28.31	383992.444
6	20 6 52.348	-15 28 58.87	373754.447	6	6 16 33.602	18 21 52.24	385022.157
12	20 21 4.564	-14 50 32.30	373248.125	12	6 30 23.173	18 13 33.27	386067.423
18	20 35 13.394	-14 8 45.70	372777.760	18	6 44 6.498	18 1 37.33	387124.088
7 0	20 49 18.551	-13 23 49.00	372342.917	18 0	6 57 43.028	17 46 11.20	388187.805
6	21 3 19.843	-12 35 52.91	371943.088	6	7 11 12.293	17 27 22.41	389254.059
12	21 17 17.165	-11 45 8.80	371577.725	12	7 24 33.898	17 5 19.11	390318.198
18	21 31 10.503	-10 51 48.63	371246.268	18	7 37 47.535	16 40 9.94	391375.467
8 0	21 44 59.925	- 9 56 4.85	370948.168	19 0	7 50 52.979	16 12 3.97	392421.037
6	21 58 45.575	- 8 58 10.31	370682.918	6	8 3 50.089	15 41 10.51	393450.037
12	22 12 27.673	- 7 58 18.22	370450.075	12	8 16 38.806	15 7 39.07	394457.589
18	22 26 6.499	- 6 56 42.06	370249.276	18	8 29 19.153	14 31 39.25	395438.837
9 0	22 39 42.393	- 5 53 35.55	370080.266	20 0	8 41 51.226	13 53 20.65	396388.980
6	22 53 15.743	- 4 49 12.58	369942.901	6	8 54 15.191	13 12 52.79	397303.302
12	23 6 46.979	- 3 43 47.20	369837.168	12	9 6 31.283	12 30 25.08	398177.200
18	23 20 16.562	- 2 37 33.57	369763.189	18	9 18 39.794	11 46 6.77	399006.216
10 0	23 33 44.977	- 1 30 45.94	369721.226	21 0	9 30 41.071	11 0 6.87	399786.060
6	23 47 12.726	- 0 23 38.62	369711.676	6	9 42 35.511	10 12 34.16	400512.637
12	0 0 40.317	0 43 34.02	369735.074	12	9 54 23.552	9 23 37.18	401182.072
18	0 14 8.259	1 50 37.59	369792.076	18	10 6 5.672	8 33 24.20	401790.732
11 0	0 27 37.050	2 57 17.67	369883.451	22 0	10 17 42.384	7 42 3.23	402335.246
6	0 41 7.170	4 3 19.87	370010.066	6	10 29 14.228	6 49 42.02	402812.524
12	0 54 39.074	5 8 29.83	370172.863	12	10 40 41.769	5 56 28.08	403219.777
18	1 8 13.182	6 12 33.26	370372.837	18	10 52 5.595	5 2 28.69	403554.529
12 0	1 21 49.873	7 15 15.97	370611.011	23 0	11 3 26.311	4 7 50.95	403814.637
6	1 35 29.475	8 16 23.93	370888.408	6	11 14 44.537	3 12 41.78	403998.297
12	1 49 12.258	9 15 43.31	371206.022	12	11 26 0.907	2 17 7.95	404104.063
18	2 2 58.427	10 13 0.55	371564.785	18	11 37 16.063	1 21 16.14	404130.850
13 0	2 16 48.118	11 8 2.43	371965.541	24 0	11 48 30.655	0 25 12.95	404077.944
6	2 30 41.386	12 0 36.15	372409.006	6	11 59 45.339	- 0 30 55.06	403945.012
12	2 44 38.206	12 50 29.40	372895.746	12	12 11 0.773	- 1 27 1.31	403732.102
18	2 58 38.467	13 37 30.49	373426.139	18	12 22 17.618	- 2 22 59.19	403439.649

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juin	25 0	12 33 36.532	- 3 18 42.00	403068.479	Juill.	6 0	22 26 37.242	- 7 8 22.04	367114.328
	6	12 44 58.170	- 4 14 2.92	402619.803		6	22 40 28.956	- 6 4 21.26	367192.658
	12	12 56 23.183	- 5 8 54.97	402095.221		12	22 54 16.560	- 4 59 5.76	367326.014
	18	13 7 52.210	- 6 3 10.96	401496.719		18	23 8 0.397	- 3 52 51.25	367511.704
	26 0	13 19 25.881	- 6 56 43.50	400826.658	7 0	23 21 40.857	- 2 45 53.34	367746.940	
	6	13 31 4.808	- 7 49 24.92	400087.774	6	23 35 18.366	- 1 38 27.50	368028.885	
	12	13 42 49.588	- 8 41 7.26	399283.164	12	23 48 53.384	- 0 30 49.02	368354.687	
	18	13 54 40.791	- 9 31 42.26	398416.279	18	0 2 26.389	0 36 47.05	368721.521	
	27 0	14 6 38.959	-10 21 1.32	397490.906	8 0	0 15 57.871	1 44 5.89	369126.620	
	6	14 18 44.602	-11 8 55.52	396511.159	6	0 29 28.324	2 50 52.99	369567.306	
	12	14 30 58.190	-11 55 15.58	395481.454	12	0 42 58.235	3 56 54.13	370041.015	
	18	14 43 20.145	-12 39 51.91	394406.494	18	0 56 28.080	5 1 55.41	370545.322	
	28 0	14 55 50.839	-13 22 34.60	393291.247	9 0	1 9 58.313	6 5 43.26	371077.956	
	6	15 8 30.584	-14 3 13.44	392140.914	6	1 23 29.357	7 8 4.46	371636.813	
	12	15 21 19.623	-14 41 38.00	390960.910	12	1 37 1.601	8 8 46.15	372219.969	
	18	15 34 18.128	-15 17 37.67	389756.829	18	1 50 35.389	9 7 35.87	372825.679	
	29 0	15 47 26.189	-15 51 1.70	388534.412	10 0	2 4 11.019	10 4 21.54	373452.382	
	6	16 0 43.808	-16 21 39.35	387299.512	6	2 17 48.727	10 58 51.54	374098.694	
	12	16 14 10.895	-16 49 19.93	386058.059	12	2 31 28.692	11 50 54.71	374763.400	
	18	16 27 47.263	-17 13 52.95	384816.018	18	2 45 11.025	12 40 20.41	375445.448	
	30 0	16 41 32.625	-17 35 8.24	383579.352	11 0	2 58 55.767	13 26 58.54	376143.927	
	6	16 55 26.595	-17 52 56.08	382353.977	6	3 12 42.885	14 10 39.61	376858.057	
	12	17 9 28.686	-18 7 7.37	381145.718	12	3 26 32.272	14 51 14.79	377587.164	
	18	17 23 38.315	-18 17 33.74	379960.272	18	3 40 23.744	15 28 35.96	378330.664	
Juill.	1 0	17 37 54.811	-18 24 7.76	378803.157	12 0	3 54 17.042	16 2 35.77	379088.036	
	6	17 52 17.422	-18 26 43.02	377679.674	6	4 8 11.837	16 33 7.73	379858.800	
	12	18 6 45.329	-18 25 14.31	376594.864	12	4 22 7.729	17 0 6.20	380642.492	
	18	18 21 17.656	-18 19 37.76	375553.469	18	4 36 4.259	17 23 26.50	381438.642	
	2 0	18 35 53.487	-18 9 50.88	374559.895	13 0	4 50 0.909	17 43 4.93	382246.744	
	6	18 50 31.886	-17 55 52.70	373618.176	6	5 3 57.116	17 58 58.81	383066.240	
	12	19 5 11.912	-17 37 43.81	372731.947	12	5 17 52.281	18 11 6.51	383896.491	
	18	19 19 52.637	-17 15 26.39	371904.416	18	5 31 45.779	18 19 27.45	384736.759	
	3 0	19 34 33.166	-16 49 4.20	371138.346	14 0	5 45 36.968	18 24 2.13	385586.189	
	6	19 49 12.652	-16 18 42.56	370436.036	6	5 59 25.207	18 24 52.08	386443.788	
	12	20 3 50.310	-15 44 28.30	369799.313	12	6 13 9.860	18 21 59.86	387308.414	
	18	20 18 25.432	-15 6 29.68	369229.528	18	6 26 50.316	18 15 28.99	388178.760	
	4 0	20 32 57.398	-14 24 56.26	368727.561	15 0	6 40 25.993	18 5 23.95	389053.349	
	6	20 47 25.680	-13 39 58.83	368293.825	6	6 53 56.348	17 51 50.05	389930.521	
	12	21 1 49.851	-12 51 49.26	367928.283	12	7 7 20.890	17 34 53.39	390808.432	
	18	21 16 9.585	-12 0 40.34	367630.466	18	7 20 39.184	17 14 40.80	391685.054	
	5 0	21 30 24.658	-11 6 45.69	367399.504	16 0	7 33 50.857	16 51 19.69	392558.174	
	6	21 44 34.945	-10 10 19.56	367234.146	6	7 46 55.602	16 24 58.03	393425.398	
	12	21 58 40.417	- 9 11 36.74	367132.804	12	7 59 53.180	15 55 44.21	394284.158	
	18	22 12 41.135	- 8 10 52.41	367093.584	18	8 12 43.425	15 23 46.97	395131.724	

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juill. 17	0	8 25 26.237	14 49 15.32	395 965.211	Juill. 28	0	17 15 25.507	-18 3 55.71	381 614.034
	6	8 38 1.587	14 12 18.44	396 781.597		6	17 29 30.316	-18 13 22.54	380 173.342
	12	8 50 29.512	13 33 5.63	397 577.735		12	17 43 43.138	-18 19 0.18	378 743.430
	18	9 2 50.112	12 51 46.20	398 350.376		18	17 58 3.365	-18 20 41.48	377 331.546
18	0	9 15 3.548	12 8 29.47	399 096.181	29	0	18 12 30.306	-18 18 20.28	375 944.956
	6	9 27 10.037	11 23 24.66	399 811.747		6	18 27 3.199	-18 11 51.61	374 590.885
	12	9 39 9.848	10 36 40.88	400 493.626		12	18 41 41.226	-18 1 11.79	373 276.459
	18	9 51 3.296	9 48 27.08	401 138.349		18	18 56 23.521	-17 46 18.59	372 008.639
19	0	10 2 50.742	8 58 52.04	401 742.446	30	0	19 11 9.193	-17 27 11.27	370 794.164
	6	10 14 32.584	8 8 4.31	402 302.475		6	19 25 57.336	-17 3 50.77	369 639.484
	12	10 26 9.255	7 16 12.25	402 815.042		12	19 40 47.052	-16 36 19.67	368 550.703
	18	10 37 41.222	6 23 23.99	403 276.824		18	19 55 37.465	-16 4 42.26	367 533.512
20	0	10 49 8.977	5 29 47.43	403 684.596	31	0	20 10 27.737	-15 29 4.53	366 593.137
	6	11 0 33.037	4 35 30.26	404 035.255		6	20 25 17.083	-14 49 34.14	365 734.285
	12	11 11 53.941	3 40 39.98	404 325.841		12	20 40 4.787	-14 6 20.38	364 961.097
	18	11 23 12.246	2 45 23.87	404 553.562		18	20 54 50.209	-13 19 34.03	364 277.101
21	0	11 34 28.525	1 49 49.08	404 715.817	Août 1	0	21 9 32.792	-12 29 27.28	363 685.188
	6	11 45 43.365	0 54 2.57	404 810.215		6	21 24 12.073	-11 36 13.62	363 187.577
	12	11 56 57.363	-0 1 48.78	404 834.599		12	21 38 47.682	-10 40 7.64	362 785.803
	18	12 8 11.128	-0 57 38.20	404 787.068		18	21 53 19.344	-9 41 24.93	362 480.707
22	0	12 19 25.274	-1 53 18.98	404 665.992	2	0	22 7 46.876	-8 40 21.86	362 272.440
	6	12 30 40.421	-2 48 44.44	404 470.033		6	22 22 10.184	-7 37 15.47	362 160.472
	12	12 41 57.193	-3 43 47.88	404 198.165		12	22 36 29.259	-6 32 23.25	362 143.614
	18	12 53 16.215	-4 38 22.58	403 849.686		18	22 50 44.168	-5 26 3.04	362 220.046
23	0	13 4 38.111	-5 32 21.72	403 424.238	3	0	23 4 55.048	-4 18 32.81	362 387.358
	6	13 16 3.501	-6 25 38.40	402 921.818		6	23 19 2.098	-3 10 10.60	362 642.590
	12	13 27 33.002	-7 18 5.56	402 342.792		12	23 33 5.567	-2 1 14.34	362 982.285
	18	13 39 7.218	-8 9 35.97	401 687.908		18	23 47 5.748	-0 52 1.74	363 402.547
24	0	13 50 46.746	-9 0 2.18	400 958.302	4	0	0 1 2.968	0 17 9.80	363 899.096
	6	14 2 32.162	-9 49 16.54	400 155.513		6	0 14 57.576	1 26 3.26	364 467.336
	12	14 14 24.027	-10 37 11.12	399 281.483		12	0 28 49.939	2 34 22.10	365 102.413
	18	14 26 22.873	-11 23 37.71	398 338.566		18	0 42 40.429	3 41 50.31	365 799.282
25	0	14 38 29.207	-12 8 27.84	397 329.527	5	0	0 56 29.416	4 48 12.46	366 552.769
	6	14 50 43.496	-12 51 32.72	396 257.548		6	1 10 17.260	5 53 13.74	367 357.630
	12	15 3 6.170	-13 32 43.28	395 126.220		12	1 24 4.304	6 56 39.97	368 208.608
	18	15 15 37.609	-14 11 50.17	393 939.541		18	1 37 50.867	7 58 17.68	369 100.490
26	0	15 28 18.139	-14 48 43.78	392 701.908	6	0	1 51 37.234	8 57 54.07	370 028.152
	6	15 41 8.026	-15 23 14.27	391 418.107		6	2 5 23.656	9 55 17.05	370 986.605
	12	15 54 7.465	-15 55 11.64	390 093.297		12	2 19 10.340	10 50 15.26	371 971.034
	18	16 7 16.578	-16 24 25.75	388 732.994		18	2 32 57.445	11 42 38.09	372 976.830
27	0	16 20 35.405	-16 50 46.44	387 343.049	7	0	2 46 45.080	12 32 15.66	373 999.622
	6	16 34 3.899	-17 14 3.58	385 929.621		6	3 0 33.298	13 18 58.86	375 035.291
	12	16 47 41.919	-17 34 7.23	384 499.150		12	3 14 22.097	14 2 39.34	376 079.997
	18	17 1 29.232	-17 50 47.70	383 058.323		18	3 28 11.417	14 43 9.56	377 130.180

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Août	8 0	3 42 1.141	15 20 22.77	378 182.576	Août	19 0	12 51 33.047	- 4 19 24.38	405 466.317
	6	3 55 51.092	15 54 13.05	379 234.210		6	13 2 51.590	- 5 13 1.80	405 216.086
	12	4 9 41.043	16 24 35.29	380 282.401		12	13 14 12.667	- 6 5 56.07	404 900.126
	18	4 23 30.711	16 51 25.26	381 324.747		18	13 25 36.817	- 6 58 0.19	404 517.092
	9 0	4 37 19.769	17 14 39.55	382 359.123		20 0	13 37 4.574	- 7 49 7.11	404 065.851
	6	4 51 7.847	17 34 15.67	383 383.660		6	13 48 36.466	- 8 39 9.70	403 545.513
	12	5 4 54.541	17 50 11.96	384 396.733		12	14 0 13.012	- 9 28 0.73	402 955.448
	18	5 18 39.417	18 2 27.64	385 396.941		18	14 11 54.718	-10 15 32.84	402 295.309
10 0	5 32 22.022	18 11 2.82	386 383.083	21 0	14 23 42.074	-11 1 38.53	401 565.056		
	6	5 46 1.892	18 15 58.44		387 354.141	6	14 35 35.554	-11 46 10.13	400 764.973
	12	5 59 38.557	18 17 16.30		388 309.253	12	14 47 35.608	-12 28 59.84	399 895.691
	18	6 13 11.553	18 14 59.00		389 247.689	18	14 59 42.657	-13 9 59.63	398 958.201
11 0	6 26 40.429	18 9 9.91	390 168.827	22 0	15 11 57.094	-13 49 1.32	397 953.878		
	6	6 40 4.756	17 59 53.15		391 072.128	6	15 24 19.274	-14 25 56.57	396 884.492
	12	6 53 24.132	17 47 13.54		391 957.109	12	15 36 49.511	-15 0 36.84	395 752.222
	18	7 6 38.188	17 31 16.54		392 823.324	18	15 49 28.075	-15 32 53.48	394 559.669
12 0	7 19 46.597	17 12 8.20	393 670.337	23 0	16 2 15.180	-16 2 37.70	393 309.864		
	6	7 32 49.077	16 49 55.09		394 497.701	6	16 15 10.988	-16 29 40.66	392 006.277
	12	7 45 45.390	16 24 44.26		395 304.938	12	16 28 15.597	-16 53 53.48	390 652.818
	18	7 58 35.354	15 56 43.18		396 091.521	18	16 41 29.039	-17 15 7.30	389 253.840
13 0	8 11 18.834	15 25 59.66	396 856.853	24 0	16 54 51.277	-17 33 13.40	387 814.135		
	6	8 23 55.750	14 52 41.79		397 600.257	6	17 8 22.203	-17 48 3.22	386 338.931
	12	8 36 26.075	14 16 57.92		398 320.961	12	17 22 1.631	-17 59 28.52	384 833.872
	18	8 48 49.831	13 38 56.55		399 018.083	18	17 35 49.302	-18 7 21.41	383 305.015
14 0	9 1 7.092	12 58 46.30	399 690.629	25 0	17 49 44.884	-18 11 34.54	381 758.797		
	6	9 13 17.979	12 16 35.90		400 337.483	6	18 3 47.969	-18 12 1.18	380 202.019
	12	9 25 22.659	11 32 34.08		400 957.405	12	18 17 58.087	-18 8 35.35	378 641.807
	18	9 37 21.341	10 46 49.57		401 549.026	18	18 32 14.702	-18 1 11.94	377 085.581
15 0	9 49 14.274	9 59 31.08	402 110.852	26 0	18 46 37.225	-17 49 46.89	375 541.006		
	6	10 1 1.744	9 10 47.21		402 641.267	6	19 1 5.024	-17 34 17.23	374 015.948
	12	10 12 44.071	8 20 46.52		403 138.536	12	19 15 37.432	-17 14 41.29	372 518.415
	18	10 24 21.605	7 29 37.41		403 600.815	18	19 30 13.758	-16 50 58.72	371 056.497
16 0	10 35 54.726	6 37 28.17	404 026.159	27 0	19 44 53.302	-16 23 10.64	369 638.302		
	6	10 47 23.836	5 44 26.97		404 412.534	6	19 59 35.367	-15 51 19.71	368 271.882
	12	10 58 49.363	4 50 41.80		404 757.828	12	20 14 19.271	-15 15 30.13	366 965.160
	18	11 10 11.753	3 56 20.52		405 059.870	18	20 29 4.358	-14 35 47.74	365 725.851
17 0	11 21 31.471	3 1 30.85	405 316.443	28 0	20 43 50.009	-13 52 20.00	364 561.384		
	6	11 32 48.996	2 6 20.36		405 525.304	6	20 58 35.656	-13 5 15.95	363 478.818
	12	11 44 4.823	1 10 56.50		405 684.198	12	21 13 20.784	-12 14 46.21	362 484.766
	18	11 55 19.458	0 15 26.58		405 790.886	18	21 28 4.940	-11 21 2.90	361 585.315
18 0	12 6 33.415	- 0 40 2.19	405 843.160	29 0	21 42 47.740	-10 24 19.53	360 785.954		
	6	12 17 47.220	- 1 35 22.69		405 838.865	6	21 57 28.866	- 9 24 50.93	360 091.505
	12	12 29 1.402	- 2 30 27.87		405 775.925	12	22 12 8.072	- 8 22 53.10	359 506.066
	18	12 40 16.498	- 3 25 10.76		405 652.360	18	22 26 45.180	- 7 18 43.05	359 032.955

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Août	30 0	22 41 20.076	- 6 12 38.71	358 674.672	Sept.	10 0	8 48 58.645	13 35 2.81	399 968.459
	6	22 55 52.708	- 5 4 58.69	358 432.869		6	9 1 10.147	12 55 31.36	400 668.930
	12	23 10 23.081	- 3 56 2.17	358 308.331		12	9 13 15.585	12 14 1.03	401 328.416
	18	23 24 51.248	- 2 46 8.69	358 300.972		18	9 25 15.186	11 30 39.94	401 947.247
	31 0	23 39 17.304	- 1 35 38.01	358 409.843	11 0	9 37 9.208	10 45 36.24	402 525.763	
	6	23 53 41.379	- 0 24 49.89	358 633.151	6	9 48 57.939	9 58 58.05	403 064.293	
	12	0 8 3.627	0 45 55.98	358 968.295	12	10 0 41.690	9 10 53.46	403 563.139	
	18	0 22 24.222	1 56 20.22	359 411.905	18	10 12 20.797	8 21 30.52	404 022.555	
Sept.	1 0	0 36 43.347	3 6 3.86	359 959.903	12 0	10 23 55.617	7 30 57.25	404 442.734	
	6	0 51 1.184	4 14 48.48	360 607.558	6	10 35 26.523	6 39 21.59	404 823.793	
	12	1 5 17.912	5 22 16.29	361 349.563	12	10 46 53.908	5 46 51.44	405 165.764	
	18	1 19 33.695	6 28 10.29	362 180.104	18	10 58 18.176	4 53 34.64	405 468.578	
	2 0	1 33 48.674	7 32 14.33	363 092.945	13 0	11 9 39.744	3 59 38.95	405 732.066	
	6	1 48 2.966	8 34 13.17	364 081.505	6	11 20 59.041	3 5 12.07	405 955.949	
	12	2 2 16.656	9 33 52.57	365 138.940	12	11 32 16.502	2 10 21.66	406 139.833	
	18	2 16 29.790	10 30 59.30	366 258.225	18	11 43 32.572	1 15 15.31	406 283.215	
	3 0	2 30 42.376	11 25 21.23	367 432.229	14 0	11 54 47.700	0 20 0.54	406 385.476	
	6	2 44 54.377	12 16 47.31	368 653.793	6	12 6 2.340	- 0 35 15.14	406 445.892	
	12	2 59 5.713	13 5 7.61	369 915.794	12	12 17 16.948	- 1 30 24.31	406 463.636	
	18	3 13 16.256	13 50 13.34	371 211.214	18	12 28 31.981	- 2 25 19.56	406 437.785	
	4 0	3 27 25.836	14 31 56.81	372 533.195	15 0	12 39 47.899	- 3 19 53.49	406 367.334	
	6	3 41 34.239	15 10 11.47	373 875.091	6	12 51 5.158	- 4 13 58.76	406 251.203	
	12	3 55 41.209	15 44 51.86	375 230.513	12	13 2 24.212	- 5 7 28.03	406 088.254	
	18	4 9 46.456	16 15 53.61	376 593.366	18	13 13 45.512	- 6 0 13.94	405 877.304	
	5 0	4 23 49.654	16 43 13.42	377 957.883	16 0	13 25 9.501	- 6 52 9.17	405 617.146	
	6	4 37 50.452	17 6 49.01	379 318.647	6	13 36 36.617	- 7 43 6.34	405 306.562	
	12	4 51 48.480	17 26 39.10	380 670.611	12	13 48 7.288	- 8 32 58.09	404 944.347	
	18	5 5 43.351	17 42 43.38	382 009.112	18	13 59 41.929	- 9 21 37.00	404 529.329	
	6 0	5 19 34.671	17 55 2.43	383 329.878	17 0	14 11 20.945	- 10 8 55.65	404 060.391	
	6	5 33 22.046	18 3 37.71	384 629.028	6	14 23 4.723	- 10 54 46.55	403 536.495	
	12	5 47 5.089	18 8 31.49	385 903.072	12	14 34 53.633	- 11 39 2.18	402 956.705	
	18	6 0 43.427	18 9 46.81	387 148.906	18	14 46 48.023	- 12 21 34.97	402 320.211	
	7 0	6 14 16.705	18 7 27.41	388 363.797	18 0	14 58 48.220	- 13 2 17.32	401 626.358	
	6	6 27 44.594	18 1 37.68	389 545.377	6	15 10 54.523	- 13 41 1.57	400 874.665	
	12	6 41 6.796	17 52 22.59	390 691.618	12	15 23 7.202	- 14 17 40.04	400 064.857	
	18	6 54 23.047	17 39 47.65	391 800.820	18	15 35 26.496	- 14 52 5.04	399 196.886	
	8 0	7 7 33.124	17 23 58.86	392 871.588	19 0	15 47 52.607	- 15 24 8.84	398 270.958	
	6	7 20 36.842	17 5 2.63	393 902.808	6	16 0 25.700	- 15 53 43.77	397 287.560	
	12	7 33 34.062	16 43 5.71	394 893.626	12	16 13 5.898	- 16 20 42.15	396 247.477	
	18	7 46 24.687	16 18 15.20	395 843.422	18	16 25 53.282	- 16 44 56.42	395 151.824	
	9 0	7 59 8.667	15 50 38.45	396 751.783	20 0	16 38 47.887	- 17 6 19.10	394 002.063	
	6	8 11 45.994	15 20 23.02	397 618.478	6	16 51 49.700	- 17 24 42.88	392 800.023	
	12	8 24 16.707	14 47 36.67	398 443.435	12	17 4 58.661	- 17 40 0.63	391 547.921	
	18	8 36 40.884	14 12 27.26	399 226.708	18	17 18 14.658	- 17 52 5.50	390 248.379	

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Sept.	21 0	17 31 37.535	-18 0 50.96	388 904.435	Oct.	2 0	4 4 48.424	16 3 38.23	370 201.776
	6	17 45 7.084	-18 6 10.87	387 519.558		6	4 19 20.761	16 33 11.61	371 675.697
	12	17 58 43.054	-18 7 59.52	386 097.656		12	4 33 49.907	16 58 45.33	373 179.551
	18	18 12 25.151	-18 6 11.78	384 643.077		18	4 48 15.296	17 20 17.99	374 705.385
	22 0	18 26 13.044	-18 0 43.12	383 160.615	3 0	5 2 36.364	17 37 49.51	376 245.456	
	6	18 40 6.365	-17 51 29.70	381 655.503	6	5 16 52.559	17 51 21.04	377 792.285	
	12	18 54 4.721	-17 38 28.47	380 133.404	12	5 31 3.352	18 0 54.88	379 338.700	
	18	19 8 7.698	-17 21 37.25	378 600.397	18	5 45 8.243	18 6 34.35	380 877.880	
	23 0	19 22 14.865	-17 0 54.79	377 062.958	4 0	5 59 6.772	18 8 23.71	382 403.381	
	6	19 36 25.786	-16 36 20.89	375 527.935	6	6 12 58.524	18 6 28.08	383 909.162	
	12	19 50 40.026	-16 7 56.41	374 002.511	12	6 26 43.134	18 0 53.25	385 389.608	
	18	20 4 57.157	-15 35 43.39	372 494.168	18	6 40 20.294	17 51 45.68	386 839.540	
	24 0	20 19 16.769	-14 59 45.08	371 010.637	5 0	6 53 49.754	17 39 12.31	388 254.226	
	6	20 33 38.473	-14 20 6.02	369 559.851	6	7 7 11.324	17 23 20.54	389 629.381	
	12	20 48 1.910	-13 36 52.03	368 149.874	12	7 20 24.875	17 4 18.08	390 961.169	
	18	21 2 26.756	-12 50 10.28	366 788.846	18	7 33 30.340	16 42 12.92	392 246.195	
	25 0	21 16 52.725	-12 0 9.28	365 484.899	6 0	7 46 27.709	16 17 13.20	393 481.500	
	6	21 31 19.573	-11 6 58.90	364 246.084	6	7 59 17.029	15 49 27.21	394 664.547	
	12	21 45 47.101	-10 10 50.34	363 080.287	12	8 11 58.402	15 19 3.31	395 793.207	
	18	22 0 15.155	-9 11 56.10	361 995.144	18	8 24 31.980	14 46 9.85	396 865.743	
	26 0	22 14 43.626	-8 10 29.95	360 997.948	7 0	8 36 57.961	14 10 55.20	397 880.791	
	6	22 29 12.446	-7 6 46.86	360 095.566	6	8 49 16.587	13 33 27.65	398 837.336	
	12	22 43 41.590	-6 1 2.89	359 294.348	12	9 1 28.138	12 53 55.44	399 734.698	
	18	22 58 11.066	-4 53 35.17	358 600.045	18	9 13 32.928	12 12 26.72	400 572.500	
	27 0	23 12 40.914	-3 44 41.70	358 017.727	8 0	9 25 31.303	11 29 9.54	401 350.649	
	6	23 27 11.202	-2 34 41.28	357 551.718	6	9 37 23.636	10 44 11.85	402 069.312	
	12	23 41 42.014	-1 23 53.36	357 205.526	12	9 49 10.322	9 57 41.51	402 728.886	
	18	23 56 13.446	-0 12 37.88	356 981.795	18	10 0 51.777	9 9 46.25	403 329.976	
	28 0	0 10 45.599	0 58 44.90	356 882.266	9 0	10 12 28.434	8 20 33.74	403 873.368	
	6	0 25 18.571	2 9 54.54	356 907.748	6	10 24 0.738	7 30 11.56	404 360.006	
	12	0 39 52.449	3 20 30.63	357 058.105	12	10 35 29.147	6 38 47.18	404 790.962	
	18	0 54 27.299	4 30 12.95	357 332.258	18	10 46 54.127	5 46 28.06	405 167.413	
	29 0	1 9 3.163	5 38 41.63	357 728.204	10 0	10 58 16.150	4 53 21.57	405 490.619	
	6	1 23 40.048	6 45 37.36	358 243.041	6	11 9 35.693	3 59 35.06	405 761.896	
	12	1 38 17.923	7 50 41.52	358 873.012	12	11 20 53.236	3 5 15.84	405 982.595	
	18	1 52 56.710	8 53 36.35	359 613.563	18	11 32 9.259	2 10 31.24	406 154.079	
	30 0	2 7 36.284	9 54 5.08	360 459.403	11 0	11 43 24.242	1 15 28.56	406 277.703	
	6	2 22 16.464	10 51 52.07	361 404.579	6	11 54 38.661	0 20 15.12	406 354.796	
	12	2 36 57.017	11 46 42.92	362 442.556	12	12 5 52.990	-0 35 1.73	406 386.642	
	18	2 51 37.654	12 38 24.58	363 566.303	18	12 17 7.698	-1 30 14.60	406 374.462	
Oct.	1 0	3 6 18.033	13 26 45.36	364 768.379	12 0	12 28 23.246	-2 25 16.09	406 319.403	
	6	3 20 57.760	14 11 35.07	366 041.023	6	12 39 40.087	-3 19 58.70	406 222.524	
	12	3 35 36.394	14 52 45.00	367 376.242	12	12 50 58.667	-4 14 14.93	406 084.786	
	18	3 50 13.454	15 30 7.95	368 765.894	18	13 2 19.419	-5 7 57.17	405 907.038	

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km		
Oct. 13	0	13	13	42.762	- 6	0	57.80	405 690.021	Oct. 24	0	22	48	12.831	- 5	42	55.19	363 954.723
	6	13	25	9.104	- 6	53	9.10	405 434.353		6	23	2	17.571	- 4	36	43.48	362 993.323
	12	13	36	38.835	- 7	44	23.31	405 140.534		12	23	16	24.323	- 3	29	6.74	362 108.134
	18	13	48	12.327	- 8	34	32.61	404 808.942		18	23	30	33.340	- 2	20	21.25	361 305.722
14	0	13	59	49.933	- 9	23	29.13	404 439.838	25	0	23	44	44.879	- 1	10	44.07	360 592.305
	6	14	11	31.982	-10	11	4.94	404 033.368		6	23	58	59.193	- 0	0	32.98	359 973.675
	12	14	23	18.783	-10	57	12.13	403 589.574		12	0	13	16.525	1	9	53.61	359 455.111
	18	14	35	10.614	-11	41	42.71	403 108.400		18	0	27	37.097	2	20	16.74	359 041.311
15	0	14	47	7.728	-12	24	28.74	402 589.703	26	0	0	42	1.101	3	30	17.07	358 736.313
	6	14	59	10.345	-13	5	22.26	402 033.269		6	0	56	28.692	4	39	35.00	358 543.439
	12	15	11	18.652	-13	44	15.37	401 438.827		12	1	10	59.977	5	47	50.82	358 465.233
	18	15	23	32.803	-14	21	0.23	400 806.067		18	1	25	35.006	6	54	44.85	358 503.424
16	0	15	35	52.914	-14	55	29.07	400 134.657	27	0	1	40	13.767	7	59	57.69	358 658.887
	6	15	48	19.062	-15	27	34.27	399 424.268		6	1	54	56.175	9	3	10.34	358 931.624
	12	16	0	51.284	-15	57	8.34	398 674.591		12	2	9	42.070	10	4	4.39	359 320.760
	18	16	13	29.579	-16	24	3.98	397 885.367		18	2	24	31.206	11	2	22.26	359 824.542
17	0	16	26	13.901	-16	48	14.13	397 056.404	28	0	2	39	23.255	11	57	47.34	360 440.364
	6	16	39	4.165	-17	9	31.97	396 187.609		6	2	54	17.803	12	50	4.16	361 164.791
	12	16	52	0.247	-17	27	51.00	395 279.012		12	3	9	14.350	13	38	58.59	361 993.605
	18	17	5	1.981	-17	43	5.08	394 330.790		18	3	24	12.316	14	24	17.96	362 921.857
18	0	17	18	9.165	-17	55	8.45	393 343.299	29	0	3	39	11.045	15	5	51.16	363 943.927
	6	17	31	21.566	-18	3	55.79	392 317.097		6	3	54	9.818	15	43	28.79	365 053.593
	12	17	44	38.915	-18	9	22.26	391 252.971		12	4	9	7.858	16	17	3.16	366 244.107
	18	17	58	0.921	-18	11	23.56	390 151.964		18	4	24	4.347	16	46	28.38	367 508.269
19	0	18	11	27.269	-18	9	55.95	389 015.399	30	0	4	38	58.436	17	11	40.36	368 838.514
	6	18	24	57.630	-18	4	56.31	387 844.901		6	4	53	49.269	17	32	36.74	370 226.989
	12	18	38	31.661	-17	56	22.17	386 642.421		12	5	8	35.988	17	49	16.89	371 665.636
	18	18	52	9.018	-17	44	11.76	385 410.255		18	5	23	17.757	18	1	41.80	373 146.269
20	0	19	5	49.359	-17	28	24.02	384 151.060	31	0	5	37	53.774	18	9	53.98	374 660.653
	6	19	19	32.348	-17	8	58.66	382 867.869		6	5	52	23.286	18	13	57.32	376 200.571
	12	19	33	17.666	-16	45	56.19	381 564.102		12	6	6	45.602	18	13	56.99	377 757.897
	18	19	47	5.015	-16	19	17.93	380 243.573		18	6	21	0.101	18	9	59.26	379 324.653
21	0	20	0	54.121	-15	49	6.05	378 910.492	Nov. 1	0	6	35	6.242	18	2	11.32	380 893.066
	6	20	14	44.744	-15	15	23.58	377 569.464		6	6	49	3.572	17	50	41.21	382 455.619
	12	20	28	36.678	-14	38	14.47	376 225.484		12	7	2	51.727	17	35	37.56	384 005.093
	18	20	42	29.757	-13	57	43.55	374 883.918		18	7	16	30.434	17	17	9.54	385 534.608
22	0	20	56	23.857	-13	13	56.61	373 550.491	2	0	7	29	59.511	16	55	26.63	387 037.653
	6	21	10	18.896	-12	27	0.37	372 231.260		6	7	43	18.865	16	30	38.60	388 508.110
	12	21	24	14.839	-11	37	2.51	370 932.580		12	7	56	28.488	16	2	55.32	389 940.280
	18	21	38	11.693	-10	44	11.69	369 661.069		18	8	9	28.453	15	32	26.68	391 328.899
23	0	21	52	9.511	- 9	48	37.56	368 423.561	3	0	8	22	18.906	14	59	22.56	392 669.144
	6	22	6	8.385	- 8	50	30.74	367 227.054		6	8	35	0.062	14	23	52.68	393 956.646
	12	22	20	8.448	- 7	50	2.85	366 078.654		12	8	47	32.200	13	46	6.62	395 187.490
	18	22	34	9.864	- 6	47	26.48	364 985.504		18	8	59	55.650	13	6	13.75	396 358.218

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 4	0 9 12 10.793	12 24 23.19	397465.821	Nov. 15	0 17 59 10.217	-18 19 52.72	390346.975
	6 9 24 18.053	11 40 43.83	398507.736		6 18 12 39.825	-18 18 27.92	389479.067
	12 9 36 17.888	10 55 24.28	399481.838		12 18 26 12.169	-18 13 29.07	388597.058
	18 9 48 10.789	10 8 32.91	400386.424		18 18 39 46.769	-18 4 54.78	387701.244
5	0 9 59 57.269	9 20 17.83	401220.203	16	0 18 53 23.151	-17 52 44.48	386791.981
	6 10 11 37.864	8 30 46.92	401982.283		6 19 7 0.858	-17 36 58.44	385869.706
	12 10 23 13.126	7 40 7.84	402672.148		12 19 20 39.458	-17 17 37.78	384934.969
	18 10 34 43.619	6 48 28.06	403289.645		18 19 34 18.552	-16 54 44.43	383988.458
6	0 10 46 9.916	5 55 54.87	403834.962	17	0 19 47 57.783	-16 28 21.16	383031.023
	6 10 57 32.596	5 2 35.42	404308.608		6 20 1 36.837	-15 58 31.52	382063.707
	12 11 8 52.242	4 8 36.75	404711.393		12 20 15 15.455	-15 25 19.87	381087.763
	18 11 20 9.435	3 14 5.81	405044.403		18 20 28 53.431	-14 48 51.31	380104.681
7	0 11 31 24.757	2 19 9.49	405308.978	18	0 20 42 30.620	-14 9 11.68	379116.202
	6 11 42 38.788	1 23 54.66	405506.689		6 20 56 6.936	-13 26 27.52	378124.342
	12 11 53 52.098	0 28 28.18	405639.315		12 21 9 42.355	-12 40 46.07	377131.401
	18 12 5 5.254	-0 27 3.06	405708.815		18 21 23 16.914	-11 52 15.24	376139.972
8	0 12 16 18.812	-1 22 32.12	405717.307	19	0 21 36 50.710	-11 1 3.57	375152.953
	6 12 27 33.318	-2 17 51.99	405667.042		6 21 50 23.895	-10 7 20.27	374173.541
	12 12 38 49.305	-3 12 55.55	405560.379		12 22 3 56.678	-9 11 15.13	373205.235
	18 12 50 7.293	-4 7 35.59	405399.762		18 22 17 29.317	-8 12 58.59	372251.826
9	0 13 1 27.785	-5 1 44.76	405187.695	20	0 22 31 2.115	-7 12 41.70	371317.383
	6 13 12 51.264	-5 55 15.57	404926.718		6 22 44 35.416	-6 10 36.08	370406.233
	12 13 24 18.194	-6 48 0.39	404619.385		12 22 58 9.600	-5 6 54.02	369522.938
	18 13 35 49.018	-7 39 51.43	404268.243		18 23 11 45.073	-4 1 48.35	368672.265
10	0 13 47 24.149	-8 30 40.76	403875.807	21	0 23 25 22.265	-2 55 32.55	367859.145
	6 13 59 3.975	-9 20 20.29	403444.545		6 23 39 1.617	-1 48 20.68	367088.638
	12 14 10 48.853	-10 8 41.81	402976.854		12 23 52 43.579	-0 40 27.38	366365.879
	18 14 22 39.103	-10 55 36.97	402475.047		18 0 6 28.600	0 27 52.14	365696.032
11	0 14 34 35.012	-11 40 57.33	401941.337	22	0 0 20 17.116	1 36 22.15	365084.230
	6 14 46 36.824	-12 24 34.37	401377.821		6 0 34 9.544	2 44 46.39	364535.515
	12 14 58 44.741	-13 6 19.52	400786.467		12 0 48 6.275	3 52 48.17	364054.779
	18 15 10 58.919	-13 46 4.20	400169.110		18 1 2 7.656	5 0 10.44	363646.695
12	0 15 23 19.465	-14 23 39.88	399527.439	23	0 1 16 13.990	6 6 35.80	363315.659
	6 15 35 46.435	-14 58 58.08	398862.995		6 1 30 25.518	7 11 46.70	363065.719
	12 15 48 19.832	-15 31 50.48	398177.166		12 1 44 42.412	8 15 25.46	362900.517
	18 16 0 59.608	-16 2 8.91	397471.188		18 1 59 4.767	9 17 14.48	362823.229
13	0 16 13 45.655	-16 29 45.48	396746.149	24	0 2 13 32.589	10 16 56.31	362836.510
	6 16 26 37.815	-16 54 32.60	396002.991		6 2 28 5.790	11 14 13.89	362942.445
	12 16 39 35.875	-17 16 23.02	395242.519		12 2 42 44.178	12 8 50.65	363142.509
	18 16 52 39.570	-17 35 9.97	394465.411		18 2 57 27.455	13 0 30.76	363437.530
14	0 17 5 48.588	-17 50 47.14	393672.231	25	0 3 12 15.215	13 48 59.23	363827.664
	6 17 19 2.573	-18 3 8.79	392863.444		6 3 27 6.941	14 34 2.18	364312.379
	12 17 32 21.129	-18 12 9.79	392039.433		12 3 42 2.010	15 15 26.94	364890.445
	18 17 45 43.828	-18 17 45.68	391200.517		18 3 56 59.699	15 53 2.27	365559.941

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 26 0	4 11 59.193	16 26 38.45	366318.264	Déc. 7 0	13 33 23.275	- 7 20 7.06	403714.454
6	4 26 59.599	16 56 7.44	367162.151	6	13 44 55.352	- 8 11 36.74	403303.016
12	4 41 59.959	17 21 22.97	368087.708	12	13 56 32.280	- 9 2 1.24	402833.297
18	4 56 59.266	17 42 20.56	369090.448	18	14 8 14.530	- 9 51 12.69	402308.757
27 0	5 11 56.489	17 58 57.58	370165.335	8 0	14 20 2.538	-10 39 3.00	401733.007
6	5 26 50.587	18 11 13.22	371306.838	6	14 31 56.700	-11 25 23.86	401109.778
12	5 41 40.530	18 19 8.46	372508.982	12	14 43 57.370	-12 10 6.76	400442.900
18	5 56 25.324	18 22 45.93	373765.407	18	14 56 4.855	-12 53 3.00	399736.270
28 0	6 11 4.023	18 22 9.90	375069.434	9 0	15 8 19.408	-13 34 3.74	398993.827
6	6 25 35.752	18 17 26.04	376414.124	6	15 20 41.228	-14 13 0.03	398219.526
12	6 39 59.717	18 8 41.32	377792.341	12	15 33 10.452	-14 49 42.84	397417.307
18	6 54 15.217	17 56 3.84	379196.819	18	15 45 47.153	-15 24 3.13	396591.073
29 0	7 8 21.657	17 39 42.63	380620.217	10 0	15 58 31.336	-15 55 51.94	395744.659
6	7 22 18.546	17 19 47.49	382055.184	6	16 11 22.934	-16 25 0.41	394881.809
12	7 36 5.509	16 56 28.80	383494.410	12	16 24 21.811	-16 51 19.90	394006.154
18	7 49 42.276	16 29 57.38	384930.682	18	16 37 27.754	-17 14 42.06	393121.183
30 0	8 3 8.689	16 0 24.31	386356.932	11 0	16 50 40.480	-17 34 58.95	392230.229
6	8 16 24.695	15 28 0.80	387766.284	6	17 3 59.635	-17 52 3.07	391336.445
12	8 29 30.334	14 52 58.08	389152.091	12	17 17 24.796	-18 5 47.55	390442.788
18	8 42 25.743	14 15 27.27	390507.976	18	17 30 55.482	-18 16 6.14	389552.008
Déc. 1 0	8 55 11.138	13 35 39.32	391827.862	12 0	17 44 31.153	-18 22 53.38	388666.629
6	9 7 46.811	12 53 44.94	393106.003	6	17 58 11.223	-18 26 4.64	387788.950
12	9 20 13.121	12 9 54.51	394337.006	12	18 11 55.071	-18 25 36.21	386921.030
18	9 32 30.485	11 24 18.10	395515.853	18	18 25 42.047	-18 21 25.36	386064.691
2 0	9 44 39.372	10 37 5.40	396637.918	13 0	18 39 31.487	-18 13 30.39	385221.520
6	9 56 40.291	9 48 25.73	397698.980	6	18 53 22.723	-18 1 50.65	384392.868
12	10 8 33.790	8 58 28.04	398695.235	12	19 7 15.099	-17 46 26.57	383579.863
18	10 20 20.446	8 7 20.92	399623.301	18	19 21 7.978	-17 27 19.69	382783.418
3 0	10 32 0.862	7 15 12.60	400480.226	14 0	19 35 0.760	-17 4 32.60	382004.247
6	10 43 35.656	6 22 11.00	401263.486	6	19 48 52.886	-16 38 8.95	381242.882
12	10 55 5.466	5 28 23.73	401970.987	12	20 2 43.853	-16 8 13.41	380499.691
18	11 6 30.938	4 33 58.15	402601.062	18	20 16 33.219	-15 34 51.59	379774.902
4 0	11 17 52.725	3 39 1.37	403152.467	15 0	20 30 20.610	-14 58 10.02	379068.628
6	11 29 11.485	2 43 40.33	403624.372	6	20 44 5.727	-14 18 16.08	378380.894
12	11 40 27.878	1 48 1.81	404016.355	12	20 57 48.346	-13 35 17.92	377711.662
18	11 51 42.563	0 52 12.47	404328.393	18	21 11 28.324	-12 49 24.39	377060.861
5 0	12 2 56.195	- 0 3 41.11	404560.846	16 0	21 25 5.594	-12 0 44.99	376428.416
6	12 14 9.424	- 0 59 32.37	404714.449	6	21 38 40.168	-11 9 29.79	375814.279
12	12 25 22.893	- 1 55 14.76	404790.292	12	21 52 12.132	-10 15 49.35	375218.453
18	12 36 37.235	- 2 50 41.69	404789.811	18	22 5 41.643	- 9 19 54.73	374641.023
6 0	12 47 53.071	- 3 45 46.50	404714.766	17 0	22 19 8.926	- 8 21 57.37	374082.178
6	12 59 11.011	- 4 40 22.42	404567.222	6	22 32 34.266	- 7 22 9.08	373542.239
12	13 10 31.646	- 5 34 22.56	404349.534	12	22 45 58.004	- 6 20 42.01	373021.676
18	13 21 55.550	- 6 27 39.85	404064.322	18	22 59 20.531	- 5 17 48.59	372521.129

LUNE 2015 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Déc. 18	0 23 12 42.279	- 4 13 41.56	372041.421	Déc. 26	0 6 44 45.778	18 11 6.04	378408.672
	6 23 26 3.717	- 3 8 33.90	371583.568		6 6 59 2.467	17 57 59.25	379478.870
	12 23 39 25.341	- 2 2 38.86	371148.788		12 7 13 11.715	17 41 5.94	380584.405
	18 23 52 47.668	- 0 56 9.93	370738.502		18 7 27 12.879	17 20 34.97	381720.398
19	0 0 6 11.228	0 10 39.19	370354.335	27	0 7 41 5.411	16 56 36.03	382881.698
	6 0 19 36.556	1 17 34.53	369998.103		6 7 54 48.871	16 29 19.48	384062.921
	12 0 33 4.183	2 24 21.92	369671.807		12 8 8 22.921	15 58 56.20	385258.492
	18 0 46 34.627	3 30 47.00	369377.617		18 8 21 47.332	15 25 37.43	386462.688
20	0 1 0 8.387	4 36 35.20	369117.849	28	0 8 35 1.976	14 49 34.62	387669.679
	6 1 13 45.931	5 41 31.78	368894.937		6 8 48 6.825	14 10 59.34	388873.573
	12 1 27 27.687	6 45 21.88	368711.413		12 9 1 1.941	13 30 3.12	390068.457
	18 1 41 14.037	7 47 50.55	368569.864		18 9 13 47.475	12 46 57.38	391248.438
21	0 1 55 5.302	8 48 42.81	368472.900	29	0 9 26 23.655	12 1 53.34	392407.683
	6 2 9 1.738	9 47 43.71	368423.118		6 9 38 50.779	11 15 1.95	393540.457
	12 2 23 3.522	10 44 38.42	368423.054		12 9 51 9.211	10 26 33.83	394641.159
	18 2 37 10.748	11 39 12.32	368475.143		18 10 3 19.369	9 36 39.28	395704.355
22	0 2 51 23.415	12 31 11.12	368581.678	30	0 10 15 21.719	8 45 28.19	396724.812
	6 3 5 41.426	13 20 20.97	368744.761		6 10 27 16.771	7 53 10.06	397697.526
	12 3 20 4.576	14 6 28.59	368966.264		12 10 39 5.068	6 59 54.02	398617.748
	18 3 34 32.554	14 49 21.41	369247.785		18 10 50 47.184	6 5 48.79	399481.011
23	0 3 49 4.941	15 28 47.74	369590.613	31	0 11 2 23.718	5 11 2.73	400283.151
	6 4 3 41.212	16 4 36.86	369995.685		6 11 13 55.288	4 15 43.86	401020.328
	12 4 18 20.736	16 36 39.22	370463.560		12 11 25 22.529	3 19 59.85	401689.040
	18 4 33 2.792	17 4 46.51	370994.391		18 11 36 46.085	2 23 58.12	402286.144
24	0 4 47 46.569	17 28 51.82	371587.898	32	0 11 48 6.613	1 27 45.80	402808.866
	6 5 2 31.187	17 48 49.75	372243.356		6 11 59 24.774	0 31 29.82	403254.813
	12 5 17 15.710	18 4 36.43	372959.577		12 12 10 41.231	- 0 24 43.08	403621.982
	18 5 31 59.160	18 16 9.59	373734.915		18 12 21 56.649	- 1 20 46.29	403908.769
25	0 5 46 40.540	18 23 28.62	374567.255	33	0 12 33 11.694	- 2 16 33.30	404113.972
	6 6 1 18.852	18 26 34.49	375454.027		6 12 44 27.025	- 3 11 57.66	404236.797
	12 6 15 53.116	18 25 29.75	376392.216		12 12 55 43.297	- 4 6 52.95	404276.861
	18 6 30 22.388	18 20 18.45	377378.380		18 13 7 1.157	- 5 1 12.71	404234.187

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 2015 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	325 5 58.33	- 6 57 19.50	0.40229748	Févr.	15	198 20 7.98	3 30 45.43	0.41417083
	1	328 53 6.35	- 6 53 10.53	0.39685912		16	201 46 42.99	3 8 28.79	0.41907495
	2	332 46 32.54	- 6 47 2.90	0.39129727		17	205 8 28.10	2 46 3.10	0.42378482
	3	336 46 39.41	- 6 38 48.21	0.38563407		18	208 25 45.28	2 23 33.20	0.42828854
	4	340 53 49.48	- 6 28 17.86	0.37989421		19	211 38 55.53	2 1 3.26	0.43257557
	5	345 8 24.96	- 6 15 23.27	0.37410514		20	214 48 18.92	1 38 36.85	0.43663659
	6	349 30 47.45	- 5 59 56.09	0.36829728		21	217 54 14.61	1 16 17.08	0.44046343
	7	354 1 17.36	- 5 41 48.55	0.36250410		22	220 57 0.91	0 54 6.61	0.44404887
	8	358 40 13.40	- 5 20 53.79	0.35676231		23	223 56 55.31	0 32 7.75	0.44738658
	9	3 27 51.83	- 4 57 6.40	0.35111182		24	226 54 14.54	0 10 22.51	0.45047104
	10	8 24 25.69	- 4 30 22.94	0.34559570		25	229 49 14.62	- 0 11 7.34	0.45329742
	11	13 30 3.82	- 4 0 42.63	0.34026001		26	232 42 10.94	- 0 32 20.26	0.45586154
	12	18 44 49.88	- 3 28 8.03	0.33515337		27	235 33 18.31	- 0 53 14.85	0.45815979
	13	24 8 41.19	- 2 52 45.77	0.33032650		28	238 22 51.03	- 1 13 49.84	0.46018906
14	29 41 27.64	- 2 14 47.28	0.32583136	Mars	1	241 11 2.92	- 1 34 4.07	0.46194674	
15	35 22 50.59	- 1 34 29.33	0.32172024	2	243 58 7.41	- 1 53 56.46	0.46343064		
16	41 12 21.86	- 0 52 14.45	0.31804445	3	246 44 17.60	- 2 13 25.94	0.46463897		
17	47 9 23.05	- 0 8 30.98	0.31485296	4	249 29 46.28	- 2 32 31.49	0.46557030		
18	53 13 5.09	0 36 7.22	0.31219076	5	252 14 46.05	- 2 51 12.07	0.46622356		
19	59 22 28.38	1 21 1.60	0.31009728	6	254 59 29.30	- 3 9 26.63	0.46659802		
20	65 36 23.33	2 5 30.14	0.30860479	7	257 44 8.31	- 3 27 14.08	0.46669324		
21	71 53 31.68	2 48 49.06	0.30773700	8	260 28 55.29	- 3 44 33.26	0.46650913		
22	78 12 28.36	3 30 14.85	0.30750797	9	263 14 2.44	- 4 1 22.93	0.46604589		
23	84 31 43.86	4 9 6.32	0.30792144	10	265 59 41.98	- 4 17 41.76	0.46530404		
24	90 49 47.05	4 44 46.69	0.30897067	11	268 46 6.23	- 4 33 28.32	0.46428443		
25	97 5 8.20	5 16 45.24	0.31063873	12	271 33 27.64	- 4 48 41.01	0.46298824		
26	103 16 21.90	5 44 38.55	0.31289932	13	274 21 58.83	- 5 3 18.12	0.46141701		
27	109 22 9.67	6 8 11.09	0.31571798	14	277 11 52.67	- 5 17 17.72	0.45957265		
28	115 21 22.16	6 27 15.26	0.31905351	15	280 3 22.32	- 5 30 37.72	0.45745748		
29	121 13 0.62	6 41 50.85	0.32285959	16	282 56 41.26	- 5 43 15.80	0.45507428		
30	126 56 17.71	6 52 4.13	0.32708644	17	285 52 3.37	- 5 55 9.41	0.45242630		
Févr.	31	132 30 37.72	6 58 6.64	0.33168232	18	288 49 42.95	- 6 6 15.72	0.44951733	
	1	137 55 36.12	7 0 13.94	0.33659493	19	291 49 54.80	- 6 16 31.62	0.44635174	
	2	143 10 58.74	6 58 44.33	0.34177256	20	294 52 54.24	- 6 25 53.68	0.44293459	
	3	148 16 40.65	6 53 57.71	0.34716503	21	297 58 57.16	- 6 34 18.14	0.43927163	
	4	153 12 44.81	6 46 14.62	0.35272440	22	301 8 20.09	- 6 41 40.85	0.43536948	
	5	157 59 20.75	6 35 55.45	0.35840545	23	304 21 20.19	- 6 47 57.26	0.43123563	
	6	162 36 43.25	6 23 19.89	0.36416600	24	307 38 15.31	- 6 53 2.43	0.42687862	
	7	167 5 11.13	6 8 46.49	0.36996705	25	310 59 24.00	- 6 56 50.92	0.42230814	
	8	171 25 6.18	5 52 32.44	0.37577283	26	314 25 5.55	- 6 59 16.88	0.41753513	
	9	175 36 52.23	5 34 53.43	0.38155076	27	317 55 39.92	- 7 0 13.93	0.41257199	
	10	179 40 54.40	5 16 3.60	0.38727129	28	321 31 27.79	- 6 59 35.25	0.40743270	
	11	183 37 38.46	4 56 15.57	0.39290778	29	325 12 50.42	- 6 57 13.54	0.40213300	
	12	187 27 30.36	4 35 40.52	0.39843630	30	329 0 9.67	- 6 53 1.04	0.39669059	
	13	191 10 55.85	4 14 28.28	0.40383539	31	332 53 47.78	- 6 46 49.64	0.39112533	
14	194 48 20.19	3 52 47.42	0.40908592	Avril	1	336 54 7.26	- 6 38 30.91	0.38545943	

MERCURE 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.			
	° / ' / "	° / ' / "	ua		° / ' / "	° / ' / "	ua			
Avril	2	341 1 30.61	- 6 27 56.26	0.379 717 66	Mai	18	211 44 46.80	2 0 21.80	0.432 703 55	
	3	345 16 20.06	- 6 14 57.11	0.373 927 57		19	214 54 3.53	1 37 55.56	0.436 757 57	
	4	349 38 57.16	- 5 59 25.13	0.368 119 65		20	217 59 53.13	1 15 36.03	0.440 577 15	
	5	354 9 42.28	- 5 41 12.55	0.362 327 49		21	221 2 33.89	0 53 25.89	0.444 155 13	
	6	358 48 54.06	- 5 20 12.57	0.356 587 88		22	224 2 23.26	0 31 27.42	0.447 485 20	
	7	3 36 48.69	- 4 56 19.82	0.350 940 85		23	226 59 37.97	0 9 42.63	0.450 561 86	
	8	8 33 39.09	- 4 29 30.94	0.345 429 56		24	229 54 34.00	- 0 11 46.73	0.453 380 30	
	9	13 39 33.95	- 3 59 45.23	0.340 100 14		25	232 47 26.74	- 0 32 59.10	0.455 936 35	
	10	18 54 36.76	- 3 27 5.37	0.335 001 30		26	235 38 30.98	- 0 53 53.10	0.458 226 43	
	11	24 18 44.63	- 2 51 38.13	0.330 183 79		27	238 28 0.98	- 1 14 27.47	0.460 247 45	
	12	29 51 47.20	- 2 13 35.09	0.325 699 63		28	241 16 10.57	- 1 34 41.05	0.461 996 80	
	13	35 33 25.55	- 1 33 13.20	0.321 601 07		29	244 3 13.17	- 1 54 32.74	0.463 472 30	
	14	41 23 11.21	- 0 50 55.15	0.317 939 39		30	246 49 21.86	- 2 14 1.50	0.464 672 18	
	15	47 20 25.44	- 0 7 9.48	0.314 763 44		31	249 34 49.44	- 2 33 6.29	0.465 595 02	
	16	53 24 18.87	0 37 29.80	0.312 118 09		Juin	1	252 19 48.48	- 2 51 46.09	0.466 239 77
	17	59 33 51.54	1 22 24.02	0.310 042 56			2	255 4 31.37	- 3 9 59.83	0.466 605 68
18	65 47 53.61	2 6 51.08	0.308 568 88	3	257 49 10.40		- 3 27 46.42	0.466 692 36		
19	72 5 6.57	2 50 7.18	0.307 720 48	4	260 33 57.78		- 3 45 4.71	0.466 499 69		
20	78 24 5.17	3 31 28.82	0.307 511 10	5	263 19 5.70		- 4 1 53.45	0.466 027 90		
21	84 43 19.80	4 10 14.96	0.307 944 18	6	266 4 46.38		- 4 18 11.31	0.465 277 52		
22	91 1 19.36	4 45 48.95	0.309 012 63	7	268 51 12.15		- 4 33 56.85	0.464 249 41		
23	97 16 34.18	5 17 40.29	0.310 699 25	8	271 38 35.46		- 4 49 8.47	0.462 944 75		
24	103 27 39.02	5 45 25.79	0.312 977 47	9	274 27 8.95		- 5 3 44.45	0.461 365 10		
25	109 33 15.68	6 8 50.17	0.315 812 58	10	277 17 5.49		- 5 17 42.86	0.459 512 38		
26	115 32 15.10	6 27 46.08	0.319 163 20	11	280 8 38.23		- 5 31 1.61	0.457 388 92		
27	121 23 38.86	6 42 13.50	0.322 982 90	12	283 2 0.70		- 5 43 38.37	0.454 997 52		
28	127 6 39.99	6 52 18.89	0.327 221 81	13	285 57 26.76		- 5 55 30.56	0.452 341 44		
29	132 40 43.13	6 58 13.94	0.331 828 15	14	288 55 10.74		- 6 6 35.37	0.449 424 48		
30	138 5 24.08	7 0 14.31	0.336 749 62	15	291 55 27.45		- 6 16 49.67	0.446 251 05		
Mai	1	143 20 28.98	6 58 38.35	0.341 934 55	16		294 58 32.23	- 6 26 10.03	0.442 826 20	
	2	148 25 53.14	6 53 46.01	0.347 332 83	17	298 4 41.00	- 6 34 32.65	0.439 155 74		
	3	153 21 39.75	6 45 57.83	0.352 896 58	18	301 14 10.29	- 6 41 53.40	0.435 246 28		
	4	158 7 58.52	6 35 34.19	0.358 580 68	19	304 27 17.29	- 6 48 7.71	0.431 105 37		
	5	162 45 4.37	6 22 54.74	0.364 343 04	20	307 44 19.87	- 6 53 10.60	0.426 741 58		
	6	167 13 16.23	6 8 17.99	0.370 144 76	21	311 5 36.62	- 6 56 56.66	0.422 164 61		
	7	171 32 55.96	5 52 1.11	0.375 950 18	22	314 31 26.82	- 6 59 19.98	0.417 385 46		
	8	175 44 27.44	5 34 19.72	0.381 726 79	23	318 2 10.48	- 7 0 14.21	0.412 416 59		
	9	179 48 15.82	5 15 27.92	0.387 445 16	24	321 38 8.28	- 6 59 32.48	0.407 272 00		
	10	183 44 46.88	4 55 38.29	0.393 078 72	25	325 19 41.53	- 6 57 7.49	0.401 967 52		
	11	187 34 26.57	4 35 1.95	0.398 603 61	26	329 7 12.08	- 6 52 51.48	0.396 520 89		
	12	191 17 40.62	4 13 48.70	0.403 998 47	27	333 1 2.19	- 6 46 36.30	0.390 952 04		
	13	194 54 54.30	3 52 7.08	0.409 244 21	28	337 1 34.36	- 6 38 13.53	0.385 283 27		
	14	198 26 32.15	3 30 4.55	0.414 323 83	29	341 9 11.12	- 6 27 34.58	0.379 539 43		
	15	201 52 57.94	3 7 47.54	0.419 222 23	30	345 24 14.67	- 6 14 30.86	0.373 748 15		
	16	205 14 34.52	2 45 21.66	0.423 926 01	Juill.	1	349 47 6.52	- 5 58 54.06	0.367 940 02	
17	208 31 43.81	2 22 51.69	0.428 423 28	2		354 18 7.03	- 5 40 36.44	0.362 148 74		

MERCURE 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Juill.	3 358 57 34.75	- 5 19 31.22	0.356 411 18	Août	18 224 7 54.57	0 30 46.71	0.447 584 63
	4 3 45 45.79	- 4 55 33.09	0.350 767 48		19 227 5 4.70	0 9 2.38	0.450 653 38
	5 8 42 52.96	- 4 28 38.77	0.345 260 90		20 229 59 56.66	- 0 12 26.47	0.453 463 76
	6 13 49 4.82	- 3 58 47.63	0.339 937 65		21 232 52 45.78	- 0 33 38.29	0.456 011 63
	7 19 4 24.66	- 3 26 2.49	0.334 846 52		22 235 43 46.85	- 0 54 31.69	0.458 293 41
	8 24 28 49.39	- 2 50 30.24	0.330 038 33		23 238 33 14.12	- 1 15 5.43	0.460 306 04
	9 30 2 8.41	- 2 12 22.62	0.325 565 09		24 241 21 21.40	- 1 35 18.34	0.462 046 92
	10 35 44 2.50	- 1 31 56.75	0.321 479 08		25 244 8 22.11	- 1 55 9.33	0.463 513 89
	11 41 34 2.90	- 0 49 35.52	0.317 831 51		26 246 54 29.30	- 2 14 37.36	0.464 705 17
	12 47 31 30.53	- 0 5 47.63	0.314 671 15		27 249 39 55.78	- 2 33 41.39	0.465 619 38
	13 53 35 35.68	0 38 52.76	0.312 042 71		28 252 24 54.10	- 2 52 20.39	0.466 255 45
	14 59 45 18.10	1 23 46.83	0.309 985 22		29 255 9 36.67	- 3 10 33.30	0.466 612 67
15 65 59 27.63	2 8 12.40	0.308 530 47	30 257 54 15.75	- 3 28 19.03	0.466 690 63		
16 72 16 45.52	2 51 25.65	0.307 701 60	31 260 39 3.57	- 3 45 36.42	0.466 489 25		
17 78 35 46.34	3 32 43.14	0.307 512 05	Sept. 1 263 24 12.30	- 4 2 24.22	0.466 008 75		
18 84 55 0.40	4 11 23.89	0.307 964 92	2 266 9 54.18	- 4 18 41.11	0.465 249 67		
19 91 12 56.55	4 46 51.46	0.309 052 83	3 268 56 21.54	- 4 34 25.62	0.464 212 89		
20 97 28 5.25	5 18 35.54	0.310 758 24	4 271 43 46.83	- 4 49 36.16	0.462 899 60		
21 103 39 1.42	5 46 13.18	0.313 054 32	5 274 32 22.69	- 5 4 11.01	0.461 311 36		
22 109 44 27.10	6 9 29.36	0.315 906 13	6 277 22 22.02	- 5 18 8.23	0.459 450 12		
23 115 43 13.54	6 28 16.93	0.319 272 10	7 280 13 57.97	- 5 31 25.71	0.457 318 22		
24 121 34 22.66	6 42 36.13	0.323 105 68	8 283 7 24.07	- 5 44 1.13	0.454 918 46		
25 127 17 7.86	6 52 33.57	0.327 356 90	9 286 2 54.21	- 5 55 51.90	0.452 254 13		
26 132 50 54.13	6 58 21.10	0.331 973 94	10 289 0 42.72	- 6 6 55.20	0.449 329 04		
27 138 15 17.59	7 0 14.48	0.336 904 51	11 292 1 4.44	- 6 17 7.88	0.446 147 63		
28 143 30 4.70	6 58 32.13	0.342 096 96	12 295 4 14.73	- 6 26 26.51	0.442 714 96		
29 148 35 11.03	6 53 34.03	0.347 501 24	13 298 10 29.51	- 6 34 47.28	0.439 036 88		
30 153 30 39.99	6 45 40.71	0.353 069 55	14 301 20 5.34	- 6 42 6.04	0.435 120 01		
31 158 16 41.48	6 35 12.56	0.358 756 86	15 304 33 19.44	- 6 48 18.21	0.430 971 94		
Août 1 162 53 30.56	6 22 29.19	0.364 521 17	16 307 50 29.69	- 6 53 18.81	0.426 601 27		
2 167 21 26.27	6 7 49.09	0.370 323 68	17 311 11 54.71	- 6 57 2.39	0.422 017 74		
3 171 40 50.55	5 51 29.35	0.376 128 83	18 314 37 53.80	- 6 59 23.06	0.417 232 42		
4 175 52 7.33	5 33 45.57	0.381 904 20	19 318 8 46.99	- 7 0 14.41	0.412 257 76		
5 179 55 41.78	5 14 51.79	0.387 620 46	20 321 44 54.98	- 6 59 29.59	0.407 107 87		
6 183 51 59.71	4 55 0.54	0.393 251 12	21 325 26 39.11	- 6 57 1.27	0.401 798 60		
7 187 41 27.07	4 34 22.92	0.398 772 40	22 329 14 21.23	- 6 52 41.68	0.396 347 78		
8 191 24 29.58	4 13 8.66	0.404 163 02	23 333 8 23.62	- 6 46 22.66	0.390 775 41		
9 195 1 32.47	3 51 26.29	0.409 403 95	24 337 9 8.80	- 6 37 55.78	0.385 103 84		
10 198 33 0.28	3 29 23.21	0.414 478 26	25 341 16 59.26	- 6 27 12.45	0.379 358 04		
11 201 59 16.75	3 7 5.86	0.419 370 90	26 345 32 17.20	- 6 14 4.09	0.373 565 72		
12 205 20 44.69	2 44 39.78	0.424 068 52	27 349 55 24.12	- 5 58 22.39	0.367 757 56		
13 208 37 46.02	2 22 9.76	0.428 559 28	28 354 26 40.30	- 5 39 59.64	0.361 967 35		
14 211 50 41.67	1 59 39.94	0.432 832 73	29 359 6 24.26	- 5 18 49.10	0.356 232 09		
15 214 59 51.67	1 37 13.86	0.436 879 65	30 3 54 52.00	- 4 54 45.50	0.350 592 00		
16 218 5 35.11	1 14 54.59	0.440 691 89	Oct. 1 8 52 16.21	- 4 27 45.64	0.345 090 45		
17 221 8 10.27	0 52 44.78	0.444 262 31	2 13 58 45.30	- 3 57 49.01	0.339 773 73		

MERCURE 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.			
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua			
Oct.	3	19	14	22.37	- 3	24	58.50	0.334 690 71	Nov.	18	235	49	1.78	- 0	55	10.14	0.458 360 35	
	4	24	39	4.13	- 2	49	21.19	0.329 892 25		19	238	38	26.36	- 1	15	43.24	0.460 364 50	
	5	30	12	39.70	- 2	11	8.95	0.325 430 41		20	241	26	31.38	- 1	35	55.49	0.462 096 82	
	6	35	54	49.60	- 1	30	39.08	0.321 357 43		21	244	13	30.24	- 1	55	45.79	0.463 555 18	
	7	41	45	4.72	- 0	48	14.67	0.317 724 47		22	246	59	35.99	- 2	15	13.09	0.464 737 81	
	8	47	42	45.67	- 0	4	24.58	0.314 580 21		23	249	45	1.42	- 2	34	16.37	0.465 643 33	
	9	53	47	2.41	0	40	16.86	0.311 969 20		24	252	29	59.09	- 2	52	54.58	0.466 270 69	
	10	59	56	54.33	1	25	10.70	0.309 930 26		25	255	14	41.39	- 3	11	6.67	0.466 619 19	
	11	66	11	11.01	2	9	34.68	0.308 494 93		26	257	59	20.58	- 3	28	51.55	0.466 688 43	
	12	72	28	33.44	2	52	44.97	0.307 686 05		27	260	44	8.88	- 3	46	8.04	0.466 478 33	
	13	78	47	36.03	3	33	58.17	0.307 516 75		28	263	29	18.49	- 4	2	54.91	0.465 989 14	
	14	85	6	48.97	4	12	33.42	0.307 989 79		29	266	15	1.63	- 4	19	10.82	0.465 221 40	
	15	91	24	41.16	4	47	54.43	0.309 097 47		30	269	1	30.63	- 4	34	54.31	0.464 175 99	
	16	97	39	43.12	5	19	31.12	0.310 821 94		Déc.	1	271	48	57.95	- 4	50	3.78	0.462 854 12
	17	103	50	29.98	5	47	0.78	0.313 136 08			2	274	37	36.24	- 5	4	37.49	0.461 257 37
	18	109	55	44.04	6	10	8.63	0.316 004 73			3	277	27	38.40	- 5	18	33.52	0.459 387 68
	19	115	54	16.87	6	28	47.79	0.319 386 15			4	280	19	17.61	- 5	31	49.74	0.457 247 42
20	121	45	10.74	6	42	58.69	0.323 233 63	5	283		12	47.38	- 5	44	23.81	0.454 839 41		
21	127	27	39.41	6	52	48.13	0.327 497 13	6	286		8	21.63	- 5	56	13.17	0.452 166 94		
22	133	1	8.24	6	58	28.11	0.332 124 81	7	289		6	14.71	- 6	7	14.95	0.449 233 85		
23	138	25	13.69	7	0	14.48	0.337 064 37	8	292	6	41.47	- 6	17	26.01	0.446 044 58			
24	143	39	42.52	6	58	25.73	0.342 264 20	9	295	9	57.27	- 6	26	42.91	0.442 604 25			
25	148	44	30.58	6	53	21.86	0.347 674 32	10	298	16	18.07	- 6	35	1.83	0.438 918 69			
26	153	39	41.50	6	45	23.43	0.353 247 00	11	301	26	0.44	- 6	42	18.59	0.434 994 59			
27	158	25	25.35	6	34	50.79	0.358 937 31	12	304	39	21.62	- 6	48	28.63	0.430 839 53			
28	163	1	57.34	6	22	3.53	0.364 703 34	13	307	56	39.53	- 6	53	26.92	0.426 462 17			
29	167	29	36.62	6	7	20.09	0.370 506 41	14	311	18	12.77	- 6	57	8.03	0.421 872 28			
30	171	48	45.20	5	50	57.52	0.376 311 05	15	314	44	20.71	- 6	59	26.02	0.417 080 96			
31	175	59	47.07	5	33	11.37	0.382 084 95	16	318	15	23.36	- 7	0	14.50	0.412 100 74			
Nov.	1	180	3	7.42	5	14	15.64	0.387 798 85	17	321	51	41.47	- 6	59	26.59	0.406 945 75		
	2	183	59	12.06	4	54	22.81	0.393 426 37	18	325	33	36.37	- 6	56	54.93	0.401 631 91		
	3	187	48	26.95	4	33	43.92	0.398 943 81	19	329	21	29.95	- 6	52	31.76	0.396 177 11		
	4	191	31	17.80	4	12	28.68	0.404 329 95	20	333	15	44.48	- 6	46	8.91	0.390 601 42		
	5	195	8	9.81	3	50	45.57	0.409 565 84	21	337	16	42.48	- 6	37	37.93	0.384 927 27		
	6	198	39	27.51	3	28	41.97	0.414 634 63	22	341	24	46.46	- 6	26	50.23	0.379 179 71		
7	202	5	34.59	3	6	24.28	0.419 521 29	23	345	40	18.59	- 6	13	37.24	0.373 386 53			
8	205	26	53.86	2	43	58.02	0.424 212 55	24	350	3	40.32	- 5	57	50.67	0.367 578 53			
9	208	43	47.18	2	21	27.96	0.428 696 60	25	354	35	11.91	- 5	39	22.82	0.361 789 57			
10	211	56	35.48	1	58	58.21	0.432 963 04	26	359	15	11.80	- 5	18	6.99	0.356 056 75			
11	215	5	38.73	1	36	32.30	0.437 002 67	27	4	3	55.90	- 4	53	57.98	0.350 420 40			
12	218	11	16.02	1	14	13.30	0.440 807 40	28	9	1	36.77	- 4	26	52.65	0.344 923 97			
13	221	13	45.58	0	52	3.82	0.444 370 10	29	14	8	22.70	- 3	56	50.58	0.339 613 84			
14	224	13	24.82	0	30	6.15	0.447 684 52	30	19	24	16.59	- 3	23	54.79	0.334 538 95			
15	227	10	30.40	0	8	22.28	0.450 745 21	31	24	49	14.94	- 2	48	12.49	0.329 750 21			
16	230	5	18.30	- 0	13	6.06	0.453 547 41	32	30	23	6.61	- 2	9	55.72	0.325 299 70			
17	232	58	3.84	- 0	34	17.32	0.456 086 98	33	36	5	31.83	- 1	29	21.96	0.321 239 63			

VÉNUMS 2015 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	317	31	15.64	- 2	57	58.57	0.728 185 66	Avril	2	104	39	33.91	1	35	45.93	0.718 949 84		
	2	320	41	9.47	- 3	3	10.11	0.728 148 13		4	107	54	1.47	1	45	46.83	0.718 834 33		
	4	323	51	6.44	- 3	7	48.22	0.728 095 74		6	111	8	34.60	1	55	27.61	0.718 733 04		
	6	327	1	6.86	- 3	11	52.03	0.728 028 66		8	114	23	12.96	2	4	46.36	0.718 646 30		
	8	330	11	11.00	- 3	15	20.79	0.727 947 08		10	117	37	56.14	2	13	41.25	0.718 574 38		
	10	333	21	19.13	- 3	18	13.84	0.727 851 25		12	120	52	43.72	2	22	10.52	0.718 517 53		
	12	336	31	31.46	- 3	20	30.62	0.727 741 46		14	124	7	35.23	2	30	12.50	0.718 475 93		
	14	339	41	48.22	- 3	22	10.70	0.727 618 03		16	127	22	30.17	2	37	45.61	0.718 449 71		
	16	342	52	9.59	- 3	23	13.72	0.727 481 34		18	130	37	27.98	2	44	48.35	0.718 438 97		
	18	346	2	35.75	- 3	23	39.45	0.727 331 81		20	133	52	28.11	2	51	19.34	0.718 443 73		
	20	349	13	6.84	- 3	23	27.76	0.727 169 87		22	137	7	29.95	2	57	17.30	0.718 463 99		
	22	352	23	43.01	- 3	22	38.65	0.726 996 02		24	140	22	32.88	3	2	41.07	0.718 499 67		
	24	355	34	24.39	- 3	21	12.21	0.726 810 79		26	143	37	36.24	3	7	29.59	0.718 550 67		
	26	358	45	11.09	- 3	19	8.65	0.726 614 73		28	146	52	39.36	3	11	41.92	0.718 616 81		
	28	1	56	3.21	- 3	16	28.28	0.726 408 44		30	150	7	41.57	3	15	17.28	0.718 697 89		
	Févr.	30	5	7	0.86	- 3	13	11.54		0.726 192 55	Mai	2	153	22	42.16	3	18	14.96	0.718 793 63
		1	8	18	4.11	- 3	9	18.97		0.725 967 71		4	156	37	40.44	3	20	34.43	0.718 903 72
		3	11	29	13.07	- 3	4	51.22		0.725 734 61		6	159	52	35.71	3	22	15.25	0.719 027 81
5		14	40	27.81	- 2	59	49.05	0.725 493 97	8	163		7	27.26	3	23	17.14	0.719 165 49		
7		17	51	48.41	- 2	54	13.33	0.725 246 51	10	166		22	14.39	3	23	39.95	0.719 316 32		
9		21	3	14.96	- 2	48	5.03	0.724 992 99	12	169		36	56.45	3	23	23.64	0.719 479 81		
11		24	14	47.54	- 2	41	25.22	0.724 734 20	14	172		51	32.75	3	22	28.32	0.719 655 42		
13		27	26	26.22	- 2	34	15.09	0.724 470 94	16	176		6	2.67	3	20	54.23	0.719 842 59		
15		30	38	11.09	- 2	26	35.89	0.724 204 01	18	179		20	25.59	3	18	41.74	0.720 040 72		
17		33	50	2.25	- 2	18	29.01	0.723 934 24	20	182		34	40.93	3	15	51.34	0.720 249 16		
19		37	1	59.76	- 2	9	55.89	0.723 662 47	22	185		48	48.15	3	12	23.64	0.720 467 25		
21		40	14	3.73	- 2	0	58.09	0.723 389 54	24	189		2	46.75	3	8	19.39	0.720 694 29		
23		43	26	14.25	- 1	51	37.23	0.723 116 30	26	192		16	36.26	3	3	39.44	0.720 929 54		
25		46	38	31.39	- 1	41	55.02	0.722 843 61	28	195		30	16.27	2	58	24.76	0.721 172 26		
27		49	50	55.26	- 1	31	53.23	0.722 572 33	30	198		43	46.41	2	52	36.44	0.721 421 67		
Mars		1	53	3	25.94	- 1	21	33.73	0.722 303 30	Juin		1	201	57	6.36	2	46	15.65	0.721 676 97
		3	56	16	3.51	- 1	10	58.41	0.722 037 36			3	205	10	15.88	2	39	23.67	0.721 937 36
		5	59	28	48.05	- 1	0	9.26	0.721 775 37			5	208	23	14.74	2	32	1.90	0.722 202 01
	7	62	41	39.63	- 0	49	8.28	0.721 518 14	7		211	36	2.79	2	24	11.78	0.722 470 08		
	9	65	54	38.31	- 0	37	57.56	0.721 266 50	9		214	48	39.95	2	15	54.88	0.722 740 72		
	11	69	7	44.13	- 0	26	39.19	0.721 021 24	11		218	1	6.18	2	7	12.81	0.723 013 10		
	13	72	20	57.13	- 0	15	15.32	0.720 783 15	13		221	13	21.48	1	58	7.28	0.723 286 34		
	15	75	34	17.33	- 0	3	48.11	0.720 552 98	15		224	25	25.93	1	48	40.05	0.723 559 60		
	17	78	47	44.71	0	7	40.25	0.720 331 47	17		227	37	19.65	1	38	52.94	0.723 832 01		
	19	82	1	19.27	0	19	7.57	0.720 119 33	19		230	49	2.82	1	28	47.82	0.724 102 75		
	21	85	15	0.94	0	30	31.64	0.719 917 25	21		234	0	35.68	1	18	26.61	0.724 370 95		
	23	88	28	49.64	0	41	50.26	0.719 725 86	23		237	11	58.48	1	7	51.28	0.724 635 79		
	25	91	42	45.29	0	53	1.26	0.719 545 80	25		240	23	11.55	0	57	3.81	0.724 896 46		
	27	94	56	47.72	1	4	2.45	0.719 377 64	27		243	34	15.24	0	46	6.22	0.725 152 14		
	29	98	10	56.78	1	14	51.69	0.719 221 93	29		246	45	9.96	0	35	0.56	0.725 402 06		
	31	101	25	12.26	1	25	26.88	0.719 079 18	Julil.		1	249	55	56.15	0	23	48.88	0.725 645 45	

VÉNUS 2015 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua		
Juill.	3	253	6	34.25	0	12	33.25	0.725 881 55	Oct.	3	39	6	41.47	- 2	4	8.42	0.723 520 25
	5	256	17	4.77	0	1	15.74	0.726 109 65		5	42	18	48.59	- 1	54	55.49	0.723 247 50
	7	259	27	28.22	- 0	10	1.59	0.726 329 07		7	45	31	2.29	- 1	45	20.61	0.722 974 90
	9	262	37	45.15	- 0	21	16.67	0.726 539 12		9	48	43	22.66	- 1	35	25.54	0.722 703 29
	11	265	47	56.09	- 0	32	27.46	0.726 739 17		11	51	55	49.81	- 1	25	12.09	0.722 433 53
	13	268	58	1.62	- 0	43	31.94	0.726 928 63		13	55	8	23.81	- 1	14	42.16	0.722 166 47
	15	272	8	2.31	- 0	54	28.11	0.727 106 91		15	58	21	4.75	- 1	3	57.70	0.721 902 94
	17	275	17	58.74	- 1	5	13.99	0.727 273 48		17	61	33	52.71	- 0	53	0.71	0.721 643 78
	19	278	27	51.48	- 1	15	47.66	0.727 427 85		19	64	46	47.75	- 0	41	53.24	0.721 389 80
	21	281	37	41.12	- 1	26	7.20	0.727 569 55		21	67	59	49.92	- 0	30	37.39	0.721 141 81
	23	284	47	28.23	- 1	36	10.78	0.727 698 15		23	71	12	59.28	- 0	19	15.28	0.720 900 60
25	287	57	13.36	- 1	45	56.58	0.727 813 28	25	74	26	15.84	- 0	7	49.08	0.720 666 94		
27	291	6	57.08	- 1	55	22.87	0.727 914 60	27	77	39	39.62	- 0	3	39.05	0.720 441 56		
29	294	16	39.91	- 2	4	27.95	0.728 001 79	29	80	53	10.60	0	15	6.90	0.720 225 20		
31	297	26	22.38	- 2	13	10.19	0.728 074 62	31	84	6	48.73	0	26	32.28	0.720 018 54		
Août	2	300	36	4.99	- 2	21	28.04	0.728 132 86	Nov.	2	87	20	33.97	0	37	52.99	0.719 822 25
	4	303	45	48.21	- 2	29	20.00	0.728 176 34		4	90	34	26.22	0	49	6.84	0.719 636 96
	6	306	55	32.51	- 2	36	44.67	0.728 204 94		6	93	48	25.35	1	0	11.64	0.719 463 26
	8	310	5	18.33	- 2	43	40.71	0.728 218 59		8	97	2	31.20	1	11	5.25	0.719 301 73
	10	313	15	6.06	- 2	50	6.86	0.728 217 23		10	100	16	43.60	1	21	45.55	0.719 152 87
	12	316	24	56.10	- 2	56	1.95	0.728 200 88		12	103	31	2.31	1	32	10.44	0.719 017 18
	14	319	34	48.81	- 3	1	24.92	0.728 169 59		14	106	45	27.07	1	42	17.88	0.718 895 09
	16	322	44	44.52	- 3	6	14.78	0.728 123 46		16	109	59	57.59	1	52	5.90	0.718 787 00
	18	325	54	43.54	- 3	10	30.62	0.728 062 63		18	113	14	33.51	2	1	32.55	0.718 693 27
	20	329	4	46.15	- 3	14	11.67	0.727 987 28		20	116	29	14.46	2	10	35.99	0.718 614 19
	22	332	14	52.62	- 3	17	17.23	0.727 897 63		22	119	44	0.03	2	19	14.42	0.718 550 04
24	335	25	3.18	- 3	19	46.70	0.727 793 95	24	122	58	49.77	2	27	26.15	0.718 501 01		
26	338	35	18.05	- 3	21	39.61	0.727 676 55	26	126	13	43.17	2	35	9.55	0.718 467 27		
28	341	45	37.42	- 3	22	55.57	0.727 545 79	28	129	28	39.72	2	42	23.10	0.718 448 93		
30	344	56	1.47	- 3	23	34.31	0.727 402 04	30	132	43	38.86	2	49	5.38	0.718 446 06		
Sept.	1	348	6	30.37	- 3	23	35.67	0.727 245 75	Déc.	2	135	58	39.99	2	55	15.08	0.718 458 66
	3	351	17	4.24	- 3	22	59.60	0.727 077 37		4	139	13	42.51	3	0	50.98	0.718 486 69
	5	354	27	43.24	- 3	21	46.15	0.726 897 42		6	142	28	45.76	3	5	51.99	0.718 530 07
	7	357	38	27.47	- 3	19	55.50	0.726 706 44		8	145	43	49.10	3	10	17.14	0.718 588 66
	9	0	49	17.04	- 3	17	27.93	0.726 504 99		10	148	58	51.83	3	14	5.57	0.718 662 26
	11	4	0	12.05	- 3	14	23.82	0.726 293 69		12	152	13	53.27	3	17	16.57	0.718 750 64
	13	7	11	12.61	- 3	10	43.70	0.726 073 17		14	155	28	52.72	3	19	49.52	0.718 853 52
	15	10	22	18.78	- 3	6	28.15	0.725 844 11		16	158	43	49.47	3	21	43.96	0.718 970 55
	17	13	33	30.67	- 3	1	37.92	0.725 607 20		18	161	58	42.82	3	22	59.56	0.719 101 37
	19	16	44	48.36	- 2	56	13.83	0.725 363 16		20	165	13	32.07	3	23	36.11	0.719 245 54
	21	19	56	11.92	- 2	50	16.81	0.725 112 73		22	168	28	16.55	3	23	33.54	0.719 402 60
23	23	7	41.44	- 2	43	47.91	0.724 856 69	24	171	42	55.57	3	22	51.90	0.719 572 05		
25	26	19	17.01	- 2	36	48.26	0.724 595 82	26	174	57	28.48	3	21	31.39	0.719 753 33		
27	29	30	58.71	- 2	29	19.11	0.724 330 92	28	178	11	54.68	3	19	32.33	0.719 945 86		
29	32	42	46.62	- 2	21	21.79	0.724 062 80	30	181	26	13.55	3	16	55.17	0.720 149 02		
Oct.	1	35	54	40.85	- 2	12	57.72	0.723 792 30	32	184	40	24.55	3	13	40.47	0.720 362 16	

MARS 2015 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	347	54	12.21	- 1	37	34.35	1.38372498	Juill.	3	92	9	38.92	1	15	9.04	1.57511320		
	4	350	25	56.86	- 1	35	9.10	1.38491070		7	94	6	28.27	1	17	52.70	1.57977080		
	8	352	57	24.09	- 1	32	33.04	1.38631999		11	96	2	37.02	1	20	30.06	1.58434499		
	12	355	28	31.04	- 1	29	46.58	1.38794965		15	97	58	6.29	1	23	1.06	1.58883107		
	16	357	59	14.89	- 1	26	50.18	1.38979603		19	99	52	57.18	1	25	25.65	1.59322447		
	20	0	29	32.96	- 1	23	44.31	1.39185498		23	101	47	10.83	1	27	43.78	1.59752084		
	24	2	59	22.63	- 1	20	29.46	1.39412195		27	103	40	48.39	1	29	55.41	1.60171598		
	28	5	28	41.39	- 1	17	6.14	1.39659197		31	105	33	50.99	1	32	0.52	1.60580585		
Févr.	1	7	57	26.83	- 1	13	34.90	1.39925964	Août	4	107	26	19.82	1	33	59.08	1.60978660		
	5	10	25	36.68	- 1	9	56.28	1.40211924		8	109	18	16.04	1	35	51.08	1.61365452		
		9	12	53	8.76	- 1	6	10.83		1.40516468		12	111	9	40.82	1	37	36.49	1.61740609
		13	15	20	1.04	- 1	2	19.13		1.40838954		16	113	0	35.35	1	39	15.32	1.62103792
		17	17	46	11.61	- 0	58	21.74		1.41178713		20	114	51	0.83	1	40	47.57	1.62454679
	21	20	11	38.68	- 0	54	19.23	1.41535048		24	116	40	58.43	1	42	13.22	1.62792964		
	25	22	36	20.61	- 0	50	12.18	1.41907239		28	118	30	29.36	1	43	32.29	1.63118356		
Mars	1	25	0	15.87	- 0	46	1.15	1.42294545	Sept.	1	120	19	34.82	1	44	44.80	1.63430577		
	5	27	23	23.10	- 0	41	46.72	1.42696205		5	122	8	15.99	1	45	50.74	1.63729366		
	9	29	45	41.03	- 0	37	29.43	1.43111445		9	123	56	34.08	1	46	50.14	1.64014475		
	13	32	7	8.56	- 0	33	9.83	1.43539474		13	125	44	30.30	1	47	43.01	1.64285670		
	17	34	27	44.69	- 0	28	48.46	1.43979494		17	127	32	5.84	1	48	29.37	1.64542733		
	21	36	47	28.58	- 0	24	25.84	1.44430696		21	129	19	21.89	1	49	9.25	1.64785458		
	25	39	6	19.48	- 0	20	2.47	1.44892267		25	131	6	19.67	1	49	42.68	1.65013653		
	29	41	24	16.79	- 0	15	38.85	1.45363388		29	132	53	0.36	1	50	9.67	1.65227138		
Avril	2	43	41	20.02	- 0	11	15.45	1.45843242	Oct.	3	134	39	25.18	1	50	30.26	1.65425747		
	6	45	57	28.79	- 0	6	52.73	1.46331008		7	136	25	35.31	1	50	44.47	1.65609329		
		10	48	12	42.83	- 0	2	31.12		1.46825871		11	138	11	31.95	1	50	52.34	1.65777741
		14	50	27	1.99	0	1	48.94		1.47327019		15	139	57	16.29	1	50	53.90	1.65930856
		18	52	40	26.20	0	6	7.07		1.47833645		19	141	42	49.54	1	50	49.19	1.66068559
	22	54	52	55.52	0	10	22.89	1.48344950		23	143	28	12.88	1	50	38.23	1.66190747		
	26	57	4	30.06	0	14	36.02	1.48860146		27	145	13	27.50	1	50	21.06	1.66297328		
	30	59	15	10.06	0	18	46.13	1.49378451		31	146	58	34.61	1	49	57.73	1.66388224		
Mai	4	61	24	55.80	0	22	52.90	1.49899098	Nov.	4	148	43	35.38	1	49	28.26	1.66463367		
	8	63	33	47.68	0	26	56.03	1.50421330		8	150	28	31.00	1	48	52.70	1.66522703		
	12	65	41	46.14	0	30	55.22	1.50944406		12	152	13	22.68	1	48	11.09	1.66566189		
	16	67	48	51.71	0	34	50.22	1.51467595		16	153	58	11.59	1	47	23.46	1.66593792		
		20	69	55	4.98	0	38	40.77		1.51990184		20	155	42	58.93	1	46	29.86	1.66605494
	24	72	0	26.60	0	42	26.65	1.52511476		24	157	27	45.88	1	45	30.33	1.66601284		
	28	74	4	57.26	0	46	7.64	1.53030786		28	159	12	33.64	1	44	24.91	1.66581168		
Juin	1	76	8	37.72	0	49	43.55	1.53547451	Déc.	2	160	57	23.39	1	43	13.65	1.66545159		
	5	78	11	28.79	0	53	14.20	1.54060820		6	162	42	16.33	1	41	56.59	1.66493284		
		9	80	13	31.30	0	56	39.41		1.54570263		10	164	27	13.65	1	40	33.78	1.66425581
		13	82	14	46.16	0	59	59.04		1.55075165		14	166	12	16.53	1	39	5.26	1.66342101
		17	84	15	14.27	1	3	12.94		1.55574930		18	167	57	26.19	1	37	31.09	1.66242905
	21	86	14	56.60	1	6	21.01	1.56068980		22	169	42	43.79	1	35	51.32	1.66128066		
	25	88	13	54.14	1	9	23.11	1.56556754		26	171	28	10.56	1	34	6.00	1.65997671		
	29	90	12	7.90	1	12	19.15	1.57037709		30	173	13	47.68	1	32	15.18	1.65851817		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2015 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	134 25 44.81	0 43 39.09	5.320 355 3	Janv. 0	237 2 11.29	2 4 33.17	9.954 107 5
16	135 41 51.21	0 45 4.67	5.325 435 9	16	237 31 39.45	2 3 50.59	9.956 961 4
Févr. 1	136 57 49.02	0 46 28.76	5.330 448 4	Févr. 1	238 1 6.62	2 3 7.48	9.959 782 1
17	138 13 38.38	0 47 51.35	5.335 390 4	17	238 30 32.82	2 2 23.86	9.962 569 4
Mars 5	139 29 19.44	0 49 12.38	5.340 259 5	Mars 5	238 59 58.06	2 1 39.73	9.965 323 2
Avril 21	140 44 52.34	0 50 31.85	5.345 053 4	Avril 21	239 29 22.35	2 0 55.08	9.968 043 1
6	142 0 17.24	0 51 49.71	5.349 769 9	6	239 58 45.71	2 0 9.93	9.970 729 1
22	143 15 34.29	0 53 5.95	5.354 406 8	22	240 28 8.16	1 59 24.27	9.973 380 7
Mai 8	144 30 43.63	0 54 20.53	5.358 961 8	Mai 8	240 57 29.71	1 58 38.12	9.975 997 8
24	145 45 45.42	0 55 33.43	5.363 433 1	24	241 26 50.36	1 57 51.47	9.978 579 9
Juin 9	147 0 39.80	0 56 44.62	5.367 818 6	Juin 9	241 56 10.14	1 57 4.32	9.981 126 6
25	148 15 26.95	0 57 54.09	5.372 116 9	25	242 25 29.05	1 56 16.69	9.983 637 8
Juill. 11	149 30 7.02	0 59 1.81	5.376 326 0	Juill. 11	242 54 47.09	1 55 28.58	9.986 113 2
27	150 44 40.20	1 0 7.75	5.380 444 3	27	243 24 4.28	1 54 39.99	9.988 552 8
août 12	151 59 6.64	1 1 11.91	5.384 470 0	août 12	243 53 20.63	1 53 50.92	9.990 956 6
Sept. 28	153 13 26.53	1 2 14.25	5.388 401 5	Sept. 28	244 22 36.15	1 53 1.38	9.993 324 5
13	154 27 40.03	1 3 14.76	5.392 237 1	13	244 51 50.85	1 52 11.37	9.995 656 6
29	155 41 47.34	1 4 13.42	5.395 975 1	29	245 21 4.75	1 51 20.90	9.997 952 8
Oct. 15	156 55 48.63	1 5 10.21	5.399 614 0	Oct. 15	245 50 17.85	1 50 29.97	10.000 213 4
31	158 9 44.09	1 6 5.12	5.403 151 7	31	246 19 30.18	1 49 38.58	10.002 438 2
Nov. 16	159 23 33.90	1 6 58.13	5.406 586 8	Nov. 16	246 48 41.76	1 48 46.74	10.004 627 0
Déc. 2	160 37 18.22	1 7 49.22	5.409 917 5	Déc. 2	247 17 52.60	1 47 54.45	10.006 779 7
18	161 50 57.23	1 8 38.38	5.413 142 3	18	247 47 2.72	1 47 1.72	10.008 895 9

URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° ' "	° ' "	ua		° ' "	° ' "	ua
Janv. 0	15 12 27.63	- 0 39 36.54	20.006 668 2	Janv. 0	336 42 54.41	- 0 44 46.44	29.968 916 1
Févr. 1	15 33 8.22	- 0 39 27.82	20.004 060 4	Févr. 1	336 54 26.40	- 0 45 5.84	29.968 055 8
Mars 5	15 53 49.04	- 0 39 19.00	20.001 423 4	Mars 5	337 5 58.40	- 0 45 25.20	29.967 204 7
Avril 6	16 14 30.09	- 0 39 10.10	19.998 758 4	Avril 6	337 17 30.42	- 0 45 44.54	29.966 363 9
Mai 8	16 35 11.38	- 0 39 1.11	19.996 066 5	Mai 8	337 29 2.47	- 0 46 3.85	29.965 534 0
Juin 9	16 55 52.93	- 0 38 52.04	19.993 349 1	Juin 9	337 40 34.55	- 0 46 23.13	29.964 715 6
Juill. 11	17 16 34.75	- 0 38 42.88	19.990 606 3	Juill. 11	337 52 6.68	- 0 46 42.38	29.963 907 3
août 12	17 37 16.87	- 0 38 33.64	19.987 836 9	août 12	338 3 38.85	- 0 47 1.60	29.963 107 8
Sept. 13	17 57 59.29	- 0 38 24.31	19.985 040 1	Sept. 13	338 15 11.07	- 0 47 20.79	29.962 316 1
Oct. 15	18 18 41.99	- 0 38 14.89	19.982 214 9	Oct. 15	338 26 43.32	- 0 47 39.95	29.961 532 0
Nov. 16	18 39 24.98	- 0 38 5.39	19.979 361 6	Nov. 16	338 38 15.60	- 0 47 59.08	29.960 756 8
Déc. 18	19 0 8.24	- 0 37 55.81	19.976 481 9	Déc. 18	338 49 47.91	- 0 48 18.18	29.959 992 0

MERCURE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 19 36 51.307	-23 45 29.33	1.29360742	Févr.	15 20 15 5.643	-17 57 55.80	0.80666901
	1 19 43 40.496	-23 27 55.87	1.27834241		16 20 16 58.516	-18 4 20.65	0.82301328
	2 19 50 25.792	-23 8 52.74	1.26223347		17 20 19 13.147	-18 9 23.85	0.83944413
	3 19 57 6.482	-22 48 21.67	1.24526256		18 20 21 47.764	-18 13 4.88	0.85589817
	4 20 3 41.758	-22 26 25.00	1.22741356		19 20 24 40.705	-18 15 23.43	0.87232187
	5 20 10 10.707	-22 3 5.73	1.20867317		20 20 27 50.419	-18 16 19.35	0.88867028
	6 20 16 32.294	-21 38 27.66	1.18903209		21 20 31 15.474	-18 15 52.59	0.90490592
	7 20 22 45.349	-21 12 35.50	1.16848628		22 20 34 54.554	-18 14 3.19	0.92099769
	8 20 28 48.548	-20 45 35.06	1.14703862		23 20 38 46.452	-18 10 51.28	0.93691995
	9 20 34 40.392	-20 17 33.35	1.12470073		24 20 42 50.069	-18 6 17.04	0.95265167
	10 20 40 19.197	-19 48 38.79	1.10149516		25 20 47 4.403	-18 0 20.69	0.96817571
	11 20 45 43.067	-19 19 1.40	1.07745772		26 20 51 28.542	-17 53 2.51	0.98347821
	12 20 50 49.893	-18 48 52.91	1.05264018		27 20 56 1.660	-17 44 22.80	0.99854803
	13 20 55 37.334	-18 18 26.96	1.02711299		28 21 0 43.007	-17 34 21.88	1.01337633
14 21 0 2.826	-17 47 59.24	1.00096804	Mars 1 21 5 31.907	-17 23 0.09	1.02795614		
15 21 4 3.590	-17 17 47.49	0.97432133	2 21 10 27.747	-17 10 17.81	1.04228207		
16 21 7 36.664	-16 48 11.54	0.94731518	3 21 15 29.975	-16 56 15.40	1.05634993		
17 21 10 38.957	-16 19 33.15	0.92011982	4 21 20 38.096	-16 40 53.27	1.07015656		
18 21 13 7.323	-15 52 15.72	0.89293397	5 21 25 51.663	-16 24 11.81	1.08369953		
19 21 14 58.676	-15 26 43.84	0.86598419	6 21 31 10.279	-16 6 11.44	1.09697697		
20 21 16 10.134	-15 3 22.64	0.83952252	7 21 36 33.587	-15 46 52.59	1.10998738		
21 21 16 39.206	-14 42 36.85	0.81382244	8 21 42 1.270	-15 26 15.68	1.12272945		
22 21 16 24.004	-14 24 49.69	0.78917268	9 21 47 33.051	-15 4 21.17	1.13520192		
23 21 15 23.487	-14 10 21.64	0.76586922	10 21 53 8.682	-14 41 9.49	1.14740343		
24 21 13 37.702	-13 59 29.02	0.74420542	11 21 58 47.950	-14 16 41.11	1.15933241		
25 21 11 8.006	-13 52 22.63	0.72446090	12 22 4 30.670	-13 50 56.49	1.17098691		
26 21 7 57.230	-13 49 6.69	0.70688965	13 22 10 16.683	-13 23 56.10	1.18236450		
27 21 4 9.755	-13 49 37.96	0.69170836	14 22 16 5.859	-12 55 40.44	1.19346218		
28 20 59 51.452	-13 53 45.64	0.67908602	15 22 21 58.088	-12 26 9.99	1.20427619		
29 20 55 9.492	-14 1 11.73	0.66913579	16 22 27 53.285	-11 55 25.27	1.21480197		
30 20 50 11.996	-14 11 32.25	0.66191013	17 22 33 51.387	-11 23 26.78	1.22503397		
Févr.	31 20 45 7.597	-14 24 18.83	0.65739994	18 22 39 52.351	-10 50 15.08	1.23496560	
	1 20 40 4.930	-14 39 0.73	0.65553766	19 22 45 56.154	-10 15 50.70	1.24458909	
	2 20 35 12.147	-14 55 6.86	0.65620407	20 22 52 2.794	-9 40 14.22	1.25389534	
	3 20 30 36.506	-15 12 7.49	0.65923790	21 22 58 12.291	-9 3 26.22	1.26287382	
	4 20 26 24.079	-15 29 35.55	0.66444684	22 23 4 24.679	-8 25 27.34	1.27151239	
	5 20 22 39.600	-15 47 7.43	0.67161897	23 23 10 40.012	-7 46 18.26	1.27979708	
	6 20 19 26.447	-16 4 23.27	0.68053330	24 23 16 58.360	-7 5 59.69	1.28771191	
	7 20 16 46.730	-16 21 6.87	0.69096885	25 23 23 19.808	-6 24 32.45	1.29523862	
	8 20 14 41.443	-16 37 5.36	0.70271174	26 23 29 44.456	-5 41 57.42	1.30235648	
	9 20 13 10.662	-16 52 8.75	0.71556033	27 23 36 12.416	-4 58 15.59	1.30904205	
	10 20 12 13.739	-17 6 9.40	0.72932849	28 23 42 43.814	-4 13 28.06	1.31526893	
	11 20 11 49.498	-17 19 1.58	0.74384741	29 23 49 18.784	-3 27 36.11	1.32100757	
	12 20 11 56.394	-17 30 41.02	0.75896611	30 23 55 57.472	-2 40 41.17	1.32622507	
	13 20 12 32.655	-17 41 4.61	0.77455119	31 0 2 40.026	-1 52 44.92	1.33088496	
14 20 13 36.383	-17 50 10.08	0.79048591	Avril 1 0 9 26.600	-1 3 49.26	1.33494709		

MERCURE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Avril	2 0 16	17.344	- 0 13 56.42	1.338 367 46	Mai	18 4 45	59.170	23 42 4.88	0.645 058 68
	3 0 23	12.406	0 36 50.99	1.341 098 21		19 4 46	18.310	23 29 31.71	0.631 422 50
	4 0 30	11.921	1 28 29.98	1.343 087 66		20 4 46	17.298	23 15 28.90	0.618 735 78
	5 0 37	16.008	2 20 57.05	1.344 280 43		21 4 45	56.848	23 0 1.57	0.607 028 44
	6 0 44	24.759	3 14 8.15	1.344 617 81		22 4 45	17.877	22 43 15.58	0.596 329 25
	7 0 51	38.236	4 7 58.60	1.344 038 22		23 4 44	21.518	22 25 17.68	0.586 665 44
	8 0 58	56.456	5 2 23.01	1.342 478 00		24 4 43	9.118	22 6 15.61	0.578 062 29
	9 1 6	19.381	5 57 15.20	1.339 872 39		25 4 41	42.242	21 46 18.18	0.570 542 68
	10 1 13	46.908	6 52 28.17	1.336 156 91		26 4 40	2.659	21 25 35.29	0.564 126 56
	11 1 21	18.857	7 47 54.00	1.331 268 97		27 4 38	12.320	21 4 17.96	0.558 830 49
	12 1 28	54.956	8 43 23.87	1.325 149 92		28 4 36	13.337	20 42 38.18	0.554 667 16
	13 1 36	34.833	9 38 48.03	1.317 747 26		29 4 34	7.945	20 20 48.86	0.551 645 06
	14 1 44	18.003	10 33 55.84	1.309 017 22		30 4 31	58.463	19 59 3.55	0.549 768 11
	15 1 52	3.866	11 28 35.89	1.298 927 30		31 4 29	47.248	19 37 36.22	0.549 035 51
	16 1 59	51.700	12 22 36.11	1.287 458 86		Juin 1 4 27	36.653	19 16 40.95	0.549 441 67
	17 2 7	40.663	13 15 43.96	1.274 609 36		2 4 25	28.975	18 56 31.64	0.550 976 27
18 2 15	29.799	14 7 46.69	1.260 394 18	3 4 23	26.421	18 37 21.63	0.553 624 49		
19 2 23	18.052	14 58 31.61	1.244 847 66	4 4 21	31.060	18 19 23.43	0.557 367 33		
20 2 31	4.280	15 47 46.34	1.228 023 40	5 4 19	44.804	18 2 48.44	0.562 182 00		
21 2 38	47.278	16 35 19.17	1.209 993 45	6 4 18	9.374	17 47 46.69	0.568 042 51		
22 2 46	25.799	17 20 59.28	1.190 846 71	7 4 16	46.294	17 34 26.74	0.574 920 18		
23 2 53	58.583	18 4 37.01	1.170 686 46	8 4 15	36.883	17 22 55.53	0.582 784 27		
24 3 1	24.379	18 46 4.03	1.149 627 26	9 4 14	42.254	17 13 18.35	0.591 602 57		
25 3 8	41.964	19 25 13.43	1.127 791 57	10 4 14	3.322	17 5 38.90	0.601 341 96		
26 3 15	50.164	20 1 59.79	1.105 306 27	11 4 13	40.820	16 59 59.30	0.611 968 94		
27 3 22	47.861	20 36 19.15	1.082 299 39	12 4 13	35.313	16 56 20.24	0.623 450 04		
28 3 29	34.006	21 8 8.91	1.058 897 19	13 4 13	47.214	16 54 41.07	0.635 752 20		
29 3 36	7.616	21 37 27.76	1.035 221 76	14 4 14	16.811	16 54 59.97	0.648 843 05		
30 3 42	27.778	22 4 15.47	1.011 389 22	15 4 15	4.281	16 57 14.06	0.662 691 07		
Mai 1 3 48	33.645	22 28 32.77	0.987 508 47	16 4 16	9.713	17 1 19.57	0.677 265 69		
2 3 54	24.429	22 50 21.18	0.963 680 40	17 4 17	33.129	17 7 11.95	0.692 537 30		
3 3 59	59.400	23 9 42.85	0.939 997 66	18 4 19	14.499	17 14 46.03	0.708 477 14		
4 4 5	17.872	23 26 40.39	0.916 544 74	19 4 21	13.757	17 23 56.07	0.725 057 20		
5 4 10	19.207	23 41 16.77	0.893 398 27	20 4 23	30.813	17 34 35.89	0.742 249 99		
6 4 15	2.803	23 53 35.19	0.870 627 61	21 4 26	5.569	17 46 38.94	0.760 028 25		
7 4 19	28.094	24 3 38.97	0.848 295 51	22 4 28	57.923	17 59 58.35	0.778 364 65		
8 4 23	34.551	24 11 31.53	0.826 458 82	23 4 32	7.776	18 14 26.96	0.797 231 44		
9 4 27	21.678	24 17 16.24	0.805 169 30	24 4 35	35.041	18 29 57.38	0.816 599 98		
10 4 30	49.019	24 20 56.48	0.784 474 29	25 4 39	19.645	18 46 21.93	0.836 440 34		
11 4 33	56.160	24 22 35.53	0.764 417 48	26 4 43	21.530	19 3 32.75	0.856 720 74		
12 4 36	42.739	24 22 16.62	0.745 039 56	27 4 47	40.653	19 21 21.68	0.877 407 00		
13 4 39	8.452	24 20 2.93	0.726 378 76	28 4 52	16.987	19 39 40.33	0.898 461 95		
14 4 41	13.067	24 15 57.59	0.708 471 43	29 4 57	10.515	19 58 20.00	0.919 844 74		
15 4 42	56.436	24 10 3.79	0.691 352 43	30 5 2	21.228	20 17 11.67	0.941 510 20		
16 4 44	18.509	24 2 24.75	0.675 055 50	Juill. 1 5 7	49.114	20 36 6.01	0.963 408 09		
17 4 45	19.354	23 53 3.90	0.659 613 53	2 5 13	34.152	20 54 53.29	0.985 482 42		

MERCURE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua			
Juill.	3	5	19	36.299	21	13	23.40	1.00767079	Août	18	11	11	18.231	5	26	4.90	1.17859928	
	4	5	25	55.477	21	31	25.81	1.02990374		19	11	16	36.902	4	43	36.17	1.16673963	
	5	5	32	31.560	21	48	49.63	1.05210435		20	11	21	48.971	4	1	24.68	1.15464984	
	6	5	39	24.350	22	5	23.55	1.07418790		21	11	26	54.516	3	19	33.18	1.14233712	
	7	5	46	33.568	22	20	55.97	1.09606189		22	11	31	53.593	2	38	4.40	1.12980782	
	8	5	53	58.822	22	35	15.05	1.11762632		23	11	36	46.231	1	57	1.05	1.11706752	
	9	6	1	39.597	22	48	8.84	1.13877447		24	11	41	32.432	1	16	25.85	1.10412129	
	10	6	9	35.230	22	59	25.40	1.15939402		25	11	46	12.169	0	36	21.57	1.09097373	
	11	6	17	44.896	23	8	53.07	1.17936883		26	11	50	45.384	-	0	3	8.97	1.07762926
	12	6	26	7.598	23	16	20.64	1.19858120		27	11	55	11.990	-	0	42	2.90	1.06409214
	13	6	34	42.165	23	21	37.62	1.21691457		28	11	59	31.862	-	1	20	17.20	1.05036675
	14	6	43	27.254	23	24	34.56	1.23425664		29	12	3	44.843	-	1	57	48.76	1.03645762
	15	6	52	21.367	23	25	3.28	1.25050273		30	12	7	50.738	-	2	34	34.31	1.02236969
	16	7	1	22.874	23	22	57.16	1.26555905		31	12	11	49.313	-	3	10	30.40	1.00810836
	17	7	10	30.050	23	18	11.33	1.27934575		Sept. 1	12	15	40.288	-	3	45	33.39	0.99367976
	18	7	19	41.110	23	10	42.81	1.29179932		2	12	19	23.339	-	4	19	39.35	0.97909089
	19	7	28	54.259	23	0	30.59	1.30287443		3	12	22	58.087	-	4	52	44.08	0.96434995
20	7	38	7.731	22	47	35.60	1.31254463	4	12	26	24.098	-	5	24	43.03	0.94946659		
21	7	47	19.841	22	32	0.62	1.32080234	5	12	29	40.877	-	5	55	31.25	0.93445226		
22	7	56	29.012	22	13	50.08	1.32765778	6	12	32	47.865	-	6	25	3.35	0.91932061		
23	8	5	33.813	21	53	9.85	1.33313730	7	12	35	44.436	-	6	53	13.45	0.90408788		
24	8	14	32.976	21	30	7.00	1.33728106	8	12	38	29.894	-	7	19	55.13	0.88877339		
25	8	23	25.407	21	4	49.47	1.34014052	9	12	41	3.469	-	7	45	1.33	0.87340004		
26	8	32	10.191	20	37	25.85	1.34177569	10	12	43	24.318	-	8	8	24.35	0.85799489		
27	8	40	46.586	20	8	5.10	1.34225261	11	12	45	31.525	-	8	29	55.75	0.84258981		
28	8	49	14.013	19	36	56.38	1.34164087	12	12	47	24.101	-	8	49	26.29	0.82722220		
29	8	57	32.045	19	4	8.80	1.34001163	13	12	49	0.991	-	9	6	45.91	0.81193574		
30	9	5	40.388	18	29	51.32	1.33743578	14	12	50	21.081	-	9	21	43.69	0.79678132		
31	9	13	38.865	17	54	12.63	1.33398260	15	12	51	23.215	-	9	34	7.84	0.78181791		
Août 1	9	21	27.399	17	17	21.04	1.32971865	16	12	52	6.215	-	9	43	45.75	0.76711361		
2	9	29	5.997	16	39	24.46	1.32470703	17	12	52	28.910	-	9	50	24.12	0.75274657		
3	9	36	34.735	16	0	30.37	1.31900683	18	12	52	30.179	-	9	53	49.07	0.73880609		
4	9	43	53.744	15	20	45.78	1.31267289	19	12	52	8.998	-	9	53	46.52	0.72539343		
5	9	51	3.195	14	40	17.26	1.30575561	20	12	51	24.510	-	9	50	2.60	0.71262264		
6	9	58	3.290	13	59	10.97	1.29830107	21	12	50	16.102	-	9	42	24.24	0.70062100		
7	10	4	54.252	13	17	32.65	1.29035107	22	12	48	43.502	-	9	30	40.01	0.68952907		
8	10	11	36.315	12	35	27.63	1.28194337	23	12	46	46.878	-	9	14	41.15	0.67950013		
9	10	18	9.720	11	53	0.91	1.27311192	24	12	44	26.953	-	8	54	22.80	0.67069884		
10	10	24	34.710	11	10	17.16	1.26388707	25	12	41	45.110	-	8	29	45.35	0.66329887		
11	10	30	51.522	10	27	20.72	1.25429588	26	12	38	43.482	-	8	0	55.94	0.65747940		
12	10	37	0.388	9	44	15.67	1.24436238	27	12	35	25.022	-	7	28	9.72	0.65342038		
13	10	43	1.531	9	1	5.84	1.23410781	28	12	31	53.513	-	6	51	50.96	0.65129650		
14	10	48	55.161	8	17	54.84	1.22355088	29	12	28	13.530	-	6	12	33.43	0.65127026		
15	10	54	41.474	7	34	46.07	1.21270806	30	12	24	30.327	-	5	31	0.23	0.65348437		
16	11	0	20.651	6	51	42.78	1.20159374	Oct. 1	12	20	49.660	-	4	48	2.57	0.65805405		
17	11	5	52.856	6	8	48.06	1.19022049	2	12	17	17.547	-	4	4	37.75	0.66506001		

MERCURE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Oct.	3 12 14	0.000	- 3 21 46.48	0.674 542 58	Nov.	18 15 32	30.245	-19 25 23.61	1.446 945 54
	4 12 11	2.736	- 2 40 29.72	0.686 497 70		19 15 38	56.613	-19 54 4.93	1.448 413 38
	5 12 8	30.915	- 2 1 45.49	0.700 875 04		20 15 45	24.306	-20 21 47.30	1.449 294 50
	6 12 6	28.922	- 1 26 26.07	0.717 578 36		21 15 51	53.365	-20 48 29.32	1.449 595 94
	7 12 5	0.208	- 0 55 15.82	0.736 468 11		22 15 58	23.832	-21 14 9.60	1.449 323 53
	8 12 4	7.210	- 0 28 49.75	0.757 365 85		23 16 4	55.736	-21 38 46.77	1.448 481 95
	9 12 3	51.335	- 0 7 32.94	0.780 060 25		24 16 11	29.105	-22 2 19.47	1.447 074 65
	10 12 4	13.013	0 8 19.30	0.804 314 10		25 16 18	3.955	-22 24 46.36	1.445 103 96
	11 12 5	11.788	0 18 40.81	0.829 871 98		26 16 24	40.292	-22 46 6.10	1.442 570 98
	12 12 6	46.454	0 23 33.46	0.856 468 29		27 16 31	18.110	-23 6 17.34	1.439 475 67
	13 12 8	55.198	0 23 5.97	0.883 835 00		28 16 37	57.394	-23 25 18.72	1.435 816 81
	14 12 11	35.753	0 17 32.52	0.911 709 11		29 16 44	38.111	-23 43 8.90	1.431 592 08
15 12 14	45.547	0 7 11.46	0.939 839 23	30 16 51	20.218	-23 59 46.50	1.426 798 06		
16 12 18	21.834	- 0 7 35.91	0.967 991 12	Déc.	1 16 58	3.657	-24 15 10.17	1.421 430 25	
17 12 22	21.815	- 0 26 26.46	0.995 951 97		2 17 4	48.354	-24 29 18.54	1.415 483 15	
18 12 26	42.731	- 0 48 56.12	1.023 533 34	3 17 11	34.216	-24 42 10.28	1.408 950 20		
19 12 31	21.937	- 1 14 40.71	1.050 572 75	4 17 18	21.135	-24 53 44.04	1.401 823 88		
20 12 36	16.959	- 1 43 16.57	1.076 933 93	5 17 25	8.978	-25 3 58.50	1.394 095 67		
21 12 41	25.529	- 2 14 20.97	1.102 506 14	6 17 31	57.594	-25 12 52.38	1.385 756 06		
22 12 46	45.603	- 2 47 32.52	1.127 202 55	7 17 38	46.805	-25 20 24.41	1.376 794 63		
23 12 52	15.366	- 3 22 31.31	1.150 958 08	8 17 45	36.408	-25 26 33.38	1.367 200 02		
24 12 57	53.234	- 3 58 59.09	1.173 726 84	9 17 52	26.169	-25 31 18.15	1.356 960 00		
25 13 3	37.837	- 4 36 39.26	1.195 479 54	10 17 59	15.822	-25 34 37.61	1.346 061 52		
26 13 9	28.010	- 5 15 16.87	1.216 200 75	11 18 6	5.067	-25 36 30.77	1.334 490 81		
27 13 15	22.768	- 5 54 38.52	1.235 886 43	12 18 12	53.560	-25 36 56.74	1.322 233 45		
28 13 21	21.288	- 6 34 32.28	1.254 541 66	13 18 19	40.916	-25 35 54.75	1.309 274 55		
29 13 27	22.890	- 7 14 47.56	1.272 178 57	14 18 26	26.698	-25 33 24.19	1.295 598 88		
30 13 33	27.018	- 7 55 14.99	1.288 814 67	15 18 33	10.415	-25 29 24.63	1.281 191 12		
31 13 39	33.221	- 8 35 46.28	1.304 471 36	16 18 39	51.513	-25 23 55.86	1.266 036 15		
Nov. 1 13 45	41.140	- 9 16 14.12	1.319 172 73	17 18 46	29.370	-25 16 57.94	1.250 119 36		
2 13 51	50.495	- 9 56 32.06	1.332 944 60	18 18 53	3.283	-25 8 31.24	1.233 427 09		
3 13 58	1.070	-10 36 34.41	1.345 813 72	19 18 59	32.460	-24 58 36.52	1.215 947 18		
4 14 4	12.707	-11 16 16.14	1.357 807 13	20 19 5	56.009	-24 47 14.98	1.197 669 61		
5 14 10	25.294	-11 55 32.79	1.368 951 66	21 19 12	12.922	-24 34 28.34	1.178 587 32		
6 14 16	38.754	-12 34 20.41	1.379 273 56	22 19 18	22.057	-24 20 18.95	1.158 697 18		
7 14 22	53.047	-13 12 35.48	1.388 798 20	23 19 24	22.125	-24 4 49.88	1.138 001 19		
8 14 29	8.154	-13 50 14.84	1.397 549 87	24 19 30	11.671	-23 48 5.02	1.116 507 90		
9 14 35	24.079	-14 27 15.64	1.405 551 63	25 19 35	49.049	-23 30 9.24	1.094 234 06		
10 14 41	40.842	-15 3 35.31	1.412 825 22	26 19 41	12.408	-23 11 8.49	1.071 206 66		
11 14 47	58.473	-15 39 11.50	1.419 390 97	27 19 46	19.673	-22 51 9.95	1.047 465 14		
12 14 54	17.015	-16 14 2.06	1.425 267 82	28 19 51	8.525	-22 30 22.19	1.023 063 98		
13 15 0	36.514	-16 48 5.00	1.430 473 28	29 19 55	36.393	-22 8 55.28	0.998 075 49		
14 15 6	57.023	-17 21 18.45	1.435 023 46	30 19 59	40.450	-21 47 0.90	0.972 592 79		
15 15 13	18.596	-17 53 40.66	1.438 933 08	31 20 3	17.624	-21 24 52.40	0.946 732 80		
16 15 19	41.288	-18 25 9.97	1.442 215 49	32 20 6	24.630	-21 2 44.82	0.920 639 06		
17 15 26	5.153	-18 55 44.80	1.444 882 73	33 20 8	58.023	-20 40 54.73	0.894 484 13		

VÉNUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 19 50 47.699	-22 21 17.35	1.61747704	Févr.	15 23 35 28.685	- 3 58 36.90	1.45143341
	1 19 56 7.768	-22 8 23.77	1.61469874		16 23 39 58.593	- 3 27 38.27	1.44692389
	2 20 1 26.768	-21 54 50.44	1.61188451		17 23 44 28.020	- 2 56 34.00	1.44237358
	3 20 6 44.663	-21 40 37.94	1.60903455		18 23 48 57.004	- 2 25 24.87	1.43778203
	4 20 12 1.418	-21 25 46.83	1.60614903		19 23 53 25.584	- 1 54 11.63	1.43314881
	5 20 17 17.004	-21 10 17.72	1.60322806		20 23 57 53.797	- 1 22 55.03	1.42847358
	6 20 22 31.393	-20 54 11.22	1.60027171		21 0 2 21.683	- 0 51 35.81	1.42375609
	7 20 27 44.560	-20 37 27.97	1.59727998		22 0 6 49.281	- 0 20 14.73	1.41899621
	8 20 32 56.484	-20 20 8.60	1.59425285		23 0 11 16.631	0 11 7.47	1.41419391
	9 20 38 7.146	-20 2 13.79	1.59119024		24 0 15 43.770	0 42 30.05	1.40934926
	10 20 43 16.530	-19 43 44.21	1.58809204		25 0 20 10.738	1 13 52.27	1.40446238
	11 20 48 24.626	-19 24 40.54	1.58495810		26 0 24 37.572	1 45 13.39	1.39953343
	12 20 53 31.422	-19 5 3.49	1.58178824		27 0 29 4.312	2 16 32.67	1.39456258
	13 20 58 36.911	-18 44 53.79	1.57858225		28 0 33 30.997	2 47 49.36	1.38955000
14 21 3 41.088	-18 24 12.14	1.57533991	Mars 1 0 37 57.664	3 19 2.75	1.38449587		
15 21 8 43.952	-18 2 59.31	1.57206093	2 0 42 24.355	3 50 12.10	1.37940033		
16 21 13 45.501	-17 41 16.03	1.56874502	3 0 46 51.108	4 21 16.68	1.37426354		
17 21 18 45.737	-17 19 3.07	1.56539184	4 0 51 17.963	4 52 15.76	1.36908562		
18 21 23 44.662	-16 56 21.20	1.56200102	5 0 55 44.960	5 23 8.64	1.36386668		
19 21 28 42.280	-16 33 11.20	1.55857220	6 1 0 12.141	5 53 54.60	1.35860683		
20 21 33 38.596	-16 9 33.88	1.55510501	7 1 4 39.544	6 24 32.90	1.35330612		
21 21 38 33.615	-15 45 30.02	1.55159914	8 1 9 7.209	6 55 2.86	1.34796460		
22 21 43 27.345	-15 21 0.42	1.54805433	9 1 13 35.176	7 25 23.74	1.34258230		
23 21 48 19.796	-14 56 5.88	1.54447045	10 1 18 3.484	7 55 34.84	1.33715919		
24 21 53 10.983	-14 30 47.18	1.54084743	11 1 22 32.170	8 25 35.45	1.33169524		
25 21 58 0.921	-14 5 5.12	1.53718534	12 1 27 1.272	8 55 24.86	1.32619036		
26 22 2 49.630	-13 39 0.50	1.53348429	13 1 31 30.825	9 25 2.34	1.32064443		
27 22 7 37.131	-13 12 34.09	1.52974444	14 1 36 0.865	9 54 27.19	1.31505731		
28 22 12 23.445	-12 45 46.71	1.52596598	15 1 40 31.423	10 23 38.68	1.30942876		
29 22 17 8.597	-12 18 39.14	1.52214909	16 1 45 2.531	10 52 36.10	1.30375856		
30 22 21 52.612	-11 51 12.18	1.51829396	17 1 49 34.220	11 21 18.70	1.29804639		
31 22 26 35.517	-11 23 26.62	1.51440073	18 1 54 6.516	11 49 45.77	1.29229192		
Févr.	1 22 31 17.341	-10 55 23.25	1.51046952	19 1 58 39.448	12 17 56.57	1.28649481	
	2 22 35 58.114	-10 27 2.85	1.50650044	20 2 3 13.040	12 45 50.37	1.28065476	
	3 22 40 37.867	- 9 58 26.20	1.50249353	21 2 7 47.316	13 13 26.45	1.27477150	
	4 22 45 16.634	- 9 29 34.07	1.49844883	22 2 12 22.298	13 40 44.09	1.26884490	
	5 22 49 54.450	- 9 0 27.23	1.49436632	23 2 16 58.006	14 7 42.56	1.26287491	
	6 22 54 31.351	- 8 31 6.44	1.49024595	24 2 21 34.456	14 34 21.15	1.25686162	
	7 22 59 7.374	- 8 1 32.48	1.48608765	25 2 26 11.662	15 0 39.13	1.25080519	
	8 23 3 42.558	- 7 31 46.09	1.48189127	26 2 30 49.638	15 26 35.77	1.24470586	
	9 23 8 16.941	- 7 1 48.04	1.47765668	27 2 35 28.396	15 52 10.36	1.23856395	
	10 23 12 50.564	- 6 31 39.07	1.47338369	28 2 40 7.945	16 17 22.19	1.23237977	
	11 23 17 23.466	- 6 1 19.95	1.46907206	29 2 44 48.295	16 42 10.54	1.22615366	
	12 23 21 55.689	- 5 30 51.41	1.46472154	30 2 49 29.455	17 6 34.71	1.21988600	
	13 23 26 27.273	- 5 0 14.23	1.46033182	31 2 54 11.432	17 30 34.00	1.21357714	
	14 23 30 58.258	- 4 29 29.14	1.45590257	Avril 1 2 58 54.231	17 54 7.73	1.20722744	

VÉNUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	3	3	37.857	18	17	15.22	1.20083729	Mai	18	6	48	31.872	25	43	16.51	0.86826167
	3	3	8	22.312	18	39	55.80	1.19440706		19	6	53	14.770	25	38	4.64	0.86035863
	4	3	13	7.597	19	2	8.81	1.18793711		20	6	57	56.101	25	32	16.53	0.85243542
	5	3	17	53.710	19	23	53.59	1.18142781		21	7	2	35.784	25	25	52.66	0.84449273
	6	3	22	40.649	19	45	9.50	1.17487952		22	7	7	13.739	25	18	53.55	0.83653132
	7	3	27	28.409	20	5	55.93	1.16829256		23	7	11	49.890	25	11	19.71	0.82855205
	8	3	32	16.981	20	26	12.24	1.16166723		24	7	16	24.159	25	3	11.71	0.82055585
	9	3	37	6.355	20	45	57.84	1.15500383		25	7	20	56.470	24	54	30.12	0.81254370
	10	3	41	56.517	21	5	12.13	1.14830259		26	7	25	26.753	24	45	15.52	0.80451662
	11	3	46	47.452	21	23	54.52	1.14156370		27	7	29	54.933	24	35	28.55	0.79647568
	12	3	51	39.141	21	42	4.43	1.13478733		28	7	34	20.943	24	25	9.83	0.78842201
13	3	56	31.561	21	59	41.32	1.12797357	29	7	38	44.712	24	14	20.03	0.78035674		
14	4	1	24.688	22	16	44.62	1.12112248	30	7	43	6.175	24	2	59.83	0.77228108		
15	4	6	18.495	22	33	13.81	1.11423405	31	7	47	25.265	23	51	9.93	0.76419627		
16	4	11	12.951	22	49	8.37	1.10730827	Juin	1	7	51	41.917	23	38	51.04	0.75610358	
17	4	16	8.023	23	4	27.81	1.10034508		2	7	55	56.069	23	26	3.89	0.74800430	
18	4	21	3.674	23	19	11.66	1.09334448		3	8	0	7.657	23	12	49.24	0.73989978	
19	4	25	59.864	23	33	19.46	1.08630649		4	8	4	16.622	22	59	7.84	0.73179134	
20	4	30	56.546	23	46	50.80	1.07923124		5	8	8	22.903	22	45	0.46	0.72368032	
21	4	35	53.671	23	59	45.27	1.07211896		6	8	12	26.442	22	30	27.90	0.71556801	
22	4	40	51.185	24	12	2.48	1.06496996	7	8	16	27.181	22	15	30.94	0.70745569		
23	4	45	49.031	24	23	42.08	1.05778469	8	8	20	25.063	22	0	10.38	0.69934456		
24	4	50	47.150	24	34	43.71	1.05056364	9	8	24	20.034	21	44	27.04	0.69123580		
25	4	55	45.484	24	45	7.06	1.04330738	10	8	28	12.037	21	28	21.73	0.68313053		
26	5	0	43.969	24	54	51.84	1.03601650	11	8	32	1.016	21	11	55.32	0.67502984		
27	5	5	42.544	25	3	57.79	1.02869166	12	8	35	46.914	20	55	8.65	0.66693477		
28	5	10	41.144	25	12	24.67	1.02133352	13	8	39	29.670	20	38	2.61	0.65884641		
29	5	15	39.705	25	20	12.28	1.01394277	14	8	43	9.220	20	20	38.11	0.65076583		
30	5	20	38.159	25	27	20.45	1.00652011	15	8	46	45.496	20	2	56.08	0.64269417		
Mai	1	5	25	36.440	25	33	49.04	0.99906627	16	8	50	18.426	19	44	57.45	0.63463264	
	2	5	30	34.480	25	39	37.94	0.99158200	17	8	53	47.935	19	26	43.19	0.62658254	
	3	5	35	32.208	25	44	47.07	0.98406805	18	8	57	13.942	19	8	14.27	0.61854531	
	4	5	40	29.554	25	49	16.38	0.97652519	19	9	0	36.366	18	49	31.68	0.61052246	
	5	5	45	26.449	25	53	5.88	0.96895418	20	9	3	55.123	18	30	36.41	0.60251566	
	6	5	50	22.820	25	56	15.57	0.96135578	21	9	7	10.124	18	11	29.47	0.59452669	
7	5	55	18.595	25	58	45.52	0.95373071	22	9	10	21.280	17	52	11.88	0.58655743		
8	6	0	13.702	26	0	35.80	0.94607968	23	9	13	28.498	17	32	44.66	0.57860990		
9	6	5	8.066	26	1	46.52	0.93840334	24	9	16	31.683	17	13	8.87	0.57068619		
10	6	10	1.615	26	2	17.83	0.93070231	25	9	19	30.736	16	53	25.57	0.56278855		
11	6	14	54.276	26	2	9.90	0.92297714	26	9	22	25.554	16	33	35.85	0.55491929		
12	6	19	45.975	26	1	22.93	0.91522832	27	9	25	16.031	16	13	40.79	0.54708089		
13	6	24	36.639	25	59	57.14	0.90745631	28	9	28	2.057	15	53	41.52	0.53927591		
14	6	29	26.196	25	57	52.81	0.89966150	29	9	30	43.516	15	33	39.18	0.53150708		
15	6	34	14.573	25	55	10.22	0.89184426	30	9	33	20.291	15	13	34.92	0.52377722		
16	6	39	1.695	25	51	49.72	0.88400495	Juill.	1	9	35	52.259	14	53	29.91	0.51608931	
17	6	43	47.488	25	47	51.69	0.87614394		2	9	38	19.293	14	33	25.37	0.50844644	

VÉBUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	9	40	41.265	14	13	22.50	0.50085179	Août	18	9	24	23.001	6	47	16.86	0.28901156
	4	9	42	58.042	13	53	22.53	0.49330864		19	9	22	0.119	6	55	6.49	0.28973818
	5	9	45	9.487	13	33	26.72	0.48582032		20	9	19	40.905	7	3	27.49	0.29075403
	6	9	47	15.462	13	13	36.34	0.47839020		21	9	17	26.174	7	12	16.06	0.29205563
	7	9	49	15.823	12	53	52.70	0.47102173		22	9	15	16.700	7	21	28.31	0.29363872
	8	9	51	10.425	12	34	17.13	0.46371839		23	9	13	13.202	7	31	0.33	0.29549832
	9	9	52	59.112	12	14	51.03	0.45648373		24	9	11	16.348	7	40	48.22	0.29762880
	10	9	54	41.725	11	55	35.82	0.44932142		25	9	9	26.739	7	50	48.13	0.30002394
	11	9	56	18.095	11	36	32.99	0.44223526		26	9	7	44.919	8	0	56.31	0.30267698
	12	9	57	48.048	11	17	44.08	0.43522920		27	9	6	11.361	8	11	9.09	0.30558069
	13	9	59	11.399	10	59	10.69	0.42830740		28	9	4	46.477	8	21	22.96	0.30872743
	14	10	0	27.960	10	40	54.49	0.42147425		29	9	3	30.612	8	31	34.56	0.31210916
	15	10	1	37.536	10	22	57.17	0.41473436		30	9	2	24.047	8	41	40.67	0.31571751
	16	10	2	39.928	10	5	20.51	0.40809264		31	9	1	26.999	8	51	38.29	0.31954383
	17	10	3	34.936	9	48	6.31	0.40155429		Sept. 1	9	0	39.625	9	1	24.60	0.32357926
	18	10	4	22.358	9	31	16.44	0.39512479		2	9	0	2.019	9	10	57.04	0.32781485
	19	10	5	1.996	9	14	52.82	0.38880994		3	8	59	34.219	9	20	13.22	0.33224160
20	10	5	33.655	8	58	57.39	0.38261583	4	8	59	16.209	9	29	11.01	0.33685062		
21	10	5	57.146	8	43	32.16	0.37654888	5	8	59	7.927	9	37	48.47	0.34163318		
22	10	6	12.290	8	28	39.17	0.37061579	6	8	59	9.270	9	46	3.86	0.34658078		
23	10	6	18.919	8	14	20.46	0.36482355	7	8	59	20.100	9	53	55.60	0.35168519		
24	10	6	16.883	8	0	38.14	0.35917946	8	8	59	40.251	10	1	22.30	0.35693848		
25	10	6	6.047	7	47	34.30	0.35369108	9	9	0	9.532	10	8	22.67	0.36233304		
26	10	5	46.303	7	35	11.04	0.34836624	10	9	0	47.735	10	14	55.60	0.36786159		
27	10	5	17.568	7	23	30.45	0.34321301	11	9	1	34.636	10	21	0.08	0.37351715		
28	10	4	39.793	7	12	34.57	0.33823969	12	9	2	30.000	10	26	35.20	0.37929309		
29	10	3	52.966	7	2	25.40	0.33345475	13	9	3	33.584	10	31	40.17	0.38518310		
30	10	2	57.119	6	53	4.86	0.32886681	14	9	4	45.139	10	36	14.29	0.39118117		
31	10	1	52.334	6	44	34.73	0.32448451	15	9	6	4.411	10	40	16.93	0.39728161		
Août 1	10	0	38.746	6	36	56.68	0.32031649	16	9	7	31.148	10	43	47.54	0.40347902		
2	9	59	16.549	6	30	12.19	0.31637128	17	9	9	5.094	10	46	45.66	0.40976826		
3	9	57	46.000	6	24	22.53	0.31265717	18	9	10	45.999	10	49	10.88	0.41614450		
4	9	56	7.419	6	19	28.79	0.30918218	19	9	12	33.612	10	51	2.83	0.42260313		
5	9	54	21.188	6	15	31.77	0.30595398	20	9	14	27.687	10	52	21.22	0.42913979		
6	9	52	27.754	6	12	32.04	0.30297982	21	9	16	27.983	10	53	5.80	0.43575035		
7	9	50	27.623	6	10	29.89	0.30026655	22	9	18	34.264	10	53	16.36	0.44243090		
8	9	48	21.364	6	9	25.31	0.29782050	23	9	20	46.299	10	52	52.73	0.44917769		
9	9	46	9.602	6	9	17.96	0.29564748	24	9	23	3.864	10	51	54.79	0.45598716		
10	9	43	53.020	6	10	7.15	0.29375273	25	9	25	26.745	10	50	22.41	0.46285587		
11	9	41	32.353	6	11	51.85	0.29214087	26	9	27	54.730	10	48	15.54	0.46978049		
12	9	39	8.382	6	14	30.65	0.29081583	27	9	30	27.619	10	45	34.12	0.47675774		
13	9	36	41.928	6	18	1.79	0.28978079	28	9	33	5.217	10	42	18.14	0.48378440		
14	9	34	13.847	6	22	23.14	0.28903819	29	9	35	47.334	10	38	27.61	0.49085727		
15	9	31	45.018	6	27	32.24	0.28858964	30	9	38	33.784	10	34	2.62	0.49797318		
16	9	29	16.336	6	33	26.31	0.28843589	Oct. 1	9	41	24.382	10	29	3.28	0.50512907		
17	9	26	48.699	6	40	2.29	0.28857685	2	9	44	18.948	10	23	29.76	0.51232198		

VÉNUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Oct.	3	9 47 17.302	10 17 22.26	0.51954910	Nov.	18	12 40 29.181	- 2 31 14.71	0.86278473
	4	9 50 19.270	10 10 41.04	0.52680778		19	12 44 41.595	- 2 54 51.27	0.87012062
	5	9 53 24.682	10 3 26.35	0.53409557		20	12 48 54.831	- 3 18 34.23	0.87744201
	6	9 56 33.376	9 55 38.51	0.54141016		21	12 53 8.901	- 3 42 22.85	0.88474869
	7	9 59 45.194	9 47 17.81	0.54874941		22	12 57 23.817	- 4 6 16.37	0.89204039
	8	10 2 59.986	9 38 24.61	0.55611132		23	13 1 39.596	- 4 30 14.05	0.89931682
	9	10 6 17.610	9 28 59.24	0.56349405		24	13 5 56.253	- 4 54 15.16	0.90657757
	10	10 9 37.929	9 19 2.10	0.57089586		25	13 10 13.807	- 5 18 18.93	0.91382215
	11	10 13 0.813	9 8 33.57	0.57831513		26	13 14 32.274	- 5 42 24.61	0.92105001
	12	10 16 26.138	8 57 34.05	0.58575036		27	13 18 51.669	- 6 6 31.42	0.92826049
	13	10 19 53.787	8 46 3.97	0.59320016		28	13 23 12.006	- 6 30 38.56	0.93545290
	14	10 23 23.648	8 34 3.77	0.60066322		29	13 27 33.299	- 6 54 45.25	0.94262655
15	10 26 55.616	8 21 33.90	0.60813833	30	13 31 55.561	- 7 18 50.67	0.94978074		
16	10 30 29.592	8 8 34.83	0.61562438	Déc.	1	13 36 18.805	- 7 42 54.02	0.95691483	
17	10 34 5.480	7 55 7.05	0.62312030		2	13 40 43.045	- 8 6 54.46	0.96402820	
18	10 37 43.192	7 41 11.05	0.63062512	3	13 45 8.295	- 8 30 51.20	0.97112028		
19	10 41 22.644	7 26 47.34	0.63813793	4	13 49 34.568	- 8 54 43.41	0.97819056		
20	10 45 3.759	7 11 56.42	0.64565784	5	13 54 1.878	- 9 18 30.27	0.98523855		
21	10 48 46.463	6 56 38.83	0.65318403	6	13 58 30.239	- 9 42 10.96	0.99226380		
22	10 52 30.688	6 40 55.10	0.66071570	7	14 2 59.665	-10 5 44.65	0.99926592		
23	10 56 16.373	6 24 45.76	0.66825206	8	14 7 30.169	-10 29 10.53	1.00624454		
24	11 0 3.461	6 8 11.35	0.67579228	9	14 12 1.763	-10 52 27.77	1.01319933		
25	11 3 51.901	5 51 12.41	0.68333552	10	14 16 34.460	-11 15 35.54	1.02013001		
26	11 7 41.647	5 33 49.50	0.69088085	11	14 21 8.271	-11 38 33.02	1.02703637		
27	11 11 32.657	5 16 3.17	0.69842727	12	14 25 43.207	-12 1 19.37	1.03391821		
28	11 15 24.891	4 57 54.02	0.70597372	13	14 30 19.278	-12 23 53.76	1.04077544		
29	11 19 18.308	4 39 22.64	0.71351904	14	14 34 56.493	-12 46 15.36	1.04760799		
30	11 23 12.871	4 20 29.67	0.72106208	15	14 39 34.862	-13 8 23.34	1.05441584		
31	11 27 8.538	4 1 15.76	0.72860169	16	14 44 14.395	-13 30 16.87	1.06119904		
Nov.	1	11 31 5.275	3 41 41.58	0.73613678	17	14 48 55.103	-13 51 55.13	1.06795762	
	2	11 35 3.044	3 21 47.81	0.74366630	18	14 53 36.995	-14 13 17.31	1.07469167	
	3	11 39 1.814	3 1 35.16	0.75118930	19	14 58 20.085	-14 34 22.59	1.08140124	
	4	11 43 1.553	2 41 4.30	0.75870487	20	15 3 4.384	-14 55 10.17	1.08808635	
	5	11 47 2.235	2 20 15.95	0.76621221	21	15 7 49.902	-15 15 39.26	1.09474700	
	6	11 51 3.835	1 59 10.82	0.77371055	22	15 12 36.651	-15 35 49.08	1.10138312	
7	11 55 6.332	1 37 49.62	0.78119918	23	15 17 24.638	-15 55 38.84	1.10799456		
8	11 59 9.707	1 16 13.08	0.78867746	24	15 22 13.870	-16 15 7.76	1.11458109		
9	12 3 13.944	0 54 21.91	0.79614479	25	15 27 4.349	-16 34 15.06	1.12114240		
10	12 7 19.027	0 32 16.85	0.80360063	26	15 31 56.079	-16 52 59.95	1.12767812		
11	12 11 24.946	0 9 58.63	0.81104448	27	15 36 49.056	-17 11 21.65	1.13418784		
12	12 15 31.689	- 0 12 32.01	0.81847590	28	15 41 43.278	-17 29 19.38	1.14067110		
13	12 19 39.251	- 0 35 14.32	0.82589450	29	15 46 38.740	-17 46 52.37	1.14712746		
14	12 23 47.623	- 0 58 7.56	0.83329993	30	15 51 35.434	-18 3 59.85	1.15355648		
15	12 27 56.803	- 1 21 10.98	0.84069191	31	15 56 33.352	-18 20 41.06	1.15995773		
16	12 32 6.789	- 1 44 23.81	0.84807018	32	16 1 32.481	-18 36 55.27	1.16633082		
17	12 36 17.580	- 2 7 45.31	0.85543452	33	16 6 32.808	-18 52 41.73	1.17267538		

MARS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	21	32	11.219	-15	48	48.12	1.96494620	Févr.	15	23	46	51.753	-2	7	59.34	2.17347989
	1	21	35	15.364	-15	33	16.15	1.96951649		16	23	49	40.749	-1	48	57.09	2.17792549
	2	21	38	19.069	-15	17	35.02	1.97408602		17	23	52	29.587	-1	29	54.90	2.18236354
	3	21	41	22.334	-15	1	44.93	1.97865506		18	23	55	18.273	-1	10	52.97	2.18679341
	4	21	44	25.162	-14	45	46.09	1.98322386		19	23	58	6.813	-0	51	51.50	2.19121452
	5	21	47	27.554	-14	29	38.69	1.98779261		20	0	0	55.213	-0	32	50.66	2.19562635
	6	21	50	29.513	-14	13	22.95	1.99236148		21	0	3	43.480	-0	13	50.66	2.20002849
	7	21	53	31.042	-13	56	59.06	1.99693055		22	0	6	31.622	0	5	8.33	2.20442063
	8	21	56	32.144	-13	40	27.23	2.00149989		23	0	9	19.646	0	24	6.13	2.20880261
	9	21	59	32.825	-13	23	47.65	2.00606947		24	0	12	7.559	0	43	2.56	2.21317434
	10	22	2	33.090	-13	7	0.51	2.01063925		25	0	14	55.368	1	1	57.42	2.21753580
	11	22	5	32.944	-12	50	6.03	2.01520912		26	0	17	43.078	1	20	50.54	2.22188699
	12	22	8	32.393	-12	33	4.39	2.01977894		27	0	20	30.697	1	39	41.74	2.22622795
	13	22	11	31.444	-12	15	55.80	2.02434852		28	0	23	18.230	1	58	30.83	2.23055868
14	22	14	30.102	-11	58	40.45	2.02891761	Mars	1	0	26	5.686	2	17	17.63	2.23487919	
15	22	17	28.374	-11	41	18.56	2.03348595	2	0	28	53.072	2	36	1.98	2.23918947		
16	22	20	26.267	-11	23	50.32	2.03805320	3	0	31	40.395	2	54	43.69	2.24348948		
17	22	23	23.786	-11	6	15.94	2.04261898	4	0	34	27.665	3	13	22.62	2.24777914		
18	22	26	20.936	-10	48	35.64	2.04718286	5	0	37	14.891	3	31	58.58	2.25205836		
19	22	29	17.722	-10	30	49.64	2.05174438	6	0	40	2.081	3	50	31.43	2.25632699		
20	22	32	14.146	-10	12	58.16	2.05630307	7	0	42	49.246	4	9	1.00	2.26058487		
21	22	35	10.210	-9	55	1.43	2.06085848	8	0	45	36.394	4	27	27.14	2.26483179		
22	22	38	5.918	-9	36	59.66	2.06541021	9	0	48	23.537	4	45	49.69	2.26906747		
23	22	41	1.272	-9	18	53.08	2.06995797	10	0	51	10.683	5	4	8.51	2.27329162		
24	22	43	56.278	-9	0	41.88	2.07450156	11	0	53	57.842	5	22	23.43	2.27750388		
25	22	46	50.940	-8	42	26.28	2.07904091	12	0	56	45.023	5	40	34.32	2.28170383		
26	22	49	45.264	-8	24	6.49	2.08357603	13	0	59	32.234	5	58	41.00	2.28589103		
27	22	52	39.256	-8	5	42.71	2.08810701	14	1	2	19.483	6	16	43.34	2.29006495		
28	22	55	32.923	-7	47	15.14	2.09263398	15	1	5	6.777	6	34	41.16	2.29422502		
29	22	58	26.271	-7	28	44.01	2.09715708	16	1	7	54.122	6	52	34.31	2.29837061		
30	23	1	19.305	-7	10	9.51	2.10167645	17	1	10	41.525	7	10	22.62	2.30250103		
Févr.	31	23	4	12.031	-6	51	31.86	2.10619224	18	1	13	28.991	7	28	5.94	2.30661559	
	1	23	7	4.458	-6	32	51.24	2.11070454	19	1	16	16.525	7	45	44.09	2.31071359	
	2	23	9	56.591	-6	14	7.87	2.11521344	20	1	19	4.134	8	3	16.91	2.31479435	
	3	23	12	48.439	-5	55	21.95	2.11971899	21	1	21	51.822	8	20	44.27	2.31885730	
	4	23	15	40.010	-5	36	33.65	2.12422118	22	1	24	39.597	8	38	5.99	2.32290197	
	5	23	18	31.313	-5	17	43.18	2.12871997	23	1	27	27.463	8	55	21.94	2.32692801	
	6	23	21	22.357	-4	58	50.72	2.13321530	24	1	30	15.423	9	12	31.96	2.33093519	
	7	23	24	13.152	-4	39	56.46	2.13770701	25	1	33	3.482	9	29	35.89	2.33492335	
	8	23	27	3.708	-4	21	0.57	2.14219494	26	1	35	51.642	9	46	33.58	2.33889239	
	9	23	29	54.035	-4	2	3.25	2.14667887	27	1	38	39.908	10	3	24.88	2.34284227	
	10	23	32	44.144	-3	43	4.67	2.15115852	28	1	41	28.282	10	20	9.64	2.34677291	
	11	23	35	34.045	-3	24	5.02	2.15563359	29	1	44	16.769	10	36	47.69	2.35068426	
	12	23	38	23.746	-3	5	4.47	2.16010370	30	1	47	5.374	10	53	18.91	2.35457625	
	13	23	41	13.259	-2	46	3.22	2.16456845	31	1	49	54.103	11	9	43.13	2.35844879	
14	23	44	2.592	-2	27	1.44	2.16902735	Avril	1	1	52	42.960	11	26	0.24	2.36230179	

MARS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua
Avril	2	1	55	31.951	11	42	10.08	2.36613510	Mai	18	4	8	21.549	21	20	9.99	2.51463397
	3	1	58	21.083	11	58	12.53	2.36994860		19	4	11	19.016	21	28	28.70	2.51711670
	4	2	1	10.361	12	14	7.46	2.37374209		20	4	14	16.614	21	36	35.25	2.51956053
	5	2	3	59.793	12	29	54.74	2.37751537		21	4	17	14.335	21	44	29.56	2.52196522
	6	2	6	49.384	12	45	34.25	2.38126819		22	4	20	12.170	21	52	11.59	2.52433059
	7	2	9	39.140	13	1	5.86	2.38500024		23	4	23	10.110	21	59	41.27	2.52665649
	8	2	12	29.066	13	16	29.45	2.38871118		24	4	26	8.149	22	6	58.54	2.52894283
	9	2	15	19.168	13	31	44.90	2.39240061		25	4	29	6.280	22	14	3.34	2.53118951
	10	2	18	9.450	13	46	52.09	2.39606806		26	4	32	4.495	22	20	55.64	2.53339644
	11	2	20	59.915	14	1	50.89	2.39971301		27	4	35	2.789	22	27	35.37	2.53556353
	12	2	23	50.567	14	16	41.18	2.40333488		28	4	38	1.156	22	34	2.51	2.53769070
13	2	26	41.408	14	31	22.82	2.40693304	29	4	40	59.590	22	40	17.01	2.53977785		
14	2	29	32.440	14	45	55.70	2.41050678	30	4	43	58.086	22	46	18.84	2.54182488		
15	2	32	23.666	15	0	19.66	2.41405539	31	4	46	56.637	22	52	7.97	2.54383168		
16	2	35	15.087	15	14	34.60	2.41757812	Juin	1	4	49	55.238	22	57	44.38	2.54579811	
17	2	38	6.707	15	28	40.39	2.42107426	2	4	52	53.883	23	3	8.05	2.54772401		
18	2	40	58.526	15	42	36.90	2.42454314	3	4	55	52.566	23	8	18.96	2.54960915		
19	2	43	50.546	15	56	24.04	2.42798418	4	4	58	51.280	23	13	17.09	2.55145328		
20	2	46	42.766	16	10	1.67	2.43139691	5	5	1	50.017	23	18	2.42	2.55325604		
21	2	49	35.187	16	23	29.70	2.43478098	6	5	4	48.769	23	22	34.94	2.55501702		
22	2	52	27.804	16	36	48.00	2.43813613	7	5	7	47.530	23	26	54.63	2.55673570		
23	2	55	20.616	16	49	56.44	2.44146218	8	5	10	46.292	23	31	1.48	2.55841153		
24	2	58	13.620	17	2	54.92	2.44475900	9	5	13	45.048	23	34	55.45	2.56004385		
25	3	1	6.816	17	15	43.32	2.44802649	10	5	16	43.791	23	38	36.55	2.56163199		
26	3	4	0.200	17	28	21.51	2.45126455	11	5	19	42.514	23	42	4.77	2.56317526		
27	3	6	53.774	17	40	49.39	2.45447310	12	5	22	41.210	23	45	20.11	2.56467297		
28	3	9	47.536	17	53	6.86	2.45765204	13	5	25	39.871	23	48	22.58	2.56612446		
29	3	12	41.486	18	5	13.80	2.46080127	14	5	28	38.487	23	51	12.20	2.56752911		
30	3	15	35.625	18	17	10.13	2.46392067	15	5	31	37.047	23	53	48.97	2.56888640		
Mai	1	3	18	29.953	18	28	55.73	2.46701010	16	5	34	35.541	23	56	12.91	2.57019588	
2	3	21	24.470	18	40	30.53	2.47006942	17	5	37	33.956	23	58	24.04	2.57145717		
3	3	24	19.176	18	51	54.44	2.47309845	18	5	40	32.280	24	0	22.38	2.57267000		
4	3	27	14.072	19	3	7.36	2.47609700	19	5	43	30.501	24	2	7.93	2.57383415		
5	3	30	9.157	19	14	9.22	2.47906480	20	5	46	28.608	24	3	40.71	2.57494946		
6	3	33	4.432	19	24	59.93	2.48200157	21	5	49	26.591	24	5	0.74	2.57601581		
7	3	35	59.893	19	35	39.43	2.48490695	22	5	52	24.440	24	6	8.03	2.57703313		
8	3	38	55.540	19	46	7.61	2.48778052	23	5	55	22.147	24	7	2.60	2.57800133		
9	3	41	51.370	19	56	24.41	2.49062179	24	5	58	19.702	24	7	44.49	2.57892037		
10	3	44	47.381	20	6	29.74	2.49343021	25	6	1	17.098	24	8	13.73	2.57979019		
11	3	47	43.568	20	16	23.52	2.49620514	26	6	4	14.327	24	8	30.35	2.58061074		
12	3	50	39.928	20	26	5.66	2.49894592	27	6	7	11.382	24	8	34.39	2.58138198		
13	3	53	36.460	20	35	36.08	2.50165185	28	6	10	8.255	24	8	25.89	2.58210388		
14	3	56	33.159	20	44	54.71	2.50432218	29	6	13	4.939	24	8	4.89	2.58277637		
15	3	59	30.022	20	54	1.48	2.50695621	30	6	16	1.427	24	7	31.46	2.58339938		
16	4	2	27.045	21	2	56.33	2.50955325	Juill.	1	6	18	57.712	24	6	45.63	2.58397281	
17	4	5	24.223	21	11	39.18	2.51211268	2	6	21	53.785	24	5	47.47	2.58449650		

MARS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua
Juill.	3	6	24	49.639	24	4	37.02	2.584 970 21	Août	18	8	33	53.174	19	50	34.43	2.546 579 38
	4	6	27	45.267	24	3	14.33	2.585 393 63		19	8	36	32.350	19	41	16.79	2.544 345 43
	5	6	30	40.662	24	1	39.46	2.585 766 34		20	8	39	11.097	19	31	51.20	2.542 048 69
	6	6	33	35.817	23	59	52.45	2.586 087 84		21	8	41	49.415	19	22	17.75	2.539 689 26
	7	6	36	30.727	23	57	53.35	2.586 357 55		22	8	44	27.305	19	12	36.57	2.537 267 25
	8	6	39	25.387	23	55	42.22	2.586 574 84		23	8	47	4.768	19	2	47.77	2.534 782 80
	9	6	42	19.791	23	53	19.12	2.586 739 06		24	8	49	41.804	18	52	51.45	2.532 236 06
	10	6	45	13.934	23	50	44.14	2.586 849 58		25	8	52	18.415	18	42	47.75	2.529 627 17
	11	6	48	7.807	23	47	57.33	2.586 905 76		26	8	54	54.601	18	32	36.75	2.526 956 28
	12	6	51	1.405	23	44	58.79	2.586 907 06		27	8	57	30.364	18	22	18.59	2.524 223 52
	13	6	53	54.716	23	41	48.59	2.586 852 96		28	9	0	5.705	18	11	53.37	2.521 428 97
	14	6	56	47.733	23	38	26.83	2.586 743 03		29	9	2	40.625	18	1	21.18	2.518 572 62
	15	6	59	40.444	23	34	53.57	2.586 576 92		30	9	5	15.130	17	50	42.14	2.515 654 37
	16	7	2	32.842	23	31	8.90	2.586 354 34		31	9	7	49.222	17	39	56.32	2.512 673 99
	17	7	5	24.916	23	27	12.91	2.586 075 06		Sept. 1	9	10	22.909	17	29	3.83	2.509 631 17
	18	7	8	16.659	23	23	5.66	2.585 738 94		2	9	12	56.194	17	18	4.76	2.506 525 46
	19	7	11	8.063	23	18	47.23	2.585 345 87		3	9	15	29.083	17	6	59.23	2.503 356 40
20	7	13	59.122	23	14	17.71	2.584 895 77	4	9	18	1.579	16	55	47.34	2.500 123 50		
21	7	16	49.831	23	9	37.18	2.584 388 61	5	9	20	33.683	16	44	29.23	2.496 826 32		
22	7	19	40.182	23	4	45.72	2.583 824 36	6	9	23	5.395	16	33	5.02	2.493 464 42		
23	7	22	30.173	22	59	43.42	2.583 203 04	7	9	25	36.718	16	21	34.82	2.490 037 47		
24	7	25	19.798	22	54	30.37	2.582 524 64	8	9	28	7.649	16	9	58.76	2.486 545 17		
25	7	28	9.054	22	49	6.66	2.581 789 21	9	9	30	38.191	15	58	16.94	2.482 987 31		
26	7	30	57.936	22	43	32.39	2.580 996 77	10	9	33	8.343	15	46	29.50	2.479 363 71		
27	7	33	46.440	22	37	47.65	2.580 147 36	11	9	35	38.106	15	34	36.54	2.475 674 29		
28	7	36	34.565	22	31	52.53	2.579 241 02	12	9	38	7.482	15	22	38.17	2.471 919 00		
29	7	39	22.304	22	25	47.15	2.578 277 75	13	9	40	36.473	15	10	34.51	2.468 097 83		
30	7	42	9.656	22	19	31.59	2.577 257 53	14	9	43	5.081	14	58	25.65	2.464 210 86		
31	7	44	56.617	22	13	5.96	2.576 180 28	15	9	45	33.309	14	46	11.72	2.460 258 17		
Août 1	7	47	43.183	22	6	30.35	2.575 045 81	16	9	48	1.160	14	33	52.82	2.456 239 92		
2	7	50	29.354	21	59	44.84	2.573 853 83	17	9	50	28.637	14	21	29.05	2.452 156 28		
3	7	53	15.129	21	52	49.52	2.572 603 97	18	9	52	55.742	14	9	0.54	2.448 007 46		
4	7	56	0.507	21	45	44.49	2.571 295 74	19	9	55	22.479	13	56	27.38	2.443 793 71		
5	7	58	45.489	21	38	29.83	2.569 928 58	20	9	57	48.852	13	43	49.69	2.439 515 29		
6	8	1	30.075	21	31	5.65	2.568 501 92	21	10	0	14.863	13	31	7.58	2.435 172 48		
7	8	4	14.263	21	23	32.07	2.567 015 16	22	10	2	40.515	13	18	21.16	2.430 765 59		
8	8	6	58.053	21	15	49.19	2.565 467 78	23	10	5	5.813	13	5	30.54	2.426 294 91		
9	8	9	41.439	21	7	57.13	2.563 859 25	24	10	7	30.759	12	52	35.82	2.421 760 75		
10	8	12	24.418	20	59	56.01	2.562 189 14	25	10	9	55.358	12	39	37.10	2.417 163 36		
11	8	15	6.987	20	51	45.95	2.560 457 07	26	10	12	19.614	12	26	34.49	2.412 502 94		
12	8	17	49.140	20	43	27.06	2.558 662 72	27	10	14	43.534	12	13	28.06	2.407 779 62		
13	8	20	30.875	20	34	59.45	2.556 805 87	28	10	17	7.126	12	0	17.91	2.402 993 39		
14	8	23	12.187	20	26	23.23	2.554 886 31	29	10	19	30.397	11	47	4.12	2.398 144 13		
15	8	25	53.075	20	17	38.51	2.552 903 93	30	10	21	53.355	11	33	46.78	2.393 231 62		
16	8	28	33.536	20	8	45.40	2.550 858 66	Oct. 1	10	24	16.007	11	20	25.99	2.388 255 54		
17	8	31	13.570	19	59	44.00	2.548 750 48	2	10	26	38.357	11	7	1.86	2.383 215 57		

MARS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	10	29	0.409	10	53	34.49	2.378 111 37	Nov.	18	12	13	29.776	0	5	52.22	2.076 135 13	
	4	10	31	22.165	10	40	4.00	2.372 942 67		19	12	15	41.655	- 0	8	13.89	2.068 202 42	
	5	10	33	43.628	10	26	30.51	2.367 709 24		20	12	17	53.388	- 0	22	18.54	2.060 218 11	
	6	10	36	4.798	10	12	54.13	2.362 410 92		21	12	20	4.979	- 0	36	21.65	2.052 182 86	
	7	10	38	25.679	9	59	14.96	2.357 047 61		22	12	22	16.435	- 0	50	23.14	2.044 097 24	
	8	10	40	46.274	9	45	33.12	2.351 619 28		23	12	24	27.760	- 1	4	22.96	2.035 961 78	
	9	10	43	6.584	9	31	48.71	2.346 125 96		24	12	26	38.962	- 1	18	21.03	2.027 776 87	
	10	10	45	26.612	9	18	1.83	2.340 567 71		25	12	28	50.044	- 1	32	17.28	2.019 542 82	
	11	10	47	46.363	9	4	12.59	2.334 944 67		26	12	31	1.012	- 1	46	11.64	2.011 259 83	
	12	10	50	5.839	8	50	21.09	2.329 257 03		27	12	33	11.868	- 2	0	4.02	2.002 928 03	
	13	10	52	25.044	8	36	27.43	2.323 505 00		28	12	35	22.613	- 2	13	54.34	1.994 547 52	
	14	10	54	43.981	8	22	31.71	2.317 688 88		29	12	37	33.247	- 2	27	42.50	1.986 118 41	
	15	10	57	2.654	8	8	34.04	2.311 808 99		30	12	39	43.771	- 2	41	28.41	1.977 640 82	
	16	10	59	21.066	7	54	34.51	2.305 865 69		Déc.	1	12	41	54.184	- 2	55	11.97	1.969 114 93
	17	11	1	39.221	7	40	33.24	2.299 859 39			2	12	44	4.486	- 3	8	53.09	1.960 540 98
	18	11	3	57.121	7	26	30.32	2.293 790 52		3	12	46	14.678	- 3	22	31.68	1.951 919 26	
	19	11	6	14.771	7	12	25.85	2.287 659 55		4	12	48	24.759	- 3	36	7.65	1.943 250 13	
20	11	8	32.173	6	58	19.94	2.281 466 97	5	12	50	34.730	- 3	49	40.91	1.934 534 00			
21	11	10	49.330	6	44	12.70	2.275 213 27	6	12	52	44.589	- 4	3	11.39	1.925 771 32			
22	11	13	6.247	6	30	4.20	2.268 898 94	7	12	54	54.337	- 4	16	38.98	1.916 962 61			
23	11	15	22.928	6	15	54.56	2.262 524 45	8	12	57	3.972	- 4	30	3.60	1.908 108 41			
24	11	17	39.379	6	1	43.85	2.256 090 22	9	12	59	13.493	- 4	43	25.16	1.899 209 36			
25	11	19	55.606	5	47	32.16	2.249 596 62	10	13	1	22.898	- 4	56	43.59	1.890 266 11			
26	11	22	11.617	5	33	19.56	2.243 043 88	11	13	3	32.185	- 5	9	58.78	1.881 279 39			
27	11	24	27.420	5	19	6.12	2.236 432 15	12	13	5	41.353	- 5	23	10.65	1.872 250 00			
28	11	26	43.023	5	4	51.92	2.229 761 46	13	13	7	50.397	- 5	36	19.10	1.863 178 78			
29	11	28	58.432	4	50	37.06	2.223 031 74	14	13	9	59.316	- 5	49	24.05	1.854 066 63			
30	11	31	13.651	4	36	21.62	2.216 242 86	15	13	12	8.106	- 6	2	25.41	1.844 914 47			
31	11	33	28.684	4	22	5.70	2.209 394 69	16	13	14	16.767	- 6	15	23.09	1.835 723 24			
Nov.	1	11	35	43.533	4	7	49.41	2.202 487 12	17	13	16	25.297	- 6	28	17.01	1.826 493 90		
	2	11	37	58.199	3	53	32.86	2.195 520 08	18	13	18	33.697	- 6	41	7.11	1.817 227 36		
	3	11	40	12.685	3	39	16.14	2.188 493 58	19	13	20	41.969	- 6	53	53.30	1.807 924 50		
	4	11	42	26.992	3	24	59.36	2.181 407 67	20	13	22	50.114	- 7	6	35.55	1.798 586 13		
	5	11	44	41.123	3	10	42.62	2.174 262 49	21	13	24	58.134	- 7	19	13.78	1.789 212 97		
	6	11	46	55.080	2	56	26.02	2.167 058 21	22	13	27	6.031	- 7	31	47.94	1.779 805 68		
	7	11	49	8.865	2	42	9.65	2.159 795 07	23	13	29	13.807	- 7	44	17.98	1.770 364 79		
	8	11	51	22.481	2	27	53.60	2.152 473 36	24	13	31	21.461	- 7	56	43.84	1.760 890 77		
	9	11	53	35.930	2	13	37.98	2.145 093 43	25	13	33	28.991	- 8	9	5.45	1.751 384 00		
	10	11	55	49.215	1	59	22.87	2.137 655 66	26	13	35	36.394	- 8	21	22.74	1.741 844 83		
	11	11	58	2.336	1	45	8.38	2.130 160 49	27	13	37	43.668	- 8	33	35.62	1.732 273 57		
	12	12	0	15.298	1	30	54.59	2.122 608 44	28	13	39	50.808	- 8	45	44.03	1.722 670 56		
	13	12	2	28.100	1	16	41.62	2.115 000 03	29	13	41	57.811	- 8	57	47.88	1.713 036 16		
	14	12	4	40.745	1	2	29.54	2.107 335 88	30	13	44	4.672	- 9	9	47.11	1.703 370 78		
	15	12	6	53.234	0	48	18.47	2.099 616 63	31	13	46	11.386	- 9	21	41.63	1.693 674 86		
	16	12	9	5.567	0	34	8.49	2.091 842 95	32	13	48	17.949	- 9	33	31.39	1.683 948 93		
	17	12	11	17.747	0	19	59.71	2.084 015 54	33	13	50	24.355	- 9	45	16.30	1.674 193 55		

JUPITER 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	9	37	56.322	15	1	59.19	4.55492193	Févr.	15	9	17	13.651	16	48	11.58	4.35815317
	1	9	37	39.696	15	3	35.83	4.54445391		16	9	16	42.843	16	50	35.71	4.36104949
	2	9	37	22.394	15	5	15.63	4.53421216		17	9	16	12.230	16	52	58.36	4.36425704
	3	9	37	4.426	15	6	58.53	4.52420070		18	9	15	41.833	16	55	19.44	4.36777446
	4	9	36	45.799	15	8	44.47	4.51442353		19	9	15	11.674	16	57	38.85	4.37160014
	5	9	36	26.523	15	10	33.39	4.50488464		20	9	14	41.779	16	59	56.47	4.37573215
	6	9	36	6.608	15	12	25.23	4.49558799		21	9	14	12.171	17	2	12.21	4.38016830
	7	9	35	46.063	15	14	19.90	4.48653753		22	9	13	42.875	17	4	25.96	4.38490609
	8	9	35	24.901	15	16	17.34	4.47773718		23	9	13	13.915	17	6	37.64	4.38994285
	9	9	35	3.132	15	18	17.47	4.46919087		24	9	12	45.312	17	8	47.17	4.39527570
	10	9	34	40.770	15	20	20.19	4.46090246		25	9	12	17.088	17	10	54.49	4.40090166
	11	9	34	17.828	15	22	25.41	4.45287580		26	9	11	49.261	17	12	59.52	4.40681767
	12	9	33	54.320	15	24	33.06	4.44511470		27	9	11	21.850	17	15	2.21	4.41302057
	13	9	33	30.262	15	26	43.02	4.43762289		28	9	10	54.871	17	17	2.49	4.41950717
14	9	33	5.670	15	28	55.21	4.43040407	Mars	1	9	10	28.342	17	19	0.32	4.42627424	
15	9	32	40.559	15	31	9.53	4.42346188	2	9	10	2.279	17	20	55.62	4.43331846		
16	9	32	14.946	15	33	25.88	4.41679988	3	9	9	36.698	17	22	48.35	4.44063651		
17	9	31	48.850	15	35	44.16	4.41042156	4	9	9	11.614	17	24	38.44	4.44822502		
18	9	31	22.285	15	38	4.28	4.40433032	5	9	8	47.045	17	26	25.84	4.45608055		
19	9	30	55.272	15	40	26.13	4.39852944	6	9	8	23.004	17	28	10.49	4.46419966		
20	9	30	27.826	15	42	49.61	4.39302206	7	9	7	59.508	17	29	52.34	4.47257885		
21	9	29	59.966	15	45	14.62	4.38781110	8	9	7	36.572	17	31	31.34	4.48121459		
22	9	29	31.712	15	47	41.03	4.38289924	9	9	7	14.210	17	33	7.45	4.49010331		
23	9	29	3.085	15	50	8.72	4.37828891	10	9	6	52.436	17	34	40.62	4.49924140		
24	9	28	34.108	15	52	37.57	4.37398222	11	9	6	31.264	17	36	10.81	4.50862519		
25	9	28	4.804	15	55	7.44	4.36998102	12	9	6	10.708	17	37	37.99	4.51825098		
26	9	27	35.197	15	57	38.21	4.36628692	13	9	5	50.778	17	39	2.12	4.52811500		
27	9	27	5.310	16	0	9.76	4.36290134	14	9	5	31.488	17	40	23.18	4.53821343		
28	9	26	35.167	16	2	41.98	4.35982549	15	9	5	12.848	17	41	41.14	4.54854235		
29	9	26	4.790	16	5	14.76	4.35706047	16	9	4	54.867	17	42	55.97	4.55909777		
30	9	25	34.199	16	7	47.99	4.35460723	17	9	4	37.556	17	44	7.65	4.56987557		
Févr.	31	9	25	3.416	16	10	21.57	4.35246663	18	9	4	20.925	17	45	16.15	4.58087149	
	1	9	24	32.463	16	12	55.39	4.35063942	19	9	4	4.982	17	46	21.44	4.59208110	
	2	9	24	1.360	16	15	29.34	4.34912624	20	9	3	49.739	17	47	23.47	4.60349978	
	3	9	23	30.129	16	18	3.32	4.34792766	21	9	3	35.207	17	48	22.23	4.61512273	
	4	9	22	58.792	16	20	37.20	4.34704413	22	9	3	21.395	17	49	17.68	4.62694499	
	5	9	22	27.371	16	23	10.87	4.34647604	23	9	3	8.313	17	50	9.81	4.63896151	
	6	9	21	55.889	16	25	44.22	4.34622365	24	9	2	55.968	17	50	58.62	4.65116720	
	7	9	21	24.368	16	28	17.14	4.34628715	25	9	2	44.364	17	51	44.11	4.66355695	
	8	9	20	52.832	16	30	49.52	4.34666662	26	9	2	33.506	17	52	26.28	4.67612571	
	9	9	20	21.305	16	33	21.23	4.34736203	27	9	2	23.396	17	53	5.15	4.68886845	
	10	9	19	49.811	16	35	52.17	4.34837324	28	9	2	14.036	17	53	40.70	4.70178024	
	11	9	19	18.372	16	38	22.22	4.34970000	29	9	2	5.429	17	54	12.95	4.71485619	
	12	9	18	47.014	16	40	51.29	4.35134193	30	9	1	57.576	17	54	41.89	4.72809145	
	13	9	18	15.758	16	43	19.28	4.35329854	31	9	1	50.478	17	55	7.53	4.74148126	
14	9	17	44.630	16	45	46.07	4.35556921	Avril	1	9	1	44.138	17	55	29.86	4.75502089	

JUPITER 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	9	1	38.556	17	55	48.89	4.768 705 66	Mai	18	9	10	25.589	17	13	55.72	5.478 045 76
	3	9	1	33.734	17	56	4.61	4.782 530 96		19	9	10	52.237	17	11	53.40	5.493 634 40
	4	9	1	29.672	17	56	17.03	4.796 492 22		20	9	11	19.431	17	9	48.49	5.509 169 65
	5	9	1	26.371	17	56	26.15	4.810 584 93		21	9	11	47.161	17	7	41.01	5.524 647 96
	6	9	1	23.833	17	56	31.97	4.824 804 61		22	9	12	15.419	17	5	31.00	5.540 065 91
	7	9	1	22.056	17	56	34.51	4.839 146 84		23	9	12	44.194	17	3	18.47	5.555 420 20
	8	9	1	21.042	17	56	33.77	4.853 607 22		24	9	13	13.480	17	1	3.45	5.570 707 65
	9	9	1	20.788	17	56	29.77	4.868 181 40		25	9	13	43.266	16	58	45.96	5.585 925 19
	10	9	1	21.293	17	56	22.51	4.882 865 01		26	9	14	13.547	16	56	26.00	5.601 069 85
	11	9	1	22.556	17	56	12.02	4.897 653 70		27	9	14	44.313	16	54	3.61	5.616 138 74
	12	9	1	24.574	17	55	58.31	4.912 543 11		28	9	15	15.558	16	51	38.78	5.631 129 06
13	9	1	27.344	17	55	41.38	4.927 528 83	29	9	15	47.275	16	49	11.54	5.646 038 12		
14	9	1	30.864	17	55	21.25	4.942 606 39	30	9	16	19.456	16	46	41.91	5.660 863 28		
15	9	1	35.131	17	54	57.92	4.957 771 27	31	9	16	52.096	16	44	9.90	5.675 601 99		
16	9	1	40.144	17	54	31.40	4.973 018 84	1	9	17	25.187	16	41	35.53	5.690 251 79		
17	9	1	45.901	17	54	1.68	4.988 344 36	2	9	17	58.723	16	38	58.83	5.704 810 26		
18	9	1	52.402	17	53	28.76	5.003 743 03	3	9	18	32.695	16	36	19.81	5.719 275 06		
19	9	1	59.645	17	52	52.66	5.019 209 96	4	9	19	7.098	16	33	38.50	5.733 643 88		
20	9	2	7.628	17	52	13.39	5.034 740 25	5	9	19	41.922	16	30	54.92	5.747 914 42		
21	9	2	16.345	17	51	30.99	5.050 329 03	6	9	20	17.160	16	28	9.10	5.762 084 38		
22	9	2	25.792	17	50	45.47	5.065 971 49	7	9	20	52.805	16	25	21.05	5.776 151 41		
23	9	2	35.961	17	49	56.87	5.081 662 94	8	9	21	28.850	16	22	30.79	5.790 113 13		
24	9	2	46.846	17	49	5.22	5.097 398 79	9	9	22	5.289	16	19	38.32	5.803 967 07		
25	9	2	58.439	17	48	10.53	5.113 174 57	10	9	22	42.117	16	16	43.64	5.817 710 71		
26	9	3	10.733	17	47	12.83	5.128 985 93	11	9	23	19.329	16	13	46.78	5.831 341 45		
27	9	3	23.722	17	46	12.13	5.144 828 61	12	9	23	56.921	16	10	47.73	5.844 856 65		
28	9	3	37.399	17	45	8.46	5.160 698 47	13	9	24	34.887	16	7	46.51	5.858 253 63		
29	9	3	51.757	17	44	1.82	5.176 591 44	14	9	25	13.223	16	4	43.15	5.871 529 70		
30	9	4	6.791	17	42	52.23	5.192 503 56	15	9	25	51.921	16	1	37.67	5.884 682 20		
Mai	1	9	4	22.494	17	41	39.71	5.208 430 94	16	9	26	30.975	15	58	30.09	5.897 708 51	
2	9	4	38.860	17	40	24.28	5.224 369 78	17	9	27	10.375	15	55	20.46	5.910 606 09		
3	9	4	55.884	17	39	5.94	5.240 316 37	18	9	27	50.115	15	52	8.79	5.923 372 51		
4	9	5	13.558	17	37	44.72	5.256 267 07	19	9	28	30.185	15	48	55.12	5.936 005 43		
5	9	5	31.877	17	36	20.63	5.272 218 31	20	9	29	10.577	15	45	39.45	5.948 502 63		
6	9	5	50.835	17	34	53.71	5.288 166 59	21	9	29	51.285	15	42	21.83	5.960 861 98		
7	9	6	10.424	17	33	23.97	5.304 108 44	22	9	30	32.301	15	39	2.25	5.973 081 48		
8	9	6	30.636	17	31	51.43	5.320 040 43	23	9	31	13.620	15	35	40.74	5.985 159 18		
9	9	6	51.466	17	30	16.11	5.335 959 12	24	9	31	55.233	15	32	17.32	5.997 093 25		
10	9	7	12.905	17	28	38.05	5.351 861 08	25	9	32	37.137	15	28	51.99	6.008 881 92		
11	9	7	34.945	17	26	57.24	5.367 742 82	26	9	33	19.324	15	25	24.79	6.020 523 48		
12	9	7	57.581	17	25	13.71	5.383 600 84	27	9	34	1.789	15	21	55.73	6.032 016 33		
13	9	8	20.806	17	23	27.46	5.399 431 54	28	9	34	44.527	15	18	24.82	6.043 358 90		
14	9	8	44.615	17	21	38.49	5.415 231 29	29	9	35	27.532	15	14	52.09	6.054 549 71		
15	9	9	9.003	17	19	46.82	5.430 996 35	30	9	36	10.797	15	11	17.57	6.065 587 34		
16	9	9	33.965	17	17	52.46	5.446 722 98	Juill.	1	9	36	54.317	15	7	41.27	6.076 470 40	
17	9	9	59.496	17	15	55.41	5.462 407 38	2	9	37	38.086	15	4	3.22	6.087 197 57		

JUPITER 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua
Juill.	3	9	38	22.096	15	0	23.45	6.09776749	Août	18	10	15	0.034	11	46	46.13	6.39011493
	4	9	39	6.341	14	56	41.99	6.10817878		19	10	15	49.768	11	42	9.71	6.39187534
	5	9	39	50.815	14	52	58.84	6.11843004		20	10	16	39.511	11	37	32.69	6.39342887
	6	9	40	35.513	14	49	14.01	6.12851975		21	10	17	29.259	11	32	55.10	6.39477539
	7	9	41	20.431	14	45	27.53	6.13844632		22	10	18	19.009	11	28	16.95	6.39591486
	8	9	42	5.565	14	41	39.39	6.14820809		23	10	19	8.756	11	23	38.29	6.39684726
	9	9	42	50.913	14	37	49.60	6.15780331		24	10	19	58.495	11	18	59.15	6.39757265
	10	9	43	36.472	14	33	58.18	6.16723020		25	10	20	48.222	11	14	19.55	6.39809115
	11	9	44	22.236	14	30	5.16	6.17648696		26	10	21	37.932	11	9	39.53	6.39840291
	12	9	45	8.201	14	26	10.56	6.18557179		27	10	22	27.619	11	4	59.14	6.39850812
	13	9	45	54.361	14	22	14.40	6.19448292		28	10	23	17.279	11	0	18.39	6.39840697
	14	9	46	40.709	14	18	16.72	6.20321866		29	10	24	6.906	10	55	37.32	6.39809961
	15	9	47	27.239	14	14	17.55	6.21177737		30	10	24	56.498	10	50	55.96	6.39758612
	16	9	48	13.944	14	10	16.92	6.22015749		31	10	25	46.051	10	46	14.31	6.39686649
	17	9	49	0.818	14	6	14.85	6.22835757		Sept. 1	10	26	35.563	10	41	32.40	6.39594059
	18	9	49	47.853	14	2	11.37	6.23637626		2	10	27	25.034	10	36	50.23	6.39480820
	19	9	50	35.045	13	58	6.50	6.24421230		3	10	28	14.461	10	32	7.85	6.39346902
20	9	51	22.388	13	54	0.26	6.25186450	4	10	29	3.841	10	27	25.27	6.39192271		
21	9	52	9.876	13	49	52.67	6.25933178	5	10	29	53.169	10	22	42.53	6.39016897		
22	9	52	57.505	13	45	43.75	6.26661311	6	10	30	42.440	10	17	59.68	6.38820752		
23	9	53	45.271	13	41	33.52	6.27370757	7	10	31	31.648	10	13	16.76	6.38603815		
24	9	54	33.168	13	37	22.00	6.28061427	8	10	32	20.789	10	8	33.79	6.38366073		
25	9	55	21.193	13	33	9.22	6.28733240	9	10	33	9.856	10	3	50.83	6.38107521		
26	9	56	9.340	13	28	55.20	6.29386121	10	10	33	58.844	9	59	7.91	6.37828164		
27	9	56	57.604	13	24	39.96	6.30020002	11	10	34	47.747	9	54	25.07	6.37528013		
28	9	57	45.982	13	20	23.53	6.30634820	12	10	35	36.562	9	49	42.33	6.37207091		
29	9	58	34.467	13	16	5.95	6.31230516	13	10	36	25.283	9	44	59.72	6.36865429		
30	9	59	23.054	13	11	47.23	6.31807035	14	10	37	13.906	9	40	17.29	6.36503065		
31	10	0	11.737	13	7	27.41	6.32364320	15	10	38	2.426	9	35	35.06	6.36120046		
Août 1	10	1	0.511	13	3	6.52	6.32902313	16	10	38	50.841	9	30	53.06	6.35716429		
2	10	1	49.371	12	58	44.57	6.33420947	17	10	39	39.144	9	26	11.33	6.35292277		
3	10	2	38.314	12	54	21.57	6.33920146	18	10	40	27.333	9	21	29.90	6.34847659		
4	10	3	27.338	12	49	57.54	6.34399825	19	10	41	15.402	9	16	48.81	6.34382653		
5	10	4	16.440	12	45	32.49	6.34859888	20	10	42	3.347	9	12	8.09	6.33897342		
6	10	5	5.619	12	41	6.44	6.35300233	21	10	42	51.162	9	7	27.79	6.33391817		
7	10	5	54.870	12	36	39.39	6.35720754	22	10	43	38.843	9	2	47.94	6.32866172		
8	10	6	44.191	12	32	11.40	6.36121345	23	10	44	26.385	8	58	8.60	6.32320506		
9	10	7	33.577	12	27	42.48	6.36501901	24	10	45	13.781	8	53	29.78	6.31754923		
10	10	8	23.021	12	23	12.68	6.36862325	25	10	46	1.026	8	48	51.55	6.31169524		
11	10	9	12.519	12	18	42.02	6.37202522	26	10	46	48.117	8	44	13.92	6.30564411		
12	10	10	2.065	12	14	10.55	6.37522408	27	10	47	35.049	8	39	36.93	6.29939677		
13	10	10	51.652	12	9	38.29	6.37821905	28	10	48	21.820	8	35	0.60	6.29295407		
14	10	11	41.275	12	5	5.27	6.38100947	29	10	49	8.427	8	30	24.95	6.28631676		
15	10	12	30.930	12	0	31.51	6.38359473	30	10	49	54.870	8	25	50.00	6.27948548		
16	10	13	20.611	11	55	57.06	6.38597432	Oct. 1	10	50	41.144	8	21	15.80	6.27246080		
17	10	14	10.314	11	51	21.92	6.38814783	2	10	51	27.245	8	16	42.37	6.26524328		

JUPITER 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua		
Oct.	3	10	52	13.168	8	12	9.77	6.25783348	Nov.	18	11	22	35.948	5	10	29.50	5.73411973
	4	10	52	58.908	8	7	38.05	6.25023205		19	11	23	7.105	5	7	24.83	5.71951538
	5	10	53	44.456	8	3	7.25	6.24243969		20	11	23	37.798	5	4	23.15	5.70481649
	6	10	54	29.808	7	58	37.41	6.23445722		21	11	24	8.023	5	1	24.48	5.69002637
	7	10	55	14.957	7	54	8.59	6.22628554		22	11	24	37.776	4	58	28.86	5.67514826
	8	10	55	59.897	7	49	40.82	6.21792567		23	11	25	7.051	4	55	36.34	5.66018535
	9	10	56	44.624	7	45	14.15	6.20937870		24	11	25	35.846	4	52	46.92	5.64514077
	10	10	57	29.131	7	40	48.61	6.20064583		25	11	26	4.156	4	50	0.67	5.63001756
	11	10	58	13.413	7	36	24.24	6.19172836		26	11	26	31.974	4	47	17.62	5.61481872
	12	10	58	57.466	7	32	1.09	6.18262766		27	11	26	59.294	4	44	37.81	5.59954724
	13	10	59	41.284	7	27	39.18	6.17334520		28	11	27	26.108	4	42	1.32	5.58420617
	14	11	0	24.863	7	23	18.57	6.16388256		29	11	27	52.408	4	39	28.19	5.56879860
15	11	1	8.196	7	18	59.29	6.15424136	30	11	28	18.186	4	36	58.47	5.55332775		
16	11	1	51.280	7	14	41.39	6.14442335	Déc.	1	11	28	43.434	4	34	32.23	5.53779693	
17	11	2	34.108	7	10	24.91	6.13443034		2	11	29	8.145	4	32	9.50	5.52220960	
18	11	3	16.674	7	6	9.89	6.12426419		3	11	29	32.312	4	29	50.33	5.50656931	
19	11	3	58.972	7	1	56.39	6.11392685		4	11	29	55.929	4	27	34.76	5.49087974	
20	11	4	40.996	6	57	44.45	6.10342032		5	11	30	18.990	4	25	22.83	5.47514468	
21	11	5	22.740	6	53	34.12	6.09274664		6	11	30	41.487	4	23	14.60	5.45936799	
22	11	6	4.197	6	49	25.45	6.08190787		7	11	31	3.414	4	21	10.09	5.44355367	
23	11	6	45.362	6	45	18.47	6.07090608	8	11	31	24.766	4	19	9.35	5.42770579		
24	11	7	26.230	6	41	13.23	6.05974332	9	11	31	45.536	4	17	12.42	5.41182851		
25	11	8	6.796	6	37	9.76	6.04842160	10	11	32	5.717	4	15	19.35	5.39592612		
26	11	8	47.058	6	33	8.09	6.03694283	11	11	32	25.304	4	13	30.18	5.38000298		
27	11	9	27.013	6	29	8.25	6.02530884	12	11	32	44.287	4	11	44.95	5.36406353		
28	11	10	6.656	6	25	10.27	6.01352139	13	11	33	2.662	4	10	3.71	5.34811230		
29	11	10	45.984	6	21	14.19	6.00158215	14	11	33	20.421	4	8	26.50	5.33215386		
30	11	11	24.990	6	17	20.07	5.98949280	15	11	33	37.557	4	6	53.37	5.31619284		
31	11	12	3.669	6	13	27.95	5.97725502	16	11	33	54.065	4	5	24.35	5.30023385		
Nov.	1	11	12	42.011	6	9	37.89	5.96487060	17	11	34	9.939	4	3	59.48	5.28428151	
	2	11	13	20.011	6	5	49.95	5.95234139	18	11	34	25.174	4	2	38.78	5.26834041	
	3	11	13	57.660	6	2	4.17	5.93966938	19	11	34	39.768	4	1	22.28	5.25241508	
	4	11	14	34.951	5	58	20.61	5.92685665	20	11	34	53.717	4	0	10.00	5.23650997	
	5	11	15	11.879	5	54	39.32	5.91390541	21	11	35	7.019	3	59	1.94	5.22062949	
	6	11	15	48.437	5	51	0.34	5.90081797	22	11	35	19.670	3	57	58.14	5.20477794	
	7	11	16	24.618	5	47	23.71	5.88759674	23	11	35	31.668	3	56	58.62	5.18895961	
	8	11	17	0.416	5	43	49.48	5.87424422	24	11	35	43.007	3	56	3.40	5.17317870	
	9	11	17	35.826	5	40	17.69	5.86076304	25	11	35	53.683	3	55	12.52	5.15743945	
	10	11	18	10.841	5	36	48.40	5.84715590	26	11	36	3.689	3	54	26.02	5.14174610	
	11	11	18	45.455	5	33	21.64	5.83342560	27	11	36	13.021	3	53	43.92	5.12610295	
12	11	19	19.661	5	29	57.47	5.81957505	28	11	36	21.672	3	53	6.27	5.11051440		
13	11	19	53.452	5	26	35.92	5.80560725	29	11	36	29.638	3	52	33.08	5.09498493		
14	11	20	26.823	5	23	17.06	5.79152527	30	11	36	36.914	3	52	4.37	5.07951913		
15	11	20	59.765	5	20	0.94	5.77733228	31	11	36	43.498	3	51	40.17	5.06412169		
16	11	21	32.272	5	16	47.60	5.76303150	32	11	36	49.385	3	51	20.49	5.04879739		
17	11	22	4.335	5	13	37.11	5.74862621	33	11	36	54.573	3	51	5.34	5.03355108		

SATURNE 2015 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	9.013	-18	25	10.16	10.70499212	Févr.	15	16	10	49.584	-19	0	43.39	10.05701803
	1	15	56	34.170	-18	26	20.34	10.69450792		16	16	11	0.927	-19	1	3.71	10.04049579
	2	15	56	59.129	-18	27	29.56	10.68381900		17	16	11	11.876	-19	1	22.91	10.02393637
	3	15	57	23.885	-18	28	37.79	10.67292790		18	16	11	22.428	-19	1	40.98	10.00734476
	4	15	57	48.433	-18	29	45.05	10.66183714		19	16	11	32.577	-19	1	57.91	9.99072605
	5	15	58	12.767	-18	30	51.32	10.65054924		20	16	11	42.323	-19	2	13.69	9.97408544
	6	15	58	36.882	-18	31	56.59	10.63906671		21	16	11	51.663	-19	2	28.31	9.95742819
	7	15	59	0.772	-18	33	0.85	10.62739207		22	16	12	0.599	-19	2	41.79	9.94075950
	8	15	59	24.434	-18	34	4.08	10.61552789		23	16	12	9.129	-19	2	54.13	9.92408454
	9	15	59	47.861	-18	35	6.28	10.60347676		24	16	12	17.254	-19	3	5.34	9.90740838
	10	16	0	11.051	-18	36	7.43	10.59124134		25	16	12	24.971	-19	3	15.45	9.89073599
	11	16	0	33.999	-18	37	7.54	10.57882433		26	16	12	32.279	-19	3	24.45	9.87407225
	12	16	0	56.700	-18	38	6.59	10.56622852		27	16	12	39.175	-19	3	32.35	9.85742198
	13	16	1	19.152	-18	39	4.59	10.55345675		28	16	12	45.657	-19	3	39.16	9.84078991
14	16	1	41.349	-18	40	1.52	10.54051194	Mars	1	16	12	51.723	-19	3	44.87	9.82418077	
15	16	2	3.288	-18	40	57.39	10.52739710	2	16	12	57.372	-19	3	49.49	9.80759920		
16	16	2	24.964	-18	41	52.21	10.51411532	3	16	13	2.601	-19	3	53.00	9.79104986		
17	16	2	46.372	-18	42	45.96	10.50066982	4	16	13	7.410	-19	3	55.42	9.77453737		
18	16	3	7.506	-18	43	38.66	10.48706393	5	16	13	11.799	-19	3	56.73	9.75806635		
19	16	3	28.361	-18	44	30.29	10.47330115	6	16	13	15.766	-19	3	56.95	9.74164141		
20	16	3	48.928	-18	45	20.86	10.45938513	7	16	13	19.313	-19	3	56.07	9.72526717		
21	16	4	9.202	-18	46	10.33	10.44531968	8	16	13	22.438	-19	3	54.11	9.70894827		
22	16	4	29.177	-18	46	58.71	10.43110880	9	16	13	25.143	-19	3	51.06	9.69268935		
23	16	4	48.847	-18	47	45.96	10.41675658	10	16	13	27.427	-19	3	46.95	9.67649509		
24	16	5	8.210	-18	48	32.09	10.40226720	11	16	13	29.290	-19	3	41.76	9.66037021		
25	16	5	27.263	-18	49	17.09	10.38764486	12	16	13	30.733	-19	3	35.53	9.64431947		
26	16	5	46.004	-18	50	0.96	10.37289373	13	16	13	31.754	-19	3	28.25	9.62834768		
27	16	6	4.430	-18	50	43.71	10.35801796	14	16	13	32.352	-19	3	19.94	9.61245970		
28	16	6	22.539	-18	51	25.36	10.34302164	15	16	13	32.528	-19	3	10.59	9.59666049		
29	16	6	40.325	-18	52	5.89	10.32790881	16	16	13	32.278	-19	3	0.22	9.58095506		
30	16	6	57.786	-18	52	45.32	10.31268346	17	16	13	31.602	-19	2	48.82	9.56534853		
Févr.	31	16	7	14.916	-18	53	23.64	10.29734954	18	16	13	30.499	-19	2	36.39	9.54984610	
	1	16	7	31.710	-18	54	0.85	10.28191101	19	16	13	28.970	-19	2	22.91	9.53445304	
	2	16	7	48.165	-18	54	36.95	10.26637177	20	16	13	27.018	-19	2	8.40	9.51917466	
	3	16	8	4.276	-18	55	11.93	10.25073575	21	16	13	24.645	-19	1	52.85	9.50401626	
	4	16	8	20.039	-18	55	45.79	10.23500687	22	16	13	21.855	-19	1	36.27	9.48898304	
	5	16	8	35.451	-18	56	18.51	10.21918909	23	16	13	18.652	-19	1	18.70	9.47408011	
	6	16	8	50.508	-18	56	50.10	10.20328636	24	16	13	15.039	-19	1	0.15	9.45931242	
	7	16	9	5.208	-18	57	20.55	10.18730270	25	16	13	11.018	-19	0	40.63	9.44468478	
	8	16	9	19.547	-18	57	49.86	10.17124215	26	16	13	6.590	-19	0	20.15	9.43020182	
	9	16	9	33.523	-18	58	18.03	10.15510882	27	16	13	1.758	-18	59	58.74	9.41586809	
	10	16	9	47.133	-18	58	45.07	10.13890685	28	16	12	56.524	-18	59	36.38	9.40168802	
	11	16	10	0.374	-18	59	10.98	10.12264048	29	16	12	50.889	-18	59	13.09	9.38766594	
	12	16	10	13.244	-18	59	35.76	10.10631400	30	16	12	44.857	-18	58	48.88	9.37380614	
	13	16	10	25.738	-18	59	59.42	10.08993176	31	16	12	38.431	-18	58	23.74	9.36011280	
14	16	10	37.853	-19	0	21.96	10.07349825	Avril	1	16	12	31.615	-18	57	57.69	9.34659010	

SATURNE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 16 12 24.412	-18 57 30.73	9.333 242 11	Mai	18 16 1 31.627	-18 24 56.18	8.970 694 30
	3 16 12 16.828	-18 57 2.88	9.320 072 91		19 16 1 13.212	-18 24 5.42	8.969 292 70
	4 16 12 8.866	-18 56 34.13	9.307 086 49		20 16 0 54.759	-18 23 14.70	8.968 193 11
	5 16 12 0.532	-18 56 4.52	9.294 286 83		21 16 0 36.277	-18 22 24.05	8.967 395 65
	6 16 11 51.830	-18 55 34.06	9.281 677 90		22 16 0 17.775	-18 21 33.49	8.966 900 28
	7 16 11 42.764	-18 55 2.75	9.269 263 64		23 15 59 59.261	-18 20 43.04	8.966 706 79
	8 16 11 33.339	-18 54 30.62	9.257 047 97		24 15 59 40.746	-18 19 52.73	8.966 814 83
	9 16 11 23.560	-18 53 57.70	9.245 034 84		25 15 59 22.239	-18 19 2.58	8.967 223 92
	10 16 11 13.429	-18 53 23.98	9.233 228 21		26 15 59 3.749	-18 18 12.61	8.967 933 49
	11 16 11 2.951	-18 52 49.49	9.221 632 02		27 15 58 45.287	-18 17 22.84	8.968 942 85
	12 16 10 52.129	-18 52 14.24	9.210 250 29		28 15 58 26.863	-18 16 33.32	8.970 251 23
13 16 10 40.967	-18 51 38.23	9.199 087 03	29 15 58 8.487	-18 15 44.05	8.971 857 74		
14 16 10 29.469	-18 51 1.47	9.188 146 26	30 15 57 50.169	-18 14 55.08	8.973 761 45		
15 16 10 17.639	-18 50 23.97	9.177 432 06	31 15 57 31.919	-18 14 6.44	8.975 961 32		
16 16 10 5.485	-18 49 45.73	9.166 948 45	Juin	1 15 57 13.745	-18 13 18.16	8.978 456 29	
17 16 9 53.013	-18 49 6.76	9.156 699 43		2 15 56 55.657	-18 12 30.27	8.981 245 21	
18 16 9 40.233	-18 48 27.09	9.146 688 92		3 15 56 37.662	-18 11 42.80	8.984 326 93	
19 16 9 27.152	-18 47 46.73	9.136 920 67		4 15 56 19.769	-18 10 55.77	8.987 700 27	
20 16 9 13.779	-18 47 5.72	9.127 398 28		5 15 56 1.984	-18 10 9.23	8.991 364 05	
21 16 9 0.122	-18 46 24.08	9.118 125 12		6 15 55 44.314	-18 9 23.17	8.995 317 09	
22 16 8 46.186	-18 45 41.85	9.109 104 38		7 15 55 26.767	-18 8 37.63	8.999 558 17	
23 16 8 31.979	-18 44 59.03	9.100 339 03		8 15 55 9.350	-18 7 52.62	9.004 086 09	
24 16 8 17.507	-18 44 15.66	9.091 831 89		9 15 54 52.072	-18 7 8.15	9.008 899 57	
25 16 8 2.776	-18 43 31.73	9.083 585 60		10 15 54 34.941	-18 6 24.24	9.013 997 25	
26 16 7 47.794	-18 42 47.27	9.075 602 70		11 15 54 17.969	-18 5 40.93	9.019 377 67	
27 16 7 32.569	-18 42 2.29	9.067 885 61	12 15 54 1.166	-18 4 58.24	9.025 039 24		
28 16 7 17.108	-18 41 16.80	9.060 436 64	13 15 53 44.541	-18 4 16.21	9.030 980 21		
29 16 7 1.421	-18 40 30.83	9.053 258 00	14 15 53 28.103	-18 3 34.88	9.037 198 61		
30 16 6 45.516	-18 39 44.40	9.046 351 82	15 15 53 11.862	-18 2 54.27	9.043 692 33		
Mai	1 16 6 29.402	-18 38 57.52	9.039 720 14	16 15 52 55.824	-18 2 14.41	9.050 459 01	
	2 16 6 13.088	-18 38 10.22	9.033 364 92	17 15 52 39.997	-18 1 35.34	9.057 496 13	
	3 16 5 56.582	-18 37 22.52	9.027 288 04	18 15 52 24.387	-18 0 57.08	9.064 801 00	
	4 16 5 39.894	-18 36 34.46	9.021 491 33	19 15 52 9.002	-18 0 19.63	9.072 370 77	
	5 16 5 23.032	-18 35 46.06	9.015 976 56	20 15 51 53.848	-17 59 43.03	9.080 202 48	
	6 16 5 6.004	-18 34 57.34	9.010 745 47	21 15 51 38.932	-17 59 7.28	9.088 293 05	
	7 16 4 48.818	-18 34 8.34	9.005 799 77	22 15 51 24.261	-17 58 32.40	9.096 639 33	
	8 16 4 31.481	-18 33 19.08	9.001 141 14	23 15 51 9.844	-17 57 58.42	9.105 238 10	
	9 16 4 14.001	-18 32 29.57	8.996 771 27	24 15 50 55.688	-17 57 25.35	9.114 086 07	
	10 16 3 56.384	-18 31 39.84	8.992 691 80	25 15 50 41.799	-17 56 53.22	9.123 179 91	
	11 16 3 38.638	-18 30 49.90	8.988 904 40	26 15 50 28.184	-17 56 22.05	9.132 516 23	
12 16 3 20.773	-18 29 59.77	8.985 410 64	27 15 50 14.851	-17 55 51.86	9.142 091 61		
13 16 3 2.796	-18 29 9.46	8.982 212 10	28 15 50 1.806	-17 55 22.67	9.151 902 61		
14 16 2 44.718	-18 28 19.00	8.979 310 24	29 15 49 49.054	-17 54 54.52	9.161 945 76		
15 16 2 26.551	-18 27 28.40	8.976 706 42	30 15 49 36.600	-17 54 27.42	9.172 217 59		
16 16 2 8.307	-18 26 37.71	8.974 401 85	Juill.	1 15 49 24.449	-17 54 1.39	9.182 714 65	
17 16 1 49.995	-18 25 46.96	8.972 397 54		2 15 49 12.605	-17 53 36.45	9.193 433 53	

SATURNE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 15 49 1.071	-17 53 12.60	9.20437086	Août	18 15 46 45.166	-17 57 7.12	9.87500803
	4 15 48 49.849	-17 52 49.87	9.21552330		19 15 46 51.391	-17 57 41.94	9.89158846
	5 15 48 38.944	-17 52 28.24	9.22688756		20 15 46 58.009	-17 58 17.94	9.90818116
	6 15 48 28.361	-17 52 7.72	9.23846034		21 15 47 5.018	-17 58 55.12	9.92478151
	7 15 48 18.104	-17 51 48.33	9.25023830		22 15 47 12.417	-17 59 33.48	9.94138494
	8 15 48 8.179	-17 51 30.07	9.26221806		23 15 47 20.205	-18 0 13.01	9.95798692
	9 15 47 58.594	-17 51 12.97	9.27439613		24 15 47 28.378	-18 0 53.69	9.97458303
	10 15 47 49.354	-17 50 57.04	9.28676889		25 15 47 36.935	-18 1 35.53	9.99116892
	11 15 47 40.464	-17 50 42.31	9.29933258		26 15 47 45.871	-18 2 18.50	10.00774032
	12 15 47 31.929	-17 50 28.79	9.31208331		27 15 47 55.183	-18 3 2.59	10.02429310
	13 15 47 23.752	-17 50 16.51	9.32501704		28 15 48 4.868	-18 3 47.77	10.04082324
	14 15 47 15.937	-17 50 5.48	9.33812959		29 15 48 14.922	-18 4 34.03	10.05732683
15 15 47 8.485	-17 49 55.70	9.35141666	30 15 48 25.342	-18 5 21.34	10.07380005		
16 15 47 1.400	-17 49 47.18	9.36487387	31 15 48 36.128	-18 6 9.67	10.09023916		
17 15 46 54.683	-17 49 39.92	9.37849673	Sept. 1 15 48 47.279	-18 6 59.01	10.10664039		
18 15 46 48.339	-17 49 33.92	9.39228070	2 15 48 58.795	-18 7 49.36	10.12299994		
19 15 46 42.369	-17 49 29.20	9.40622120	3 15 49 10.676	-18 8 40.71	10.13931395		
20 15 46 36.777	-17 49 25.74	9.42031362	4 15 49 22.920	-18 9 33.07	10.15557842		
21 15 46 31.566	-17 49 23.55	9.43455333	5 15 49 35.524	-18 10 26.41	10.17178930		
22 15 46 26.739	-17 49 22.65	9.44893572	6 15 49 48.487	-18 11 20.74	10.18794241		
23 15 46 22.297	-17 49 23.03	9.46345615	7 15 50 1.804	-18 12 16.04	10.20403356		
24 15 46 18.245	-17 49 24.71	9.47811002	8 15 50 15.472	-18 13 12.28	10.22005848		
25 15 46 14.583	-17 49 27.69	9.49289272	9 15 50 29.487	-18 14 9.44	10.23601292		
26 15 46 11.314	-17 49 31.98	9.50779969	10 15 50 43.848	-18 15 7.51	10.25189259		
27 15 46 8.439	-17 49 37.58	9.52282640	11 15 50 58.550	-18 16 6.47	10.26769324		
28 15 46 5.958	-17 49 44.50	9.53796835	12 15 51 13.591	-18 17 6.28	10.28341063		
29 15 46 3.871	-17 49 52.75	9.55322115	13 15 51 28.970	-18 18 6.95	10.29904054		
30 15 46 2.177	-17 50 2.31	9.56858045	14 15 51 44.683	-18 19 8.43	10.31457882		
31 15 46 0.875	-17 50 13.18	9.58404203	15 15 52 0.728	-18 20 10.73	10.33002135		
Août 1 15 45 59.964	-17 50 25.35	9.59960172	16 15 52 17.103	-18 21 13.83	10.34536409		
2 15 45 59.445	-17 50 38.81	9.61525545	17 15 52 33.805	-18 22 17.71	10.36060306		
3 15 45 59.317	-17 50 53.54	9.63099919	18 15 52 50.831	-18 23 22.36	10.37573435		
4 15 45 59.584	-17 51 9.54	9.64682887	19 15 53 8.177	-18 24 27.77	10.39075413		
5 15 46 0.247	-17 51 26.81	9.66274040	20 15 53 25.840	-18 25 33.92	10.40565867		
6 15 46 1.310	-17 51 45.36	9.67872960	21 15 53 43.815	-18 26 40.79	10.42044433		
7 15 46 2.772	-17 52 5.19	9.69479217	22 15 54 2.099	-18 27 48.37	10.43510757		
8 15 46 4.636	-17 52 26.31	9.71092371	23 15 54 20.685	-18 28 56.64	10.44964496		
9 15 46 6.900	-17 52 48.72	9.72711972	24 15 54 39.569	-18 30 5.57	10.46405321		
10 15 46 9.565	-17 53 12.42	9.74337558	25 15 54 58.746	-18 31 15.13	10.47832913		
11 15 46 12.628	-17 53 37.39	9.75968663	26 15 55 18.211	-18 32 25.30	10.49246968		
12 15 46 16.089	-17 54 3.64	9.77604813	27 15 55 37.962	-18 33 36.05	10.50647189		
13 15 46 19.948	-17 54 31.14	9.79245530	28 15 55 57.996	-18 34 47.35	10.52033288		
14 15 46 24.202	-17 54 59.89	9.80890334	29 15 56 18.312	-18 35 59.19	10.53404976		
15 15 46 28.851	-17 55 29.88	9.82538744	30 15 56 38.909	-18 37 11.57	10.54761961		
16 15 46 33.895	-17 56 1.08	9.84190277	Oct. 1 15 56 59.784	-18 38 24.47	10.56103945		
17 15 46 39.334	-17 56 33.50	9.85844456	2 15 57 20.934	-18 39 37.88	10.57430616		

SATURNE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Oct.	3	15	57	42.355	-18	40	51.81	10.58741659	Nov.	18	16	17	48.704	-19	41	6.20	10.97416249
	4	15	58	4.043	-18	42	6.22	10.60036747		19	16	18	18.112	-19	42	22.95	10.97709252
	5	15	58	25.992	-18	43	21.09	10.61315552		20	16	18	47.578	-19	43	39.35	10.97976696
	6	15	58	48.198	-18	44	36.41	10.62577745		21	16	19	17.097	-19	44	55.38	10.98218550
	7	15	59	10.656	-18	45	52.15	10.63822995		22	16	19	46.667	-19	46	11.03	10.98434789
	8	15	59	33.365	-18	47	8.28	10.65050977		23	16	20	16.284	-19	47	26.29	10.98625394
	9	15	59	56.319	-18	48	24.78	10.66261368		24	16	20	45.946	-19	48	41.15	10.98790349
	10	16	0	19.515	-18	49	41.63	10.67453847		25	16	21	15.649	-19	49	55.61	10.98929632
	11	16	0	42.949	-18	50	58.82	10.68628103		26	16	21	45.389	-19	51	9.67	10.99043219
	12	16	1	6.620	-18	52	16.32	10.69783827		27	16	22	15.161	-19	52	23.32	10.99131078
	13	16	1	30.523	-18	53	34.12	10.70920720		28	16	22	44.958	-19	53	36.56	10.99193171
	14	16	1	54.654	-18	54	52.20	10.72038486		29	16	23	14.776	-19	54	49.37	10.99229455
15	16	2	19.010	-18	56	10.54	10.73136844	30	16	23	44.607	-19	56	1.72	10.99239886		
16	16	2	43.587	-18	57	29.15	10.74215515	Déc.	1	16	24	14.448	-19	57	13.61	10.99224420	
17	16	3	8.380	-18	58	47.99	10.75274236		2	16	24	44.293	-19	58	25.01	10.99183019	
18	16	3	33.384	-19	0	7.06	10.76312751	3	16	25	14.138	-19	59	35.92	10.99115650		
19	16	3	58.594	-19	1	26.33	10.77330815	4	16	25	43.979	-20	0	46.31	10.99022285		
20	16	4	24.004	-19	2	45.79	10.78328198	5	16	26	13.812	-20	1	56.18	10.98902906		
21	16	4	49.609	-19	4	5.41	10.79304679	6	16	26	43.632	-20	3	5.51	10.98757502		
22	16	5	15.402	-19	5	25.17	10.80260051	7	16	27	13.436	-20	4	14.31	10.98586069		
23	16	5	41.380	-19	6	45.04	10.81194119	8	16	27	43.219	-20	5	22.56	10.98388614		
24	16	6	7.536	-19	8	4.99	10.82106699	9	16	28	12.975	-20	6	30.26	10.98165152		
25	16	6	33.869	-19	9	25.01	10.82997619	10	16	28	42.701	-20	7	37.40	10.97915710		
26	16	7	0.375	-19	10	45.06	10.83866709	11	16	29	12.390	-20	8	43.98	10.97640326		
27	16	7	27.052	-19	12	5.14	10.84713804	12	16	29	42.036	-20	9	50.00	10.97339049		
28	16	7	53.899	-19	13	25.24	10.85538736	13	16	30	11.634	-20	10	55.44	10.97011943		
29	16	8	20.110	-19	14	45.36	10.86341328	14	16	30	41.175	-20	12	0.29	10.96659086		
30	16	8	48.083	-19	16	5.49	10.87121396	15	16	31	10.654	-20	13	4.54	10.96280571		
31	16	9	15.412	-19	17	25.62	10.87878748	16	16	31	40.065	-20	14	8.17	10.95876504		
Nov.	1	16	9	42.892	-19	18	45.73	10.88613186	17	16	32	9.402	-20	15	11.16	10.95447004	
2	16	10	10.516	-19	20	5.79	10.89324511	18	16	32	38.660	-20	16	13.50	10.94992199		
3	16	10	38.280	-19	21	25.79	10.90012521	19	16	33	7.835	-20	17	15.18	10.94512228		
4	16	11	6.180	-19	22	45.70	10.90677021	20	16	33	36.924	-20	18	16.18	10.94007235		
5	16	11	34.212	-19	24	5.50	10.91317816	21	16	34	5.925	-20	19	16.52	10.93477366		
6	16	12	2.371	-19	25	25.18	10.91934720	22	16	34	34.832	-20	20	16.19	10.92922770		
7	16	12	30.654	-19	26	44.71	10.92527551	23	16	35	3.643	-20	21	15.19	10.92343591		
8	16	12	59.057	-19	28	4.08	10.93096135	24	16	35	32.352	-20	22	13.53	10.91739970		
9	16	13	27.576	-19	29	23.27	10.93640305	25	16	36	0.953	-20	23	11.20	10.91112043		
10	16	13	56.207	-19	30	42.28	10.94159901	26	16	36	29.441	-20	24	8.20	10.90459939		
11	16	14	24.946	-19	32	1.09	10.94654774	27	16	36	57.808	-20	25	4.53	10.89783787		
12	16	14	53.788	-19	33	19.69	10.95124783	28	16	37	26.051	-20	26	0.16	10.89083714		
13	16	15	22.728	-19	34	38.07	10.95569798	29	16	37	54.163	-20	26	55.09	10.88359847		
14	16	15	51.762	-19	35	56.22	10.95989701	30	16	38	22.139	-20	27	49.30	10.87612319		
15	16	16	20.882	-19	37	14.12	10.96384384	31	16	38	49.977	-20	28	42.80	10.86841269		
16	16	16	50.083	-19	38	31.77	10.96753755	32	16	39	17.671	-20	29	35.56	10.86046842		
17	16	17	19.359	-19	39	49.13	10.97097732	33	16	39	45.217	-20	30	27.60	10.85229192		

URANUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	0	47	24.840	4	22	8.52	19.9244368	Févr.	15	0	51	50.281	4	51	46.66	20.6522894
	1	0	47	26.613	4	22	22.25	19.9416362		16	0	51	59.721	4	52	47.82	20.6650204
	2	0	47	28.579	4	22	37.20	19.9588468		17	0	52	9.286	4	53	49.73	20.6775551
	3	0	47	30.737	4	22	53.36	19.9760635		18	0	52	18.974	4	54	52.37	20.6898896
	4	0	47	33.085	4	23	10.72	19.9932813		19	0	52	28.781	4	55	55.72	20.7020203
	5	0	47	35.621	4	23	29.28	20.0104954		20	0	52	38.705	4	56	59.76	20.7139435
	6	0	47	38.345	4	23	49.02	20.0277008		21	0	52	48.745	4	58	4.48	20.7256559
	7	0	47	41.256	4	24	9.94	20.0448926		22	0	52	58.900	4	59	9.87	20.7371542
	8	0	47	44.352	4	24	32.02	20.0620659		23	0	53	9.169	5	0	15.93	20.7484355
	9	0	47	47.633	4	24	55.26	20.0792157		24	0	53	19.551	5	1	22.65	20.7594969
	10	0	47	51.099	4	25	19.66	20.0963372		25	0	53	30.041	5	2	30.01	20.7703359
	11	0	47	54.750	4	25	45.21	20.1134252		26	0	53	40.638	5	3	38.00	20.7809500
	12	0	47	58.585	4	26	11.92	20.1304749		27	0	53	51.338	5	4	46.60	20.7913368
	13	0	48	2.606	4	26	39.78	20.1474812		28	0	54	2.137	5	5	55.77	20.8014940
14	0	48	6.811	4	27	8.80	20.1644390	Mars	1	0	54	13.032	5	7	5.51	20.8114194	
15	0	48	11.201	4	27	38.96	20.1813433	2	0	54	24.020	5	8	15.78	20.8211108		
16	0	48	15.775	4	28	10.28	20.1981889	3	0	54	35.099	5	9	26.58	20.8305661		
17	0	48	20.532	4	28	42.73	20.2149708	4	0	54	46.265	5	10	37.88	20.8397833		
18	0	48	25.472	4	29	16.33	20.2316836	5	0	54	57.516	5	11	49.67	20.8487603		
19	0	48	30.591	4	29	51.04	20.2483221	6	0	55	8.852	5	13	1.93	20.8574952		
20	0	48	35.888	4	30	26.86	20.2648810	7	0	55	20.269	5	14	14.65	20.8659860		
21	0	48	41.359	4	31	3.76	20.2813550	8	0	55	31.767	5	15	27.83	20.8742308		
22	0	48	47.001	4	31	41.73	20.2977389	9	0	55	43.344	5	16	41.44	20.8822277		
23	0	48	52.814	4	32	20.75	20.3140274	10	0	55	54.997	5	17	55.48	20.8899747		
24	0	48	58.796	4	33	0.81	20.3302155	11	0	56	6.727	5	19	9.94	20.8974699		
25	0	49	4.948	4	33	41.91	20.3462984	12	0	56	18.529	5	20	24.81	20.9047115		
26	0	49	11.269	4	34	24.05	20.3622713	13	0	56	30.402	5	21	40.06	20.9116977		
27	0	49	17.758	4	35	7.23	20.3781296	14	0	56	42.343	5	22	55.69	20.9184265		
28	0	49	24.414	4	35	51.44	20.3938691	15	0	56	54.349	5	24	11.67	20.9248961		
29	0	49	31.235	4	36	36.66	20.4094854	16	0	57	6.415	5	25	27.98	20.9311046		
30	0	49	38.219	4	37	22.88	20.4249744	17	0	57	18.538	5	26	44.60	20.9370503		
Févr.	31	0	49	45.362	4	38	10.09	20.4403319	18	0	57	30.714	5	28	1.49	20.9427313	
	1	0	49	52.662	4	38	58.27	20.4555541	19	0	57	42.941	5	29	18.64	20.9481460	
	2	0	50	0.117	4	39	47.40	20.4706370	20	0	57	55.216	5	30	36.03	20.9532928	
3	0	50	7.723	4	40	37.46	20.4855765	21	0	58	7.539	5	31	53.65	20.9581704		
4	0	50	15.480	4	41	28.44	20.5003690	22	0	58	19.908	5	33	11.50	20.9627777		
5	0	50	23.384	4	42	20.32	20.5150106	23	0	58	32.322	5	34	29.57	20.9671136		
6	0	50	31.435	4	43	13.09	20.5294973	24	0	58	44.778	5	35	47.84	20.9711775		
7	0	50	39.631	4	44	6.74	20.5438255	25	0	58	57.272	5	37	6.30	20.9749689		
8	0	50	47.971	4	45	1.27	20.5579914	26	0	59	9.801	5	38	24.93	20.9784872		
9	0	50	56.454	4	45	56.66	20.5719911	27	0	59	22.362	5	39	43.70	20.9817322		
10	0	51	5.079	4	46	52.91	20.5858209	28	0	59	34.950	5	41	2.59	20.9847035		
11	0	51	13.845	4	47	50.00	20.5994771	29	0	59	47.563	5	42	21.57	20.9874011		
12	0	51	22.750	4	48	47.94	20.6129558	30	1	0	0.196	5	43	40.64	20.9898247		
13	0	51	31.792	4	49	46.70	20.6262532	31	1	0	12.849	5	44	59.77	20.9919743		
14	0	51	40.970	4	50	46.28	20.6393657	Avril	1	1	0	25.518	5	46	18.94	20.9938497	

URANUS 2015 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	2	1	0	38.201	5	47	38.14	20.9954510	Mai	18	1	9	55.946	6	44	41.11	20.7816964
	3	1	0	50.896	5	48	57.36	20.9967781		19	1	10	6.599	6	45	45.24	20.7712961
	4	1	1	3.603	5	50	16.58	20.9978311		20	1	10	17.153	6	46	48.72	20.7606833
	5	1	1	16.318	5	51	35.80	20.9986100		21	1	10	27.604	6	47	51.53	20.7498610
	6	1	1	29.041	5	52	55.00	20.9991149		22	1	10	37.949	6	48	53.66	20.7388326
	7	1	1	41.770	5	54	14.17	20.9993458		23	1	10	48.185	6	49	55.08	20.7276011
	8	1	1	54.502	5	55	33.31	20.9993028		24	1	10	58.310	6	50	55.78	20.7161697
	9	1	2	7.235	5	56	52.40	20.9989859		25	1	11	8.321	6	51	55.76	20.7045419
	10	1	2	19.966	5	58	11.42	20.9983952		26	1	11	18.218	6	52	54.98	20.6927207
	11	1	2	32.693	5	59	30.35	20.9975308		27	1	11	27.998	6	53	53.46	20.6807095
	12	1	2	45.410	6	0	49.17	20.9963928		28	1	11	37.661	6	54	51.17	20.6685115
13	1	2	58.115	6	2	7.87	20.9949812	29	1	11	47.205	6	55	48.12	20.6561300		
14	1	3	10.805	6	3	26.40	20.9932963	30	1	11	56.630	6	56	44.30	20.6435683		
15	1	3	23.475	6	4	44.76	20.9913383	31	1	12	5.934	6	57	39.71	20.6308295		
16	1	3	36.125	6	6	2.93	20.9891074	Juin	1	1	12	15.117	6	58	34.33	20.6179169	
17	1	3	48.752	6	7	20.89	20.9866042		2	1	12	24.176	6	59	28.17	20.6048338	
18	1	4	1.355	6	8	38.64	20.9838293		3	1	12	33.110	7	0	21.21	20.5915832	
19	1	4	13.933	6	9	56.17	20.9807836		4	1	12	41.917	7	1	13.44	20.5781683	
20	1	4	26.485	6	11	13.47	20.9774680		5	1	12	50.593	7	2	4.84	20.5645923	
21	1	4	39.007	6	12	30.54	20.9738838		6	1	12	59.135	7	2	55.41	20.5508582	
22	1	4	51.495	6	13	47.35	20.9700323		7	1	13	7.541	7	3	45.12	20.5369691	
23	1	5	3.946	6	15	3.88	20.9659152		8	1	13	15.808	7	4	33.95	20.5229283	
24	1	5	16.357	6	16	20.10	20.9615339		9	1	13	23.934	7	5	21.89	20.5087390	
25	1	5	28.723	6	17	36.00	20.9568900		10	1	13	31.919	7	6	8.93	20.4944044	
26	1	5	41.042	6	18	51.56	20.9519854	11	1	13	39.762	7	6	55.08	20.4799280		
27	1	5	53.311	6	20	6.76	20.9468215	12	1	13	47.462	7	7	40.32	20.4653135		
28	1	6	5.528	6	21	21.58	20.9414003	13	1	13	55.019	7	8	24.66	20.4505646		
29	1	6	17.691	6	22	36.02	20.9357235	14	1	14	2.431	7	9	8.09	20.4356851		
30	1	6	29.798	6	23	50.05	20.9297928	15	1	14	9.697	7	9	50.61	20.4206790		
Mai	1	1	6	41.848	6	25	3.67	20.9236100	16	1	14	16.813	7	10	32.20	20.4055507	
	2	1	6	53.840	6	26	16.88	20.9171770	17	1	14	23.778	7	11	12.86	20.3903042	
	3	1	7	5.771	6	27	29.65	20.9104955	18	1	14	30.587	7	11	52.56	20.3749439	
	4	1	7	17.641	6	28	41.99	20.9035673	19	1	14	37.239	7	12	31.28	20.3594742	
	5	1	7	29.447	6	29	53.89	20.8963944	20	1	14	43.732	7	13	9.03	20.3438994	
	6	1	7	41.188	6	31	5.34	20.8889783	21	1	14	50.064	7	13	45.78	20.3282239	
7	1	7	52.861	6	32	16.31	20.8813210	22	1	14	56.234	7	14	21.53	20.3124521		
8	1	8	4.463	6	33	26.80	20.8734242	23	1	15	2.241	7	14	56.27	20.2965884		
9	1	8	15.990	6	34	36.78	20.8652896	24	1	15	8.086	7	15	30.01	20.2806371		
10	1	8	27.439	6	35	46.24	20.8569191	25	1	15	13.767	7	16	2.73	20.2646024		
11	1	8	38.807	6	36	55.15	20.8483143	26	1	15	19.284	7	16	34.44	20.2484888		
12	1	8	50.091	6	38	3.50	20.8394774	27	1	15	24.637	7	17	5.13	20.2323005		
13	1	9	1.289	6	39	11.27	20.8304101	28	1	15	29.826	7	17	34.82	20.2160417		
14	1	9	12.400	6	40	18.44	20.8211145	29	1	15	34.850	7	18	3.48	20.1997167		
15	1	9	23.422	6	41	25.02	20.8115929	30	1	15	39.708	7	18	31.14	20.1833296		
16	1	9	34.355	6	42	30.99	20.8018476	Juill.	1	1	15	44.399	7	18	57.77	20.1668846	
17	1	9	45.197	6	43	36.36	20.7918812		2	1	15	48.920	7	19	23.37	20.1503856	

URANUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua
Juill.	3	1	15	53.270	7	19	47.92	20.1338368	Août	18	1	15	59.632	7	19	7.40	19.3969713
	4	1	15	57.446	7	20	11.42	20.1172421		19	1	15	55.620	7	18	41.69	19.3832244
	5	1	16	1.447	7	20	33.85	20.1006055		20	1	15	51.447	7	18	15.03	19.3696477
	6	1	16	5.271	7	20	55.20	20.0839310		21	1	15	47.114	7	17	47.41	19.3562455
	7	1	16	8.919	7	21	15.47	20.0672229		22	1	15	42.624	7	17	18.86	19.3430220
	8	1	16	12.390	7	21	34.65	20.0504852		23	1	15	37.980	7	16	49.40	19.3299811
	9	1	16	15.684	7	21	52.76	20.0337224		24	1	15	33.183	7	16	19.03	19.3171269
	10	1	16	18.804	7	22	9.80	20.0169390		25	1	15	28.234	7	15	47.77	19.3044632
	11	1	16	21.747	7	22	25.76	20.0001395		26	1	15	23.135	7	15	15.62	19.2919937
	12	1	16	24.513	7	22	40.65	19.9833287		27	1	15	17.887	7	14	42.59	19.2797220
	13	1	16	27.101	7	22	54.47	19.9665115		28	1	15	12.490	7	14	8.69	19.2676516
	14	1	16	29.509	7	23	7.20	19.9496927		29	1	15	6.945	7	13	33.92	19.2557859
15	1	16	31.735	7	23	18.84	19.9328772	30	1	15	1.255	7	12	58.28	19.2441284		
16	1	16	33.778	7	23	29.38	19.9160701	31	1	14	55.422	7	12	21.79	19.2326825		
17	1	16	35.636	7	23	38.82	19.8992764	Sept. 1	1	14	49.451	7	11	44.48	19.2214515		
18	1	16	37.310	7	23	47.14	19.8825010	2	1	14	43.344	7	11	6.36	19.2104390		
19	1	16	38.799	7	23	54.34	19.8657490	3	1	14	37.105	7	10	27.45	19.1996487		
20	1	16	40.102	7	24	0.43	19.8490251	4	1	14	30.736	7	9	47.78	19.1890842		
21	1	16	41.222	7	24	5.40	19.8323343	5	1	14	24.240	7	9	7.37	19.1787493		
22	1	16	42.158	7	24	9.27	19.8156815	6	1	14	17.617	7	8	26.21	19.1686477		
23	1	16	42.912	7	24	12.03	19.7990713	7	1	14	10.869	7	7	44.33	19.1587831		
24	1	16	43.484	7	24	13.70	19.7825087	8	1	14	3.998	7	7	1.73	19.1491592		
25	1	16	43.876	7	24	14.27	19.7659982	9	1	13	57.005	7	6	18.42	19.1397796		
26	1	16	44.087	7	24	13.77	19.7495445	10	1	13	49.892	7	5	34.42	19.1306479		
27	1	16	44.118	7	24	12.18	19.7331521	11	1	13	42.664	7	4	49.73	19.1217673		
28	1	16	43.970	7	24	9.52	19.7168255	12	1	13	35.322	7	4	4.38	19.1131413		
29	1	16	43.642	7	24	5.78	19.7005692	13	1	13	27.871	7	3	18.39	19.1047731		
30	1	16	43.133	7	24	0.97	19.6843874	14	1	13	20.314	7	2	31.78	19.0966657		
31	1	16	42.442	7	23	55.07	19.6682845	15	1	13	12.655	7	1	44.57	19.0888221		
Août 1	1	16	41.569	7	23	48.09	19.6522646	16	1	13	4.899	7	0	56.78	19.0812451		
2	1	16	40.513	7	23	40.00	19.6363319	17	1	12	57.048	7	0	8.44	19.0739374		
3	1	16	39.276	7	23	30.83	19.6204907	18	1	12	49.108	6	59	19.59	19.0669015		
4	1	16	37.858	7	23	20.57	19.6047452	19	1	12	41.081	6	58	30.23	19.0601399		
5	1	16	36.261	7	23	9.23	19.5890999	20	1	12	32.972	6	57	40.39	19.0536548		
6	1	16	34.489	7	22	56.84	19.5735594	21	1	12	24.783	6	56	50.09	19.0474484		
7	1	16	32.541	7	22	43.40	19.5581282	22	1	12	16.516	6	55	59.35	19.0415226		
8	1	16	30.418	7	22	28.92	19.5428110	23	1	12	8.176	6	55	8.19	19.0358793		
9	1	16	28.122	7	22	13.40	19.5276128	24	1	11	59.763	6	54	16.62	19.0305201		
10	1	16	25.650	7	21	56.84	19.5125382	25	1	11	51.281	6	53	24.66	19.0254467		
11	1	16	23.004	7	21	39.26	19.4975921	26	1	11	42.731	6	52	32.31	19.0206605		
12	1	16	20.182	7	21	20.64	19.4827795	27	1	11	34.119	6	51	39.59	19.0161629		
13	1	16	17.186	7	21	0.98	19.4681050	28	1	11	25.449	6	50	46.54	19.0119553		
14	1	16	14.017	7	20	40.29	19.4535736	29	1	11	16.725	6	49	53.19	19.0080390		
15	1	16	10.675	7	20	18.58	19.4391899	30	1	11	7.953	6	48	59.55	19.0044157		
16	1	16	7.162	7	19	55.86	19.4249585	Oct. 1	1	10	59.137	6	48	5.67	19.0010867		
17	1	16	3.480	7	19	32.12	19.4108842	2	1	10	50.279	6	47	11.58	18.9980537		

URANUS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	1	10	41.384	6	46	17.27	18.9953182	Nov.	18	1	4	15.199	6	7	30.58	19.1926578	
	4	1	10	32.452	6	45	22.79	18.9928818		19	1	4	8.702	6	6	52.30	19.2034985	
	5	1	10	23.486	6	44	28.13	18.9907457		20	1	4	2.338	6	6	14.86	19.2145768	
	6	1	10	14.490	6	43	33.31	18.9889114		21	1	3	56.110	6	5	38.28	19.2258888	
	7	1	10	5.466	6	42	38.36	18.9873801		22	1	3	50.021	6	5	2.56	19.2374307	
	8	1	9	56.419	6	41	43.29	18.9861529		23	1	3	44.075	6	4	27.75	19.2491985	
	9	1	9	47.352	6	40	48.13	18.9852306		24	1	3	38.276	6	3	53.86	19.2611882	
	10	1	9	38.270	6	39	52.91	18.9846141		25	1	3	32.628	6	3	20.92	19.2733962	
	11	1	9	29.177	6	38	57.64	18.9843039		26	1	3	27.131	6	2	48.94	19.2858185	
	12	1	9	20.079	6	38	2.36	18.9843007		27	1	3	21.788	6	2	17.94	19.2984514	
	13	1	9	10.980	6	37	7.10	18.9846046		28	1	3	16.598	6	1	47.92	19.3112913	
	14	1	9	1.886	6	36	11.89	18.9852159		29	1	3	11.564	6	1	18.88	19.3243343	
	15	1	8	52.799	6	35	16.75	18.9861346		30	1	3	6.686	6	0	50.83	19.3375766	
	16	1	8	43.726	6	34	21.72	18.9873605		Déc.	1	1	3	1.965	6	0	23.78	19.3510142
	17	1	8	34.670	6	33	26.82	18.9888932			2	1	2	57.405	5	59	57.73	19.3646431
	18	1	8	25.634	6	32	32.08	18.9907324		3	1	2	53.007	5	59	32.71	19.3784591	
	19	1	8	16.623	6	31	37.51	18.9928772		4	1	2	48.774	5	59	8.73	19.3924578	
20	1	8	7.639	6	30	43.14	18.9953270	5	1	2	44.709	5	58	45.80	19.4066350			
21	1	7	58.685	6	29	48.99	18.9980808	6	1	2	40.814	5	58	23.94	19.4209861			
22	1	7	49.764	6	28	55.07	19.0011374	7	1	2	37.094	5	58	3.16	19.4355064			
23	1	7	40.879	6	28	1.40	19.0044956	8	1	2	33.549	5	57	43.48	19.4501912			
24	1	7	32.035	6	27	7.99	19.0081542	9	1	2	30.182	5	57	24.93	19.4650358			
25	1	7	23.235	6	26	14.88	19.0121117	10	1	2	26.996	5	57	7.50	19.4800351			
26	1	7	14.485	6	25	22.10	19.0163669	11	1	2	23.991	5	56	51.20	19.4951842			
27	1	7	5.789	6	24	29.66	19.0209182	12	1	2	21.169	5	56	36.06	19.5104778			
28	1	6	57.153	6	23	37.62	19.0257644	13	1	2	18.530	5	56	22.07	19.5259107			
29	1	6	48.580	6	22	45.99	19.0309041	14	1	2	16.075	5	56	9.22	19.5414776			
30	1	6	40.073	6	21	54.80	19.0363362	15	1	2	13.803	5	55	57.53	19.5571730			
31	1	6	31.634	6	21	4.07	19.0420593	16	1	2	11.715	5	55	46.99	19.5729916			
Nov.	1	1	6	23.266	6	20	13.80	19.0480721	17	1	2	9.812	5	55	37.60	19.5889279		
	2	1	6	14.971	6	19	24.01	19.0543731	18	1	2	8.095	5	55	29.37	19.6049764		
	3	1	6	6.751	6	18	34.72	19.0609608	19	1	2	6.566	5	55	22.31	19.6211316		
	4	1	5	58.611	6	17	45.94	19.0678334	20	1	2	5.226	5	55	16.42	19.6373884		
	5	1	5	50.553	6	16	57.70	19.0749891	21	1	2	4.077	5	55	11.72	19.6537414		
	6	1	5	42.583	6	16	10.03	19.0824259	22	1	2	3.122	5	55	8.22	19.6701853		
	7	1	5	34.704	6	15	22.93	19.0901416	23	1	2	2.360	5	55	5.92	19.6867153		
	8	1	5	26.921	6	14	36.45	19.0981339	24	1	2	1.791	5	55	4.83	19.7033262		
	9	1	5	19.237	6	13	50.61	19.1064004	25	1	2	1.415	5	55	4.95	19.7200131		
	10	1	5	11.658	6	13	5.43	19.1149385	26	1	2	1.230	5	55	6.27	19.7367712		
	11	1	5	4.187	6	12	20.93	19.1237454	27	1	2	1.236	5	55	8.77	19.7535956		
12	1	4	56.829	6	11	37.16	19.1328182	28	1	2	1.431	5	55	12.46	19.7704813			
13	1	4	49.586	6	10	54.12	19.1421539	29	1	2	1.817	5	55	17.33	19.7874234			
14	1	4	42.461	6	10	11.83	19.1517492	30	1	2	2.393	5	55	23.39	19.8044169			
15	1	4	35.458	6	9	30.33	19.1616009	31	1	2	3.160	5	55	30.62	19.8214567			
16	1	4	28.579	6	8	49.61	19.1717053	32	1	2	4.119	5	55	39.05	19.8385376			
17	1	4	21.825	6	8	9.69	19.1820588	33	1	2	5.271	5	55	48.66	19.8556545			

NEPTUNE 2015 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 29 47.953	-10 13 36.28	30.505 509 2	Févr.	15 22 35 23.073	- 9 40 38.97	30.936 908 9
	1 22 29 53.477	-10 13 3.36	30.519 820 2		16 22 35 31.563	- 9 39 49.15	30.940 202 8
	2 22 29 59.105	-10 12 29.85	30.533 961 3		17 22 35 40.073	- 9 38 59.23	30.943 209 9
	3 22 30 4.834	-10 11 55.76	30.547 928 7		18 22 35 48.600	- 9 38 9.23	30.945 929 1
	4 22 30 10.663	-10 11 21.11	30.561 718 7		19 22 35 57.140	- 9 37 19.16	30.948 359 5
	5 22 30 16.588	-10 10 45.91	30.575 327 6		20 22 36 5.692	- 9 36 29.03	30.950 500 7
	6 22 30 22.609	-10 10 10.17	30.588 751 8		21 22 36 14.254	- 9 35 38.84	30.952 352 0
	7 22 30 28.722	-10 9 33.90	30.601 987 6		22 22 36 22.826	- 9 34 48.59	30.953 913 4
	8 22 30 34.925	-10 8 57.10	30.615 031 3		23 22 36 31.407	- 9 33 58.29	30.955 185 0
	9 22 30 41.219	-10 8 19.80	30.627 879 3		24 22 36 39.997	- 9 33 7.95	30.956 166 8
	10 22 30 47.601	-10 7 41.98	30.640 528 0		25 22 36 48.593	- 9 32 17.58	30.956 859 2
	11 22 30 54.070	-10 7 3.66	30.652 973 7		26 22 36 57.194	- 9 31 27.20	30.957 262 6
	12 22 31 0.626	-10 6 24.83	30.665 212 8		27 22 37 5.795	- 9 30 36.82	30.957 377 5
	13 22 31 7.268	-10 5 45.50	30.677 241 7		28 22 37 14.394	- 9 29 46.48	30.957 204 3
14 22 31 13.996	-10 5 5.68	30.689 056 9	Mars 1 22 37 22.988	- 9 28 56.18	30.956 743 6		
15 22 31 20.808	-10 4 25.37	30.700 654 6	2 22 37 31.575	- 9 28 5.93	30.955 996 0		
16 22 31 27.703	-10 3 44.58	30.712 031 5	3 22 37 40.153	- 9 27 15.75	30.954 962 1		
17 22 31 34.681	-10 3 3.33	30.723 183 9	4 22 37 48.719	- 9 26 25.65	30.953 642 5		
18 22 31 41.739	-10 2 21.62	30.734 108 2	5 22 37 57.272	- 9 25 35.64	30.952 037 9		
19 22 31 48.874	-10 1 39.48	30.744 801 1	6 22 38 5.810	- 9 24 45.72	30.950 149 0		
20 22 31 56.083	-10 0 56.93	30.755 259 1	7 22 38 14.333	- 9 23 55.89	30.947 976 4		
21 22 32 3.362	-10 0 13.98	30.765 478 9	8 22 38 22.838	- 9 23 6.18	30.945 520 9		
22 22 32 10.709	- 9 59 30.65	30.775 457 4	9 22 38 31.326	- 9 22 16.57	30.942 783 3		
23 22 32 18.121	- 9 58 46.95	30.785 191 5	10 22 38 39.795	- 9 21 27.09	30.939 764 3		
24 22 32 25.596	- 9 58 2.87	30.794 678 6	11 22 38 48.243	- 9 20 37.73	30.936 464 7		
25 22 32 33.135	- 9 57 18.43	30.803 916 1	12 22 38 56.670	- 9 19 48.52	30.932 885 4		
26 22 32 40.737	- 9 56 33.62	30.812 901 7	13 22 39 5.073	- 9 18 59.46	30.929 027 3		
27 22 32 48.402	- 9 55 48.45	30.821 633 3	14 22 39 13.450	- 9 18 10.57	30.924 891 1		
28 22 32 56.127	- 9 55 2.92	30.830 108 7	15 22 39 21.798	- 9 17 21.87	30.920 478 0		
29 22 33 3.911	- 9 54 17.07	30.838 326 0	16 22 39 30.114	- 9 16 33.38	30.915 789 0		
30 22 33 11.751	- 9 53 30.89	30.846 283 5	17 22 39 38.396	- 9 15 45.12	30.910 825 1		
31 22 33 19.646	- 9 52 44.42	30.853 979 3	18 22 39 46.639	- 9 14 57.10	30.905 587 7		
Févr.	1 22 33 27.591	- 9 51 57.66	30.861 411 6	19 22 39 54.842	- 9 14 9.32	30.900 078 2	
	2 22 33 35.584	- 9 51 10.63	30.868 578 9	20 22 40 3.003	- 9 13 21.81	30.894 298 1	
	3 22 33 43.624	- 9 50 23.35	30.875 479 3	21 22 40 11.121	- 9 12 34.55	30.888 249 4	
	4 22 33 51.706	- 9 49 35.82	30.882 111 4	22 22 40 19.197	- 9 11 47.54	30.881 934 1	
	5 22 33 59.831	- 9 48 48.05	30.888 473 4	23 22 40 27.230	- 9 11 0.80	30.875 354 4	
	6 22 34 7.995	- 9 48 0.05	30.894 563 8	24 22 40 35.219	- 9 10 14.34	30.868 512 8	
	7 22 34 16.198	- 9 47 11.84	30.900 381 1	25 22 40 43.160	- 9 9 28.16	30.861 411 6	
	8 22 34 24.439	- 9 46 23.40	30.905 923 7	26 22 40 51.053	- 9 8 42.30	30.854 053 4	
	9 22 34 32.716	- 9 45 34.76	30.911 190 2	27 22 40 58.894	- 9 7 56.76	30.846 440 9	
	10 22 34 41.028	- 9 44 45.91	30.916 178 9	28 22 41 6.679	- 9 7 11.57	30.838 576 5	
	11 22 34 49.375	- 9 43 56.86	30.920 888 6	29 22 41 14.408	- 9 6 26.73	30.830 463 0	
	12 22 34 57.755	- 9 43 7.64	30.925 317 8	30 22 41 22.077	- 9 5 42.26	30.822 102 9	
	13 22 35 6.165	- 9 42 18.23	30.929 465 2	31 22 41 29.686	- 9 4 58.17	30.813 498 8	
	14 22 35 14.606	- 9 41 28.67	30.933 329 3	Avril 1 22 41 37.232	- 9 4 14.46	30.804 653 3	

NEPTUNE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Avril	2	22	41	44.714	- 9	3	31.13	30.795 569 1	Mai	18	22	45	57.662	- 8	39	38.41	30.174 493 8	
	3	22	41	52.132	- 9	2	48.20	30.786 248 9		19	22	46	0.736	- 8	39	22.09	30.158 002 8	
	4	22	41	59.485	- 9	2	5.67	30.776 695 3		20	22	46	3.694	- 8	39	6.49	30.141 453 2	
	5	22	42	6.771	- 9	1	23.54	30.766 911 0		21	22	46	6.534	- 8	38	51.62	30.124 850 1	
	6	22	42	13.991	- 9	0	41.82	30.756 898 5		22	22	46	9.253	- 8	38	37.48	30.108 198 3	
	7	22	42	21.144	- 9	0	0.51	30.746 660 6		23	22	46	11.852	- 8	38	24.08	30.091 502 9	
	8	22	42	28.227	- 8	59	19.62	30.736 200 0		24	22	46	14.328	- 8	38	11.43	30.074 768 6	
	9	22	42	35.241	- 8	58	39.17	30.725 519 3		25	22	46	16.683	- 8	37	59.51	30.058 000 3	
	10	22	42	42.182	- 8	57	59.17	30.714 621 3		26	22	46	18.915	- 8	37	48.34	30.041 202 7	
	11	22	42	49.049	- 8	57	19.63	30.703 508 8		27	22	46	21.025	- 8	37	37.91	30.024 380 6	
	12	22	42	55.839	- 8	56	40.58	30.692 184 4		28	22	46	23.013	- 8	37	28.21	30.007 538 7	
	13	22	43	2.550	- 8	56	2.02	30.680 651 2		29	22	46	24.880	- 8	37	19.24	29.990 681 4	
	14	22	43	9.178	- 8	55	23.97	30.668 912 1		30	22	46	26.627	- 8	37	11.00	29.973 813 5	
	15	22	43	15.722	- 8	54	46.44	30.656 970 1		31	22	46	28.254	- 8	37	3.48	29.956 939 4	
	16	22	43	22.181	- 8	54	9.43	30.644 828 6		Juin	1	22	46	29.762	- 8	36	56.68	29.940 063 7
	17	22	43	28.553	- 8	53	32.94	30.632 491 0			2	22	46	31.151	- 8	36	50.61	29.923 190 7
18	22	43	34.839	- 8	52	56.97	30.619 960 8	3	22		46	32.420	- 8	36	45.27	29.906 324 8		
19	22	43	41.039	- 8	52	21.53	30.607 241 8	4	22		46	33.569	- 8	36	40.66	29.889 470 3		
20	22	43	47.153	- 8	51	46.61	30.594 338 1	5	22		46	34.597	- 8	36	36.79	29.872 631 7		
21	22	43	53.179	- 8	51	12.23	30.581 253 5	6	22		46	35.502	- 8	36	33.67	29.855 813 3		
22	22	43	59.115	- 8	50	38.41	30.567 992 3	7	22	46	36.282	- 8	36	31.31	29.839 019 4			
23	22	44	4.959	- 8	50	5.16	30.554 558 6	8	22	46	36.938	- 8	36	29.71	29.822 254 5			
24	22	44	10.708	- 8	49	32.49	30.540 956 5	9	22	46	37.469	- 8	36	28.86	29.805 523 2			
25	22	44	16.361	- 8	49	0.42	30.527 190 1	10	22	46	37.875	- 8	36	28.75	29.788 830 1			
26	22	44	21.915	- 8	48	28.96	30.513 263 5	11	22	46	38.159	- 8	36	29.39	29.772 180 0			
27	22	44	27.370	- 8	47	58.10	30.499 180 9	12	22	46	38.320	- 8	36	30.75	29.755 577 7			
28	22	44	32.723	- 8	47	27.87	30.484 946 2	13	22	46	38.360	- 8	36	32.83	29.739 028 1			
29	22	44	37.976	- 8	46	58.25	30.470 563 5	14	22	46	38.281	- 8	36	35.63	29.722 536 3			
30	22	44	43.126	- 8	46	29.25	30.456 036 9	15	22	46	38.082	- 8	36	39.15	29.706 107 4			
Mai	1	22	44	48.175	- 8	46	0.87	30.441 370 3	16	22	46	37.764	- 8	36	43.40	29.689 746 4		
	2	22	44	53.121	- 8	45	33.11	30.426 567 8	17	22	46	37.324	- 8	36	48.38	29.673 458 3		
	3	22	44	57.965	- 8	45	5.97	30.411 633 3	18	22	46	36.763	- 8	36	54.09	29.657 248 2		
	4	22	45	2.706	- 8	44	39.46	30.396 570 8	19	22	46	36.079	- 8	37	0.54	29.641 120 9		
	5	22	45	7.345	- 8	44	13.58	30.381 384 1	20	22	46	35.274	- 8	37	7.73	29.625 081 5		
	6	22	45	11.879	- 8	43	48.34	30.366 077 3	21	22	46	34.346	- 8	37	15.64	29.609 134 5		
	7	22	45	16.308	- 8	43	23.74	30.350 654 3	22	22	46	33.297	- 8	37	24.28	29.593 284 7		
	8	22	45	20.631	- 8	42	59.81	30.335 118 9	23	22	46	32.128	- 8	37	33.64	29.577 536 8		
	9	22	45	24.845	- 8	42	36.55	30.319 475 0	24	22	46	30.840	- 8	37	43.69	29.561 895 1		
	10	22	45	28.948	- 8	42	13.97	30.303 726 8	25	22	46	29.435	- 8	37	54.45	29.546 364 1		
	11	22	45	32.939	- 8	41	52.09	30.287 878 3	26	22	46	27.914	- 8	38	5.89	29.530 948 3		
12	22	45	36.815	- 8	41	30.90	30.271 933 5	27	22	46	26.279	- 8	38	18.00	29.515 651 8			
13	22	45	40.576	- 8	41	10.42	30.255 896 9	28	22	46	24.531	- 8	38	30.79	29.500 478 9			
14	22	45	44.222	- 8	40	50.63	30.239 772 7	29	22	46	22.672	- 8	38	44.23	29.485 433 7			
15	22	45	47.753	- 8	40	31.54	30.223 565 6	30	22	46	20.702	- 8	38	58.34	29.470 520 2			
16	22	45	51.170	- 8	40	13.14	30.207 280 2	Juill.	1	22	46	18.622	- 8	39	13.11	29.455 742 4		
17	22	45	54.473	- 8	39	55.43	30.190 921 3		2	22	46	16.431	- 8	39	28.53	29.441 104 2		

NEPTUNE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 22 46 14.129	- 8 39 44.63	29.4266095	Août	18 22 42 49.977	- 9 1 32.50	28.9798104
	4 22 46 11.717	- 8 40 1.38	29.4122621		19 22 42 44.028	- 9 2 9.27	28.9760272
	5 22 46 9.192	- 8 40 18.80	29.3980659		20 22 42 38.049	- 9 2 46.19	28.9725325
	6 22 46 6.556	- 8 40 36.88	29.3840250		21 22 42 32.042	- 9 3 23.23	28.9693274
	7 22 46 3.811	- 8 40 55.60	29.3701432		22 22 42 26.009	- 9 4 0.38	28.9664128
	8 22 46 0.958	- 8 41 14.94	29.3564248		23 22 42 19.955	- 9 4 37.62	28.9637895
	9 22 45 58.000	- 8 41 34.89	29.3428739		24 22 42 13.880	- 9 5 14.95	28.9614582
	10 22 45 54.939	- 8 41 55.45	29.3294948		25 22 42 7.787	- 9 5 52.36	28.9594194
	11 22 45 51.777	- 8 42 16.59	29.3162917		26 22 42 1.677	- 9 6 29.83	28.9576736
	12 22 45 48.515	- 8 42 38.31	29.3032689		27 22 41 55.552	- 9 7 7.36	28.9562211
	13 22 45 45.154	- 8 43 0.62	29.2904308		28 22 41 49.412	- 9 7 44.95	28.9550622
	14 22 45 41.695	- 8 43 23.50	29.2777815		29 22 41 43.259	- 9 8 22.59	28.9541972
15 22 45 38.136	- 8 43 46.97	29.2653251	30 22 41 37.094	- 9 9 0.25	28.9536263		
16 22 45 34.480	- 8 44 11.01	29.2530657	31 22 41 30.919	- 9 9 37.92	28.9533498		
17 22 45 30.725	- 8 44 35.62	29.2410074	Sept. 1 22 41 24.740	- 9 10 15.57	28.9533681		
18 22 45 26.875	- 8 45 0.79	29.2291538	2 22 41 18.559	- 9 10 53.18	28.9536815		
19 22 45 22.929	- 8 45 26.51	29.2175088	3 22 41 12.381	- 9 11 30.73	28.9542905		
20 22 45 18.891	- 8 45 52.76	29.2060759	4 22 41 6.207	- 9 12 8.21	28.9551955		
21 22 45 14.761	- 8 46 19.53	29.1948586	5 22 41 0.041	- 9 12 45.61	28.9563969		
22 22 45 10.544	- 8 46 46.80	29.1838603	6 22 40 53.883	- 9 13 22.92	28.9578948		
23 22 45 6.240	- 8 47 14.56	29.1730841	7 22 40 47.735	- 9 14 0.13	28.9596895		
24 22 45 1.853	- 8 47 42.79	29.1625334	8 22 40 41.598	- 9 14 37.24	28.9617808		
25 22 44 57.384	- 8 48 11.48	29.1522110	9 22 40 35.474	- 9 15 14.24	28.9641686		
26 22 44 52.837	- 8 48 40.62	29.1421200	10 22 40 29.365	- 9 15 51.11	28.9668526		
27 22 44 48.213	- 8 49 10.20	29.1322631	11 22 40 23.274	- 9 16 27.84	28.9698324		
28 22 44 43.513	- 8 49 40.21	29.1226431	12 22 40 17.202	- 9 17 4.40	28.9731073		
29 22 44 38.739	- 8 50 10.64	29.1132625	13 22 40 11.153	- 9 17 40.79	28.9766765		
30 22 44 33.892	- 8 50 41.49	29.1041239	14 22 40 5.130	- 9 18 16.97	28.9805391		
31 22 44 28.971	- 8 51 12.77	29.0952298	15 22 39 59.136	- 9 18 52.94	28.9846940		
Août 1 22 44 23.977	- 8 51 44.46	29.0865826	16 22 39 53.174	- 9 19 28.67	28.9891400		
2 22 44 18.911	- 8 52 16.55	29.0781847	17 22 39 47.248	- 9 20 4.14	28.9938757		
3 22 44 13.775	- 8 52 49.03	29.0700387	18 22 39 41.360	- 9 20 39.35	28.9988996		
4 22 44 8.572	- 8 53 21.87	29.0621471	19 22 39 35.513	- 9 21 14.27	29.0042101		
5 22 44 3.304	- 8 53 55.06	29.0545126	20 22 39 29.710	- 9 21 48.90	29.0098054		
6 22 43 57.976	- 8 54 28.58	29.0471379	21 22 39 23.952	- 9 22 23.22	29.0156837		
7 22 43 52.590	- 8 55 2.40	29.0400256	22 22 39 18.242	- 9 22 57.23	29.0218429		
8 22 43 47.148	- 8 55 36.53	29.0331784	23 22 39 12.580	- 9 23 30.92	29.0282810		
9 22 43 41.652	- 8 56 10.95	29.0265989	24 22 39 6.967	- 9 24 4.29	29.0349959		
10 22 43 36.103	- 8 56 45.66	29.0202897	25 22 39 1.405	- 9 24 37.33	29.0419851		
11 22 43 30.502	- 8 57 20.65	29.0142532	26 22 38 55.894	- 9 25 10.02	29.0492467		
12 22 43 24.850	- 8 57 55.91	29.0084917	27 22 38 50.438	- 9 25 42.35	29.0567782		
13 22 43 19.149	- 8 58 31.44	29.0030074	28 22 38 45.038	- 9 26 14.30	29.0645776		
14 22 43 13.400	- 8 59 7.22	28.9978023	29 22 38 39.699	- 9 26 45.84	29.0726427		
15 22 43 7.606	- 8 59 43.23	28.9928784	30 22 38 34.425	- 9 27 16.95	29.0809714		
16 22 43 1.769	- 9 0 19.46	28.9882374	Oct. 1 22 38 29.217	- 9 27 47.63	29.0895618		
17 22 42 55.891	- 9 0 55.89	28.9838809	2 22 38 24.079	- 9 28 17.86	29.0984117		

NEPTUNE 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Oct.	3	22 38 19.012	- 9 28 47.65	29.1075190	Nov.	18	22 36 10.138	- 9 40 53.47	29.7446110
	4	22 38 14.016	- 9 29 16.97	29.1168815		19	22 36 10.088	- 9 40 52.63	29.7615947
	5	22 38 9.093	- 9 29 45.85	29.1264967		20	22 36 10.164	- 9 40 51.05	29.7786327
	6	22 38 4.243	- 9 30 14.26	29.1363621		21	22 36 10.369	- 9 40 48.70	29.7957196
	7	22 37 59.468	- 9 30 42.19	29.1464750		22	22 36 10.701	- 9 40 45.58	29.8128501
	8	22 37 54.770	- 9 31 9.63	29.1568325		23	22 36 11.164	- 9 40 41.68	29.8300192
	9	22 37 50.151	- 9 31 36.58	29.1674318		24	22 36 11.758	- 9 40 36.99	29.8472218
	10	22 37 45.613	- 9 32 3.00	29.1782696		25	22 36 12.485	- 9 40 31.51	29.8644531
	11	22 37 41.159	- 9 32 28.90	29.1893428		26	22 36 13.345	- 9 40 25.24	29.8817082
	12	22 37 36.792	- 9 32 54.24	29.2006478		27	22 36 14.336	- 9 40 18.20	29.8989824
	13	22 37 32.513	- 9 33 19.03	29.2121813		28	22 36 15.458	- 9 40 10.40	29.9162707
	14	22 37 28.327	- 9 33 43.23	29.2239395		29	22 36 16.709	- 9 40 1.83	29.9335684
15	22 37 24.236	- 9 34 6.85	29.2359188	30	22 36 18.088	- 9 39 52.52	29.9508703		
16	22 37 20.240	- 9 34 29.86	29.2481151	Déc.	1	22 36 19.593	- 9 39 42.46	29.9681716	
17	22 37 16.343	- 9 34 52.28	29.2605246		2	22 36 21.226	- 9 39 31.64	29.9854671	
18	22 37 12.546	- 9 35 14.07	29.2731432	3	22 36 22.986	- 9 39 20.08	30.0027515		
19	22 37 8.849	- 9 35 35.26	29.2859667	4	22 36 24.873	- 9 39 7.75	30.0200197		
20	22 37 5.253	- 9 35 55.83	29.2989908	5	22 36 26.889	- 9 38 54.67	30.0372663		
21	22 37 1.760	- 9 36 15.77	29.3122114	6	22 36 29.033	- 9 38 40.82	30.0544860		
22	22 36 58.368	- 9 36 35.10	29.3256241	7	22 36 31.306	- 9 38 26.21	30.0716734		
23	22 36 55.079	- 9 36 53.79	29.3392245	8	22 36 33.708	- 9 38 10.84	30.0888231		
24	22 36 51.894	- 9 37 11.85	29.3530084	9	22 36 36.241	- 9 37 54.69	30.1059298		
25	22 36 48.815	- 9 37 29.26	29.3669715	10	22 36 38.902	- 9 37 37.79	30.1229878		
26	22 36 45.843	- 9 37 45.99	29.3811096	11	22 36 41.692	- 9 37 20.14	30.1399918		
27	22 36 42.983	- 9 38 2.04	29.3954185	12	22 36 44.610	- 9 37 1.74	30.1569363		
28	22 36 40.236	- 9 38 17.40	29.4098943	13	22 36 47.655	- 9 36 42.61	30.1738158		
29	22 36 37.604	- 9 38 32.05	29.4245329	14	22 36 50.823	- 9 36 22.75	30.1906248		
30	22 36 35.088	- 9 38 46.00	29.4393304	15	22 36 54.115	- 9 36 2.18	30.2073581		
31	22 36 32.689	- 9 38 59.25	29.4542826	16	22 36 57.527	- 9 35 40.90	30.2240103		
Nov.	1	22 36 30.405	- 9 39 11.80	29.4693854	17	22 37 1.058	- 9 35 18.93	30.2405762	
2	22 36 28.236	- 9 39 23.66	29.4846346	18	22 37 4.709	- 9 34 56.25	30.2570508		
3	22 36 26.184	- 9 39 34.83	29.5000257	19	22 37 8.478	- 9 34 32.88	30.2734290		
4	22 36 24.248	- 9 39 45.29	29.5155541	20	22 37 12.366	- 9 34 8.79	30.2897063		
5	22 36 22.430	- 9 39 55.03	29.5312153	21	22 37 16.373	- 9 33 44.00	30.3058778		
6	22 36 20.731	- 9 40 4.06	29.5470045	22	22 37 20.499	- 9 33 18.51	30.3219391		
7	22 36 19.153	- 9 40 12.35	29.5629169	23	22 37 24.745	- 9 32 52.32	30.3378858		
8	22 36 17.697	- 9 40 19.90	29.5789475	24	22 37 29.107	- 9 32 25.45	30.3537135		
9	22 36 16.365	- 9 40 26.70	29.5950912	25	22 37 33.585	- 9 31 57.91	30.3694180		
10	22 36 15.159	- 9 40 32.74	29.6113431	26	22 37 38.176	- 9 31 29.71	30.3849950		
11	22 36 14.080	- 9 40 38.01	29.6276978	27	22 37 42.877	- 9 31 0.88	30.4004404		
12	22 36 13.130	- 9 40 42.52	29.6441500	28	22 37 47.687	- 9 30 31.42	30.4157497		
13	22 36 12.308	- 9 40 46.26	29.6606946	29	22 37 52.604	- 9 30 1.33	30.4309186		
14	22 36 11.617	- 9 40 49.22	29.6773260	30	22 37 57.626	- 9 29 30.62	30.4459429		
15	22 36 11.054	- 9 40 51.42	29.6940388	31	22 38 2.754	- 9 28 59.29	30.4608181		
16	22 36 10.621	- 9 40 52.86	29.7108275	32	22 38 7.988	- 9 28 27.34	30.4755398		
17	22 36 10.315	- 9 40 53.54	29.7276867	33	22 38 13.325	- 9 27 54.77	30.4901037		

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 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	18	55	16.747	-20	39	19.96	33.76969571	Juill.	3	19	0	28.753	-20	42	30.22	31.88740917
	4	18	55	52.465	-20	38	55.27	33.77443286		7	19	0	3.501	-20	43	30.94	31.88794714
	8	18	56	28.163	-20	38	29.01	33.77449726		11	18	59	38.258	-20	44	32.43	31.89314271
	12	18	57	3.715	-20	38	1.36	33.76989568		15	18	59	13.175	-20	45	34.46	31.90300754
	16	18	57	38.989	-20	37	32.54	33.76064635		19	18	58	48.410	-20	46	36.78	31.91751769
	20	18	58	13.849	-20	37	2.76	33.74678469	23	18	58	24.120	-20	47	39.17	31.93660961	
	24	18	58	48.154	-20	36	32.28	33.72837949	27	18	58	0.454	-20	48	41.40	31.96018843	
	28	18	59	21.765	-20	36	1.35	33.70554482	31	18	57	37.549	-20	49	43.26	31.98813784	
Févr.	1	18	59	54.557	-20	35	30.20	33.67842471	Août	4	18	57	15.533	-20	50	44.57	32.02033399
	5	19	0	26.413	-20	34	59.06	33.64716851		8	18	56	54.532	-20	51	45.12	32.05665708
	9	19	0	57.223	-20	34	28.17	33.61192944		12	18	56	34.675	-20	52	44.70	32.09697259
	13	19	1	26.875	-20	33	57.79	33.57286944		16	18	56	16.095	-20	53	43.10	32.14111067
	17	19	1	55.254	-20	33	28.19	33.53016623		20	18	55	58.914	-20	54	40.14	32.18886669
	21	19	2	22.247	-20	32	59.62	33.48402678	24	18	55	43.239	-20	55	35.65	32.24001164	
	25	19	2	47.746	-20	32	32.35	33.43469877	28	18	55	29.167	-20	56	29.47	32.29430220	
Mars	1	19	3	11.661	-20	32	6.61	33.38245044	Sept.	1	18	55	16.778	-20	57	21.46	32.35149495
	5	19	3	33.914	-20	31	42.62	33.32754544		5	18	55	6.146	-20	58	11.47	32.41135668
	9	19	3	54.434	-20	31	20.59	33.27024476		9	18	54	57.352	-20	58	59.34	32.47364186
	13	19	4	13.151	-20	31	0.75	33.21081219		13	18	54	50.468	-20	59	44.94	32.53807396
	17	19	4	29.998	-20	30	43.32	33.14952014		17	18	54	45.555	-21	0	28.13	32.60435123
	21	19	4	44.908	-20	30	28.51	33.08666510	21	18	54	42.658	-21	1	8.80	32.67215796	
	25	19	4	57.828	-20	30	16.49	33.02257356	25	18	54	41.806	-21	1	46.88	32.74117423	
	29	19	5	8.722	-20	30	7.42	32.95757965	29	18	54	43.014	-21	2	22.26	32.81109155	
Avril	2	19	5	17.571	-20	30	1.42	32.89200254	Oct.	3	18	54	46.291	-21	2	54.86	32.88161799
	6	19	5	24.362	-20	29	58.62	32.82614896		7	18	54	51.648	-21	3	24.59	32.95245619
	10	19	5	29.085	-20	29	59.13	32.76031922		11	18	54	59.092	-21	3	51.36	33.02328493
	14	19	5	31.732	-20	30	3.04	32.69481626		15	18	55	8.611	-21	4	15.12	33.09376978
	18	19	5	32.302	-20	30	10.44	32.62995781		19	18	55	20.181	-21	4	35.83	33.16357385
	22	19	5	30.807	-20	30	21.38	32.56607980	23	18	55	33.763	-21	4	53.47	33.23236916	
	26	19	5	27.282	-20	30	35.85	32.50351266	27	18	55	49.302	-21	5	8.00	33.29984971	
Mai	30	19	5	21.772	-20	30	53.86	32.44255968	Nov.	31	18	56	6.745	-21	5	19.41	33.36573446
	4	19	5	14.332	-20	31	15.38	32.38350317		4	18	56	26.040	-21	5	27.68	33.42974385
	8	19	5	5.017	-20	31	40.37	32.32661040		8	18	56	47.128	-21	5	32.81	33.49158368
	12	19	4	53.888	-20	32	8.79	32.27214387		12	18	57	9.936	-21	5	34.81	33.55095834
	16	19	4	41.009	-20	32	40.57	32.22037367		16	18	57	34.381	-21	5	33.73	33.60758175
	20	19	4	26.460	-20	33	15.61	32.17157624	20	18	58	0.365	-21	5	29.62	33.66118801	
	24	19	4	10.341	-20	33	53.76	32.12600810	24	18	58	27.781	-21	5	22.55	33.71154481	
	28	19	3	52.763	-20	34	34.90	32.08389136	28	18	58	56.525	-21	5	12.58	33.75845016	
Juin	1	19	3	33.839	-20	35	18.85	32.04541845	Déc.	2	18	59	26.497	-21	4	59.77	33.80170914
	5	19	3	13.684	-20	36	5.46	32.01076100		6	18	59	57.594	-21	4	44.23	33.84112209
	9	19	2	52.412	-20	36	54.57	31.98008063		10	19	0	29.700	-21	4	26.07	33.87649687
	13	19	2	30.140	-20	37	45.99	31.95354194		14	19	1	2.691	-21	4	5.41	33.90766000
	17	19	2	7.002	-20	38	39.53	31.93130437		18	19	1	36.432	-21	3	42.43	33.93446815
	21	19	1	43.143	-20	39	34.94	31.91349792	22	19	2	10.786	-21	3	17.27	33.95681874	
	25	19	1	18.716	-20	40	32.01	31.90021245	26	19	2	45.623	-21	2	50.09	33.97464155	
	29	19	0	53.871	-20	41	30.51	31.89150500	30	19	3	20.819	-21	2	21.07	33.98787632	

CÉRÈS 2015 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	17 43 46.004	-23 36 11.60	3.772 322 07	Juill.	3	20 45 47.342	-27 53 53.82	1.994 508 96
	4	17 50 52.616	-23 45 11.33	3.761 693 83		7	20 43 4.406	-28 20 18.48	1.975 192 01
	8	17 57 57.908	-23 53 1.51	3.748 819 51		11	20 40 3.300	-28 46 31.91	1.959 872 05
	12	18 5 1.536	-23 59 43.75	3.733 708 82		15	20 36 46.604	-29 12 10.29	1.948 726 21
	16	18 12 3.115	-24 5 19.96	3.716 368 65		19	20 33 17.524	-29 36 49.56	1.941 890 92
	20	18 19 2.200	-24 9 52.39	3.696 808 58	23	20 29 39.715	-30 0 7.19	1.939 447 05	
	24	18 25 58.287	-24 13 23.60	3.675 055 29	27	20 25 57.072	-30 21 43.30	1.941 421 04	
	28	18 32 50.886	-24 15 56.32	3.651 161 42	31	20 22 13.561	-30 41 21.43	1.947 791 89	
Févr.	1	18 39 39.597	-24 17 33.46	3.625 188 81	Août	4	20 18 33.054	-30 58 48.74	1.958 504 89
	5	18 46 24.067	-24 18 18.24	3.597 188 74		8	20 14 59.322	-31 13 55.50	1.973 489 74
	9	18 53 3.936	-24 18 14.22	3.567 202 81		12	20 11 36.130	-31 26 35.05	1.992 650 34
	13	18 59 38.802	-24 17 25.30	3.535 269 15		16	20 8 27.094	-31 36 44.53	2.015 844 36
	17	19 6 8.206	-24 15 55.78	3.501 428 27		20	20 5 35.436	-31 44 25.01	2.042 882 62
	21	19 12 31.619	-24 13 50.24	3.465 736 79	24	20 3 3.835	-31 49 40.90	2.073 541 15	
	25	19 18 48.520	-24 11 13.40	3.428 278 22	28	20 0 54.352	-31 52 39.07	2.107 574 92	
Mars	1	19 24 58.480	-24 8 10.03	3.389 146 69	Sept.	1	19 59 8.429	-31 53 27.85	2.144 736 59
	5	19 31 1.119	-24 4 45.14	3.348 424 95		5	19 57 47.047	-31 52 15.66	2.184 794 00
	9	19 36 56.041	-24 1 4.07	3.306 186 85		9	19 56 50.942	-31 49 10.77	2.227 516 22
	13	19 42 42.805	-23 57 12.53	3.262 502 58		13	19 56 20.545	-31 44 21.66	2.272 653 96
	17	19 48 20.894	-23 53 16.62	3.217 444 64		17	19 56 15.909	-31 37 56.88	2.319 943 42
	21	19 53 49.705	-23 49 22.75	3.171 102 43	21	19 56 36.707	-31 30 4.65	2.369 117 31	
	25	19 59 8.626	-23 45 37.36	3.123 592 84	25	19 57 22.271	-31 20 52.51	2.419 914 03	
Avril	29	20 4 17.127	-23 42 6.79	3.075 044 80	29	19 58 31.666	-31 10 26.94	2.472 093 23	
	2	20 9 14.725	-23 38 57.51	3.025 577 30	Oct.	3	20 0 3.861	-30 58 52.95	2.525 444 76
	6	20 14 0.904	-23 36 16.28	2.975 301 21		7	20 1 57.897	-30 46 14.29	2.579 770 62
	10	20 18 35.080	-23 34 10.21	2.924 324 00		11	20 4 12.807	-30 32 34.27	2.634 862 65
	14	20 22 56.571	-23 32 46.76	2.872 758 56		15	20 6 47.544	-30 17 55.83	2.690 507 77
18	20 27 4.582	-23 32 13.58	2.820 736 49	19		20 9 40.967	-30 2 21.54	2.746 495 64	
	22	20 30 58.294	-23 32 38.10	2.768 419 25	23	20 12 51.857	-29 45 53.58	2.802 626 56	
	26	20 34 36.969	-23 34 7.30	2.715 982 26	27	20 16 18.954	-29 28 33.52	2.858 723 86	
Mai	30	20 37 59.914	-23 36 47.95	2.663 593 73	Nov.	31	20 20 1.072	-29 10 22.14	2.914 639 81
	4	20 41 6.395	-23 40 46.83	2.611 415 58		4	20 23 57.192	-28 51 19.68	2.970 236 55
	8	20 43 55.606	-23 46 10.68	2.559 609 38		8	20 28 6.384	-28 31 26.40	3.025 364 47
	12	20 46 26.630	-23 53 6.13	2.508 344 97		12	20 32 27.718	-28 10 42.75	3.079 868 10
	16	20 48 38.446	-24 1 39.28	2.457 815 94		16	20 37 0.247	-27 49 9.31	3.133 593 19
	20	20 50 30.053	-24 11 55.04	2.408 247 90	20	20 41 43.003	-27 26 46.78	3.186 394 42	
	24	20 52 0.595	-24 23 56.74	2.359 879 85	24	20 46 35.021	-27 3 35.79	3.238 148 33	
Juin	28	20 53 9.336	-24 37 46.35	2.312 945 25	28	20 51 35.429	-26 39 36.62	3.288 756 78	
	1	20 53 55.591	-24 53 24.61	2.267 670 34	Déc.	2	20 56 43.507	-26 14 49.35	3.338 128 66
	5	20 54 18.706	-25 10 50.77	2.224 280 50		6	21 1 58.623	-25 49 14.29	3.386 160 78
	9	20 54 18.038	-25 30 2.42	2.183 007 58		10	21 7 20.154	-25 22 52.13	3.432 742 38
	13	20 53 53.023	-25 50 54.73	2.144 106 05		14	21 12 47.465	-24 55 43.89	3.477 761 84
17	20 53 3.375	-26 13 19.54	2.107 853 02	18		21 18 19.904	-24 27 50.89	3.521 115 80	
	21	20 51 49.240	-26 37 5.32	2.074 524 43	22	21 23 56.817	-23 59 14.52	3.562 722 08	
	25	20 50 11.182	-27 1 57.74	2.044 374 73	26	21 29 37.634	-23 29 55.97	3.602 522 07	
	29	20 48 10.128	-27 27 40.13	2.017 633 73	30	21 35 21.907	-22 59 56.29	3.640 462 73	

PALLAS 2015 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance				
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua				
Janv.	0	16	15	2.847	2	49	38.11	3.468 703 55	Juill.	3	17	15	31.677	24	39	56.91	2.478 737 11		
	4	16	21	14.474	3	0	20.11	3.444 724 38		7	17	12	49.020	24	15	45.42	2.501 698 55		
	8	16	27	20.694	3	13	3.24	3.419 305 11		11	17	10	21.620	23	47	43.29	2.527 321 37		
	12	16	33	21.059	3	27	49.06	3.392 498 28		15	17	8	11.127	23	16	10.79	2.555 513 00		
	16	16	39	15.052	3	44	39.03	3.364 358 32		19	17	6	18.916	22	41	30.35	2.586 154 76		
	20	16	45	2.080	4	3	34.31	3.334 947 91		23	17	4	45.986	22	4	5.73	2.619 106 99		
	24	16	50	41.494	4	24	35.34	3.304 350 13		27	17	3	32.949	21	24	20.83	2.654 220 09		
Févr.	28	16	56	12.673	4	47	41.66	3.272 669 17	31	17	2	40.073	20	42	38.73	2.691 343 94			
	1	17	1	35.077	5	12	52.36	3.240 008 57	Août	4	17	2	7.365	19	59	20.83	2.730 338 24		
	5	17	6	48.165	5	40	6.53	3.206 459 19		8	17	1	54.717	19	14	46.61	2.771 074 09		
		9	17	11	51.351	6	9	23.20		3.172 105 06		12	17	2	1.981	18	29	14.64	2.813 414 16
		13	17	16	43.977	6	40	41.11		3.137 031 81		16	17	2	28.889	17	43	3.16	2.857 202 88
	17	17	21	25.303	7	13	58.42	3.101 333 28			20	17	3	14.992	16	56	29.55	2.902 274 44	
	21	17	25	54.526	7	49	12.29	3.065 123 53		24	17	4	19.690	16	9	49.79	2.948 462 43		
	25	17	30	10.881	8	26	18.54	3.028 538 11		28	17	5	42.258	15	23	18.12	2.995 608 19		
Mars	1	17	34	13.691	9	5	12.34	2.991 712 92	Sept.	1	17	7	21.919	14	37	6.77	3.043 569 71		
	5	17	38	2.292	9	45	48.63	2.954 769 99		5	17	9	17.951	13	51	26.05	3.092 220 91		
	9	17	41	35.969	10	28	1.98	2.917 825 69		9	17	11	29.725	13	6	25.52	3.141 428 33		
	13	17	44	53.942	11	11	46.21	2.880 997 89		13	17	13	56.601	12	22	14.42	3.191 042 90		
	17	17	47	55.354	11	56	54.10	2.844 412 45		17	17	16	37.880	11	39	1.34	3.240 909 35		
	21	17	50	39.306	12	43	16.65	2.808 215 23		21	17	19	32.815	10	56	53.89	3.290 875 61		
	25	17	53	4.965	13	30	42.90	2.772 572 10		25	17	22	40.623	10	15	58.59	3.340 799 24		
Avril	29	17	55	11.641	14	19	0.64	2.737 647 65	29	17	26	0.535	9	36	20.66	3.390 556 86			
	2	17	56	58.704	15	7	57.10	2.703 591 68	Oct.	3	17	29	31.871	8	58	4.18	3.440 040 93		
	6	17	58	25.521	15	57	18.55	2.670 546 98		7	17	33	14.068	8	21	13.02	3.489 136 43		
		10	17	59	31.452	16	46	49.95		2.638 655 66		11	17	37	6.562	7	45	51.12	3.537 712 25
		14	18	0	15.867	17	36	14.53		2.608 066 75		15	17	41	8.760	7	12	2.11	3.585 632 42
	18	18	0	38.199	18	25	13.06	2.578 945 58			19	17	45	20.035	6	39	49.16	3.632 764 61	
	22	18	0	38.111	19	13	23.95	2.551 470 69		23	17	49	39.741	6	9	14.75	3.678 987 22		
	26	18	0	15.561	20	0	24.42	2.525 812 76		27	17	54	7.244	5	40	20.56	3.724 197 98		
Mai	30	17	59	30.736	20	45	51.57	2.502 121 66	Nov.	31	17	58	41.999	5	13	7.67	3.768 309 97		
	4	17	58	23.992	21	29	22.11	2.480 534 19		4	18	3	23.555	4	47	37.11	3.811 229 55		
	8	17	56	55.863	22	10	32.37	2.461 179 60		8	18	8	11.462	4	23	50.14	3.852 846 29		
	12	17	55	7.090	22	48	58.02	2.444 187 21		12	18	13	5.236	4	1	47.91	3.893 045 80		
	16	17	52	58.709	23	24	13.93	2.429 692 92		16	18	18	4.362	3	41	31.23	3.931 717 66		
	20	17	50	32.214	23	55	55.01	2.417 831 90		20	18	23	8.298	3	23	0.45	3.968 762 97		
	24	17	47	49.561	24	23	38.34	2.408 716 84		24	18	28	16.517	3	6	15.33	4.004 103 36		
Juin	28	17	44	53.032	24	47	4.39	2.402 430 20	28	18	33	28.564	2	51	15.22	4.037 675 61			
	1	17	41	45.112	25	5	57.11	2.399 031 30	Déc.	2	18	38	44.063	2	37	59.53	4.069 410 67		
	5	17	38	28.443	25	20	3.81	2.398 563 71		6	18	44	2.644	2	26	27.88	4.099 224 23		
		9	17	35	5.767	25	29	14.88		2.401 063 45		10	18	49	23.899	2	16	39.82	4.127 028 21
		13	17	31	39.989	25	33	23.61		2.406 564 39		14	18	54	47.386	2	8	34.64	4.152 738 66
	17	17	28	14.211	25	32	27.21	2.415 086 58			18	19	0	12.635	2	2	11.21	4.176 284 79	
	21	17	24	51.608	25	26	28.29	2.426 618 76		22	19	5	39.188	1	57	27.89	4.197 617 85		
	25	17	21	35.209	25	15	34.84	2.441 117 29		26	19	11	6.657	1	54	22.79	4.216 704 11		
	29	17	18	27.762	24	59	59.21	2.458 516 27		30	19	16	34.721	1	52	54.11	4.233 505 26		

JUNON 2015 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	8 55 2.396	0 32 53.98	1.378 873 21	Juill.	3	10 9 39.563	10 47 48.20	3.261 126 34		
	4	8 52 52.520	0 43 50.11	1.361 091 83		7	10 15 31.044	10 25 21.42	3.311 242 90		
	8	8 50 19.225	0 59 19.27	1.346 513 80		11	10 21 23.815	10 1 58.95	3.359 936 60		
	12	8 47 25.564	1 19 18.17	1.335 393 81		15	10 27 17.692	9 37 44.24	3.407 122 51		
	16	8 44 15.246	1 43 37.39	1.327 977 49		19	10 33 12.439	9 12 41.09	3.452 713 95		
	20	8 40 52.647	2 12 0.60	1.324 491 02		23	10 39 7.795	8 46 53.39	3.496 637 23		
	24	8 37 22.784	2 44 4.03	1.325 118 95		27	10 45 3.523	8 20 24.98	3.538 834 04		
	28	8 33 51.025	3 19 16.96	1.329 976 94		31	10 50 59.431	7 53 19.51	3.579 259 08		
Févr.	1	8 30 22.587	3 57 4.14	1.339 109 94	Août	4	10 56 55.407	7 25 40.28	3.617 873 48		
	5	8 27 2.328	4 36 48.19	1.352 517 66		8	11 2 51.410	6 57 30.32	3.654 624 89		
		9	8 23 54.709	5 17 50.97		1.370 163 41		12	11 8 47.377	6 28 52.82	3.689 441 44
		13	8 21 3.767	5 59 34.71		1.391 975 44		16	11 14 43.187	5 59 51.29	3.722 249 78
		17	8 18 33.075	6 41 23.12		1.417 846 26		20	11 20 38.689	5 30 29.37	3.752 989 42
	21	8 16 25.720	7 22 42.14	1.447 623 86		24	11 26 33.734	5 0 50.66	3.781 614 14		
	25	8 14 44.099	8 3 1.11	1.481 100 20		28	11 32 28.204	4 30 58.63	3.808 091 68		
Mars	1	8 13 29.704	8 41 54.30	1.518 029 84	Sept.	1	11 38 22.040	4 0 56.42	3.832 397 36		
	5	8 12 43.224	9 19 1.31	1.558 164 63		5	11 44 15.247	3 30 46.91	3.854 494 37		
	9	8 12 24.796	9 54 6.28	1.601 263 16		9	11 50 7.800	3 0 33.15	3.874 325 24		
	13	8 12 34.164	10 26 57.21	1.647 091 86		13	11 55 59.610	2 30 18.51	3.891 832 59		
	17	8 13 10.810	10 57 25.18	1.695 423 25		17	12 1 50.546	2 0 6.53	3.906 971 84		
	21	8 14 14.038	11 25 23.75	1.746 023 39		21	12 7 40.471	1 30 0.73	3.919 713 28		
	25	8 15 42.901	11 50 48.84	1.798 641 05		25	12 13 29.261	1 0 4.51	3.930 042 18		
	29	8 17 36.090	12 13 38.99	1.853 023 80		29	12 19 16.841	0 30 21.01	3.937 952 89		
Avril	2	8 19 52.081	12 33 54.79	1.908 944 12	Oct.	3	12 25 3.188	0 0 53.10	3.943 429 91		
	6	8 22 29.319	12 51 38.12	1.966 200 26		7	12 30 48.250	- 0 28 16.22	3.946 436 98		
		10	8 25 26.302	13 6 51.56		2.024 611 95		11	12 36 31.897	- 0 57 3.56	3.946 939 43
		14	8 28 41.637	13 19 38.08		2.084 011 43		15	12 42 13.953	- 1 25 25.40	3.944 915 89
		18	8 32 14.055	13 30 0.79		2.144 229 81		19	12 47 54.218	- 1 53 18.21	3.940 361 54
	22	8 36 2.295	13 38 3.26	2.205 084 70		23	12 53 32.498	- 2 20 38.54	3.933 288 02		
	26	8 40 5.008	13 43 49.77	2.266 395 56		27	12 59 8.635	- 2 47 23.23	3.923 718 09		
Mai	30	8 44 20.824	13 47 25.08	2.328 005 36	Nov.	31	13 4 42.516	- 3 13 29.34	3.911 666 06		
	4	8 48 48.472	13 48 53.97	2.389 780 18		4	13 10 13.995	- 3 38 53.85	3.897 128 30		
	8	8 53 26.808	13 48 21.09	2.451 603 23		8	13 15 42.837	- 4 3 33.37	3.880 102 12		
	12	8 58 14.848	13 45 50.77	2.513 366 56		12	13 21 8.748	- 4 27 24.36	3.860 600 46		
	16	9 3 11.750	13 41 27.10	2.574 955 73		16	13 26 31.400	- 4 50 23.27	3.838 654 45		
	20	9 8 16.706	13 35 14.25	2.636 239 92		20	13 31 50.458	- 5 12 26.64	3.814 314 21		
	24	9 13 28.858	13 27 16.79	2.697 088 09		24	13 37 5.617	- 5 33 31.31	3.787 642 12		
	28	9 18 47.347	13 17 39.47	2.757 387 17		28	13 42 16.608	- 5 53 34.38	3.758 694 19		
Juin	1	9 24 11.394	13 6 26.91	2.817 043 97	Déc.	2	13 47 23.121	- 6 12 32.84	3.727 510 88		
	5	9 29 40.324	12 53 43.51	2.875 978 73		6	13 52 24.751	- 6 30 23.39	3.694 134 30		
		9	9 35 13.591	12 39 33.26		2.934 118 41		10	13 57 21.017	- 6 47 2.57	3.658 623 74
		13	9 40 50.761	12 23 59.91		2.991 378 96		14	14 2 11.389	- 7 2 26.92	3.621 059 02
		17	9 46 31.412	12 7 7.29		3.047 658 64		18	14 6 55.322	- 7 16 33.12	3.581 541 48
	21	9 52 15.074	11 48 59.57	3.102 853 79		22	14 11 32.303	- 7 29 18.19	3.540 186 68		
	25	9 58 1.265	11 29 41.06	3.156 875 84		26	14 16 1.846	- 7 40 39.43	3.497 103 97		
	29	10 3 49.549	11 9 15.95	3.209 652 98		30	14 20 23.419	- 7 50 34.05	3.452 390 65		

VESTA 2015 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	2	59.700	-22	55	4.96	3.155 881 54	Juill.	3	0	39	14.260	-3	16	37.77	2.049 304 81
	4	19	12	15.282	-22	46	43.69	3.161 750 67		7	0	43	9.356	-3	7	36.48	2.005 549 71
	8	19	21	29.060	-22	36	24.05	3.166 158 05		11	0	46	47.801	-3	0	56.02	1.961 995 04
	12	19	30	40.697	-22	24	8.83	3.169 092 32		15	0	50	8.331	-2	56	43.07	1.918 780 85
	16	19	39	49.844	-22	10	1.25	3.170 534 35		19	0	53	9.708	-2	55	3.29	1.876 073 89
	20	19	48	56.118	-21	54	5.05	3.170 460 75		23	0	55	50.768	-2	56	1.23	1.834 051 06
Févr.	24	19	57	59.087	-21	36	24.39	3.168 856 79	27	0	58	10.400	-2	59	40.46	1.792 890 72	
	28	20	6	58.325	-21	17	3.71	3.165 730 46	31	1	0	7.509	-3	6	3.69	1.752 770 10	
	1	20	15	53.523	-20	56	7.42	3.161 104 16	Août	4	1	1	40.955	-3	15	12.98	1.713 866 19
	5	20	24	44.463	-20	33	40.04	3.154 992 49	8	1	2	49.486	-3	27	9.60	1.676 374 21	
	9	20	33	30.975	-20	9	46.28	3.147 398 86	12	1	3	31.905	-3	41	52.66	1.640 526 37	
	13	20	42	12.884	-19	44	31.16	3.138 317 96	16	1	3	47.298	-3	59	17.93	1.606 580 81	
Mars	17	20	50	49.995	-19	18	0.06	3.127 739 34	20	1	3	35.124	-4	19	17.59	1.574 801 58	
	21	20	59	22.052	-18	50	18.72	3.115 658 45	24	1	2	55.225	-4	41	40.30	1.545 448 85	
	25	21	7	48.795	-18	21	33.01	3.102 093 70	28	1	1	47.840	-5	6	11.21	1.518 771 52	
	1	21	16	10.059	-17	51	48.54	3.087 079 83	Sept.	1	1	0	13.550	-5	32	32.36	1.495 005 79
	5	21	24	25.776	-17	21	10.75	3.070 644 74	5	0	58	13.248	-6	0	22.57	1.474 390 42	
	9	21	32	35.911	-16	49	45.14	3.052 805 36	9	0	55	48.380	-6	29	16.08	1.457 179 47	
Avril	13	21	40	40.428	-16	17	37.39	3.033 569 24	13	0	53	1.187	-6	58	42.37	1.443 617 88	
	17	21	48	39.256	-15	44	53.41	3.012 937 43	17	0	49	54.688	-7	28	7.43	1.433 916 93	
	21	21	56	32.250	-15	11	39.45	2.990 915 48	21	0	46	32.547	-7	56	55.55	1.428 241 20	
	25	22	4	19.230	-14	38	1.85	2.967 530 60	25	0	42	58.917	-8	24	31.10	1.426 700 75	
	29	22	12	0.090	-14	4	6.53	2.942 828 09	29	0	39	18.169	-8	50	20.54	1.429 353 07	
	2	22	19	34.806	-13	29	59.08	2.916 848 41	Oct.	3	0	35	34.712	-9	13	53.37	1.436 222 30
Mai	6	22	27	3.379	-12	55	45.08	2.889 621 00	7	0	31	53.060	-9	34	41.77	1.447 312 20	
	10	22	34	25.797	-12	21	30.20	2.861 164 59	11	0	28	17.849	-9	52	21.50	1.462 582 40	
	14	22	41	41.993	-11	47	20.35	2.831 491 65	15	0	24	53.560	-10	6	33.53	1.481 936 82	
	18	22	48	51.805	-11	13	21.83	2.800 617 30	19	0	21	44.274	-10	17	4.91	1.505 224 71	
	22	22	55	55.010	-10	39	41.04	2.768 578 53	23	0	18	53.461	-10	23	49.05	1.532 248 46	
	26	23	2	51.427	-10	6	23.95	2.735 431 13	27	0	16	23.817	-10	26	45.32	1.562 780 03	
Juin	30	23	9	40.948	-9	33	36.12	2.701 228 97	31	0	14	17.280	-10	25	57.60	1.596 589 81	
	4	23	16	23.475	-9	1	23.06	2.666 014 97	Nov.	4	0	12	35.275	-10	21	32.18	1.633 457 45
	8	23	22	58.884	-8	29	50.38	2.629 822 33	8	0	11	18.864	-10	13	37.20	1.673 152 73	
	12	23	29	26.975	-7	59	4.01	2.592 676 27	12	0	10	28.666	-10	2	22.76	1.715 427 50	
	16	23	35	47.422	-7	29	10.40	2.554 606 34	16	0	10	4.841	-9	48	0.63	1.760 020 16	
	20	23	41	59.808	-7	0	16.12	2.515 664 36	20	0	10	7.091	-9	30	43.83	1.806 662 15	
Juin	24	23	48	3.735	-6	32	27.35	2.475 922 18	24	0	10	34.687	-9	10	46.12	1.855 093 15	
	28	23	53	58.855	-6	5	49.86	2.435 453 24	28	0	11	26.609	-8	48	20.99	1.905 081 15	
	1	23	59	44.825	-5	40	29.33	2.394 321 86	Dec.	2	0	12	41.787	-8	23	40.66	1.956 423 04
	5	0	5	21.255	-5	16	31.60	2.352 584 32	6	0	14	19.203	-7	56	56.17	2.008 921 73	
	9	0	10	47.649	-4	54	2.92	2.310 288 91	10	0	16	17.813	-7	28	18.02	2.062 375 67	
	13	0	16	3.348	-4	33	10.19	2.267 491 65	14	0	18	36.526	-6	57	56.36	2.116 579 82	
Juin	17	0	21	7.568	-4	14	0.45	2.224 273 75	18	0	21	14.169	-6	26	1.15	2.171 330 09	
	21	0	25	59.525	-3	56	40.30	2.180 739 15	22	0	24	9.477	-5	52	42.13	2.226 436 10	
	25	0	30	38.471	-3	41	15.85	2.136 996 96	26	0	27	21.192	-5	18	8.34	2.281 738 00	
	29	0	35	3.653	-3	27	53.01	2.093 152 33	30	0	30	48.196	-4	42	27.63	2.337 101 02	

SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2015

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 5	6.487	0.934	Janv.	16 13	5.492	2.327	Janv.	31 20	5.871	1.776
	1 12	6.135	-0.373		16 20	6.237	1.117		Févr.	1 4	5.617
	1 20	6.542	0.339		17 4	6.053	1.828	1 11		5.683	1.038
	2 4	6.444	1.030		17 11	5.961	0.416	1 19	5.844	1.861	
	2 11	6.165	-0.283		17 19	6.218	1.210	2 3	5.559	2.542	
	2 19	6.533	0.436		18 3	5.999	1.913	2 10	5.687	1.129	
	3 3	6.399	1.125		18 10	5.975	0.508	2 18	5.814	1.944	
	3 10	6.192	-0.193		18 18	6.196	1.301	3 2	5.499	2.613	
	3 18	6.522	0.532		19 2	5.943	1.996	3 9	5.688	1.218	
	4 2	6.351	1.219		19 9	5.986	0.601	3 17	5.782	2.027	
	4 9	6.216	-0.101		19 17	6.171	1.392	4 1	5.437	2.681	
	4 17	6.507	0.628		20 1	5.885	2.078	4 8	5.686	1.308	
	5 1	6.300	1.313		20 8	5.994	0.694	4 16	5.748	2.108	
	5 8	6.236	-0.009		20 16	6.143	1.483	5 0	5.373	2.748	
	5 16	6.490	0.724		21 0	5.824	2.159	5 7	5.682	1.396	
	6 0	6.246	1.405		21 7	5.999	0.787	5 15	5.711	2.187	
6 7	6.253	0.084	21 15	6.113	1.572	5 23	5.307	2.812			
6 15	6.469	0.820	21 23	5.761	2.238	6 6	5.675	1.484			
6 23	6.190	1.496	22 6	6.001	0.880	6 14	5.672	2.265			
7 6	6.267	0.177	22 14	6.080	1.660	6 22	5.240	2.875			
7 14	6.446	0.916	22 22	5.695	2.315	7 5	5.666	1.571			
7 22	6.131	1.586	23 5	6.000	0.972	7 13	5.632	2.342			
8 5	6.278	0.271	23 13	6.044	1.747	7 21	5.171	2.935			
8 13	6.419	1.011	23 21	5.628	2.390	8 4	5.654	1.657			
8 21	6.069	1.675	24 4	5.997	1.064	8 12	5.589	2.417			
9 4	6.286	0.365	24 12	6.006	1.833	8 20	5.101	2.993			
9 12	6.389	1.105	24 20	5.559	2.464	9 3	5.640	1.742			
9 20	6.005	1.762	25 3	5.990	1.156	9 11	5.544	2.490			
10 3	6.291	0.459	25 11	5.965	1.918	9 19	5.029	3.049			
10 11	6.357	1.199	25 19	5.488	2.535	10 2	5.624	1.826			
10 19	5.939	1.848	26 2	5.981	1.247	10 10	5.497	2.562			
11 2	6.292	0.554	26 10	5.922	2.001	10 18	4.956	3.103			
11 10	6.322	1.292	26 18	5.415	2.604	11 1	5.605	1.909			
11 18	5.870	1.932	27 1	5.969	1.337	11 9	5.448	2.632			
12 1	6.290	0.648	27 9	5.877	2.083	11 17	4.882	3.154			
12 9	6.284	1.384	27 17	5.340	2.672	12 0	5.584	1.991			
12 17	5.799	2.015	28 0	5.955	1.427	12 8	5.398	2.700			
13 0	6.286	0.743	28 8	5.829	2.164	12 16	4.806	3.204			
13 8	6.243	1.475	28 16	5.263	2.737	12 23	5.561	2.071			
13 16	5.725	2.096	28 23	5.938	1.515	13 7	5.346	2.766			
13 23	6.278	0.837	29 7	5.780	2.243	13 15	4.729	3.251			
14 7	6.199	1.565	29 15	5.185	2.800	13 22	5.535	2.150			
14 15	5.650	2.175	29 22	5.918	1.603	14 6	5.292	2.830			
14 22	6.267	0.931	30 6	5.727	2.320	14 14	4.650	3.295			
15 6	6.153	1.654	30 14	5.105	2.861	14 21	5.508	2.228			
15 14	5.572	2.252	30 21	5.896	1.690	15 5	5.236	2.892			
15 21	6.254	1.024	31 5	5.673	2.396	15 13	4.571	3.337			
16 5	6.104	1.741	31 13	5.023	2.920	15 20	5.479	2.304			

PHOBOS 2015

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	4	5.179	2.953	Mars	3	12	4.100	3.617	Mars	18	19	4.733	3.028
	16	12	4.491	3.377		3	19	5.066	2.765		19	3	4.393	3.507
	16	19	5.447	2.379		4	3	4.722	3.328		19	10	4.712	2.385
	17	3	5.120	3.011		4	10	5.023	2.068		19	18	4.704	3.077
	17	10	5.358	1.650		4	18	5.033	2.826		20	2	4.343	3.535
	17	18	5.414	2.452		5	2	4.665	3.370		20	9	4.705	2.450
	18	2	5.060	3.067		5	9	5.014	2.143		20	17	4.673	3.124
	18	9	5.352	1.734		5	17	4.999	2.886		21	1	4.292	3.561
	18	17	5.379	2.523		6	1	4.608	3.409		21	8	4.695	2.514
	19	1	4.999	3.121		6	8	5.004	2.217		21	16	4.641	3.170
	19	8	5.345	1.816		6	16	4.963	2.944		22	0	4.241	3.585
	19	16	5.342	2.593		7	0	4.549	3.447		22	7	4.685	2.576
	20	0	4.936	3.173		7	7	4.992	2.289		22	15	4.609	3.213
	20	7	5.334	1.898		7	15	4.925	3.000		22	23	4.189	3.606
	20	15	5.303	2.661		7	23	4.490	3.482		23	6	4.673	2.637
	20	23	4.872	3.222		8	6	4.978	2.360		23	14	4.575	3.254
	21	6	5.322	1.978		8	14	4.887	3.053		23	22	4.137	3.625
	21	14	5.263	2.728		8	22	4.430	3.515		24	5	4.660	2.695
	21	22	4.806	3.270		9	5	4.963	2.430		24	13	4.541	3.293
	22	5	5.308	2.057		9	13	4.847	3.105		24	21	4.083	3.641
	22	13	5.220	2.792		9	21	4.369	3.545		25	4	4.646	2.752
	22	21	4.740	3.315		10	4	4.946	2.497		25	12	4.506	3.330
	23	4	5.292	2.135		10	12	4.806	3.155		25	20	4.030	3.656
	23	12	5.177	2.855		10	20	4.307	3.573		26	3	4.631	2.807
	23	20	4.672	3.358		11	3	4.928	2.564		26	11	4.470	3.365
	24	3	5.274	2.211		11	11	4.764	3.203		26	19	3.976	3.668
	24	11	5.132	2.915		11	19	4.245	3.599		27	2	4.615	2.860
	24	19	4.604	3.399		12	2	4.908	2.628		27	10	4.433	3.398
25	2	5.254	2.285	12	10	4.721	3.248	27	18	3.921	3.678			
25	10	5.085	2.974	12	18	4.182	3.623	28	1	4.598	2.912			
25	18	4.534	3.437	13	1	4.887	2.690	28	9	4.395	3.428			
26	1	5.232	2.359	13	9	4.677	3.292	28	17	3.866	3.685			
26	9	5.037	3.031	13	17	4.119	3.644	29	0	4.579	2.961			
26	17	4.464	3.473	14	0	4.864	2.751	29	8	4.357	3.456			
27	0	5.209	2.431	14	8	4.632	3.333	29	16	3.811	3.690			
27	8	4.987	3.086	14	16	4.055	3.663	29	23	4.560	3.008			
27	16	4.393	3.506	14	23	4.841	2.810	30	7	4.318	3.482			
27	23	5.184	2.501	15	7	4.586	3.373	30	15	3.755	3.693			
28	7	4.937	3.138	15	15	3.990	3.679	30	22	4.540	3.054			
28	15	4.321	3.538	15	22	4.816	2.867	31	6	4.278	3.506			
28	22	5.157	2.570	16	6	4.539	3.410	31	14	3.699	3.693			
Mars	1	6	4.885	3.189	16	14	3.925	3.694	Avril	31	21	4.519	3.097	
	1	14	4.248	3.567	16	21	4.789	2.923		1	5	4.238	3.528	
	1	21	5.128	2.636	17	5	4.491	3.444		1	13	3.643	3.692	
	2	5	4.831	3.237	17	13	3.859	3.705		1	20	4.497	3.138	
	2	13	4.174	3.593	17	20	4.762	2.976		2	4	4.197	3.547	
	2	20	5.098	2.702	18	4	4.443	3.477		2	12	3.587	3.688	
	3	4	4.777	3.284	18	12	3.793	3.715		2	19	4.475	3.177	

PHOBOS 2015

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	3	3	4.156	3.564	Avril	18	10	4.278	2.737	Mai	3	18	4.228	3.178
	3	10	4.457	2.606		18	18	4.291	3.247		4	2	3.954	3.334
	3	18	4.451	3.214		19	2	3.985	3.509		4	9	4.199	2.811
	4	2	4.114	3.579		19	9	4.280	2.781		4	17	4.219	3.187
	4	9	4.453	2.661		19	17	4.274	3.269		5	1	3.927	3.320
	4	17	4.427	3.249		20	1	3.951	3.509		5	8	4.207	2.840
	5	1	4.071	3.591		20	8	4.281	2.822		5	16	4.210	3.193
	5	8	4.448	2.714		20	16	4.257	3.289		6	0	3.901	3.304
	5	16	4.402	3.282		21	0	3.917	3.506		6	7	4.215	2.866
	6	0	4.028	3.601		21	7	4.282	2.861		6	15	4.200	3.198
	6	7	4.442	2.765		21	15	4.239	3.306		6	23	3.873	3.287
	6	15	4.376	3.313		21	23	3.882	3.501		7	6	4.223	2.890
	6	23	3.985	3.609		22	6	4.282	2.899		7	14	4.189	3.200
	7	6	4.435	2.814		22	14	4.221	3.322		7	22	3.845	3.267
	7	14	4.350	3.341		22	22	3.847	3.494		8	5	4.229	2.913
	7	22	3.941	3.615		23	5	4.281	2.934		8	13	4.177	3.200
	8	5	4.427	2.862		23	13	4.202	3.335		8	21	3.816	3.244
	8	13	4.323	3.368		23	21	3.811	3.484		9	4	4.235	2.932
8	21	3.897	3.618	24	4	4.280	2.967	9	12	4.165	3.197			
9	4	4.419	2.907	24	12	4.182	3.346	9	20	3.787	3.220			
9	12	4.295	3.392	24	20	3.775	3.473	10	3	4.241	2.950			
9	20	3.852	3.619	25	3	4.277	2.998	10	11	4.152	3.193			
10	3	4.409	2.950	25	11	4.162	3.355	10	19	3.757	3.194			
10	11	4.266	3.413	25	19	3.739	3.459	11	2	4.245	2.965			
10	19	3.807	3.618	26	2	4.275	3.026	11	10	4.139	3.186			
11	2	4.399	2.992	26	10	4.141	3.362	11	18	3.726	3.166			
11	10	4.237	3.433	26	18	3.702	3.443	12	1	4.249	2.978			
11	18	3.762	3.615	27	1	4.271	3.053	12	9	4.124	3.177			
12	1	4.388	3.031	27	9	4.120	3.366	12	17	3.695	3.135			
12	9	4.208	3.450	27	17	3.664	3.424	13	0	4.252	2.989			
12	17	3.716	3.609	28	0	4.267	3.077	13	8	4.109	3.166			
13	0	4.376	3.068	28	8	4.098	3.368	13	15	4.100	2.615			
13	8	4.178	3.466	28	16	3.626	3.404	13	23	4.255	2.998			
13	16	3.670	3.601	28	23	4.262	3.100	14	7	4.094	3.152			
13	23	4.364	3.103	29	7	4.075	3.368	14	14	4.120	2.643			
14	7	4.147	3.479	29	15	3.587	3.382	14	22	4.256	3.004			
14	15	3.623	3.591	29	22	4.257	3.120	15	6	4.077	3.137			
14	22	4.351	3.136	30	6	4.052	3.365	15	13	4.140	2.669			
15	6	4.115	3.489	30	13	4.157	2.676	15	21	4.257	3.008			
15	14	3.576	3.579	30	21	4.250	3.138	16	5	4.060	3.119			
15	21	4.337	3.167	Mai	1	5	4.028	3.361	16	12	4.158	2.693		
16	5	4.084	3.498		1	12	4.169	2.713	16	20	4.258	3.010		
16	12	4.272	2.645		1	20	4.244	3.153	17	4	4.041	3.099		
16	20	4.322	3.196		2	4	4.004	3.354	17	11	4.176	2.714		
17	4	4.051	3.504		2	11	4.179	2.748	17	19	4.257	3.010		
17	11	4.275	2.692		2	19	4.236	3.167	18	3	4.022	3.077		
17	19	4.307	3.222	3	3	3.979	3.345	18	10	4.193	2.733			
18	3	4.018	3.508	3	10	4.189	2.781	18	18	4.256	3.007			

PHOBOS 2015

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	19	2	4.002	3.053	Juin	3	9	4.303	2.592	Juin	18	17	4.500	2.325
	19	9	4.210	2.750		3	17	4.357	2.715		19	1	4.208	2.138
	19	17	4.253	3.002		4	1	4.087	2.630		19	8	4.480	2.319
	20	1	3.982	3.026		4	8	4.324	2.592		19	16	4.501	2.290
	20	8	4.225	2.765		4	16	4.357	2.693		19	23	4.170	2.172
	20	16	4.250	2.995		5	0	4.067	2.590		20	7	4.503	2.301
	21	0	3.960	2.998		5	7	4.344	2.590		20	15	4.501	2.254
	21	7	4.240	2.777		5	15	4.357	2.670		20	22	4.212	2.173
	21	15	4.246	2.986		5	23	4.046	2.548		21	6	4.524	2.282
	21	23	3.938	2.968		6	6	4.363	2.585		21	14	4.498	2.215
	22	6	4.254	2.787		6	14	4.355	2.645		21	21	4.253	2.171
	22	14	4.241	2.974		6	22	4.024	2.503		22	5	4.543	2.260
	22	22	3.914	2.935		7	5	4.381	2.578		22	13	4.495	2.175
	23	5	4.268	2.795		7	13	4.352	2.618		22	20	4.293	2.167
	23	13	4.236	2.960		7	20	4.120	2.354		23	4	4.561	2.236
	23	21	3.890	2.901		8	4	4.398	2.569		23	12	4.489	2.133
	24	4	4.280	2.801		8	12	4.348	2.588		23	19	4.332	2.161
	24	12	4.229	2.944		8	19	4.156	2.363		24	3	4.577	2.210
	24	20	3.864	2.864		9	3	4.413	2.558		24	11	4.482	2.089
	25	3	4.292	2.804		9	11	4.342	2.557		24	18	4.370	2.152
	25	11	4.221	2.926		9	18	4.191	2.371		25	2	4.592	2.182
	25	18	4.073	2.491		10	2	4.428	2.544		25	10	4.473	2.043
	26	2	4.303	2.805		10	10	4.335	2.523		25	17	4.406	2.142
	26	10	4.213	2.906		10	17	4.225	2.376		26	1	4.606	2.151
	26	17	4.102	2.511		11	1	4.441	2.528		26	9	4.462	1.996
	27	1	4.313	2.804		11	9	4.327	2.488		26	16	4.441	2.129
	27	9	4.203	2.883		11	16	4.258	2.379		27	0	4.617	2.119
	27	16	4.130	2.529		12	0	4.453	2.510		27	8	4.450	1.947
	28	0	4.322	2.801		12	8	4.317	2.450		27	15	4.474	2.113
	28	8	4.192	2.859		12	15	4.290	2.379		27	23	4.628	2.085
	28	15	4.157	2.545		12	23	4.464	2.490		28	7	4.436	1.897
28	23	4.330	2.795	13	7	4.306	2.411	28	14	4.507	2.096			
29	7	4.181	2.832	13	14	4.320	2.377	28	22	4.636	2.049			
29	14	4.184	2.559	13	22	4.473	2.468	29	6	4.420	1.845			
29	22	4.337	2.787	14	6	4.294	2.370	29	13	4.537	2.076			
30	6	4.168	2.804	14	13	4.350	2.373	29	21	4.643	2.011			
30	13	4.209	2.570	14	21	4.482	2.443	30	5	4.402	1.791			
30	21	4.343	2.777	15	5	4.280	2.327	30	12	4.566	2.054			
31	5	4.154	2.773	15	12	4.379	2.367	30	20	4.648	1.971			
31	12	4.234	2.579	15	20	4.488	2.417	Juill.	1	4	4.382	1.736		
31	20	4.348	2.765	16	4	4.264	2.282	1	11	4.594	2.030			
Juin	1	4	4.139	2.740	16	11	4.406	2.358	1	19	4.651	1.929		
	1	11	4.258	2.586	16	19	4.494	2.388	2	2	4.243	1.968		
	1	19	4.352	2.750	17	3	4.247	2.236	2	10	4.620	2.004		
	2	3	4.123	2.705	17	10	4.432	2.347	2	18	4.652	1.886		
	2	10	4.281	2.590	17	18	4.498	2.358	3	1	4.291	1.959		
	2	18	4.355	2.734	18	2	4.229	2.188	3	9	4.644	1.976		
	3	2	4.106	2.669	18	9	4.457	2.334	3	17	4.651	1.841		

PHOBOS 2015

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.	4	0	4.337	1.948	Juill.	19	8	4.853	1.481	Août	3	16	4.836	0.586
	4	8	4.667	1.946		19	16	4.769	1.219		3	23	4.847	1.171
	4	16	4.649	1.794		19	23	4.616	1.599		4	7	5.019	0.881
	4	23	4.382	1.935		20	7	4.869	1.435		4	15	4.815	0.521
	5	7	4.688	1.914		20	15	4.757	1.161		4	22	4.882	1.126
	5	15	4.644	1.745		20	22	4.657	1.567		5	6	5.025	0.823
	5	22	4.425	1.919		21	6	4.883	1.388		5	14	4.791	0.456
	6	6	4.707	1.880		21	14	4.743	1.101		5	21	4.915	1.078
	6	14	4.638	1.695		21	21	4.696	1.534		6	5	5.028	0.764
	6	21	4.467	1.901		22	5	4.895	1.340		6	13	4.764	0.390
	7	5	4.724	1.844		22	13	4.727	1.041		6	20	4.946	1.029
	7	13	4.629	1.644		22	20	4.733	1.499		7	4	5.029	0.704
	7	20	4.507	1.881		23	4	4.904	1.289		7	12	4.735	0.323
	8	4	4.740	1.806		23	12	4.708	0.979		7	19	4.974	0.979
	8	12	4.619	1.590		23	19	4.768	1.461		8	3	5.027	0.643
	8	19	4.545	1.859		24	3	4.911	1.237		8	10	4.602	1.198
	9	3	4.753	1.766		24	11	4.687	0.917		8	18	5.000	0.926
	9	11	4.607	1.536		24	18	4.801	1.422		9	2	5.023	0.581
	9	18	4.582	1.835		25	2	4.917	1.184		9	9	4.654	1.159
	10	2	4.765	1.724		25	10	4.664	0.854		9	17	5.023	0.873
	10	10	4.592	1.480		25	17	4.832	1.381		10	1	5.016	0.517
	10	17	4.618	1.808		26	1	4.919	1.129		10	8	4.704	1.117
	11	1	4.775	1.680		26	9	4.638	0.790		10	16	5.044	0.818
	11	9	4.575	1.423		26	16	4.861	1.339		11	0	5.007	0.454
	11	16	4.651	1.780		27	0	4.920	1.074		11	7	4.752	1.073
	12	0	4.783	1.635		27	7	4.491	1.470		11	15	5.063	0.761
	12	8	4.557	1.365		27	15	4.887	1.294		11	23	4.995	0.389
	12	15	4.683	1.749		27	23	4.918	1.016		12	6	4.797	1.028
	12	23	4.788	1.589		28	6	4.542	1.440		12	14	5.079	0.704
	13	7	4.536	1.306		28	14	4.912	1.248		12	22	4.980	0.323
	13	14	4.713	1.716		28	22	4.914	0.958		13	5	4.841	0.980
13	22	4.792	1.540	29	5	4.592	1.407	13	13	5.093	0.645			
14	6	4.513	1.245	29	13	4.934	1.200	13	21	4.963	0.257			
14	13	4.741	1.682	29	21	4.907	0.898	14	4	4.882	0.932			
14	21	4.793	1.490	30	4	4.640	1.373	14	12	5.104	0.585			
15	4	4.386	1.724	30	12	4.954	1.150	14	20	4.943	0.191			
15	12	4.767	1.645	30	20	4.898	0.838	15	3	4.921	0.881			
15	20	4.793	1.439	31	3	4.685	1.336	15	11	5.112	0.524			
16	3	4.435	1.703	31	11	4.972	1.099	15	19	4.920	0.124			
16	11	4.792	1.607	31	19	4.886	0.776	16	2	4.957	0.829			
16	19	4.790	1.386	Août	1	2	4.729	1.298	16	10	5.118	0.461		
17	2	4.483	1.680		1	10	4.987	1.047	16	18	4.895	0.056		
17	10	4.814	1.567		1	18	4.872	0.714	17	1	4.991	0.775		
17	18	4.785	1.331		2	1	4.771	1.257	17	9	5.121	0.398		
18	1	4.529	1.655		2	9	5.000	0.993	17	17	4.867	-0.012		
18	9	4.834	1.525		2	17	4.856	0.650	18	0	5.023	0.720		
18	17	4.778	1.276	3	0	4.810	1.215	18	8	5.122	0.334			
19	0	4.573	1.628	3	8	5.011	0.938	18	16	4.836	-0.080			

PHOBOS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Août	18 23	5.052	0.664	Sept.	3 7	5.160	-0.380	Sept.	18 14	5.155	-0.044
	19 7	5.120	0.269		3 14	4.925	0.494		18 22	5.332	-0.603
	19 15	4.803	-0.149		3 22	5.231	0.024		19 6	5.108	-1.119
	19 22	5.079	0.606		4 6	5.144	-0.450		19 13	5.190	-0.116
	20 6	5.115	0.203		4 13	4.971	0.433		19 21	5.334	-0.677
	20 13	4.715	0.911		4 21	5.245	-0.044		20 5	5.076	-1.191
	20 21	5.103	0.547		5 5	5.124	-0.521		20 12	5.222	-0.188
	21 5	5.108	0.137		5 12	5.013	0.371		20 20	5.332	-0.752
	21 12	4.766	0.862		5 20	5.255	-0.113		21 4	5.041	-1.262
	21 20	5.124	0.486		6 4	5.102	-0.592		21 11	5.252	-0.261
	22 4	5.098	0.070		6 11	5.054	0.308		21 19	5.328	-0.827
	22 11	4.815	0.812		6 19	5.263	-0.183		22 3	5.003	-1.333
	22 19	5.143	0.425		7 3	5.077	-0.663		22 10	5.279	-0.335
	23 3	5.085	0.002		7 10	5.091	0.244		22 18	5.321	-0.902
	23 10	4.863	0.759		7 18	5.268	-0.253		23 2	4.963	-1.403
	23 18	5.160	0.362		8 2	5.049	-0.734		23 9	5.303	-0.410
	24 2	5.069	-0.066		8 9	5.126	0.178		23 17	5.311	-0.977
	24 9	4.907	0.705		8 17	5.271	-0.324		24 1	4.919	-1.473
	24 17	5.173	0.299		9 1	5.018	-0.804		24 8	5.324	-0.485
	25 1	5.051	-0.134		9 8	5.159	0.111		24 16	5.299	-1.052
25 8	4.949	0.650	9 16	5.270	-0.395	25 0	4.873	-1.542			
25 16	5.184	0.234	10 0	4.985	-0.875	25 7	5.343	-0.561			
26 0	5.030	-0.203	10 7	5.189	0.043	25 15	5.283	-1.127			
26 7	4.989	0.593	10 15	5.267	-0.467	25 23	4.824	-1.610			
26 15	5.193	0.168	10 23	4.948	-0.945	26 6	5.359	-0.638			
26 23	5.006	-0.272	11 6	5.216	-0.026	26 14	5.264	-1.202			
27 6	5.026	0.535	11 14	5.261	-0.539	26 21	5.096	-0.103			
27 14	5.198	0.102	11 22	4.909	-1.015	27 5	5.371	-0.715			
27 22	4.980	-0.341	12 5	5.240	-0.095	27 13	5.243	-1.276			
28 5	5.061	0.475	12 13	5.251	-0.611	27 20	5.139	-0.177			
28 13	5.201	0.035	12 21	4.867	-1.084	28 4	5.381	-0.792			
28 21	4.950	-0.411	13 4	5.262	-0.166	28 12	5.218	-1.350			
29 4	5.093	0.414	13 12	5.240	-0.684	28 19	5.180	-0.252			
29 12	5.202	-0.033	13 20	4.823	-1.153	29 3	5.388	-0.870			
29 20	4.918	-0.480	14 3	5.280	-0.237	29 11	5.191	-1.424			
30 3	5.123	0.352	14 11	5.225	-0.757	29 18	5.218	-0.329			
30 11	5.199	-0.101	14 18	4.987	0.231	30 2	5.392	-0.947			
30 19	4.883	-0.550	15 2	5.296	-0.309	30 10	5.161	-1.498			
31 2	5.150	0.288	15 10	5.207	-0.829	30 17	5.253	-0.406			
31 10	5.193	-0.170	15 17	5.033	0.164	Oct.	1 1	5.394	-1.025		
Sept.	31 18	4.846	-0.619	16 1	5.309	-0.382	1 9	5.128	-1.570		
	1 1	5.174	0.224	16 9	5.186	-0.902	1 16	5.286	-0.484		
	1 9	5.185	-0.240	16 16	5.076	0.096	2 0	5.392	-1.103		
	1 16	4.827	0.611	17 0	5.320	-0.455	2 8	5.092	-1.642		
	2 0	5.196	0.158	17 8	5.163	-0.975	2 15	5.316	-0.562		
	2 8	5.174	-0.310	17 15	5.117	0.026	2 23	5.387	-1.181		
	2 15	4.878	0.553	17 23	5.327	-0.529	3 7	5.053	-1.714		
	2 23	5.215	0.092	18 7	5.137	-1.047	3 14	5.342	-0.641		

PHOBOS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	3 22	5.380	-1.259	Oct.	19 6	4.864	-2.431	Nov.	3 13	5.604	-2.052
	4 6	5.011	-1.784		19 13	5.502	-1.371		3 21	5.309	-2.678
	4 13	5.366	-0.721		19 21	5.357	-2.008		4 4	5.511	-1.368
	4 21	5.369	-1.337		20 5	4.808	-2.495		4 12	5.602	-2.140
	5 5	4.967	-1.854		20 12	5.512	-1.456		4 20	5.272	-2.752
	5 12	5.388	-0.801		20 20	5.332	-2.085		5 3	5.542	-1.462
	5 20	5.356	-1.414		21 4	4.749	-2.559		5 11	5.598	-2.226
	6 4	4.920	-1.923		21 11	5.519	-1.541		5 19	5.232	-2.825
	6 11	5.406	-0.882		21 19	5.303	-2.162		6 2	5.571	-1.556
	6 19	5.339	-1.491		22 2	5.357	-0.895		6 10	5.591	-2.313
	7 3	4.869	-1.990		22 10	5.523	-1.626		6 18	5.190	-2.896
	7 10	5.422	-0.963		22 18	5.272	-2.237		7 1	5.597	-1.651
	7 18	5.320	-1.568		23 1	5.393	-0.983		7 9	5.581	-2.398
	8 2	4.817	-2.057		23 9	5.524	-1.711		7 17	5.145	-2.966
	8 9	5.434	-1.044		23 17	5.238	-2.312		8 0	5.620	-1.745
	8 17	5.298	-1.645		24 0	5.426	-1.072		8 8	5.569	-2.483
	9 0	5.205	-0.448		24 8	5.522	-1.795		8 16	5.097	-3.035
	9 8	5.444	-1.125		24 16	5.201	-2.385		8 23	5.640	-1.839
9 16	5.273	-1.720	24 23	5.457	-1.161	9 7	5.553	-2.566			
9 23	5.246	-0.530	25 7	5.517	-1.879	9 15	5.047	-3.101			
10 7	5.451	-1.206	25 15	5.161	-2.458	9 22	5.657	-1.933			
10 15	5.245	-1.795	25 22	5.484	-1.250	10 6	5.534	-2.649			
10 22	5.284	-0.612	26 6	5.509	-1.962	10 14	4.993	-3.166			
11 6	5.454	-1.288	26 14	5.119	-2.529	10 21	5.672	-2.027			
11 14	5.214	-1.870	26 21	5.509	-1.339	11 5	5.513	-2.731			
11 21	5.320	-0.694	27 5	5.499	-2.045	11 13	4.937	-3.229			
12 5	5.455	-1.369	27 13	5.073	-2.599	11 20	5.684	-2.120			
12 13	5.180	-1.943	27 20	5.531	-1.429	12 4	5.489	-2.811			
12 20	5.353	-0.778	28 4	5.485	-2.127	12 12	4.878	-3.291			
13 4	5.453	-1.450	28 12	5.025	-2.667	12 19	5.692	-2.213			
13 12	5.143	-2.016	28 19	5.550	-1.518	13 3	5.461	-2.890			
13 19	5.382	-0.861	29 3	5.468	-2.209	13 11	4.817	-3.350			
14 3	5.448	-1.531	29 11	4.974	-2.734	13 18	5.698	-2.305			
14 11	5.104	-2.088	29 18	5.566	-1.608	14 2	5.431	-2.968			
14 18	5.410	-0.946	30 2	5.449	-2.290	14 10	4.753	-3.407			
15 2	5.440	-1.612	30 10	4.920	-2.800	14 17	5.702	-2.397			
15 10	5.061	-2.159	30 17	5.579	-1.697	15 1	5.398	-3.045			
15 17	5.434	-1.030	31 1	5.427	-2.369	15 8	5.611	-1.670			
16 1	5.430	-1.692	31 9	4.864	-2.864	15 16	5.702	-2.487			
16 9	5.016	-2.229	31 16	5.590	-1.787	16 0	5.363	-3.119			
16 16	5.455	-1.115	Nov.	1 0	5.402	-2.448	16 7	5.644	-1.769		
17 0	5.416	-1.772		1 8	4.805	-2.926	16 15	5.699	-2.577		
17 8	4.968	-2.297		1 15	5.597	-1.875	16 23	5.324	-3.193		
17 15	5.474	-1.200		1 23	5.373	-2.526	17 6	5.675	-1.869		
17 23	5.399	-1.851		2 7	4.743	-2.986	17 14	5.694	-2.667		
18 7	4.917	-2.365		2 14	5.602	-1.964	17 22	5.283	-3.265		
18 14	5.489	-1.285	2 22	5.342	-2.602	18 5	5.703	-1.968			
18 22	5.380	-1.930	3 5	5.477	-1.274	18 13	5.685	-2.755			

PHOBOS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	18	21	5.239	-3.335	Déc.	3	13	5.766	-3.469	Déc.	18	5	6.180	-3.490
	19	4	5.728	-2.068		3	21	5.167	-3.966		18	13	5.869	-4.184
	19	12	5.674	-2.842		4	4	5.946	-2.811		18	21	5.113	-4.561
	19	20	5.192	-3.403		4	12	5.746	-3.552		19	4	6.191	-3.592
	20	3	5.750	-2.167		4	20	5.111	-4.026		19	12	5.842	-4.262
	20	11	5.660	-2.928		5	3	5.960	-2.912		19	20	5.050	-4.608
	20	19	5.143	-3.469		5	11	5.723	-3.635		20	3	6.199	-3.692
	21	2	5.769	-2.265		5	19	5.053	-4.083		20	11	5.812	-4.337
	21	10	5.643	-3.012		6	2	5.971	-3.012		20	19	4.983	-4.652
	21	18	5.090	-3.534		6	10	5.697	-3.715		21	2	6.204	-3.790
22	1	5.786	-2.363	6	18	4.992	-4.137	21	10	5.779	-4.410			
22	9	5.623	-3.096	7	1	5.980	-3.111	21	17	6.203	-3.002			
22	17	5.035	-3.596	7	9	5.669	-3.793	22	1	6.207	-3.887			
23	0	5.800	-2.460	7	17	4.928	-4.189	22	9	5.743	-4.480			
23	8	5.600	-3.178	8	0	5.986	-3.208	22	16	6.241	-3.117			
23	16	4.978	-3.656	8	8	5.638	-3.870	23	0	6.207	-3.982			
23	23	5.811	-2.557	8	16	4.862	-4.238	23	8	5.704	-4.547			
24	7	5.575	-3.259	8	23	5.989	-3.305	23	15	6.276	-3.231			
24	15	4.918	-3.714	9	7	5.604	-3.945	23	23	6.204	-4.076			
24	22	5.819	-2.653	9	14	5.961	-2.528	24	7	5.663	-4.613			
25	6	5.547	-3.338	9	22	5.990	-3.400	24	14	6.309	-3.345			
25	14	4.855	-3.770	10	6	5.567	-4.017	24	22	6.198	-4.167			
25	21	5.824	-2.748	10	13	5.996	-2.638	25	6	5.619	-4.675			
26	5	5.516	-3.415	10	21	5.988	-3.494	25	13	6.340	-3.457			
26	13	4.789	-3.824	11	5	5.528	-4.087	25	21	6.190	-4.257			
26	20	5.827	-2.842	11	12	6.028	-2.748	26	5	5.572	-4.735			
27	4	5.482	-3.491	11	20	5.983	-3.586	26	12	6.368	-3.568			
27	11	5.769	-2.086	12	4	5.485	-4.155	26	20	6.179	-4.344			
27	19	5.827	-2.935	12	11	6.058	-2.857	27	4	5.522	-4.791			
28	3	5.445	-3.565	12	19	5.975	-3.677	27	11	6.393	-3.677			
28	10	5.802	-2.191	13	3	5.440	-4.221	27	19	6.165	-4.429			
28	18	5.823	-3.027	13	10	6.085	-2.965	28	3	5.470	-4.845			
29	2	5.405	-3.637	13	18	5.964	-3.767	28	10	6.415	-3.786			
29	9	5.833	-2.296	14	2	5.393	-4.284	28	18	6.148	-4.512			
29	17	5.818	-3.118	14	9	6.109	-3.072	29	2	5.415	-4.896			
30	1	5.363	-3.707	14	17	5.951	-3.854	29	9	6.435	-3.893			
30	8	5.861	-2.400	15	1	5.342	-4.345	29	17	6.128	-4.593			
30	16	5.809	-3.208	15	8	6.131	-3.178	30	1	5.357	-4.943			
Déc.	1	0	5.318	-3.775	15	16	5.934	-3.939	30	8	6.452	-3.998		
	1	7	5.886	-2.504	16	0	5.289	-4.403	30	16	6.106	-4.671		
1	15	5.797	-3.296	16	7	6.150	-3.284	31	0	5.296	-4.988			
1	23	5.271	-3.841	16	15	5.915	-4.023	31	7	6.467	-4.102			
2	6	5.909	-2.607	16	23	5.233	-4.458	31	15	6.081	-4.746			
2	14	5.783	-3.383	17	6	6.166	-3.388	31	23	5.232	-5.029			
2	22	5.220	-3.905	17	14	5.894	-4.105	Janv.	1	6	6.479	-4.204		
3	5	5.928	-2.709	17	22	5.175	-4.511	1	14	6.052	-4.819			

DÉIMOS 2015

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	21	16.296	1.495	Mars	3	16	12.096	7.808	Mai	3	10	10.304	8.038
	3	4	16.115	2.446		4	22	12.240	7.460		4	17	10.067	8.205
	4	10	16.149	2.134		6	5	11.773	8.134		5	23	10.236	8.061
	5	16	16.090	1.807		7	11	11.964	7.819		7	5	10.340	7.877
	6	23	15.947	2.765		8	18	11.430	8.422		8	12	10.156	8.042
	8	5	15.952	2.439		10	0	11.666	8.140		9	18	10.300	7.895
	9	12	15.692	3.385		11	6	11.829	7.810		11	0	10.374	7.709
	10	18	15.760	3.063		12	13	11.348	8.421		12	7	10.247	7.870
	12	0	15.741	2.715		13	19	11.558	8.125		13	13	10.361	7.720
	13	7	15.517	3.673		15	1	11.692	7.789		14	19	10.409	7.535
	14	13	15.562	3.332		16	8	11.269	8.401		16	2	10.334	7.689
	15	20	15.224	4.265		17	14	11.447	8.098		17	8	10.422	7.539
	17	2	15.331	3.935		18	21	10.962	8.638		18	15	10.293	7.616
	18	8	15.347	3.573		20	3	11.185	8.368		19	21	10.420	7.501
	19	15	15.051	4.519		21	9	11.339	8.055		21	3	10.481	7.350
	20	21	15.130	4.167		22	16	10.906	8.599		22	10	10.403	7.421
	22	3	15.121	3.793		23	22	11.104	8.322		23	16	10.505	7.306
	23	10	14.866	4.742		25	4	11.228	7.998		24	22	10.538	7.156
	24	16	14.918	4.379		26	11	10.853	8.548		26	5	10.512	7.219
25	23	14.558	5.294	27	17	11.021	8.259	27	11	10.585	7.103			
27	5	14.668	4.944	29	0	10.588	8.733	28	17	10.594	6.958			
28	11	14.697	4.561	30	6	10.800	8.481	30	0	10.616	7.009			
29	18	14.376	5.486	31	12	10.939	8.187	31	6	10.665	6.897			
31	0	14.463	5.120	Avril	1	19	10.565	8.662	Juin	1	13	10.628	6.873	
Févr.	1	7	14.042		6.000	3	1	10.745		8.404	2	19	10.718	6.794
	2	13	14.188		5.653	4	8	10.318		8.802	4	1	10.740	6.683
	3	19	14.247		5.269	5	14	10.539		8.580	5	8	10.750	6.649
	5	2	13.871		6.159	6	20	10.693		8.314	6	14	10.815	6.572
	6	8	13.990		5.793	8	3	10.321		8.714	7	20	10.812	6.466
	7	15	13.518		6.633	9	9	10.516		8.486	9	3	10.869	6.420
	8	21	13.693		6.290	10	15	10.640		8.212	10	9	10.908	6.345
10	3	13.783	5.915		11	22	10.326	8.617		11	16	10.899	6.228	
11	10	13.361	6.756		13	4	10.492	8.380		12	22	10.981	6.184	
12	16	13.506	6.403		14	11	10.127	8.706		14	4	10.997	6.116	
13	23	12.996	7.188		15	17	10.332	8.506		15	11	11.030	5.983	
15	5	13.194	6.859		16	23	10.469	8.266		16	17	11.089	5.945	
16	11	13.316	6.492		18	6	10.163	8.592		17	23	11.079	5.881	
17	18	12.851	7.281		19	12	10.338	8.387		19	6	11.156	5.735	
19	0	13.025	6.941		20	18	10.448	8.140		20	12	11.191	5.702	
20	6	13.118	6.558		22	1	10.196	8.467		21	18	11.158	5.645	
21	13	12.703	7.356		23	7	10.346	8.258		23	1	11.275	5.483	
22	19	12.850	7.000		24	14	10.045	8.505		24	7	11.287	5.455	
24	2	12.354	7.735	25	20	10.233	8.334	25	14	11.329	5.227			
25	8	12.552	7.408	27	2	10.352	8.119	26	20	11.386	5.227			
26	14	12.671	7.043	28	9	10.109	8.368	28	2	11.377	5.208			
27	21	12.228	7.780	29	15	10.269	8.189	29	9	11.455	4.962			
Mars	1	3	12.396	7.444	30	21	10.360	7.973	30	15	11.493	4.969		
	2	10	11.879	8.114	Mai	2	4	10.173	8.218	Juill.	1	21	11.459	4.958

DÉIMOS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	3	4	11.576	4.695	Sept.	1	21	12.886	-0.277	Nov.	1	15	13.285	-6.327
	4	10	11.590	4.710		3	4	12.852	-0.985		2	21	13.461	-6.013
	5	16	11.537	4.708		4	10	12.924	-0.763		4	4	13.135	-6.851
	6	23	11.687	4.426		5	16	12.925	-0.530		5	10	13.372	-6.562
	8	5	11.681	4.449		6	23	12.912	-1.256		6	16	13.541	-6.233
	9	12	11.750	4.110		8	5	12.971	-1.022		7	23	13.235	-7.091
	10	18	11.791	4.155		9	11	12.962	-0.777		9	5	13.466	-6.792
	12	0	11.765	4.189		10	18	12.966	-1.521		10	12	13.052	-7.596
	13	7	11.865	3.830		12	0	13.014	-1.277		11	18	13.343	-7.329
	14	13	11.888	3.886		13	7	12.911	-2.023		13	0	13.562	-7.018
	15	19	11.841	3.929		14	13	13.016	-1.783		14	7	13.175	-7.841
	17	2	11.973	3.551		15	19	13.054	-1.523		15	13	13.456	-7.562
	18	8	11.975	3.616		17	2	12.967	-2.291		16	19	13.666	-7.246
	19	14	11.912	3.671		18	8	13.064	-2.036		18	2	13.305	-8.081
20	21	12.071	3.273	19	14	13.089	-1.766	19	8	13.575	-7.798			
22	3	12.058	3.348	20	21	13.023	-2.551	20	14	13.776	-7.467			
23	10	12.127	2.901	22	3	13.107	-2.285	21	21	13.439	-8.324			
24	16	12.163	2.994	23	10	12.931	-3.064	23	3	13.703	-8.029			
25	22	12.130	3.082	24	16	13.073	-2.805	24	10	13.258	-8.821			
27	5	12.227	2.614	25	22	13.149	-2.530	25	16	13.585	-8.564			
28	11	12.247	2.720	27	5	12.989	-3.322	26	22	13.836	-8.260			
29	17	12.196	2.818	28	11	13.123	-3.057	28	5	13.423	-9.069			
31	0	12.320	2.332	29	17	13.188	-2.765	29	11	13.737	-8.802			
Août	1	6	12.321	2.446	Oct.	1	0	13.046	-3.580	Déc.	30	17	13.981	-8.493
	2	12	12.256	2.558		2	6	13.171	-3.299		2	0	13.595	-9.314
	3	19	12.403	2.050		3	12	13.225	-2.999		3	6	13.901	-9.044
	5	1	12.390	2.177		4	19	13.103	-3.828		4	12	14.134	-8.721
	6	8	12.440	1.632		6	1	13.216	-3.539		5	19	13.777	-9.565
	7	14	12.480	1.771		7	8	12.985	-4.349		7	1	14.076	-9.282
	8	20	12.450	1.912		8	14	13.157	-4.073		8	8	13.612	-10.049
	10	3	12.524	1.345		9	20	13.263	-3.772		9	14	13.975	-9.812
	11	9	12.549	1.498		11	3	13.048	-4.598		10	20	14.260	-9.525
	12	15	12.505	1.649		12	9	13.213	-4.314		12	3	13.832	-10.306
	13	22	12.601	1.064		13	15	13.308	-3.999		13	9	14.182	-10.063
	15	4	12.610	1.226		14	22	13.113	-4.846		14	15	14.460	-9.769
	16	10	12.553	1.393		16	4	13.269	-4.547		15	22	14.062	-10.565
	17	17	12.669	0.785		17	11	12.964	-5.364		17	4	14.406	-10.318
18	23	12.667	0.961	18	17	13.180	-5.086	18	10	14.672	-10.012			
20	6	12.681	0.328	19	23	13.324	-4.780	19	17	14.309	-10.829			
21	12	12.733	0.511	21	6	13.042	-5.610	20	23	14.644	-10.571			
22	18	12.715	0.701	22	12	13.246	-5.324	22	6	14.170	-11.299			
24	1	12.751	0.047	23	18	13.383	-5.005	23	12	14.573	-11.092			
25	7	12.789	0.244	25	1	13.119	-5.853	24	18	14.896	-10.831			
26	13	12.760	0.444	26	7	13.316	-5.557	26	1	14.461	-11.571			
27	20	12.814	-0.227	27	14	12.944	-6.363	27	7	14.852	-11.361			
29	2	12.840	-0.021	28	20	13.201	-6.094	28	13	15.168	-11.093			
30	9	12.790	-0.708	30	2	13.387	-5.785	29	20	14.767	-11.848			
31	15	12.871	-0.498	31	9	13.037	-6.610	31	2	15.153	-11.635			

DÉIMOS 2015

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	"	"
Janv. 1 8	15.456	-11.359	Janv. 2 15	15.096	-12.132	Janv. 3 21	15.472	-11.911

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 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	17	-119.731	45.865	Févr.	11	9	-126.114	45.191	Mars	24	1	-118.942	39.834	
	2	14	119.760	-45.867		12	6	125.445	-44.893		24	22	117.674	-39.385	
	3	11	-119.969	45.915		13	3	-125.826	44.957		25	20	-118.194	39.514	
	4	9	120.258	-45.919		14	1	125.357	-44.657		26	17	117.280	-39.187	
	5	6	-120.714	46.059		14	22	-125.984	44.808		27	14	-117.874	39.364	
	6	3	120.775	-46.067		15	19	125.361	-44.528		28	11	116.648	-38.936	
	7	0	-121.065	46.140		16	16	-125.801	44.612		29	8	-117.018	39.041	
	7	22	121.062	-46.026		17	14	124.999	-44.200		30	6	116.104	-38.704	
	8	19	-121.595	46.188		18	11	-125.696	44.376		31	3	-116.744	38.903	
	9	16	121.694	-46.206		19	8	125.109	-44.111		Avril	1	0	115.558	-38.495
	10	13	-122.055	46.300		20	5	-125.612	44.217		1	21	-115.975	38.622	
	11	10	121.788	-46.176		21	2	124.683	-43.832		2	19	114.876	-38.234	
	12	8	-122.364	46.251		22	0	-125.245	43.897		3	16	-115.566	38.455	
	13	5	122.497	-46.276		22	21	124.703	-43.650		4	13	114.418	-38.067	
14	2	-122.936	46.393	23	18	-125.263	43.778	5	10	-114.875	38.213				
14	23	122.703	-46.277	24	15	124.376	-43.411	6	8	113.615	-37.781				
15	21	-123.005	46.243	25	12	-124.743	43.472	7	5	-114.347	38.022				
16	18	123.179	-46.278	26	10	124.141	-43.149	8	2	113.237	-37.653				
17	15	-123.687	46.416	27	7	-124.766	43.302	8	23	-113.737	37.820				
18	12	123.497	-46.310	28	4	123.921	-42.954	9	21	112.324	-37.345				
19	9	-123.834	46.381	Mars	1	1	-124.342	43.036	10	18	-113.101	37.608			
20	7	123.720	-46.206		1	23	123.441	-42.619	11	15	112.028	-37.257			
21	4	-124.305	46.367		2	20	-124.125	42.795	12	12	-112.562	37.442			
22	1	124.150	-46.271		3	17	123.320	-42.465	13	9	111.188	-36.994			
22	22	-124.560	46.363		4	14	-123.803	42.572	14	7	-111.832	37.213			
23	20	124.119	-46.064		5	11	122.647	-42.123	15	4	110.795	-36.880			
24	17	-124.773	46.246	6	9	-123.356	42.265	16	1	-111.368	37.084				
25	14	124.660	-46.160	7	6	122.592	-41.955	16	22	110.031	-36.654				
26	11	-125.138	46.274	8	3	-123.127	42.083	17	20	-110.555	36.840				
27	8	124.670	-46.055	9	0	122.019	-41.657	18	17	109.551	-36.524				
28	6	-125.090	46.053	9	22	-122.466	41.718	19	14	-110.155	36.745				
29	3	125.012	-45.977	10	19	121.739	-41.426	20	11	108.861	-36.334				
30	0	-125.561	46.113	11	16	-122.335	41.579	21	9	-109.270	36.489				
30	21	125.136	-45.907	12	13	121.265	-41.173	22	6	108.300	-36.189				
31	18	-125.501	45.973	13	10	-121.657	41.259	23	3	-108.938	36.428				
Févr.	1	16	125.207	-45.726	14	8	120.781	-40.888	24	0	107.680	-36.034			
	2	13	-125.823	45.883	15	5	-121.430	41.064	24	21	-108.078	36.195			
	3	10	125.437	-45.689	16	2	120.406	-40.679	25	19	107.054	-35.877			
	4	7	-125.872	45.777	16	23	-120.846	40.787	26	16	-107.717	36.131			
	5	5	125.235	-45.407	17	21	119.724	-40.344	27	13	106.501	-35.755			
	6	2	-125.921	45.586	18	18	-120.433	40.545	28	10	-106.919	35.929			
	6	23	125.578	-45.406	19	15	119.443	-40.179	29	8	105.816	-35.589			
	7	20	-126.074	45.514	20	12	-119.938	40.311	30	5	-106.506	35.857			
	8	17	125.368	-45.203	21	9	118.627	-39.840	Mai	1	2	105.324	-35.497		
	9	15	-125.854	45.227	22	7	-119.347	40.026		1	23	-105.767	35.685		
10	12	125.548	-45.060	23	4	118.400	-39.681	2	21	104.592	-35.323				

IO 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	3	18	-105.302	35.604	Juin	13	11	-93.435	34.214	Juill.	24	5	-85.839	34.632	
	4	15	104.161	-35.261		14	8	92.488	-33.946		25	2	85.604	-34.622	
	5	12	-104.618	35.459		15	6	-92.863	34.128		25	23	-85.713	34.776	
	6	10	103.386	-35.080		16	3	92.164	-33.950		26	20	85.307	-34.698	
	7	7	-104.117	35.374		17	0	-92.597	34.196		27	18	-85.419	34.740	
	8	4	103.009	-35.045		17	21	91.696	-33.944		28	15	85.229	-34.748	
	9	1	-103.485	35.255		18	19	-92.043	34.114		29	12	-85.298	34.887	
	9	23	102.204	-34.860		19	16	91.381	-33.949		30	9	84.941	-34.827	
	10	20	-102.948	35.165		20	13	-91.797	34.193		31	7	-85.033	34.857	
	11	17	101.880	-34.851		21	10	90.937	-33.955		Août	1	4	84.888	-34.882
	12	14	-102.363	35.069		22	8	-91.258	34.114		2	1	-84.920	35.008	
13	12	101.047	-34.662	23	5	90.639	-33.964	2	22	84.608	-34.965				
14	9	-101.804	34.977	24	2	-91.029	34.202	3	20	-84.683	34.982				
15	6	100.769	-34.676	24	23	90.215	-33.979	4	17	84.584	-35.026				
16	3	-101.264	34.904	25	21	-90.511	34.127	5	14	-84.576	35.137				
17	0	99.981	-34.520	26	18	89.930	-33.990	6	11	84.312	-35.113				
17	22	-100.683	34.809	27	15	-90.299	34.224	7	9	-84.367	35.116				
18	19	99.687	-34.524	28	12	89.526	-34.015	8	6	84.313	-35.178				
19	16	-100.184	34.757	29	10	-89.800	34.152	9	3	-84.269	35.275				
20	13	98.945	-34.389	30	7	89.262	-34.031	10	0	84.049	-35.268				
21	11	-99.593	34.662	Juill.	1	4	-89.601	34.256	10	22	-84.089	35.259			
22	8	98.629	-34.389		2	1	88.877	-34.064	11	19	84.081	-35.339			
23	5	-99.132	34.630		2	23	-89.126	34.189	12	16	-83.995	35.421			
24	2	97.932	-34.275		3	20	88.628	-34.082	13	13	83.824	-35.433			
25	0	-98.529	34.533		4	17	-88.941	34.300	14	11	-83.844	35.409			
25	21	97.605	-34.275		5	14	88.259	-34.123	15	8	83.882	-35.509			
26	18	-98.105	34.519	6	12	-88.487	34.237	16	5	-83.760	35.576				
27	15	96.949	-34.180	7	9	88.034	-34.146	17	2	83.631	-35.606				
28	13	-97.501	34.424	8	6	-88.313	34.354	18	0	-83.637	35.569				
29	10	96.611	-34.179	9	3	87.679	-34.194	18	21	83.720	-35.687				
30	7	-97.110	34.427	10	1	-87.886	34.296	19	18	-83.558	35.738				
Juin	31	4	95.993	-34.102	10	22	87.474	-34.220	20	15	83.477	-35.788			
	1	2	-96.503	34.332	11	19	-87.723	34.420	21	13	-83.465	35.736			
	1	23	95.653	-34.101	12	16	87.132	-34.274	22	10	83.593	-35.874			
	2	20	-96.141	34.350	13	14	-87.320	34.365	23	7	-83.394	35.910			
	3	17	95.070	-34.040	14	11	86.953	-34.305	24	4	83.356	-35.978			
	4	15	-95.542	34.258	15	8	-87.166	34.494	25	2	-83.330	35.913			
	5	12	94.726	-34.039	16	5	86.624	-34.366	25	23	83.502	-36.070			
	6	9	-95.208	34.290	17	3	-86.790	34.444	26	20	-83.265	36.090			
	7	6	94.175	-33.994	18	0	86.466	-34.401	27	17	83.274	-36.177			
	8	4	-94.613	34.199	18	21	-86.647	34.579	28	15	-83.229	36.096			
	9	1	93.837	-33.994	19	18	86.148	-34.466	29	12	83.446	-36.273			
9	22	-94.303	34.244	20	16	-86.297	34.534	30	9	-83.174	36.279				
10	19	93.316	-33.963	21	13	86.018	-34.507	31	6	83.224	-36.384				
11	17	-93.721	34.156	22	10	-86.160	34.672	Sept.	1	4	-83.166	36.289			
12	14	92.981	-33.964	23	7	85.711	-34.578	2	1	83.426	-36.486				

IO 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Sept.	2	22	-83.117	36.475	Oct.	13	16	-85.284	39.294	Nov.	23	9	-92.584	43.773	
	3	19	83.212	-36.600		14	13	86.022	-39.726		24	6	93.433	-44.302	
	4	17	-83.136	36.490		15	10	-85.418	39.575		25	4	-92.871	43.691	
	5	14	83.441	-36.706		16	7	85.962	-39.920		26	1	93.996	-44.353	
	6	11	-83.099	36.682		17	5	-85.707	39.605		26	22	-93.466	44.217	
	7	8	83.234	-36.824		18	2	86.483	-40.058		27	19	94.341	-44.764	
	8	6	-83.145	36.700		18	23	-85.869	39.902		28	16	-93.585	44.524	
	9	3	83.493	-36.936		19	20	86.441	-40.262		29	14	94.885	-44.796	
	10	0	-83.116	36.896		20	18	-86.172	39.929		30	11	-94.379	44.669	
	10	21	83.296	-37.059		21	15	86.979	-40.399		Déc.	1	8	95.280	-45.233
	11	19	-83.189	36.917		22	12	-86.359	40.238		2	5	-94.557	45.006	
	12	16	83.580	-37.174		23	9	86.963	-40.617		3	3	95.799	-45.243	
	13	13	-83.173	37.120		24	7	-86.673	40.261		4	0	-95.323	45.129	
	14	10	83.391	-37.301		25	4	87.516	-40.751		4	21	96.252	-45.711	
	15	8	-83.272	37.145		26	1	-86.890	40.587		5	18	-95.558	45.496	
16	5	83.704	-37.421	26	22	87.522	-40.981	6	16	96.741	-45.696				
17	2	-83.266	37.353	27	20	-87.215	40.604	7	13	-96.294	45.594				
17	23	83.526	-37.553	28	17	88.089	-41.113	8	10	97.250	-46.194				
18	21	-83.390	37.380	29	14	-87.462	40.946	9	7	-96.595	45.995				
19	18	83.864	-37.677	30	11	88.125	-41.358	10	5	97.701	-46.150				
20	15	-83.399	37.596	Nov.	31	9	-87.792	40.956	11	2	-97.291	46.063			
21	12	83.695	-37.814		1	6	88.701	-41.485	11	23	98.276	-46.683			
22	10	-83.548	37.626		2	3	-88.074	41.317	12	20	-97.656	46.499			
23	7	84.061	-37.941		3	0	88.764	-41.745	13	18	98.682	-46.607			
24	4	-83.569	37.848	3	22	-88.411	41.319	14	15	-98.307	46.535				
25	1	83.906	-38.085	4	19	89.349	-41.866	15	12	99.320	-47.173				
25	23	-83.741	37.880	5	16	-88.728	41.699	16	9	-98.744	47.008				
26	20	84.295	-38.215	6	13	89.446	-42.144	17	6	99.487	-47.520				
27	17	-83.779	38.110	7	11	-89.064	41.691	18	4	-99.339	47.007				
28	14	84.150	-38.365	8	8	90.036	-42.258	19	1	100.383	-47.665				
29	12	-83.974	38.143	9	5	-89.422	42.092	19	22	-99.847	47.516				
Oct.	30	9	84.565	-38.498	10	2	90.165	-42.554	20	19	100.619	-48.047			
	1	6	-84.026	38.382	11	0	-89.757	42.075	21	17	-100.379	47.476			
	2	3	84.436	-38.656	11	21	90.758	-42.659	22	14	101.454	-48.154			
3	1	-84.243	38.416	12	18	-90.155	42.497	23	11	-100.967	48.026				
3	22	84.873	-38.791	13	15	90.927	-42.976	24	8	101.762	-48.573				
4	19	-84.315	38.665	14	13	-90.483	42.465	25	6	-101.427	47.940				
5	16	84.757	-38.955	15	10	91.519	-43.071	26	3	102.534	-48.639				
6	14	-84.552	38.699	16	7	-90.928	42.912	27	0	-102.091	48.530				
7	11	85.218	-39.093	17	4	91.724	-43.407	27	21	102.917	-49.098				
8	8	-84.642	38.957	18	2	-91.248	42.866	28	18	-102.280	48.900				
9	5	85.120	-39.267	18	23	92.311	-43.490	29	16	103.610	-49.116				
10	3	-84.897	38.991	19	20	-91.738	43.338	30	13	-103.221	49.030				
11	0	85.602	-39.405	20	17	92.562	-43.851	31	10	104.072	-49.615				
11	21	-85.011	39.261	21	15	-92.042	43.274	Janv.	1	7	-103.493	49.441			
12	18	85.520	-39.587	22	12	93.139	-43.918	2	5	104.682	-49.583				

IO 2015

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	2	-104.341	49.518	Janv.	4	20	-104.700	49.973	Janv.	6	15	-105.452	49.993
	3	23	105.228	-50.124		5	18	105.737	-50.034		7	12	106.367	-50.618

EUROPE 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	2	4	190.388	-74.132	Mars	23	0	-187.296	63.828	Juin	10	23	150.018	-55.614	
	3	23	-190.729	74.126		24	19	189.330	-64.478		12	18	-146.850	54.699	
	5	17	191.919	-74.442		26	13	-185.535	63.022		14	12	148.526	-55.516	
	7	12	-192.160	74.377		28	8	187.701	-63.737		16	7	-145.644	54.701	
	9	7	193.498	-74.755		30	2	-183.662	62.224		18	2	147.236	-55.540	
	11	1	-193.405	74.518		Avril	31	21	185.932		-62.995	19	20	-144.399	54.693
	12	20	194.923	-74.944			2	16	-181.799		61.569	21	15	145.919	-55.513
	14	15	-194.586	74.621			4	10	184.094		-62.275	23	10	-143.234	54.751
	16	9	196.270	-75.067			6	5	-179.962		60.876	25	5	144.631	-55.529
	18	4	-195.689	74.635			7	23	182.142		-61.562	26	23	-142.185	54.819
19	22	197.391	-75.068	9	18		-178.055	60.201	28	18	143.489	-55.567			
21	17	-196.683	74.574	11	13		180.230	-60.999	30	12	-141.062	54.861			
23	11	198.412	-74.999	13	7		-176.069	59.542	Juill.	2	7	142.325	-55.599		
25	6	-197.462	74.402	15	2	178.345	-60.394	4		2	-140.165	55.006			
27	0	199.188	-74.810	16	21	-174.045	59.007	5		21	141.253	-55.677			
Févr.	28	19	-198.105	74.155	18	15	176.407	-59.811		7	15	-139.223	55.113		
	30	13	199.845	-74.553	20	10	-172.179	58.467	9	10	140.259	-55.769			
	1	8	-198.522	73.803	22	4	174.383	-59.238	11	5	-138.350	55.250			
	3	2	200.253	-74.185	23	23	-170.259	57.946	13	0	139.211	-55.837			
	4	21	-198.791	73.381	25	18	172.469	-58.830	14	18	-137.585	55.420			
	Mars	6	16	200.629	-73.834	Mai	27	12	-168.285	57.441	16	13	138.386	-55.987	
8		10	-198.828	72.864	29		7	170.578	-58.372	18	7	-136.792	55.578		
10		5	200.766	-73.349	1		2	-166.352	57.073	20	2	137.453	-56.090		
11		23	-198.714	72.288	2		20	168.637	-57.926	21	21	-136.152	55.778		
13		18	200.763	-72.811	4		15	-164.552	56.686	23	16	136.719	-56.251		
15		13	-198.423	71.702	6		10	166.694	-57.596	25	10	-135.536	55.997		
17		7	200.506	-72.185	8		4	-162.699	56.309	27	5	135.953	-56.409		
19		2	-198.042	71.042	9		23	164.908	-57.256	29	0	-134.933	56.186		
20		20	200.107	-71.519	11		18	-160.802	56.024	30	19	135.257	-56.557		
22		15	-197.435	70.317	13		12	163.071	-56.924	Août	1	13	-134.488	56.463	
24	9	199.458	-70.781	15	7	-159.137	55.756	3	8		134.657	-56.769			
26	4	-196.683	69.559	17	2	161.203	-56.680	5	2		-133.938	56.692			
27	22	198.674	-70.016	18	20	-157.433	55.495	6	21		134.033	-56.966			
Mars	1	17	-195.720	68.752	20	15	159.541	-56.448	8	16	-133.645	56.973			
	3	11	197.656	-69.197	22	9	-155.686	55.237	10	11	133.570	-57.170			
	5	6	-194.619	67.926	24	4	157.808	-56.207	12	5	-133.261	57.257			
	7	1	196.653	-68.488	25	23	-154.144	55.138	14	0	133.109	-57.419			
	8	19	-193.326	67.069	27	18	156.100	-56.059	15	19	-133.015	57.528			
	10	14	195.455	-67.678	29	12	-152.597	54.978	17	14	132.692	-57.610			
	12	9	-191.893	66.278	31	7	154.551	-55.908	19	8	-132.793	57.866			
	14	3	194.158	-66.872	Juin	2	2	-150.984	54.867	21	3	132.399	-57.914		
	15	22	-190.483	65.461		3	20	152.964	-55.757	22	22	-132.594	58.124		
	17	16	192.666	-66.040		5	15	-149.641	54.799	24	17	132.033	-58.091		
19	11	-188.956	64.645	7		10	151.425	-55.686	26	11	-132.533	58.516			
21	5	191.083	-65.221	9		4	-148.241	54.720	28	6	131.904	-58.448			

EUROPE 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Août	30	0	-132.452	58.895	Oct.	13	12	134.544	-63.493	Nov.	26	23	-150.114	72.628
	31	19	131.671	-58.754		15	7	-137.085	64.663		28	18	148.048	-71.518
Sept.	2	14	-132.485	59.208		17	1	135.077	-64.034		30	12	-151.455	73.471
	4	9	131.621	-59.021		18	20	-137.875	65.325	Déc.	2	7	149.520	-72.404
	6	3	-132.564	59.641		20	15	135.925	-64.477		4	2	-153.056	74.052
	7	22	131.564	-59.386		22	9	-138.586	65.941		5	20	150.965	-73.275
	9	17	-132.644	59.941		24	4	136.654	-65.091		7	15	-154.585	74.969
	11	12	131.558	-59.635		25	23	-139.587	66.441		9	10	152.613	-73.837
	13	6	-132.885	60.429		27	18	137.524	-65.503		11	4	-156.098	75.870
	15	1	131.677	-60.060		29	12	-140.482	67.127		12	23	154.261	-74.789
	16	19	-133.021	60.863		31	7	138.456	-66.194		14	18	-157.774	76.439
	18	14	131.761	-60.463	Nov.	2	2	-141.493	67.592		16	12	155.882	-75.726
	20	9	-133.420	61.260		3	20	139.350	-66.863		18	7	-159.462	77.408
	22	4	132.011	-60.776		5	15	-142.579	68.350		20	1	157.479	-76.648
	23	22	-133.722	61.751		7	10	140.464	-67.335		21	20	-161.080	78.347
	25	17	132.276	-61.242		9	4	-143.624	69.090		23	15	159.372	-77.260
	27	12	-134.163	62.130		10	23	141.569	-68.087		25	9	-162.697	79.276
	29	7	132.568	-61.535		12	18	-144.860	69.605		27	4	161.144	-78.250
Oct.	1	1	-134.632	62.680		14	12	142.644	-68.820		28	23	-164.550	79.862
	2	20	133.013	-62.064		16	7	-146.093	70.418		30	17	162.867	-79.213
	4	14	-135.074	63.214		18	2	143.982	-69.344	Janv.	1	12	-166.306	80.842
	6	9	133.386	-62.554		19	20	-147.289	71.205		3	6	164.571	-80.163
	8	4	-135.755	63.652		21	15	145.269	-70.162		5	1	-167.970	81.779
	9	23	133.973	-62.930		23	10	-148.725	71.766		6	20	166.527	-80.737
	11	17	-136.368	64.248		25	4	146.526	-70.961		8	14	-169.626	82.701

GANYMÈDE 2015

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	4	304.582	-116.543	Mai	8	5	-262.575	89.328	Sept.	10	21	211.378	-94.071		
	6	17	-307.306	117.132		11	19	259.465	-88.762		14	11	-211.767	94.762		
	10	7	309.357	-117.384		15	9	-256.799	88.393		18	1	211.939	-95.369		
	13	20	-311.630	117.677		18	23	253.781	-87.924		21	15	-212.459	96.085		
	17	10	313.374	-117.693		22	13	-251.342	87.690		25	6	212.910	-96.651		
	21	0	-315.129	117.649		26	3	248.361	-87.283		28	20	-213.563	97.382		
	24	14	316.408	-117.390		29	17	-246.155	87.173	Oct.	2	10	214.244	-98.149		
	28	3	-317.703	117.115	Juin	2	7	243.310	-86.848		6	0	-215.093	98.933		
	31	17	318.430	-116.579		5	21	-241.268	86.826		9	14	215.888	-99.724		
Févr.	4	6	-319.167	116.038		9	11	238.607	-86.589		13	4	-216.982	100.580		
		7	20	319.283		-115.239		13	1		-236.702	86.635		16	19	218.032
		11	9	-319.491		114.481		16	16	234.310	-86.515		20	9	-219.403	102.224
		14	23	318.898	-113.424		20	6	-232.490	86.599		23	23	220.508	-103.086	
		18	13	-318.638	112.498		23	20	230.367	-86.572		27	13	-222.120	104.106	
	22	3	317.392	-111.249		27	10	-228.717	86.718		31	3	223.403	-105.020		
Mars	25	16	-316.610	110.204	Juill.	1	0	226.742	-86.742	Nov.	3	17	-225.176	106.083		
	1	6	314.872	-108.860		4	14	-225.295	86.958		7	8	226.812	-106.905		
	4	19	-313.481	107.687		8	5	223.501	-87.026		10	22	-228.756	108.005		
	8	9	311.368	-106.319		11	19	-222.305	87.323		14	12	230.575	-109.104		
	11	23	-309.414	105.074		15	9	220.623	-87.429		18	2	-232.662	110.232		
	15	13	306.945	-103.715		18	23	-219.647	87.796		21	16	234.672	-111.396		
	19	2	-304.649	102.480		22	13	218.118	-87.942		25	6	-236.991	112.596		
	22	16	301.857	-101.155		26	4	-217.318	88.322		28	20	239.094	-113.782		
	26	6	-299.259	99.982	Août	29	18	216.084	-88.557	Déc.	2	10	-241.676	115.068		
	29	20	296.185	-98.716		2	8	-215.397	88.991		6	0	243.880	-116.277		
Avril	2	9	-293.504	97.645			5	22	214.383		-89.290		9	14	-246.714	117.651
	5	23	290.142	-96.431			9	12	-213.769		89.727		13	4	248.980	-118.859
	9	13	-287.433	95.520			13	3	213.069		-90.067		16	18	-252.010	120.294
	13	3	283.962	-94.411		16	17	-212.643	90.547		20	8	254.402	-121.535		
	16	17	-281.165	93.607		20	7	212.059	-90.965		23	22	-257.494	122.969		
	20	7	277.697	-92.630		23	21	-211.831	91.496		27	12	260.021	-124.244		
	23	21	-274.855	91.933		27	12	211.464	-91.893		31	2	-263.144	125.658		
	27	11	271.500	-91.109		31	2	-211.485	92.494	Janv.	3	16	265.765	-126.955		
Mai	1	1	-268.603	90.500	Sept.	3	16	211.197	-92.971		7	5	-268.695	128.603		
	4	15	265.392	-89.821		7	6	-211.423	93.629		10	20	271.457	-129.572		

CALLISTO 2015

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 15	540.096	-203.908	Mai 16 19	452.576	-154.236	Sept. 28 12	377.444	-169.737
11 21	-544.194	203.402	25 3	-436.617	151.222	Oct. 6 21	-378.603	171.774
20 5	557.197	-205.678	Juin 2 14	430.831	-151.956	15 9	384.717	-175.952
28 11	-556.938	202.588	10 22	-416.796	149.869	23 18	-388.001	178.536
Févr. 5 19	565.215	-202.302	19 9	412.267	-151.295	Nov. 1 5	395.877	-183.314
14 1	-559.184	196.786	27 18	-400.524	150.028	9 13	-401.308	186.670
22 9	562.284	-194.572	Juill. 6 5	397.363	-151.994	18 0	410.823	-191.888
Mars 2 15	-550.669	187.584	14 14	-387.693	151.331	26 8	-418.370	195.886
11 0	548.802	-184.347	23 2	386.135	-153.769	Déc. 4 19	429.571	-201.582
19 6	-533.231	177.171	31 11	-378.612	153.656	13 3	-438.786	206.030
27 15	527.834	-174.029	Août 8 22	378.404	-156.464	21 13	451.243	-212.271
Avril 4 22	-509.918	167.477	17 8	-373.141	156.859	29 20	-461.522	217.178
13 7	502.945	-165.215	25 19	374.437	-160.022	Janv. 7 6	474.513	-223.414
21 15	-484.489	159.784	Sept. 3 4	-371.204	160.943	15 13	-484.911	228.087
30 0	477.010	-158.559	11 16	374.125	-164.411			
Mai 8 9	-459.557	154.436	20 1	-373.045	165.857			

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 2015

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	1	23.458	-0.763	Janv.	22	6	-24.736	1.489	Févr.	12	11	25.081	-1.179
	1	12	-24.333	0.302		22	17	24.224	0.065		12	22	-25.499	1.049
	1	23	23.396	1.005		23	4	-24.783	-0.309		13	9	25.051	0.756
	2	11	-24.224	1.349		23	16	24.189	-1.075		13	21	-25.338	2.236
	2	22	23.564	-0.067		24	3	-24.881	0.814		14	8	25.233	-0.450
	3	9	-24.319	-0.354		24	14	24.197	0.784		14	19	-25.540	0.335
	3	21	23.462	-1.144		25	2	-24.714	1.935		15	7	25.129	-1.656
	4	8	-24.375	0.700		25	13	24.343	-0.361		15	18	-25.554	1.536
	4	19	23.555	0.635		26	0	-24.921	0.129		16	5	25.273	0.285
	5	7	-24.176	1.753		26	12	24.210	-1.508		16	16	-25.472	-0.386
5	18	23.632	-0.449	26	23	-24.923	1.261	17	4	25.350	-0.930			
6	5	-24.422	0.042	27	10	24.383	0.360	17	15	-25.662	0.823			
6	17	23.438	-1.532	27	21	-24.854	-0.563	18	3	25.139	-2.139			
7	4	-24.389	1.106	28	9	24.430	-0.796	18	14	-25.569	2.029			
7	15	23.687	0.254	28	20	-25.026	0.577	19	1	25.459	-0.197			
8	2	-24.363	-0.622	29	7	24.309	1.084	19	12	-25.661	0.099			
8	14	23.672	-0.839	29	19	-24.930	1.716	20	0	25.429	-1.418			
9	1	-24.496	0.448	30	6	24.537	-0.075	20	11	-25.745	1.317			
9	12	23.628	0.960	30	17	-25.022	-0.117	20	22	25.455	0.541			
10	0	-24.372	1.520	31	5	24.485	-1.238	21	10	-25.544	2.526			
10	11	23.792	-0.136	Févr.	31	16	-25.097	1.033	21	21	25.607	-0.687		
10	22	-24.499	-0.218		1	3	24.530	0.651	22	8	-25.811	0.594		
11	10	23.684	-1.237		1	15	-24.901	2.178	22	20	25.467	-1.911		
11	21	-24.541	0.863		2	2	24.659	-0.519	23	7	-25.787	1.817		
12	8	23.797	0.572		2	13	-25.157	0.338	23	18	25.672	0.051		
12	19	-24.395	-0.889	3	1	24.505	-1.688	24	5	-25.767	-0.138			
13	7	23.869	-0.535	3	12	-25.132	1.496	24	17	25.714	-1.184			
13	18	-24.605	0.196	3	23	24.719	0.207	25	4	-25.921	1.095			
14	6	23.667	-1.642	4	10	-25.110	-0.365	25	15	25.626	0.792			
14	17	-24.555	1.285	4	22	24.747	-0.972	26	3	-25.787	2.322			
15	4	23.939	0.174	5	9	-25.258	0.802	26	14	25.850	-0.448			
15	15	-24.563	-0.477	5	20	24.667	0.936	27	1	-25.945	0.362			
16	3	23.917	-0.942	6	8	-25.131	1.966	27	13	25.781	-1.687			
16	14	-24.680	0.619	6	19	24.875	-0.247	28	0	-25.990	1.603			
17	1	23.895	0.888	7	6	-25.276	0.098	28	11	25.873	0.294			
17	13	-24.536	1.715	7	18	24.800	-1.432	Mars	28	23	-25.743	2.831		
18	0	24.053	-0.234	8	5	-25.322	1.273		1	10	25.986	-0.954		
18	11	-24.700	-0.056	8	16	24.891	0.484		1	21	-26.083	0.871		
18	23	23.935	-1.357	9	4	-25.093	2.441		2	9	25.805	-2.195		
19	10	-24.724	1.050	9	15	24.996	-0.709		2	20	-26.015	2.116		
19	21	24.074	0.481	10	2	-25.406	0.569	3	7	26.080	-0.214			
20	8	-24.614	-0.738	10	14	24.817	-1.899	3	18	-26.064	0.129			
20	20	24.136	-0.650	11	1	-25.350	1.752	4	6	26.081	-1.467			
21	7	-24.807	0.375	11	12	25.080	0.022	4	17	-26.177	1.385			
21	18	23.982	1.199	11	23	-25.381	-0.144	5	4	26.062	0.530			

MIMAS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mars	5	16	-25.995	2.632	Mars	26	21	27.102	-2.476	Avril	17	1	-27.441	0.625
	6	3	26.245	-0.730		27	8	-26.861	2.327		17	13	28.173	-2.346
	6	14	-26.228	0.643		27	19	27.341	-0.443		18	0	-27.522	1.967
	7	2	26.131	-1.985		28	6	-26.857	0.245		18	11	28.237	-0.291
	7	13	-26.227	1.905		28	18	27.359	-1.742		18	23	-27.274	3.287
	8	0	26.297	0.013		29	5	-27.002	1.563		19	10	28.345	-1.610
	8	11	-26.166	-0.107		29	16	27.305	0.306		19	21	-27.566	1.177
	8	23	26.365	-1.252		30	4	-26.832	2.867		20	9	28.139	-2.911
	9	10	-26.348	1.164		30	15	27.505	-1.000		20	20	-27.514	2.513
	9	22	26.136	-2.507		31	2	-27.027	0.789		21	7	28.407	-0.867
10	9	-26.232	2.427	31	14	27.397	-2.297	21	18	-27.491	0.380			
10	20	26.488	-0.511	Avril	1	1	-27.047	2.108	22	6	28.383	-2.181		
11	7	-26.357	0.413		1	12	27.540	-0.254	22	17	-27.634	1.727		
11	19	26.441	-1.779		2	0	-26.750	3.405	23	4	28.358	-0.122		
12	6	-26.424	1.689		2	11	27.615	-1.560	23	16	-27.448	3.054		
12	17	26.500	0.234	2	22	-27.146	1.336	24	3	28.517	-1.442			
13	5	-26.189	2.951	3	10	27.381	-2.852	24	14	-27.635	0.932			
13	16	26.634	-1.042	3	21	-27.038	2.651	25	2	28.360	-2.747			
14	3	-26.503	0.939	4	8	27.722	-0.817	25	13	-27.645	2.273			
14	15	26.469	-2.310	4	19	-27.127	0.554	26	0	28.539	-0.700			
15	2	-26.452	2.218	5	7	27.671	-2.122	26	12	-27.324	3.587			
15	13	26.717	-0.298	5	18	-27.211	1.883	26	23	28.565	-2.014			
16	0	-26.469	0.180	6	5	27.719	-0.070	27	10	-27.722	1.481			
16	12	26.734	-1.577	6	17	-26.974	3.192	27	22	28.275	-3.306			
16	23	-26.603	1.471	7	4	27.850	-1.383	28	9	-27.596	2.813			
17	10	26.689	0.449	7	15	-27.267	1.103	28	20	28.659	-1.275			
17	22	-26.431	2.749	8	3	27.670	-2.682	29	7	-27.677	0.682			
18	9	26.888	-0.836	8	14	-27.222	2.429	29	19	28.551	-2.581			
18	20	-26.640	0.712	9	1	27.917	-0.638	30	6	-27.750	2.026			
19	8	26.785	-2.116	9	12	-27.205	0.315	30	17	28.642	-0.532			
19	19	-26.654	2.005	10	0	27.921	-1.949	Mai	1	5	-27.488	3.346		
20	6	26.930	-0.091	10	11	-27.353	1.653		1	16	28.717	-1.847		
20	18	-26.361	3.280	10	22	27.875	0.109		2	3	-27.782	1.230		
21	5	27.010	-1.380	11	10	-27.178	2.973		2	15	28.475	-3.140		
21	16	-26.763	1.247	11	21	28.060	-1.208		3	2	-27.718	2.565		
22	4	26.785	-2.657	12	8	-27.366	0.866	3	13	28.771	-1.108			
22	15	-26.655	2.541	12	20	27.934	-2.514	4	0	-27.692	0.428			
23	2	27.124	-0.637	13	7	-27.384	2.201	4	12	28.712	-2.413			
23	13	-26.758	0.480	13	18	28.089	-0.463	4	23	-27.827	1.774			
24	1	27.082	-1.928	14	6	-27.077	3.512	5	10	28.714	-0.366			
24	12	-26.838	1.786	14	17	28.146	-1.778	5	22	-27.627	3.096			
24	23	27.127	0.110	15	4	-27.472	1.417	6	9	28.838	-1.679			
25	11	-26.606	3.076	15	16	27.889	-3.075	6	20	-27.814	0.974			
25	22	27.267	-1.188	16	3	-27.358	2.747	7	8	28.643	-2.972			
26	9	-26.905	1.020	16	14	28.247	-1.036	7	19	-27.812	2.310			

MIMAS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	8	6	28.852	-0.940	Mai	29	11	-27.898	1.741	Juin	19	16	28.581	-2.423
	8	18	-27.476	3.618		29	22	28.940	-0.792		20	3	-27.593	1.037
	9	5	28.840	-2.244		30	10	-27.678	3.026		20	14	28.466	-0.488
	9	16	-27.877	1.515		30	21	28.985	-2.061		21	2	-27.515	2.273
	10	3	28.755	-0.199	31	8	-27.852	0.947	21		13	28.586	-1.704	
	10	15	-27.738	2.839	Juin	31	20	28.713	-3.304		22	0	-27.428	0.261
	11	2	28.926	-1.509		1	7	-27.833	2.243		22	12	28.394	-2.895
	11	13	-27.818	0.713		1	18	28.977	-1.331		22	23	-27.550	1.501
	12	1	28.779	-2.800		2	6	-27.478	3.507		23	10	28.476	-0.981
	12	12	-27.880	2.049		2	17	28.888	-2.586		23	22	-27.343	2.717
12	23	28.900	-0.770	3		4	-27.864	1.453	24	9	28.468	-2.181		
13	11	-27.604	3.358	3	15	28.857	-0.600	24	20	-27.459	0.728			
13	22	28.936	-2.071	4	3	-27.710	2.732	25	8	28.152	-3.351			
14	9	-27.898	1.251	4	14	28.951	-1.861	25	19	-27.453	1.952			
14	21	28.654	-3.345	5	1	-27.770	0.660	26	6	28.429	-1.461			
15	8	-27.822	2.574	5	13	28.729	-3.097	26	18	-27.120	3.146			
15	19	28.981	-1.336	6	0	-27.818	1.948	27	5	28.295	-2.643			
16	6	-27.792	0.448	6	11	28.901	-1.132	27	16	-27.438	1.183			
16	18	28.882	-2.623	6	23	-27.530	3.207	28	3	28.275	-0.740			
17	5	-27.917	1.781	7	10	28.862	-2.378	28	15	-27.305	2.390			
17	16	28.915	-0.598	7	21	-27.800	1.160	29	2	28.326	-1.928			
18	4	-27.704	3.090	8	8	28.738	-0.402	29	13	-27.297	0.416			
18	15	28.998	-1.893	8	20	-27.714	2.431	30	1	28.068	-3.091			
19	2	-27.889	0.982	9	7	28.882	-1.653	30	12	-27.363	1.627			
19	14	28.763	-3.165	9	18	-27.657	0.370	30	23	28.242	-1.210			
20	1	-27.877	2.303	10	6	28.712	-2.881	Juill.	1	11	-27.105	2.813		
20	12	29.003	-1.159	10	17	-27.773	1.648		1	22	28.168	-2.382		
21	0	-27.527	3.593	11	4	28.790	-0.925		2	9	-27.297	0.864		
21	11	28.950	-2.442	11	16	-27.554	2.901		2	20	28.044	-0.490		
21	22	-27.925	1.508	12	3	28.802	-2.162		3	8	-27.238	2.058		
22	9	28.895	-0.423	12	14	-27.706	0.863	3	19	28.153	-1.668			
22	21	-27.776	2.814	13	2	28.501	-3.370	4	6	-27.106	0.102			
23	8	29.026	-1.712	13	13	-27.689	2.126	4	18	27.958	-2.821			
23	19	-27.850	0.709	14	0	28.780	-1.437	5	5	-27.245	1.300			
24	7	28.839	-2.979	14	12	-27.338	3.357	5	16	28.024	-0.950			
24	18	-27.902	2.025	14	23	28.662	-2.657	6	4	-27.064	2.476			
25	5	28.989	-0.978	15	10	-27.698	1.345	6	15	28.012	-2.112			
25	17	-27.617	3.313	15	21	28.645	-0.710	7	2	-27.128	0.542			
26	4	28.985	-2.255	16	9	-27.549	2.590	7	14	27.696	-3.245			
26	15	-27.904	1.230	16	20	28.710	-1.937	8	1	-27.145	1.725			
27	3	28.663	-3.504	17	7	-27.582	0.563	8	12	27.952	-1.398			
27	14	-27.820	2.531	17	19	28.463	-3.137	9	0	-26.842	2.881			
28	1	29.019	-1.525	18	6	-27.634	1.815	9	11	27.819	-2.542			
28	12	-27.781	0.432	18	17	28.645	-1.213	9	22	-27.100	0.971			
29	0	28.880	-2.786	19	5	-27.354	3.040	10	9	27.778	-0.682			

MIMAS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	10	21	-26.995	2.137	Août	1	2	26.603	-2.787	Août	22	7	-25.539	1.814
	11	8	27.828	-1.832		1	13	-26.377	1.138		22	18	25.667	-1.738
	11	19	-26.932	0.220		2	0	26.752	-1.015		23	5	-25.558	0.086
	12	7	27.578	-2.958		2	12	-26.172	2.220		23	17	25.344	-2.749
	12	18	-27.024	1.389		2	23	26.674	-2.091		24	4	-25.587	1.120
	13	5	27.723	-1.119		3	10	-26.265	0.417		24	15	25.601	-1.043
	13	17	-26.800	2.536		3	21	26.524	-0.309		25	3	-25.335	2.138
	14	4	27.655	-2.253		4	9	-26.252	1.504		25	14	25.460	-2.064
	14	15	-26.928	0.641		4	20	26.629	-1.390		26	1	-25.516	0.426
	15	2	27.502	-0.405		5	8	-25.941	2.570		26	12	25.417	-0.344
	15	14	-26.901	1.795		5	19	26.444	-2.452		27	0	-25.447	1.450
	16	1	27.618	-1.544		6	6	-26.209	0.787		27	11	25.458	-1.372
	16	13	-26.560	2.921		6	17	26.467	-0.686		27	22	-25.328	-0.266
	17	0	27.435	-2.661		7	5	-26.088	1.861		28	10	25.221	-2.382
	17	11	-26.877	1.052		7	16	26.465	-1.755		28	21	-25.441	0.759
	17	22	27.466	-0.832		8	3	-26.046	0.073		29	8	25.339	-0.675
	18	10	-26.732	2.188		8	15	26.176	-2.801		29	20	-25.276	1.773
	18	21	27.466	-1.956		9	2	-26.114	1.149		30	7	25.284	-1.694
	19	8	-26.729	0.310		9	13	26.370	-1.054		30	18	-25.317	0.069
	19	20	27.169	-3.054		10	1	-25.888	2.208		31	5	25.102	0.022
	20	7	-26.780	1.451		10	12	26.264	-2.109	Sept.	31	17	-25.333	1.086
	20	18	27.382	-1.247		10	23	-26.018	0.438		1	4	25.229	-1.000
	21	6	-26.520	2.569		11	10	26.158	-0.351		1	16	-25.074	2.088
	21	17	27.268	-2.356		11	22	-25.980	1.502		2	3	25.079	-2.009
	22	4	-26.703	0.714		12	9	26.235	-1.412		2	14	-25.272	0.400
	22	15	27.183	-0.537		12	20	-25.802	-0.271		3	1	25.056	-0.303
	23	3	-26.639	1.839		13	8	26.026	-2.453		3	13	-25.194	1.408
	23	14	27.252	-1.650		13	19	-25.951	0.794		4	0	25.088	-1.319
	24	1	-26.505	-0.021		14	6	26.090	-0.710		4	11	-25.095	-0.285
	24	13	27.025	-2.742		14	18	-25.811	1.845		4	23	24.845	-2.318
	25	0	-26.633	1.107		15	5	26.064	-1.760		5	10	-25.196	0.724
	25	11	27.121	-0.942		15	16	-25.803	0.088		5	21	24.979	-0.624
	25	23	-26.456	2.215		16	4	25.754	-2.786		6	9	-25.026	1.723
	26	10	27.077	-2.042		16	15	-25.848	1.142		6	20	24.918	-1.632
	26	21	-26.505	0.375		17	2	25.984	-1.061		7	7	-25.082	0.041
	27	9	26.741	-3.114		17	14	-25.607	2.179		7	18	24.751	0.073
	27	20	-26.520	1.489		18	1	25.857	-2.099		8	6	-25.090	1.044
	28	7	27.014	-1.336		18	12	-25.766	0.439		8	17	24.872	-0.939
	28	19	-26.232	2.580		18	23	25.787	-0.361		9	5	-24.828	2.033
	29	6	26.860	-2.420		19	11	-25.710	1.482		9	16	24.719	-1.938
	29	17	-26.462	0.762		19	22	25.843	-1.404		10	3	-25.038	0.364
	30	4	26.834	-0.629		20	9	-25.565	-0.261		10	14	24.708	-0.243
	30	16	-26.366	1.860		20	21	25.616	-2.428		11	2	-24.955	1.359
	31	3	26.864	-1.719		21	8	-25.693	0.783		11	13	24.737	-1.249
	31	14	-26.282	0.037		21	19	25.711	-0.706		12	0	-24.871	-0.315

MIMAS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Sept.	12	12	24.494	-2.239	Oct.	3	17	-24.338	1.201	Oct.	24	22	23.162	-1.356
	12	23	-24.964	0.682		4	4	23.832	-0.970		25	9	-23.977	0.106
	13	10	24.635	-0.554		4	15	-24.277	-0.440		25	20	23.110	0.348
	13	22	-24.790	1.669		5	3	23.612	-1.953		26	8	-23.909	1.085
	14	9	24.574	-1.554		5	14	-24.364	0.537		26	19	23.197	-0.656
	14	20	-24.858	0.005		6	1	23.745	-0.274		27	6	-23.848	-0.558
	15	7	24.415	0.142		6	13	-24.197	1.508		27	18	23.024	-1.655
	15	19	-24.861	0.996		7	0	23.704	-1.265		28	5	-23.945	0.424
	16	6	24.535	-0.861		7	11	-24.278	-0.129		28	16	23.112	0.049
	16	18	-24.599	1.975		7	22	23.537	0.425		29	4	-23.797	1.402
	17	5	24.384	-1.854		8	10	-24.281	0.846		29	15	23.118	-0.958
	17	16	-24.817	0.321		8	21	23.678	-0.570		30	2	-23.873	-0.240
	18	3	24.378	-0.166		9	9	-24.031	1.813		30	14	22.864	-1.956
	18	15	-24.730	1.306		9	20	23.554	-1.559		31	1	-23.890	0.744
	19	2	24.408	-1.165		10	7	-24.253	0.182		31	12	23.093	-0.253
19	13	-24.658	-0.353	10	18	23.532	0.130	Nov.	1	0	-23.662	1.721		
20	1	24.169	-2.150	11	6	-24.173	1.155		1	11	23.018	-1.261		
20	12	-24.746	0.635	11	17	23.588	-0.866		1	22	-23.874	0.081		
20	23	24.313	-0.470	12	4	-24.113	-0.483		2	9	22.948	0.455		
21	11	-24.573	1.613	12	16	23.382	-1.851		2	21	-23.812	1.066		
21	22	24.255	-1.464	13	3	-24.202	0.493	3	8	23.051	-0.558			
22	9	-24.648	-0.038	13	14	23.503	-0.167	3	19	-23.749	-0.584			
22	20	24.099	0.226	14	2	-24.041	1.463	4	7	22.896	-1.566			
23	8	-24.649	0.945	14	13	23.476	-1.161	4	18	-23.852	0.404			
23	19	24.222	-0.772	15	0	-24.121	-0.172	5	5	22.966	0.151			
24	7	-24.389	1.917	15	11	23.297	0.534	5	17	-23.710	1.390			
24	18	24.077	-1.761	15	23	-24.128	0.803	6	4	22.989	-0.864			
25	5	-24.611	0.275	16	10	23.451	-0.463	6	15	-23.784	-0.260			
25	16	24.070	-0.076	16	22	-23.885	1.771	7	3	22.754	-1.873			
26	4	-24.525	1.253	17	9	23.342	-1.456	7	14	-23.807	0.731			
26	15	24.106	-1.071	17	20	-24.104	0.140	8	1	22.963	-0.156			
27	2	-24.459	-0.395	18	7	23.306	0.239	8	13	-23.586	1.718			
27	14	23.875	-2.053	18	19	-24.029	1.115	9	0	22.906	-1.174			
28	1	-24.546	0.586	19	6	23.376	-0.760	9	11	-23.795	0.067			
28	12	24.016	-0.376	19	17	-23.970	-0.524	9	22	22.818	0.557			
29	0	-24.374	1.559	20	5	23.186	-1.751	10	10	-23.738	1.061			
29	11	23.965	-1.367	20	16	-24.062	0.454	10	21	22.940	-0.466			
29	22	-24.454	-0.083	21	3	23.291	-0.058	11	8	-23.675	-0.599			
30	9	23.806	0.322	21	15	-23.907	1.427	11	20	22.803	-1.486			
30	21	-24.455	0.894	22	2	23.280	-1.057	12	7	-23.782	0.399			
Oct.	1	8	23.936	-0.674	22	13	-23.986	-0.210	12	18	22.854	0.247		
	1	20	-24.199	1.862	23	1	23.008	-2.047	13	6	-23.647	1.394		
	2	7	23.800	-1.661	23	12	-23.997	0.769	13	17	22.896	-0.780		
	2	18	-24.422	0.227	23	23	23.255	-0.357	14	4	-23.718	-0.268		
	3	5	23.788	0.024	24	11	-23.762	1.740	14	16	22.679	-1.801		

MIMAS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	15	3	-23.747	0.733	Déc.	2	2	-23.706	0.116	Déc.	19	1	-23.688	-0.445
	15	14	22.869	-0.066		2	13	22.642	0.802		19	13	22.856	-1.305
	16	2	-23.534	1.730		3	1	-23.665	1.148		20	0	-23.813	0.628
	16	13	22.831	-1.097		3	12	22.816	-0.261		20	11	22.835	0.530
	17	0	-23.740	0.067		3	23	-23.603	-0.560		20	23	-23.692	1.698
	17	11	22.723	0.650		4	11	22.732	-1.324		21	10	22.955	-0.574
	17	23	-23.690	1.072		4	22	-23.724	0.477		21	21	-23.782	-0.058
	18	10	22.863	-0.384		5	9	22.731	0.466		22	9	22.814	-1.676
	18	21	-23.625	-0.602		5	21	-23.604	1.514		22	20	-23.824	1.021
	19	9	22.745	-1.417		6	8	22.824	-0.603		23	7	22.937	0.162
19	20	-23.738	0.407	6	19	-23.678	-0.199	23	19	-23.621	2.094			
20	7	22.777	0.333	7	7	22.659	-1.670	24	6	22.973	-0.948			
20	19	-23.609	1.415	7	18	-23.719	0.845	24	17	-23.850	0.335			
21	6	22.837	-0.706	8	5	22.799	0.124	25	5	22.748	-2.053			
21	17	-23.679	-0.262	8	17	-23.518	1.883	25	16	-23.810	1.420			
22	5	22.638	-1.741	9	4	22.811	-0.951	26	3	23.017	-0.212			
22	16	-23.713	0.752	9	15	-23.729	0.169	26	14	-23.771	-0.356			
23	3	22.810	0.011	10	2	22.657	0.855	27	2	22.969	-1.328			
23	15	-23.505	1.761	10	14	-23.690	1.217	27	13	-23.894	0.736			
24	2	22.789	-1.033	11	1	22.847	-0.224	28	0	22.943	0.529			
24	13	-23.710	0.083	11	12	-23.632	-0.512	28	12	-23.770	1.825			
25	0	22.664	0.733	12	0	22.777	-1.304	28	23	23.073	-0.593			
25	12	-23.665	1.101	12	11	-23.756	0.542	29	10	-23.872	0.044			
25	23	22.822	-0.315	12	22	22.764	0.508	29	22	22.940	-1.714			
26	10	-23.601	-0.589	13	10	-23.636	1.595	30	9	-23.912	1.143			
26	22	22.721	-1.363	13	21	22.872	-0.579	30	20	23.061	0.148			
27	9	-23.719	0.433	14	8	-23.716	-0.139	31	8	-23.704	2.234			
27	20	22.736	0.407	14	20	22.720	-1.662	31	19	23.106	-0.982			
28	8	-23.594	1.454	15	7	-23.759	0.922	Janv.	1	6	-23.949	0.452		
28	19	22.813	-0.647	15	18	22.850	0.154		1	18	22.887	-2.104		
29	6	-23.665	-0.239	16	6	-23.558	1.977	2	5	-23.904	1.556			
29	18	22.632	-1.697	16	17	22.875	-0.939	2	16	23.156	-0.241			
30	5	-23.704	0.788	17	4	-23.776	0.241	3	3	-23.880	-0.246			
30	16	22.787	0.076	17	16	22.641	-2.025	3	15	23.114	-1.376			
Déc.	1	4	-23.500	1.812	18	3	-23.738	1.307	4	2	-23.999	0.867		
	1	15	22.783	-0.983	18	14	22.913	-0.207	4	13	23.090	0.505		

ENCELADE 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	11	-30.708	2.060	Févr.	1	7	31.728	-1.902	Mars	4	3	-33.591	2.309
	2	3	30.572	-0.872		1	23	-32.054	0.906		4	19	33.461	-0.933
	2	20	-30.695	2.320		2	16	31.750	-2.190		5	12	-33.610	2.627
	3	12	30.614	-1.135		3	8	-32.129	1.195		6	4	33.549	-1.252
	4	4	-30.821	0.157		4	1	31.758	-2.480		6	21	-33.612	2.942
	4	21	30.645	-1.400		4	17	-32.191	1.482		7	13	33.620	-1.574
	5	13	-30.903	0.418		5	9	31.897	-0.185		8	5	-33.842	0.557
	6	6	30.663	-1.664		6	2	-32.240	1.774		8	22	33.675	-1.895
	6	22	-30.973	0.682		6	18	32.007	-0.476		9	14	-33.954	0.878
	7	15	30.671	-1.930		7	11	-32.275	2.067		10	7	33.711	-2.219
8	7	-31.032	0.948	8	3	32.104	-0.769	10	23	-34.049	1.202			
9	0	30.668	-2.197	8	20	-32.296	2.361	11	16	33.732	-2.540			
9	16	-31.080	1.215	9	12	32.190	-1.062	12	8	-34.125	1.527			
10	9	30.655	-2.465	10	5	-32.302	2.655	13	1	33.734	-2.865			
11	1	-31.115	1.482	10	21	32.260	-1.359	13	17	-34.186	1.853			
11	17	30.844	-0.259	11	13	-32.470	0.357	14	9	33.958	-0.439			
12	10	-31.140	1.751	12	6	32.316	-1.657	15	2	-34.229	2.180			
13	2	30.927	-0.528	12	22	-32.580	0.654	15	18	34.073	-0.767			
13	19	-31.153	2.021	13	15	32.358	-1.956	16	11	-34.256	2.507			
14	11	30.997	-0.800	14	7	-32.678	0.952	17	3	34.168	-1.096			
15	4	-31.156	2.292	15	0	32.384	-2.255	17	20	-34.263	2.836			
15	20	31.056	-1.070	15	16	-32.760	1.253	18	12	34.247	-1.427			
16	13	-31.146	2.565	16	9	32.396	-2.557	19	4	-34.428	0.409			
17	5	31.103	-1.344	17	1	-32.828	1.555	19	21	34.307	-1.759			
17	21	-31.338	0.358	17	17	32.541	-0.215	20	13	-34.548	0.741			
18	14	31.139	-1.619	18	10	-32.881	1.858	21	6	34.351	-2.092			
19	6	-31.425	0.632	19	2	32.660	-0.519	21	22	-34.647	1.073			
19	23	31.162	-1.896	19	19	-32.920	2.160	22	15	34.375	-2.426			
20	15	-31.501	0.905	20	11	32.763	-0.825	23	7	-34.730	1.407			
21	8	31.172	-2.173	21	4	-32.944	2.466	24	0	34.380	-2.760			
22	0	-31.565	1.183	21	20	32.852	-1.132	24	16	-34.795	1.743			
22	17	31.171	-2.452	22	13	-32.952	2.773	25	8	34.544	-0.297			
23	9	-31.616	1.462	23	5	32.925	-1.441	26	1	-34.841	2.080			
24	1	31.326	-0.201	23	21	-33.140	0.430	26	17	34.663	-0.632			
24	18	-31.654	1.742	24	14	32.985	-1.748	27	10	-34.866	2.418			
25	10	31.426	-0.480	25	6	-33.252	0.739	28	2	34.764	-0.971			
26	3	-31.679	2.022	25	23	33.028	-2.060	28	19	-34.873	2.755			
26	19	31.512	-0.762	26	15	-33.351	1.050	29	11	34.845	-1.311			
27	12	-31.693	2.304	27	8	33.055	-2.372	30	4	-34.860	3.093			
28	4	31.586	-1.045	28	0	-33.434	1.363	30	20	34.907	-1.653			
28	21	-31.694	2.587	28	17	33.066	-2.686	31	12	-35.109	0.632			
29	13	31.647	-1.330	Mars	1	9	-33.504	1.676	Avril	1	5	34.948	-1.994	
30	5	-31.866	0.334		2	1	33.237	-0.299		1	21	-35.211	0.975	
30	22	31.693	-1.614		2	18	-33.556	1.993		2	14	34.971	-2.337	
31	14	-31.966	0.620		3	10	33.357	-0.615		3	6	-35.294	1.318	

ENCELADE 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	3	23	34.972	-2.679	Mai	4	18	-36.417	0.801	Juin	4	14	36.446	-1.255
	4	15	-35.356	1.663		5	11	36.242	-2.165		5	6	-36.439	0.270
	5	7	35.093	-0.183		6	3	-36.465	1.156		5	23	36.407	-1.601
	6	0	-35.396	2.005		6	20	36.208	-2.520		6	15	-36.460	0.618
	6	16	35.211	-0.530		7	12	-36.492	1.513		7	8	36.346	-1.945
	7	9	-35.418	2.350		8	5	36.151	-2.872		8	0	-36.458	0.964
	8	1	35.310	-0.876		8	21	-36.497	1.868		8	17	36.263	-2.286
	8	18	-35.420	2.695		9	13	36.330	-0.334		9	9	-36.436	1.307
	9	10	35.388	-1.224		10	6	-36.480	2.222		10	2	36.156	-2.624
	10	3	-35.401	3.040		10	22	36.392	-0.690		10	18	-36.390	1.650
	10	19	35.445	-1.570		11	15	-36.439	2.575		11	10	36.254	-0.119
	11	11	-35.613	0.552		12	7	36.433	-1.047		12	3	-36.322	1.989
	12	4	35.482	-1.919		13	0	-36.375	2.926		12	19	36.267	-0.464
	12	20	-35.710	0.901		13	16	36.451	-1.403		13	12	-36.232	2.327
	13	13	35.498	-2.268		14	8	-36.522	0.399		14	4	36.260	-0.805
	14	5	-35.786	1.252		15	1	36.447	-1.759		14	21	-36.120	2.659
14	22	35.492	-2.617	15	17	-36.577	0.753	15	13	36.230	-1.146			
15	14	-35.842	1.600	16	10	36.418	-2.113	16	5	-36.180	0.169			
16	7	35.464	-2.966	17	2	-36.611	1.109	16	22	36.178	-1.484			
16	23	-35.877	1.951	17	19	36.367	-2.464	17	14	-36.187	0.509			
17	15	35.687	-0.450	18	11	-36.620	1.464	18	7	36.105	-1.819			
18	8	-35.889	2.302	19	4	36.292	-2.814	18	23	-36.173	0.847			
19	0	35.779	-0.803	19	20	-36.607	1.818	19	16	36.011	-2.149			
19	17	-35.879	2.653	20	12	36.452	-0.277	20	8	-36.136	1.184			
20	9	35.851	-1.155	21	5	-36.569	2.169	21	1	35.896	-2.479			
21	2	-35.846	3.002	21	21	36.498	-0.633	21	17	-36.079	1.518			
21	18	35.899	-1.509	22	14	-36.510	2.519	22	9	35.946	0.000			
22	10	-36.032	0.490	23	6	36.522	-0.987	23	2	-36.000	1.849			
23	3	35.925	-1.862	23	23	-36.427	2.867	23	18	35.948	-0.336			
23	19	-36.119	0.845	24	15	36.522	-1.341	24	11	-35.903	2.175			
24	12	35.929	-2.216	25	7	-36.556	0.343	25	3	35.927	-0.669			
25	4	-36.186	1.200	26	0	36.498	-1.691	25	20	-35.783	2.501			
25	21	35.910	-2.566	26	16	-36.594	0.697	26	12	35.888	-1.000			
26	13	-36.229	1.555	27	9	36.452	-2.041	27	4	-35.791	0.036			
27	6	35.869	-2.918	28	1	-36.609	1.049	27	21	35.827	-1.329			
27	22	-36.250	1.910	28	18	36.384	-2.388	28	13	-35.788	0.368			
28	14	36.068	-0.387	29	10	-36.600	1.400	29	6	35.748	-1.654			
29	7	-36.248	2.264	30	3	36.294	-2.734	29	22	-35.763	0.694			
29	23	36.148	-0.744	30	19	-36.569	1.746	30	15	35.647	-1.978			
30	16	-36.225	2.614	31	11	36.425	-0.211	Juill.	1	7	-35.720	1.021		
Mai	1	8	36.204	-1.101	Juin	1	4	-36.516	2.094	2	0	35.527	-2.298	
	2	1	-36.178	2.967		1	20	36.455	-0.561	2	16	-35.656	1.345	
	2	17	36.239	-1.457		2	13	-36.440	2.438	3	8	35.516	0.151	
	3	9	-36.344	0.443		3	5	36.461	-0.911	4	1	-35.574	1.667	
	4	2	36.250	-1.813		3	22	-36.342	2.780	4	17	35.511	-0.172	

ENCELADE 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	5	10	-35.471	1.987	Août	5	6	33.887	-1.817	Sept.	5	2	-32.132	1.849
	6	2	35.486	-0.496		5	22	-33.874	0.899		5	18	32.248	-0.485
	6	19	-35.349	2.303		6	15	33.754	-2.104		6	11	-32.013	2.115
	7	11	35.442	-0.817		7	7	-33.793	1.191		7	3	32.193	-0.754
	8	4	-35.208	2.616		7	23	33.707	0.233		7	20	-31.881	2.375
	8	20	35.378	-1.137		8	16	-33.697	1.476		8	12	32.125	-1.022
	9	12	-35.282	0.186		9	8	33.680	-0.059		9	4	-31.917	0.115
	10	5	35.294	-1.453		10	1	-33.586	1.763		9	21	32.044	-1.287
	10	21	-35.255	0.505		10	17	33.638	-0.349		10	13	-31.884	0.382
	11	14	35.193	-1.767		11	10	-33.460	2.046		11	6	31.952	-1.551
	12	6	-35.210	0.822		12	2	33.582	-0.638		11	22	-31.840	0.649
	12	23	35.074	-2.078		12	19	-33.321	2.328		12	15	31.848	-1.811
	13	15	-35.146	1.137		13	11	33.511	-0.922		13	7	-31.782	0.914
	14	8	34.938	-2.384		14	3	-33.318	0.003		14	0	31.733	-2.072
	15	0	-35.061	1.447		14	20	33.426	-1.206		14	16	-31.714	1.178
	15	16	34.980	0.024		15	12	-33.283	0.290		15	9	31.607	-2.331
	16	9	-34.961	1.756		16	5	33.325	-1.488		16	1	-31.634	1.441
	17	1	34.954	-0.289		16	21	-33.233	0.575		16	17	31.672	-0.093
	17	18	-34.842	2.063		17	14	33.211	-1.768		17	10	-31.545	1.700
	18	10	34.911	-0.601		18	6	-33.171	0.857		18	2	31.640	-0.356
	19	3	-34.707	2.366		18	23	33.081	-2.044		18	19	-31.442	1.959
	19	19	34.848	-0.907		19	15	-33.093	1.138		19	11	31.598	-0.618
	20	11	-34.691	-0.030		20	8	32.940	-2.319		20	4	-31.329	2.217
	21	4	34.770	-1.214		21	0	-33.001	1.417		20	20	31.545	-0.879
	21	20	-34.667	0.279		21	16	32.993	-0.022		21	13	-31.204	2.473
	22	13	34.673	-1.518		22	9	-32.895	1.694		22	5	31.482	-1.139
	23	5	-34.624	0.586		23	1	32.955	-0.303		22	21	-31.279	0.235
	23	22	34.560	-1.820		23	18	-32.776	1.966		23	14	31.407	-1.397
	24	14	-34.565	0.888		24	10	32.902	-0.582		24	6	-31.250	0.496
	25	7	34.429	-2.118		25	3	-32.644	2.238		24	23	31.321	-1.655
	25	23	-34.488	1.190		25	19	32.836	-0.858		25	15	-31.210	0.755
	26	15	34.373	0.258		26	11	-32.615	-0.055		26	8	31.223	-1.910
	27	8	-34.395	1.489		27	4	32.756	-1.133		27	0	-31.160	1.014
	28	0	34.353	-0.045		27	20	-32.585	0.222		27	17	31.116	-2.163
	28	17	-34.286	1.787		28	13	32.664	-1.404		28	9	-31.097	1.272
	29	9	34.317	-0.345		29	5	-32.541	0.498		29	1	31.108	0.059
	30	2	-34.159	2.081		29	22	32.559	-1.675		29	18	-31.024	1.528
	30	18	34.263	-0.645		30	14	-32.484	0.772		30	10	31.094	-0.200
	31	11	-34.017	2.372		31	7	32.441	-1.945	Oct.	1	3	-30.941	1.784
Août	1	3	34.193	-0.942		31	23	-32.415	1.044		1	19	31.070	-0.457
	1	19	-34.021	0.014	Sept.	1	16	32.310	-2.212		2	12	-30.848	2.035
	2	12	34.107	-1.237		2	8	-32.334	1.314		3	4	31.033	-0.714
	3	4	-33.988	0.310		3	0	32.322	0.056		3	21	-30.745	2.288
	3	21	34.004	-1.527		3	17	-32.240	1.583		4	13	30.987	-0.969
	4	13	-33.939	0.606		4	9	32.291	-0.215		5	5	-30.742	0.064

ENCELADE 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	5 22	30.931	-1.224	Nov.	5 2	30.076	-1.837	Déc.	5 6	29.796	-2.463
	6 14	-30.731	0.321		5 18	-29.950	0.926		5 22	-29.740	1.533
	7 7	30.866	-1.476		6 11	30.017	-2.083		6 15	29.745	-2.714
	7 23	-30.708	0.575		7 3	-29.931	1.177		7 7	-29.732	1.790
	8 16	30.789	-1.729		7 20	29.947	-2.331		7 23	29.880	-0.498
	9 8	-30.676	0.830		8 12	-29.905	1.428		8 16	-29.715	2.046
	10 1	30.703	-1.980		9 5	29.867	-2.578		9 8	29.918	-0.755
	10 17	-30.634	1.084		9 21	-29.869	1.678		10 1	-29.688	2.303
	11 10	30.606	-2.231		10 13	29.992	-0.384		10 17	29.946	-1.013
	12 2	-30.583	1.337		11 6	-29.826	1.928		11 10	-29.653	2.557
	12 18	30.617	-0.022		11 22	30.000	-0.634		12 2	29.963	-1.270
	13 11	-30.520	1.590		12 15	-29.771	2.178		12 19	-29.607	2.814
	14 3	30.612	-0.276		13 7	30.001	-0.885		13 11	29.972	-1.529
	14 20	-30.448	1.841		14 0	-29.707	2.427		14 3	-29.736	0.575
	15 12	30.597	-0.529		14 16	29.991	-1.136		14 20	29.972	-1.787
16 5	-30.365	2.092	15 9	-29.633	2.675	15 12	-29.780	0.835			
16 21	30.572	-0.783	16 1	29.974	-1.388	16 5	29.963	-2.045			
17 14	-30.274	2.339	16 17	-29.749	0.462	16 21	-29.813	1.094			
18 6	30.535	-1.035	17 10	29.946	-1.639	17 14	29.943	-2.304			
18 22	-30.285	0.125	18 2	-29.766	0.715	18 6	-29.838	1.356			
19 15	30.490	-1.286	18 19	29.909	-1.889	18 23	29.914	-2.563			
20 7	-30.284	0.378	19 11	-29.773	0.967	19 15	-29.853	1.617			
21 0	30.435	-1.537	20 4	29.862	-2.139	20 8	29.875	-2.822			
21 16	-30.274	0.631	20 20	-29.770	1.221	21 0	-29.859	1.880			
22 9	30.372	-1.785	21 13	29.807	-2.387	21 16	30.026	-0.585			
23 1	-30.252	0.883	22 5	-29.757	1.473	22 9	-29.854	2.143			
23 18	30.298	-2.034	22 22	29.742	-2.637	23 1	30.077	-0.848			
24 10	-30.222	1.135	23 14	-29.735	1.726	23 18	-29.840	2.405			
25 3	30.214	-2.282	24 6	29.870	-0.434	24 10	30.118	-1.112			
25 19	-30.182	1.386	24 23	-29.704	1.978	25 3	-29.815	2.668			
26 11	30.236	-0.083	25 15	29.893	-0.688	25 19	30.149	-1.376			
27 4	-30.133	1.636	26 8	-29.666	2.229	26 12	-29.781	2.928			
27 20	30.241	-0.333	27 0	29.906	-0.940	27 4	30.169	-1.641			
28 13	-30.074	1.886	27 17	-29.616	2.482	27 20	-29.931	0.667			
29 5	30.237	-0.585	28 9	29.911	-1.194	28 13	30.181	-1.906			
29 22	-30.005	2.135	29 2	-29.557	2.733	29 5	-29.987	0.933			
30 14	30.224	-0.836	29 18	29.907	-1.448	29 22	30.182	-2.171			
31 7	-29.927	2.383	30 10	-29.676	0.511	30 14	-30.034	1.202			
31 23	30.202	-1.087	31 1	29.894	-1.701	31 7	30.175	-2.436			
Nov.	1 16	-29.839	2.628	Déc.	1 3	29.894	-1.701	31 23	-30.069	1.469	
	2 8	30.169	-1.338		1 19	-29.705	0.764				
	3 0	-29.955	0.422		2 12	29.871	-1.956	Janv.	1 16	30.156	-2.703
	3 17	30.127	-1.587		3 4	-29.726	1.020		2 8	-30.096	1.738
	4 9	-29.957	0.674		3 21	29.839	-2.209				
					4 13	-29.738	1.276				

TÉTHYS 2015

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	23	-37.968	2.030	Févr.	13	11	40.182	-2.844	Mars	27	22	-43.139	2.053	
	2	22	37.942	-2.744		14	9	-40.258	1.350		28	21	43.166	-2.902	
	3	20	-38.027	1.337		15	8	40.353	-2.136		29	20	-43.079	3.761	
	4	19	38.083	-2.057		16	7	-40.362	2.935		30	18	43.326	-2.177	
	5	18	-38.048	2.788		17	5	40.449	-1.416		31	17	-43.327	3.040	
	6	16	38.145	-1.363		18	4	-40.541	2.225		Avril	1	15	43.409	-1.445
	7	15	-38.195	2.100		19	3	40.543	-3.010			2	14	-43.498	2.315
	8	14	38.168	-2.824		20	1	-40.648	1.509			3	13	43.488	-3.172
	9	12	-38.266	1.404		21	0	40.731	-2.299			4	11	-43.592	1.584
	10	11	38.320	-2.135		21	23	-40.723	3.112			5	10	43.668	-2.448
	11	10	-38.289	2.872		22	21	40.847	-1.581		6	9	-43.634	3.316	
	12	8	38.395	-1.436		23	20	-40.921	2.398		7	7	43.769	-1.713	
	13	7	-38.448	2.182		24	19	40.908	-3.193		8	6	-43.826	2.592	
	14	6	38.415	-2.914		25	17	-41.045	1.680		9	5	43.772	-3.450	
	15	4	-38.532	1.484		26	16	41.117	-2.482		10	3	-43.942	1.861	
16	3	38.580	-2.222	27	15	-41.085	3.300	11	2	43.972	-2.727				
17	2	-38.549	2.969	28	13	41.251	-1.764	12	1	-43.901	3.602				
18	0	38.670	-1.519	Mars	1	12	-41.304	2.586	12	23	44.099	-1.993			
18	23	-38.723	2.276		2	11	41.273	-3.393	13	22	-44.111	2.879			
19	22	38.685	-3.013		3	9	-41.448	1.868	14	21	44.020	-3.737			
20	20	-38.822	1.576	4	8	41.501	-2.681	15	19	-44.247	2.149				
21	19	38.865	-2.319	5	7	-41.446	3.503	16	18	44.241	-3.013				
22	18	-38.829	3.077	6	5	41.653	-1.963	17	16	-44.307	1.416				
23	16	38.972	-1.614	7	4	-41.689	2.790	18	15	44.389	-2.282				
24	15	-39.015	2.382	8	3	41.628	-3.606	19	14	-44.350	3.171				
25	14	38.978	-3.124	9	1	-41.852	2.072	20	12	44.456	-1.549				
26	12	-39.129	1.679	10	0	41.877	-2.895	21	11	-44.507	2.442				
27	11	39.173	-2.428	10	23	-41.804	3.724	22	10	44.461	-3.310				
28	10	-39.126	3.198	11	21	42.049	-2.176	23	8	-44.585	1.707				
29	8	39.294	-1.724	12	20	-42.064	3.014	24	7	44.627	-2.582				
30	7	-39.328	2.498	13	18	42.146	-1.446	25	6	-44.542	3.465				
31	6	39.286	-3.252	14	17	-42.248	2.295	26	4	44.714	-1.850				
Févr.	1	4	-39.457	1.792	15	16	42.245	-3.120	27	3	-44.718	2.738			
	2	3	39.497	-2.554	16	14	-42.357	1.569	28	2	44.626	-3.612			
	3	2	-39.438	3.327	17	13	42.438	-2.401	29	0	-44.816	2.005			
	4	0	39.634	-1.849	18	12	-42.424	3.252	29	23	44.809	-2.884			
	4	23	-39.661	2.626	19	10	42.559	-1.673	30	21	-44.840	1.267			
	5	22	39.606	-3.393	20	9	-42.626	2.531	Mai	1	20	44.913	-2.150		
	6	20	-39.806	1.920	21	8	42.601	-3.363		2	19	-44.876	3.040		
	7	19	39.833	-2.693	22	6	-42.756	1.805		3	17	44.943	-1.413		
	8	18	-39.768	3.473	23	5	42.815	-2.643	4	16	-44.993	2.308			
	9	16	39.985	-1.986	24	4	-42.763	3.501	5	15	44.932	-3.186			
	10	15	-40.009	2.772	25	2	42.956	-1.917	6	13	-45.034	1.572			
	11	14	39.935	-3.544	26	1	-42.988	2.779	7	12	45.058	-2.450			
	12	12	-40.171	2.065	27	0	42.932	-3.621	8	11	-44.971	3.342			

TÉTHYS 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	9	9	45.107	-1.715	Juin	20	20	-44.663	1.333	Août	2	8	42.091	-2.648
	10	8	-45.107	2.612		21	19	44.624	-2.180		3	6	-42.137	1.158
	11	7	44.999	-3.482		22	18	-44.460	3.027		4	5	42.059	-1.930
	12	5	-45.167	1.878		23	16	44.558	-1.449		5	4	-41.875	2.712
	13	4	45.145	-2.750		24	15	-44.485	2.296		6	2	41.950	-1.210
	14	2	-45.145	1.139		25	14	44.316	-3.130		7	1	-41.849	1.992
	15	1	45.211	-2.016		26	12	-44.430	1.566		8	0	41.675	-2.755
	16	0	-45.157	2.910		27	11	44.346	-2.402		8	22	-41.745	1.275
	16	22	45.200	-1.279	28	9	-44.295	0.834	9		21	41.657	-2.039	
	17	21	-45.233	2.177	29	8	44.296	-1.673	10		19	-41.562	0.557	
	18	20	45.168	-3.047	Juill.	30	7	-44.192	2.512	11	18	41.559	-1.322	
	19	18	-45.230	1.437		1	5	44.168	-0.938	12	17	-41.443	2.091	
	20	17	45.252	-2.315		2	4	-44.151	1.784	13	15	41.381	-0.605	
	21	16	-45.143	3.201		3	3	44.030	-2.605	14	14	-41.355	1.374	
	22	14	45.258	-1.579		4	1	-44.032	1.054	15	13	41.248	-2.135	
	23	13	-45.237	2.469		5	0	43.997	-1.877	16	11	-41.186	0.658	
	24	12	45.123	-3.337		5	23	-43.854	2.711	17	10	41.164	-1.420	
25	10	-45.256	1.729	6		21	43.889	-1.145	18	9	-41.040	2.177		
26	9	45.223	-2.606	7	20	-43.828	1.982	19	7	40.999	-0.702			
27	7	-45.195	0.993	8	19	43.681	-2.791	20	6	-40.964	1.464			
28	6	45.247	-1.872	9	17	-43.726	1.254	21	5	40.842	-2.214			
29	5	-45.182	2.750	10	16	43.665	-2.065	22	3	-40.809	0.749			
30	3	45.192	-1.136	11	15	-43.483	2.888	23	2	40.772	-1.500			
31	2	-45.217	2.017	12	13	43.572	-1.339	24	1	-40.641	2.254			
Juin	1	1	45.132	-2.882	13	12	-43.476	2.158	24	23	40.622	-0.783		
1	23	-45.172	1.283	14	11	43.301	-2.963	25	22	-40.577	1.542			
2	22	45.173	-2.149	15	9	-43.391	1.433	26	21	40.446	-2.280			
3	21	-45.064	3.026	16	8	43.301	-2.239	27	19	-40.435	0.828			
4	19	45.135	-1.414	17	6	-43.225	0.708	28	18	40.389	-1.569			
5	18	-45.115	2.295	18	5	43.222	-1.514	29	17	-40.248	2.317			
6	17	44.984	-3.147	19	4	-43.102	2.321	30	15	40.255	-0.854			
7	15	-45.084	1.559	20	2	43.061	-0.788	31	14	-40.195	1.605			
8	14	45.042	-2.417	21	1	-43.032	1.597	Sept.	1	13	40.065	-2.336		
9	13	-44.881	3.286	22	0	42.911	-2.394		2	11	-40.066	0.893		
10	11	45.023	-1.682	22	22	-42.883	0.873		3	10	40.018	-1.626		
11	10	-44.948	2.556	23	21	42.847	-1.672	4	9	-39.867	2.369			
12	8	44.927	-0.947	24	20	-42.707	2.468	5	7	39.895	-0.915			
13	7	-44.936	1.820	25	18	42.704	-0.945	6	6	-39.828	1.656			
14	6	44.855	-2.671	26	17	-42.651	1.746	7	5	39.693	-2.384			
15	4	-44.847	1.087	27	16	42.506	-2.529	8	3	-39.710	0.946			
16	3	44.851	-1.938	28	14	-42.518	1.024	9	2	39.660	-1.676			
17	2	-44.729	2.801	29	13	42.458	-1.809	10	1	-39.503	2.408			
18	0	44.769	-1.205	30	12	-42.296	2.599	10	23	39.546	-0.967			
18	23	-44.736	2.065	31	10	42.332	-1.084	11	22	-39.477	1.698			
19	22	44.610	-2.911	Août	1	9	-42.256	1.879	12	21	39.336	-2.423		

DIONÉ 2015

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	1	48.702	-2.063	Mars	4	15	-53.178	1.633	Mai	5	5	57.729	-2.613
	3	10	-48.656	2.493		6	0	53.410	-1.794		6	14	-57.593	3.191
	4	19	48.791	-2.610		7	9	-53.433	2.319		7	23	57.737	-3.405
	6	3	-48.826	1.104		8	18	53.653	-2.487		9	7	-57.725	1.682
	7	12	48.986	-1.214		10	3	-53.645	3.013		10	16	57.910	-1.907
	8	21	-48.993	1.657		11	12	53.839	-3.185		12	1	-57.793	2.470
	10	6	49.148	-1.767		12	21	-53.802	3.716		13	10	57.941	-2.702
	11	15	-49.132	2.218		14	5	54.141	-1.715		14	19	-57.780	3.262
	13	0	49.288	-2.329		15	14	-54.171	2.247		16	4	57.893	-3.488
	14	9	-49.244	2.779		16	23	54.392	-2.424		17	12	-57.890	1.758
	15	18	49.395	-2.898		18	8	-54.377	2.963		18	21	58.045	-1.983
	17	2	-49.467	1.370		19	17	54.582	-3.146		20	6	-57.901	2.554
	18	11	49.653	-1.496		21	2	-54.531	3.685		21	15	58.028	-2.771
	19	20	-49.656	1.945		22	10	54.865	-1.667		23	0	-57.828	3.338
21	5	49.828	-2.070	23	19	-54.889	2.204	24	8	58.046	-1.270			
22	14	-49.812	2.528	25	4	55.102	-2.396	25	17	-57.916	1.830			
23	23	49.974	-2.654	26	13	-55.094	2.944	27	2	58.053	-2.057			
25	8	-49.940	3.117	27	22	55.282	-3.132	28	11	-57.875	2.614			
26	16	50.198	-1.235	29	7	-55.235	3.686	29	20	57.978	-2.836			
28	1	-50.227	1.696	30	15	55.553	-1.644	31	5	-57.749	3.391			
29	10	50.415	-1.831	Avril	1	0	-55.565	2.201	Juin	1	13	57.977	-1.334	
30	19	-50.422	2.297		2	9	55.785	-2.394		2	22	-57.809	1.889	
Févr.	1	4	50.598		-2.432	3	18	-55.750		2.954	4	7	57.933	-2.110
	2	13	-50.585		2.904	5	3	55.948		-3.149	5	16	-57.713	2.662
	3	22	50.752		-3.037	6	12	-55.872		3.709	7	1	57.806	-2.882
	5	6	-50.840		1.475	7	20	56.195		-1.657	8	9	-57.647	1.155
6	15	51.044	-1.607	9	5	-56.191	2.219	9	18	57.773	-1.385			
8	0	-51.068	2.093	10	14	56.401	-2.421	11	3	-57.584	1.921			
9	9	51.262	-2.229	11	23	-56.353	2.987	12	12	57.676	-2.148			
10	18	-51.261	2.714	13	8	56.538	-3.192	13	21	-57.442	2.683			
12	3	51.447	-2.859	14	17	-56.442	3.753	15	6	57.505	-2.898			
13	12	-51.420	3.349	16	1	56.771	-1.697	16	14	-57.344	1.184			
14	20	51.711	-1.417	17	10	-56.743	2.259	17	23	57.453	-1.404			
16	5	-51.747	1.907	18	19	56.943	-2.475	19	8	-57.232	1.937			
17	14	51.959	-2.055	20	4	-56.873	3.041	20	17	57.314	-2.151			
18	23	-51.968	2.552	21	13	57.041	-3.251	22	2	-57.050	2.678			
20	8	52.169	-2.705	22	21	-57.045	1.538	23	11	57.098	-2.885			
21	17	-52.151	3.207	24	6	57.255	-1.752	24	19	-56.928	1.184			
23	2	52.333	-3.364	25	15	-57.207	2.327	26	4	57.021	-1.398			
24	10	-52.459	1.751	27	0	57.390	-2.539	27	13	-56.779	1.917			
25	19	52.672	-1.913	28	9	-57.291	3.110	28	22	56.849	-2.126			
27	4	-52.703	2.418	29	18	57.446	-3.326	30	7	-56.557	2.637			
28	13	52.902	-2.581	Mai	1	2	-57.442	1.605	Juill.	1	16	56.603	-2.846	
1	22	-52.900	3.098		2	11	57.641	-1.827		3	0	-56.412	1.148	
3	7	53.089	-3.255		3	20	-57.559	2.399		4	9	56.498	-1.363	

DIONÉ 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	5	18	-56.238	1.862	Sept.	5	8	51.190	-1.352	Nov.	5	23	-47.540	1.706
	7	3	56.290	-2.070		6	17	-50.918	1.758		7	8	47.656	-1.842
	8	12	-55.996	2.568		8	2	50.955	-1.919		8	17	-47.463	2.217
	9	21	56.021	-2.767		9	11	-50.665	2.324		10	2	47.575	-2.357
	11	5	-55.823	1.084		10	20	50.692	-2.479		11	11	-47.368	2.733
	12	14	55.893	-1.291		12	4	-50.463	0.886		12	20	47.475	-2.872
	13	23	-55.623	1.777		13	13	50.534	-1.043		14	5	-47.252	3.247
	15	8	55.670	-1.981		14	22	-50.275	1.445		15	13	47.474	-1.435
	16	17	-55.364	2.461		16	7	50.339	-1.601		16	22	-47.309	1.811
	18	2	55.387	-2.657		17	16	-50.059	1.999		18	7	47.444	-1.953
	19	10	-55.166	0.987		19	1	50.112	-2.154		19	16	-47.267	2.328
	20	19	55.228	-1.182		20	10	-49.818	2.546		21	1	47.393	-2.470
	22	4	-54.956	1.664		21	19	49.856	-2.696		22	10	-47.206	2.842
	23	13	54.998	-1.851		23	3	-49.674	1.110		23	19	47.321	-2.986
	24	22	-54.686	2.327		24	12	49.745	-1.267		25	4	-47.126	3.360
	26	7	54.714	-2.512		25	21	-49.499	1.657		26	12	47.356	-1.547
	27	15	-54.457	0.850		27	6	49.564	-1.808		27	21	-47.218	1.924
	29	0	54.528	-1.050		28	15	-49.294	2.194		29	6	47.361	-2.063
30	9	-54.247	1.504	30	0	49.353	-2.345	30	15	-47.202	2.448			
31	18	54.291	-1.702	Oct.	1	9	-49.071	2.729	Déc.	2	0	47.344	-2.582	
Août	2	3	-53.984	2.151	2	17	49.195	-0.917	3	9	-47.172	2.967		
	3	12	54.006	-2.335	4	2	-48.976	1.297	4	18	47.309	-3.105		
	4	21	-53.672	2.786	5	11	49.049	-1.447	6	3	-47.125	3.488		
	6	5	53.790	-0.876	6	20	-48.819	1.834	7	11	47.378	-1.664		
	7	14	-53.521	1.328	8	5	48.885	-1.975	8	20	-47.252	2.044		
	8	23	53.564	-1.509	9	14	-48.637	2.363	10	5	47.412	-2.188		
	10	8	-53.265	1.950	10	23	48.702	-2.501	11	14	-47.273	2.573		
	11	17	53.291	-2.131	12	8	-48.428	2.886	12	23	47.431	-2.714		
	13	2	-52.967	2.566	13	16	48.589	-1.075	14	8	-47.272	3.103		
	14	11	52.978	-2.741	15	1	-48.372	1.452	15	17	47.428	-3.245		
	15	19	-52.784	1.113	16	10	48.471	-1.600	17	2	-47.252	3.634		
	17	4	52.831	-1.288	17	19	-48.243	1.976	18	10	47.534	-1.799		
	18	13	-52.541	1.725	19	4	48.327	-2.121	19	19	-47.424	2.181		
	19	22	52.580	-1.893	20	13	-48.089	2.499	21	4	47.598	-2.334		
	21	7	-52.263	2.325	21	22	48.164	-2.638	22	13	-47.479	2.721		
	22	16	52.289	-2.488	23	7	-47.912	3.016	23	22	47.642	-2.872		
	24	0	-52.045	0.870	24	15	48.092	-1.210	25	7	-47.510	3.266		
	25	9	52.105	-1.048	26	0	-47.897	1.583	26	16	47.671	-3.409		
26	18	-51.829	1.464	27	9	48.001	-1.730	28	1	-47.518	3.810			
28	3	51.875	-1.637	28	18	-47.791	2.102	29	9	47.823	-1.955			
29	12	-51.579	2.049	30	3	47.886	-2.247	30	18	-47.724	2.356			
30	21	51.612	-2.216	31	12	-47.666	2.620	Janv.	1	3	47.920	-2.505		
Sept.	1	6	-51.293	2.628	Nov.	1	21	47.753	-2.756	2	12	-47.806	2.906	
	2	14	51.391	-0.777		3	6	-47.521	3.136	3	21	47.992	-3.055	
	3	23	-51.134	1.185		4	14	47.717	-1.326	5	6	-47.867	3.461	

RHÉA 2015

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	21	-68.010	2.533	Avril	13	13	78.904	-2.824	Juill.	24	3	-76.682	2.616		
	4	3	68.069	-2.101		15	20	-79.180	4.411		26	9	76.294	-2.203		
	6	10	-68.296	3.329		18	2	79.285	-4.052		28	15	-76.143	1.847		
	8	16	68.384	-2.893		20	8	-79.614	3.759		30	22	75.704	-3.211		
	10	22	-68.691	2.504		22	14	79.679	-3.398		Août	2	4	-75.568	2.849	
	13	5	68.701	-3.706		24	20	-79.988	3.087			4	10	75.183	-2.431	
	15	11	-69.028	3.329		27	2	80.012	-2.749			6	16	-75.036	2.073	
	17	17	69.149	-2.889		29	9	-80.217	4.354			8	22	74.632	-1.653	
	19	23	-69.479	2.502		Mai	1	15	80.248			-4.002	11	5	-74.420	3.027
	22	6	69.508	-3.746			3	21	-80.530			3.709	13	11	74.062	-2.596
Févr.	24	12	-69.876	3.359	6	3	80.522	-3.362	15	17	-73.911	2.229				
	26	18	70.008	-2.929	8	9	-80.741	3.056	17	23	73.500	-1.804				
	29	0	-70.362	2.557	10	15	80.713	-2.710	20	6	-73.298	3.140				
	31	7	70.422	-3.822	12	22	-80.830	4.331	22	12	72.937	-2.702				
	Mars	2	13	-70.804	3.438	15	4	80.778	-3.982	24	18	-72.794	2.336			
		4	19	70.967	-3.028	17	10	-80.980	3.685	27	0	72.404	-1.892			
		7	1	-71.332	2.647	19	16	80.899	-3.330	29	7	-72.197	3.196			
		9	8	71.406	-3.950	21	22	-81.049	3.045	31	13	71.857	-2.769			
		11	14	-71.819	3.582	24	4	80.920	-2.684	Sept.	2	19	-71.721	2.375		
		13	20	71.993	-3.165	26	10	-81.040	2.381		5	1	71.346	-1.930		
16		2	-72.370	2.806	28	17	80.830	-3.949	7	8	-71.157	3.218				
18		9	72.460	-4.138	30	23	-80.940	3.642	9	14	70.834	-2.770				
20		15	-72.892	3.772	Juin	2	5	80.773	-3.283	11	20	-70.700	2.379			
22		21	73.066	-3.381		4	11	-80.859	2.985	14	2	70.358	-1.923			
25	3	-73.472	3.015	6		17	80.655	-2.626	16	9	-70.190	3.186				
27	10	73.548	-4.386	8		23	-80.672	2.320	18	15	69.867	-2.740				
Avril	1	16	-73.994	4.042	11	6	80.395	-3.846	20	21	-69.771	2.333				
	3	22	74.181	-3.650	13	12	-80.427	3.538	23	3	69.438	-1.873				
	6	4	-74.591	3.290	15	18	80.180	-3.172	25	10	-69.300	3.127				
	8	10	74.772	-2.905	18	0	-80.186	2.860	27	16	69.004	-2.668				
	10	17	-75.099	4.366	20	6	79.913	-2.483	Oct.	29	22	-68.920	2.250			
	12	23	75.289	-3.984	22	12	-79.871	2.184		2	5	68.557	-3.442			
	15	5	-75.719	3.643	24	19	79.506	-3.661		4	11	-68.508	3.024			
	17	11	75.894	-3.257	27	1	-79.477	3.333		6	17	68.232	-2.562			
	19	17	-76.287	2.930	29	7	79.181	-2.967	8	23	-68.173	2.146				
	22	0	76.370	-4.387	Juill.	1	13	-79.112	2.639	11	6	67.852	-3.316			
24	6	-76.802	4.052	3		19	78.774	-2.251	13	12	-67.814	2.903				
26	12	76.964	-3.695	6		1	-78.685	1.931	15	18	67.568	-2.430				
28	18	-77.362	3.360	8		8	78.291	-3.369	18	0	-67.529	2.008				
31	0	77.495	-2.986	10		14	-78.185	3.033	20	7	67.243	-3.181				
Mars	12	20	77.856	-2.638	12	20	77.856	-2.638	22	13	-67.240	2.749				
	4	13	77.954	-4.180	15	2	-77.739	2.305	24	19	67.007	-2.277				
	6	19	-78.331	3.855	17	8	77.346	-1.907	27	2	-66.954	3.487				
	9	1	78.472	-3.501	19	15	-77.163	3.360	29	8	66.760	-3.017				
	11	7	-78.825	3.184	21	21	76.812	-2.952	31	14	-66.770	2.579				

RHÉA 2015

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	21	66.509	-3.746	Nov.	27	18	-66.069	3.671	Déc.	22	15	66.359	-3.620
	5	3	-66.560	3.310		30	0	65.978	-3.203		24	21	-66.560	3.172
	7	9	66.384	-2.840	Déc.	2	6	-66.088	2.754		27	4	66.477	-4.379
	9	15	-66.426	2.407		4	13	65.957	-3.934		29	10	-66.732	3.944
	11	22	66.214	-3.560		6	19	-66.111	3.492		31	16	66.745	-3.486
14	4	-66.280	3.134	9	1	66.037	-3.023	Janv.	2	23	-66.872	4.722		
16	10	66.133	-2.656	11	8	-66.118	4.229		5	5	66.947	-4.274		
18	17	-66.144	3.844	13	14	66.099	-3.762		7	11	-67.210	3.834		
20	23	66.031	-3.387	15	20	-66.273	3.330		9	17	67.237	-3.381		
23	5	-66.129	2.943	18	3	66.137	-4.515		12	0	-67.434	4.641		
25	12	65.923	-4.103	20	9	-66.365	4.069	14	6	67.515	-4.189			

TITAN 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	8	8	-163.014	7.872	Mai	15	22	-192.759	9.494	Sept.	20	9	-166.172	7.290
	16	9	155.616	-7.161		23	21	182.454	-7.406		28	10	155.462	-6.254
	24	9	-166.335	9.216		31	19	-192.701	8.709	Oct.	6	9	-162.759	7.260
Févr.	1	9	159.105	-7.727	Juin	8	19	181.643	-7.668		14	10	152.541	-6.264
	9	9	-170.382	9.874		16	17	-191.016	8.965	22	10	-160.094	8.050	
Mars	17	9	163.154	-8.678	Juill.	24	16	179.478	-6.429	Nov.	30	11	150.372	-7.196
	25	8	-174.966	9.837		2	14	-188.046	7.725		7	11	-158.300	8.685
	5	8	167.588	-8.869		10	14	176.147	-6.147		15	12	149.054	-8.017
	13	7	-179.715	10.234		18	12	-184.052	7.311		23	12	-157.431	9.246
	21	7	172.026	-9.491		26	12	172.077	-5.498		Déc.	1	13	148.629
Avril	29	5	-184.326	9.897	Août	3	11	-179.469	7.627	Janv.	9	13	-157.506	9.817
	6	5	176.152	-9.264		11	11	167.634	-5.659		17	14	149.106	-9.661
	14	3	-188.301	9.933		19	10	-174.753	7.518		25	14	-158.527	10.489
	22	3	179.478	-9.355		27	10	163.213	-5.433		2	14	150.546	-9.526
	30	1	-191.208	10.258		Sept.	4	9	-170.249		7.034	10	15	-160.461
Mai	8	0	181.691	-8.352	12	10	159.070	-6.000	18	15	152.772	-10.748		

HYPÉRION 2015**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	9	194.021	-1.246	Mai	24	11	-223.848	22.079	Oct.	10	1	189.211	0.608	
	17	12	-189.431	19.504		Juin	4	13	226.840		-0.380	20	5	-189.398	20.282
	28	17	199.073	-2.281			14	13	-221.946		20.878	31	12	184.020	-0.309
Févr.	7	20	-196.115	21.146	Juill.	25	15	222.945	0.525	Nov.	10	16	-188.672	21.328	
	18	23	203.932	-2.600		5	15	-218.210	19.909		22	1	181.317	-1.194	
Mars	1	1	-204.412	22.463		16	19	217.405	1.411	Déc.	2	5	-188.397	22.609	
	12	4	210.834	-2.629		26	20	-211.013	19.542		13	13	180.767	-1.816	
	22	5	-211.449	23.226	Août	7	0	210.450	1.214		23	18	-190.906	23.763	
Avril	2	7	218.260	-2.236		17	2	-204.222	19.167	Janv.	4	1	181.194	-2.435	
	12	8	-218.100	23.080	28	6	202.134	1.605	14		6	-196.226	24.795		
	23	10	222.916	-2.609	Sept.	7	9	-198.761	19.559		25	14	184.226	-3.211	
Mai	3	10	-223.247	23.643		18	16	195.085	0.669	Févr.	4	19	-201.798	26.698	
	14	12	226.283	-1.532		28	18	-192.911	19.289						

JAPET 2015**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.	22	8	443.979	-120.879	Juin	28	19	506.722	-135.423	Déc.	6	17	421.960	-110.255
Mars	3	2	-493.938	137.861		Août	6	15	-498.540		137.513	Janv.	16	4
Avril	11	23	502.724	-135.538	Sept.		16	5	448.605	-119.054				
Mai	20	10	-539.100	149.625	Oct.	26	8	-446.642	122.041					

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 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	1	2.930	-8.486	Févr.	1	20	-2.610	8.336	Mars	5	16	2.961	-8.038
	1	18	-2.934	8.481		2	13	2.645	-8.318		6	9	-2.967	8.040
	2	11	2.970	-8.459		3	6	-2.653	8.319		7	2	3.002	-8.010
	3	4	-2.973	8.455		3	23	2.688	-8.301		7	19	-3.009	8.011
	3	21	3.010	-8.431		4	16	-2.694	8.300		8	12	3.042	-7.981
	4	14	-3.012	8.427		5	9	2.731	-8.282		9	4	-2.428	8.197
	5	7	3.049	-8.401		6	2	-2.736	8.280		9	21	2.465	-8.183
	6	0	-3.051	8.399		6	19	2.773	-8.261		10	14	-2.475	8.187
	6	17	3.086	-8.369		7	12	-2.777	8.260		11	7	2.512	-8.172
	7	10	-3.090	8.368		8	5	2.815	-8.238		12	0	-2.520	8.174
	8	3	3.123	-8.337		8	22	-2.818	8.238		12	17	2.559	-8.160
	8	20	-3.127	8.335		9	15	2.856	-8.214		13	10	-2.566	8.161
	9	13	3.159	-8.305	10	8	-2.860	8.215	14	3	2.606	-8.145		
	10	6	-3.164	8.300	11	1	2.895	-8.188	14	20	-2.612	8.148		
	10	22	2.596	-8.481	11	18	-2.901	8.189	15	13	2.652	-8.128		
	11	15	-2.605	8.481	12	11	2.935	-8.162	16	6	-2.658	8.132		
	12	8	2.640	-8.466	13	4	-2.941	8.162	16	23	2.698	-8.111		
	13	1	-2.646	8.464	13	21	2.974	-8.135	17	16	-2.704	8.115		
	13	18	2.684	-8.449	14	14	-2.981	8.132	18	9	2.742	-8.092		
	14	11	-2.688	8.447	15	7	3.014	-8.106	19	2	-2.751	8.096		
	15	4	2.726	-8.430	16	0	-3.021	8.102	19	19	2.788	-8.072		
	15	21	-2.730	8.429	16	17	3.054	-8.076	20	12	-2.797	8.075		
	16	14	2.768	-8.409	17	10	-3.058	8.071	21	5	2.832	-8.051		
	17	7	-2.772	8.409	18	2	2.485	-8.257	21	22	-2.841	8.051		
	18	0	2.809	-8.387	18	19	-2.491	8.258	22	15	2.878	-8.029		
	18	17	-2.813	8.388	19	12	2.531	-8.244	23	8	-2.886	8.027		
	19	10	2.848	-8.364	20	5	-2.535	8.247	24	1	2.923	-8.004		
	20	3	-2.855	8.365	20	22	2.574	-8.229	24	18	-2.930	8.003		
	20	20	2.888	-8.340	21	15	-2.580	8.233	25	11	2.969	-7.978		
	21	13	-2.895	8.339	22	8	2.618	-8.213	26	4	-2.974	7.976		
	22	6	2.928	-8.315	23	1	-2.625	8.218	26	21	3.013	-7.949		
22	23	-2.934	8.312	23	18	2.661	-8.197	27	13	-2.375	8.170			
23	16	2.967	-8.288	24	11	-2.669	8.200	28	6	2.417	-8.155			
24	9	-2.973	8.283	25	4	2.704	-8.179	28	23	-2.425	8.163			
25	2	3.007	-8.260	25	21	-2.713	8.181	29	16	2.467	-8.145			
25	19	-3.010	8.255	26	14	2.748	-8.161	30	9	-2.476	8.154			
26	12	3.046	-8.229	27	7	-2.755	8.160	31	2	2.515	-8.136			
27	5	-3.048	8.224	28	0	2.791	-8.140	31	19	-2.526	8.142			
27	22	3.084	-8.197	28	17	-2.798	8.138	Avril	1	12	2.564	-8.124		
28	15	-3.086	8.194	Mars	1	10	2.835		-8.117	2	5	-2.575	8.129	
29	8	3.120	-8.162	2	3	-2.839	8.116	2	22	2.613	-8.112			
30	0	-2.523	8.366	2	20	2.878	-8.092	3	15	-2.623	8.114			
30	17	2.560	-8.348	3	13	-2.882	8.092	4	8	2.663	-8.097			
31	10	-2.567	8.352	4	6	2.920	-8.066	5	1	-2.671	8.099			
Févr.	1	3	2.602	-8.334	4	23	-2.924	8.067	5	18	2.712	-8.080		

MIRANDA 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Avril	6 11	-2.719	8.083	Mai	8 6	2.541	-8.186	Juin	9 1	-2.361	8.392
	7 4	2.761	-8.061		8 23	-2.552	8.192		9 18	2.407	-8.377
	7 21	-2.768	8.065		9 16	2.597	-8.176		10 11	-2.423	8.388
	8 14	2.810	-8.041		10 9	-2.608	8.181		11 4	2.470	-8.374
	9 7	-2.817	8.046		11 2	2.653	-8.164		11 21	-2.486	8.384
	10 0	2.857	-8.020		11 19	-2.662	8.171		12 14	2.533	-8.370
	10 17	-2.866	8.024		12 12	2.709	-8.150		13 7	-2.546	8.378
	11 10	2.905	-7.997		13 5	-2.718	8.157		14 0	2.596	-8.362
	12 3	-2.914	8.001		13 22	2.764	-8.134		14 17	-2.608	8.370
	12 20	2.952	-7.974		14 15	-2.774	8.142		15 10	2.658	-8.353
	13 13	-2.962	7.975		15 8	2.818	-8.117		16 3	-2.669	8.362
	14 6	3.000	-7.949		16 1	-2.830	8.125		16 20	2.720	-8.341
14 22	-2.344	8.176	16 18	2.872	-8.099	17 13	-2.731	8.352			
15 15	2.385	-8.165	17 11	-2.885	8.105	18 6	2.781	-8.328			
16 8	-2.395	8.170	18 4	2.927	-8.080	18 23	-2.794	8.339			
17 1	2.439	-8.158	18 21	-2.939	8.084	19 16	2.841	-8.314			
17 18	-2.448	8.163	19 14	2.982	-8.059	20 9	-2.856	8.324			
18 11	2.492	-8.149	20 7	-2.994	8.061	21 2	2.902	-8.298			
19 4	-2.499	8.156	20 23	2.322	-8.282	21 19	-2.917	8.306			
19 21	2.544	-8.138	21 16	-2.333	8.291	22 12	2.962	-8.282			
20 14	-2.552	8.146	22 9	2.382	-8.279	23 5	-2.977	8.287			
21 7	2.596	-8.126	23 2	-2.393	8.288	23 22	3.023	-8.262			
22 0	-2.605	8.134	23 19	2.442	-8.275	24 15	-3.037	8.266			
22 17	2.647	-8.113	24 12	-2.452	8.285	25 7	2.322	-8.498			
23 10	-2.658	8.120	25 5	2.500	-8.268	26 0	-2.336	8.509			
24 3	2.699	-8.098	25 22	-2.512	8.279	26 17	2.389	-8.497			
24 20	-2.711	8.105	26 15	2.559	-8.260	27 10	-2.401	8.509			
25 13	2.751	-8.084	27 8	-2.571	8.271	28 3	2.454	-8.495			
26 6	-2.762	8.087	28 1	2.617	-8.251	28 20	-2.466	8.508			
26 23	2.803	-8.066	28 18	-2.631	8.261	29 13	2.518	-8.490			
27 16	-2.814	8.068	29 11	2.676	-8.241	30 6	-2.532	8.504			
28 9	2.856	-8.046	30 4	-2.690	8.249	30 23	2.583	-8.484			
29 2	-2.864	8.049	30 21	2.734	-8.230	Juill. 1 16	-2.598	8.498			
29 19	2.908	-8.025	31 14	-2.748	8.235	2 9	2.646	-8.478			
30 12	-2.915	8.027	Juin 1 7	2.794	-8.215	3 2	-2.663	8.489			
Mai	1 5	2.959	-8.001	2 0	-2.806	8.220	3 19	2.710	-8.469		
	1 22	-2.966	8.006	2 17	2.853	-8.199	4 12	-2.727	8.479		
	2 14	2.318	-8.208	3 10	-2.863	8.204	5 5	2.774	-8.459		
	3 7	-2.329	8.220	4 3	2.911	-8.180	5 22	-2.789	8.466		
	4 0	2.373	-8.204	4 20	-2.921	8.186	6 15	2.839	-8.446		
	4 17	-2.385	8.216	5 13	2.969	-8.160	7 8	-2.852	8.452		
	5 10	2.428	-8.200	6 6	-2.979	8.167	8 1	2.903	-8.431		
	6 3	-2.442	8.209	6 22	2.283	-8.378	8 18	-2.914	8.438		
	6 20	2.484	-8.194	7 15	-2.297	8.392	9 11	2.966	-8.413		
	7 13	-2.498	8.202	8 8	2.345	-8.378	10 4	-2.977	8.422		

MIRANDA 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	10	21	3.028	-8.394	Août	11	16	-2.921	8.707	Sept.	12	11	2.819	-8.929
	11	14	-3.040	8.403		12	9	2.972	-8.684		13	4	-2.836	8.937
	12	6	2.307	-8.623		13	2	-2.984	8.692		13	21	2.883	-8.914
	12	23	-2.324	8.640		13	19	3.036	-8.664		14	14	-2.897	8.921
	13	16	2.374	-8.624		14	12	-3.048	8.674		15	7	2.947	-8.897
	14	9	-2.392	8.640		15	5	3.100	-8.644		16	0	-2.960	8.903
	15	2	2.441	-8.625		15	22	-3.113	8.653		16	17	3.010	-8.877
	15	19	-2.459	8.638		16	14	2.361	-8.876		17	10	-3.021	8.885
	16	12	2.509	-8.623		17	7	-2.380	8.892		18	3	3.070	-8.854
	17	5	-2.526	8.634		18	0	2.430	-8.876		18	20	-3.082	8.863
	17	22	2.576	-8.619		18	17	-2.450	8.891		19	13	3.130	-8.830
	18	15	-2.591	8.629		19	10	2.499	-8.875		20	6	-3.143	8.839
	19	8	2.644	-8.613		20	3	-2.518	8.887		20	23	3.188	-8.805
	20	1	-2.657	8.622		20	20	2.568	-8.871		21	15	-2.416	9.060
	20	18	2.711	-8.604		21	13	-2.586	8.881		22	8	2.464	-9.041
	21	11	-2.723	8.615		22	6	2.637	-8.865		23	1	-2.484	9.055
	22	4	2.775	-8.592		22	23	-2.651	8.875		23	18	2.530	-9.037
22	21	-2.789	8.604	23	16	2.705	-8.856	24	11	-2.548	9.047			
23	14	2.841	-8.579	24	9	-2.718	8.866	25	4	2.596	-9.029			
24	7	-2.855	8.591	25	2	2.772	-8.845	25	21	-2.613	9.037			
25	0	2.904	-8.566	25	19	-2.785	8.857	26	14	2.661	-9.019			
25	17	-2.920	8.576	26	12	2.837	-8.831	27	7	-2.675	9.027			
26	10	2.968	-8.550	27	5	-2.851	8.844	28	0	2.726	-9.006			
27	3	-2.985	8.559	27	22	2.901	-8.817	28	17	-2.738	9.015			
27	20	3.032	-8.533	28	15	-2.916	8.828	29	10	2.789	-8.991			
28	13	-3.047	8.539	29	8	2.964	-8.801	30	3	-2.801	9.001			
29	6	3.096	-8.513	30	1	-2.981	8.810	30	20	2.849	-8.973			
29	22	-2.316	8.768	30	18	3.028	-8.783	Oct.	1	13	-2.863	8.984		
30	15	2.368	-8.757	31	11	-3.045	8.790	2	6	2.910	-8.955			
31	8	-2.383	8.770	Sept.	1	4	3.091	-8.764	2	23	-2.924	8.965		
Août	1	1	2.438	-8.756	1	21	-3.106	8.768	3	16	2.968	-8.936		
	1	18	-2.452	8.769	2	14	3.153	-8.741	4	9	-2.984	8.943		
	2	11	2.507	-8.753	3	7	-3.167	8.745	5	2	3.027	-8.914		
	3	4	-2.521	8.768	3	23	2.421	-8.978	5	19	-3.043	8.919		
	3	21	2.574	-8.748	4	16	-2.436	8.990	6	12	3.086	-8.891		
	4	14	-2.590	8.763	5	9	2.490	-8.974	7	5	-3.099	8.894		
	5	7	2.641	-8.742	6	2	-2.504	8.987	7	22	3.144	-8.864		
	6	0	-2.658	8.756	6	19	2.558	-8.968	8	15	-3.155	8.866		
	6	17	2.707	-8.735	7	12	-2.572	8.982	9	8	3.200	-8.835		
	7	10	-2.725	8.746	8	5	2.623	-8.961	10	0	-2.441	9.082		
	8	3	2.774	-8.726	8	22	-2.640	8.975	10	17	2.491	-9.063		
	8	20	-2.792	8.735	9	15	2.689	-8.951	11	10	-2.505	9.075		
	9	13	2.840	-8.715	10	8	-2.706	8.965	12	3	2.554	-9.053		
	10	6	-2.856	8.722	11	1	2.753	-8.942	12	20	-2.568	9.066		
	10	23	2.907	-8.700	11	18	-2.771	8.951	13	13	2.614	-9.042		

MIRANDA 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	14 6	-2.631	9.054	Nov.	13 16	3.089	-8.802	Déc.	14 1	-2.728	8.752
	14 23	2.675	-9.028		14 9	-3.097	8.805		14 18	2.764	-8.724
	15 16	-2.692	9.039		15 2	3.138	-8.768		15 11	-2.776	8.726
	16 9	2.735	-9.015		15 19	-3.146	8.772		16 4	2.812	-8.698
	17 2	-2.751	9.022		16 11	2.464	-8.967		16 21	-2.821	8.699
	17 19	2.794	-8.998		17 4	-2.477	8.978		17 14	2.859	-8.669
	18 12	-2.810	9.003		17 21	2.517	-8.953		18 7	-2.867	8.671
	19 5	2.854	-8.979		18 14	-2.533	8.963		19 0	2.905	-8.639
	19 22	-2.866	8.984		19 7	2.572	-8.937		19 17	-2.912	8.642
	20 15	2.912	-8.957		20 0	-2.588	8.946		20 10	2.949	-8.606
	21 8	-2.922	8.962		20 17	2.626	-8.921		21 3	-2.957	8.610
	22 1	2.968	-8.934		21 10	-2.640	8.926		21 20	2.993	-8.572
	22 18	-2.978	8.940		22 3	2.679	-8.902		22 13	-3.002	8.577
	23 11	3.023	-8.907		22 20	-2.693	8.906		23 6	3.034	-8.539
	24 4	-3.033	8.915		23 13	2.732	-8.881		23 23	-3.045	8.541
	24 21	3.076	-8.880		24 6	-2.743	8.885		24 15	2.393	-8.722
	25 14	-3.088	8.887		24 23	2.784	-8.857		25 8	-2.408	8.731
26 7	3.128	-8.852	25 16	-2.793	8.861	26 1	2.443	-8.707			
27 0	-3.141	8.856	26 9	2.835	-8.832	26 18	-2.456	8.713			
27 17	3.180	-8.821	27 2	-2.844	8.837	27 11	2.493	-8.690			
28 10	-3.193	8.824	27 19	2.883	-8.804	28 4	-2.505	8.694			
29 2	2.489	-9.038	28 12	-2.894	8.811	28 21	2.542	-8.670			
29 19	-2.504	9.046	29 5	2.931	-8.776	29 14	-2.552	8.675			
30 12	2.549	-9.027	29 22	-2.942	8.781	30 7	2.591	-8.648			
31 5	-2.563	9.033	30 15	2.978	-8.747	31 0	-2.600	8.654			
Nov.	31 22	2.608	-9.013	Déc.	1 8	-2.990	8.750	Janv.	31 17	2.638	-8.625
	1 15	-2.619	9.020		2 1	3.025	-8.716		1 10	-2.647	8.632
	2 8	2.666	-8.996		2 18	-3.037	8.717		2 3	2.683	-8.600
	3 1	-2.677	9.004		3 11	3.071	-8.683		2 20	-2.694	8.607
	3 18	2.722	-8.977		4 4	-3.081	8.682		3 13	2.729	-8.574
	4 11	-2.733	8.986		4 21	3.117	-8.648		4 6	-2.740	8.580
	5 4	2.776	-8.957		5 13	-2.425	8.870		4 23	2.773	-8.548
	5 21	-2.789	8.966		6 6	2.466	-8.849		5 16	-2.785	8.551
	6 14	2.830	-8.935		6 23	-2.477	8.856		6 9	2.818	-8.520
	7 7	-2.844	8.943		7 16	2.518	-8.831		7 2	-2.830	8.521
	8 0	2.883	-8.913		8 9	-2.528	8.839		7 19	2.863	-8.490
	8 17	-2.897	8.918		9 2	2.569	-8.813		8 12	-2.872	8.490
	9 10	2.936	-8.889		9 19	-2.580	8.821		9 5	2.907	-8.458
	10 3	-2.949	8.892		10 12	2.618	-8.792		9 22	-2.915	8.458
	10 20	2.988	-8.862		11 5	-2.631	8.800		10 15	2.950	-8.424
	11 13	-2.999	8.864		11 22	2.667	-8.771		11 8	-2.957	8.426
	12 6	3.039	-8.833		12 15	-2.680	8.778				
12 23	-3.049	8.834	13 8	2.715	-8.749						

ARIEL 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	1 3	-3.109	12.811	Févr.	26 20	2.888	-12.323	Avril	24 13	-2.740	12.240
	2 10	3.539	-12.703		28 3	-3.296	12.208		25 20	3.230	-12.143
	3 16	-3.386	12.722		Mars	1 9	3.172		-12.250	27 2	-3.061
	4 22	3.257	-12.755	2 15		-3.013	12.267	28 8	2.927	-12.231	
	6 4	-3.103	12.752	3 21		2.879	-12.295	29 14	-2.754	12.255	
	7 11	3.526	-12.649	5 4	-3.297	12.176	Mai	30 21	3.242	-12.156	
	8 17	-3.376	12.664	6 10	3.166	-12.225		2 3	-3.079	12.195	
	9 23	3.249	-12.699	7 16	-3.011	12.238		3 9	2.938	-12.250	
	11 5	-3.090	12.700	8 22	2.878	-12.271		4 15	-2.768	12.272	
	12 12	3.517	-12.590	10 5	-3.292	12.152		5 22	3.262	-12.172	
	13 18	-3.364	12.612	11 11	3.168	-12.197		7 4	-3.093	12.215	
	15 0	3.239	-12.642	12 17	-3.007	12.218	8 10	2.956	-12.267		
	16 6	-3.083	12.646	13 23	2.876	-12.247	9 16	-2.780	12.297		
	17 13	3.506	-12.539	15 6	-3.296	12.129	10 23	3.283	-12.188		
	18 19	-3.355	12.554	16 12	3.166	-12.179	12 5	-3.114	12.235		
	20 1	3.229	-12.592	17 18	-3.007	12.196	13 11	2.972	-12.293		
	21 7	-3.072	12.591	19 0	2.874	-12.234	14 17	-2.800	12.320		
	22 14	3.498	-12.485	20 7	-3.297	12.107	16 0	3.303	-12.214		
23 20	-3.344	12.505	21 13	3.170	-12.161	17 6	-3.134	12.257			
25 2	3.218	-12.537	22 19	-3.007	12.184	18 12	2.994	-12.319			
26 8	-3.063	12.545	24 1	2.875	-12.217	19 18	-2.816	12.352			
27 15	3.487	-12.430	25 8	-3.301	12.096	21 1	3.327	-12.235			
28 21	-3.337	12.454	26 14	3.172	-12.144	22 7	-3.156	12.288			
30 3	3.209	-12.491	27 20	-3.012	12.172	23 13	3.015	-12.346			
31 9	-3.052	12.493	29 2	2.877	-12.211	24 19	-2.840	12.382			
Févr.	1 16	3.480	-12.384	30 9	-3.306	12.080	26 1	2.692	-12.430		
	2 22	-3.325	12.404	31 15	3.178	-12.138	27 8	-3.180	12.314		
	4 4	3.203	-12.443	Avril	1 21	-3.014	12.162	28 14	3.039	-12.382	
	5 10	-3.044	12.450		3 3	2.883	-12.204	29 20	-2.860	12.414	
	6 17	3.469	-12.335		4 10	-3.314	12.075	31 2	2.716	-12.465	
	7 23	-3.320	12.361		5 16	3.182	-12.129	Juin	1 9	-3.206	12.351
	9 5	3.191	-12.397	6 22	-3.022	12.161	2 15		3.062	-12.413	
	10 11	-3.038	12.406	8 4	2.885	-12.200	3 21		-2.886	12.454	
	11 18	3.464	-12.293	9 11	-3.325	12.070	5 3		2.736	-12.502	
	13 0	-3.310	12.317	10 17	3.192	-12.129	6 10		-3.236	12.385	
	14 6	3.188	-12.357	11 23	-3.027	12.158	7 16		3.090	-12.452	
	15 12	-3.027	12.366	13 5	2.895	-12.204	8 22	-2.909	12.491		
	16 19	3.460	-12.250	14 12	-3.333	12.069	10 4	2.765	-12.546		
	18 1	-3.306	12.278	15 18	3.205	-12.129	11 11	-3.262	12.421		
	19 7	3.178	-12.318	17 0	-3.038	12.164	12 17	3.121	-12.491		
	20 13	-3.024	12.329	18 6	2.899	-12.209	13 23	-2.939	12.534		
	21 20	3.452	-12.213	19 12	-2.734	12.228	15 5	2.788	-12.587		
	23 2	-3.303	12.240	20 19	3.213	-12.135	16 12	-3.296	12.462		
24 8	3.174	-12.283	22 1	-3.051	12.170	17 18	3.147	-12.532			
25 14	-3.015	12.296	23 7	2.912	-12.219	19 0	-2.971	12.577			

ARIEL 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juin	20 6	2.819	-12.634	Août	15 23	-3.013	13.204	Oct.	11 16	3.192	-13.498
	21 13	-3.324	12.502		17 5	2.853	-13.258		12 22	-3.004	13.521
	22 19	3.182	-12.575		18 12	-3.391	13.131		14 5	3.556	-13.404
	24 1	-2.997	12.622		19 18	3.242	-13.203		15 11	-3.366	13.442
	25 7	2.851	-12.679		21 0	-3.046	13.245		16 17	3.216	-13.492
	26 14	-3.360	12.545		22 6	2.892	-13.299		17 23	-3.021	13.512
	27 20	3.211	-12.620		23 13	-3.430	13.170		19 6	3.575	-13.392
	29 2	-3.033	12.667		24 19	3.273	-13.241		20 12	-3.386	13.431
	30 8	2.878	-12.728		26 1	-3.086	13.284		21 18	3.229	-13.478
	Juill.	1 14	-2.694		12.759	27 7	2.923		-13.339	23 0	-3.043
2 21	3.247	-12.666	28 14	-3.467	13.204	24 7	3.584	-13.376			
4 3	-3.062	12.716	29 20	3.311	-13.277	25 13	-3.403	13.413			
5 9	2.914	-12.775	31 2	-3.116	13.320	26 19	3.247	-13.461			
6 15	-2.723	12.812	Sept.	1 8	2.964	-13.374	28 1	-3.056	13.480		
7 22	3.284	-12.710		2 15	-3.497	13.238	29 8	3.599	-13.354		
9 4	-3.099	12.763	3 21	3.347	-13.306	30 14	-3.411	13.392			
10 10	2.945	-12.828	5 3	-3.154	13.353	31 20	3.262	-13.437			
11 16	-2.759	12.860	6 9	2.994	-13.408	Nov.	2 2	-3.072	13.456		
12 23	3.317	-12.760	7 16	-3.533	13.263		3 9	3.604	-13.329		
14 5	-3.135	12.810	8 22	3.376	-13.338	4 15	-3.424	13.363			
15 11	2.982	-12.877	10 4	-3.188	13.378	5 21	3.269	-13.411			
16 17	-2.790	12.914	11 10	3.030	-13.435	7 3	-3.085	13.425			
18 0	3.356	-12.804	12 17	-3.560	13.290	8 10	3.613	-13.298			
19 6	-3.169	12.862	13 23	3.410	-13.359	9 16	-3.428	13.334			
20 12	3.018	-12.924	15 5	-3.218	13.405	10 22	3.280	-13.376			
21 18	-2.829	12.965	16 11	3.062	-13.456	12 4	-3.091	13.395			
23 1	3.391	-12.854	17 18	-3.593	13.310	13 11	3.618	-13.261			
24 7	-3.207	12.906	19 0	3.438	-13.381	14 17	-3.436	13.297			
25 13	3.055	-12.977	20 6	-3.249	13.421	15 23	3.283	-13.342			
26 19	-2.863	13.012	21 12	3.091	-13.478	17 5	-3.100	13.353			
28 2	3.432	-12.900	22 18	-2.897	13.499	18 12	3.619	-13.226			
29 8	-3.243	12.958	24 1	3.468	-13.396	19 18	-3.439	13.254			
30 14	3.090	-13.022	25 7	-3.275	13.438	21 0	3.290	-13.300			
31 20	-2.901	13.066	26 13	3.120	-13.488	22 6	-3.102	13.316			
Août	2 3	3.467	-12.942	27 19	-2.926	13.516	23 13	3.619	-13.178		
3 9	-3.283	13.003	29 2	3.492	-13.402	24 19	-3.439	13.215			
4 15	3.128	-13.072	30 8	-3.304	13.447	26 1	3.290	-13.253			
5 21	-2.935	13.111	Oct.	1 14	3.146	-13.500	27 7	-3.108	13.270		
7 3	2.782	-13.167		2 20	-2.953	13.519	28 14	3.617	-13.135		
8 10	-3.318	13.046		4 3	3.517	-13.411	29 20	-3.438	13.164		
9 16	3.168	-13.117	5 9	-3.326	13.449	Déc.	1 2	3.291	-13.209		
10 22	-2.974	13.160	6 15	3.174	-13.502		2 8	-3.106	13.219		
12 4	2.814	-13.211	7 21	-2.978	13.525		3 15	3.616	-13.085		
13 11	-3.358	13.091	9 4	3.535	-13.407		4 21	-3.435	13.118		
14 17	3.201	-13.160	10 10	-3.351	13.450		6 3	3.287	-13.155		

ARIEL 2015**X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	7	9	-3.107	13.171	Déc.	18	18	3.593	-12.923	Déc.	30	2	-3.404	12.840
	8	16	3.607	-13.031		20	0	-3.421	12.954		31	8	3.256	-12.880
	9	22	-3.433	13.065		21	6	3.272	-12.993	Janv.	1	14	-3.082	12.892
	11	4	3.285	-13.105		22	12	-3.096	13.006		2	20	2.930	-12.916
	12	10	-3.102	13.115		23	18	2.945	-13.029		4	3	-3.396	12.781
	13	17	3.604	-12.980		25	1	-3.410	12.897		5	9	3.250	-12.822
	14	23	-3.424	13.009		26	7	3.268	-12.936		6	15	-3.070	12.836
	16	5	3.282	-13.049		27	13	-3.086	12.950		7	21	2.926	-12.857
	17	11	-3.099	13.063		28	19	2.941	-12.971		9	4	-3.383	12.726

UMBRIEL 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	11	4.653	-17.824	Avril	4	17	-4.404	16.857	Juill.	6	22	3.971	-17.879
	3	13	-4.834	17.664		6	19	4.465	-16.923		9	0	-4.241	17.759
	5	15	4.881	-17.689		8	20	-4.164	16.915		11	2	4.317	-17.866
	7	16	-4.596	17.659		10	22	4.221	-16.991		13	4	-4.586	17.733
	9	18	4.647	-17.695		13	0	-4.441	16.848		15	5	4.052	-17.992
	11	20	-4.827	17.522		15	1	3.975	-17.049		17	7	-4.335	17.866
	13	21	4.404	-17.689		17	3	-4.199	16.918		19	9	4.397	-17.980
	15	23	-4.593	17.524		19	5	4.251	-16.999		21	10	-4.075	17.991
	18	1	4.635	-17.567		21	7	-4.479	16.853		23	12	4.134	-18.103
	20	3	-4.822	17.394		23	8	4.005	-17.068		25	14	-4.430	17.982
22	4	4.393	-17.563	25	10	-4.244	16.936	27	16	4.482	-18.083			
24	6	-4.591	17.398	27	12	4.281	-17.018	29	17	-4.169	18.108			
26	8	4.624	-17.448	29	13	-3.998	17.011	31	19	4.222	-18.213			
28	9	-4.353	17.393	Mai	1	15	4.040	-17.095	Août	2	21	-4.523	18.089	
30	11	4.383	-17.444		3	17	-4.288	16.972		4	23	4.572	-18.184	
Févr.	1	13	-4.591	17.286	5	19	4.327	-17.047	7	0	-4.263	18.224		
	3	15	4.613	-17.327	7	20	-4.046	17.055	9	2	4.310	-18.311		
	5	16	-4.353	17.289	9	22	4.080	-17.137	11	4	-4.615	18.198		
	7	18	4.378	-17.333	12	0	-4.342	17.020	13	5	4.051	-18.426		
	9	20	-4.588	17.180	14	2	4.378	-17.086	15	7	-4.347	18.327		
	11	22	4.610	-17.218	16	3	-4.093	17.117	17	9	4.406	-18.407		
	13	23	-4.354	17.195	18	5	4.134	-17.186	19	11	-4.704	18.296		
	16	1	4.372	-17.229	20	7	-4.396	17.079	21	12	4.142	-18.518		
	18	3	-4.590	17.090	22	9	4.437	-17.143	23	14	-4.433	18.424		
	20	5	4.613	-17.116	24	10	-4.147	17.184	25	16	4.504	-18.492		
22	6	-4.349	17.111	26	12	4.193	-17.249	27	18	-4.783	18.381			
24	8	4.378	-17.140	28	14	-4.452	17.152	29	19	4.239	-18.605			
26	10	-4.593	17.008	30	15	3.943	-17.349	31	21	-4.517	18.502			
28	12	4.617	-17.030	Juin	1	17	-4.203	17.262	Sept.	2	23	4.592	-18.570	
Mars	2	13	-4.352		17.039	3	19	4.263		-17.329	5	0	-4.247	18.606
4	15	4.388	-17.062	5	21	-4.513	17.225	7	2	4.331	-18.678			
6	17	-4.594	16.939	7	22	4.011	-17.438	9	4	-4.594	18.566			
8	18	4.150	-17.088	10	0	-4.266	17.348	11	6	4.682	-18.634			
10	20	-4.355	16.974	12	2	4.333	-17.417	13	7	-4.327	18.660			
12	22	4.400	-17.005	14	3	-4.004	17.456	15	9	4.414	-18.743			
15	0	-4.603	16.878	16	5	4.086	-17.537	17	11	-4.674	18.608			
17	1	4.163	-17.039	18	7	-4.330	17.436	19	13	4.760	-18.683			
19	3	-4.363	16.925	20	9	4.411	-17.518	21	14	-4.405	18.701			
21	5	4.418	-16.960	22	10	-4.077	17.551	23	16	4.490	-18.784			
23	6	-4.122	16.959	24	12	4.157	-17.644	25	18	-4.750	18.632			
25	8	4.180	-17.012	26	14	-4.409	17.532	27	20	4.830	-18.719			
27	10	-4.379	16.882	28	16	4.492	-17.621	29	21	-4.482	18.717			
29	12	4.438	-16.933	30	17	-4.152	17.653	Oct.	1	23	4.557	-18.807		
31	13	-4.140	16.932	Juill.	2	19	4.237		-17.756	4	1	-4.823	18.644	
Avril	2	15	4.198		-16.993	4	21		-4.497	17.627	6	2	4.286	-18.874

UMBRIEL 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	8 4	-4.555	18.719	Nov.	12 10	4.791	-18.585	Déc.	17 15	-4.525	18.113
	10 6	4.619	-18.809		14 11	-4.479	18.580		19 17	4.590	-18.157
	12 8	-4.886	18.633		16 13	4.524	-18.609		21 19	-4.798	17.967
	14 9	4.346	-18.866		18 15	-4.771	18.468		23 20	4.316	-18.154
	16 11	-4.623	18.706		20 17	4.821	-18.486		25 22	-4.534	17.974
	18 13	4.667	-18.783		22 18	-4.499	18.483		28 0	4.583	-18.025
20 15	-4.945	18.609	24 20	4.552	-18.511	30 2	-4.803	17.830			
22 16	4.402	-18.831	26 22	-4.784	18.359	Janv.	1 3	4.317	-18.020		
24 18	-4.674	18.673	29 0	4.841	-18.378		3 5	-4.535	17.838		
26 20	4.717	-18.737	Déc. 1 1	-4.512	18.374		5 7	4.580	-17.889		
28 21	-4.407	18.714	3 3	4.572	-18.399	7 8	-4.269	17.830			
30 23	4.444	-18.776	5 5	-4.791	18.238	9 10	4.308	-17.887			
Nov.	2 1	-4.720	18.625	7 7	4.856	-18.264	11 12	-4.540	17.704		
	4 3	4.759	-18.667	9 8	-4.518	18.246	13 14	4.573	-17.748		
	6 4	-4.445	18.658	11 10	4.584	-18.282	15 15	-4.270	17.704		
	8 6	4.489	-18.701	13 12	-4.798	18.107					
10 8	-4.753	18.553	15 13	4.311	-18.279						

TITANIA 2015

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	2 18	-7.739	29.162	Mai	8 23	6.946	-27.906	Sept.	12 4	-7.288	30.699
	7 2	7.594	-28.979		13 7	-6.703	28.163		16 13	7.566	-30.524
	11 11	-7.694	28.947		17 16	6.982	-28.010		20 21	-7.371	30.785
	15 19	7.548	-28.759		22 0	-6.747	28.275		25 6	7.652	-30.602
	20 3	-7.292	28.825		26 9	7.030	-28.160		29 14	-7.401	30.847
Févr.	24 12	7.488	-28.579	Juin	30 17	-6.766	28.400	Oct.	3 22	7.252	-30.748
	28 20	-7.239	28.607		4 1	6.649	-28.413		8 7	-7.464	30.872
	2 5	7.452	-28.391		8 10	-6.822	28.562		12 15	7.306	-30.749
	6 13	-7.194	28.425		12 18	6.705	-28.578		17 0	-7.519	30.848
	10 22	7.413	-28.213		17 3	-6.897	28.733		21 8	7.351	-30.740
Mars	15 6	-7.165	28.266	Juill.	21 11	6.747	-28.784	Nov.	25 17	-7.528	30.776
	19 15	7.347	-28.069		25 20	-6.962	28.903		30 1	7.395	-30.670
	23 23	-7.138	28.115		30 4	6.827	-28.981		3 10	-7.551	30.689
	28 8	7.321	-27.943		4 13	-7.037	29.104		7 18	7.414	-30.562
	4 16	-7.107	27.997		8 21	6.909	-29.178		12 3	-7.575	30.563
Avril	9 1	7.302	-27.831	Août	13 6	-7.131	29.314	Déc.	16 11	7.396	-30.451
	13 9	-7.089	27.926		17 14	6.953	-29.391		20 20	-7.574	30.391
	17 17	6.875	-27.834		21 23	-7.229	29.513		25 4	7.400	-30.290
	22 2	-7.085	27.860		26 7	7.046	-29.602		29 13	-7.562	30.216
	26 10	6.863	-27.786		30 15	-6.839	29.829		3 21	7.389	-30.096
Mai	30 19	-7.078	27.819	Sept.	4 0	7.145	-29.798	Janv.	8 6	-7.554	30.028
	4 3	6.867	-27.757		8 8	-6.930	30.051		12 14	7.330	-29.893
	8 12	-7.060	27.832		12 17	7.209	-29.974		16 23	-7.537	29.811
	12 20	6.865	-27.741		17 1	-7.035	30.237		21 7	7.304	-29.679
	17 5	-7.077	27.850		21 10	7.302	-30.155		25 16	-7.500	29.590
Mai	21 13	6.875	-27.772	Sept.	25 18	-7.128	30.403	Janv.	30 0	7.276	-29.450
	25 21	-6.684	27.988		30 3	7.404	-30.308		3 9	-7.458	29.390
	30 6	6.907	-27.832		3 11	-7.193	30.575		7 17	7.213	-29.208
	4 14	-6.670	28.065		7 20	7.487	-30.419		12 2	-7.426	29.166

OBÉRON 2015

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.	5	21	-10.049	38.898	Mai	20	12	-9.231	37.617	Oct.	2	2	-9.702	41.189
	12	15	10.147	-38.632		27	5	9.109	-37.823		8	20	9.989	-41.205
	19	8	-9.872	38.487	Juin	2	22	-8.873	38.045	15	14	-10.105	41.126	
	26	2	9.989	-38.193		9	16	9.101	-38.162	22	7	9.963	-41.145	
Févr.	1	19	-9.703	38.125	16	10	-9.266	38.343	29	1	-10.096	41.059		
	8	13	9.822	-37.831	23	3	9.148	-38.530	Nov.	4	18	9.903	-40.986	
15	6	-9.527	37.804	29	21	-9.298	38.787	11		12	-10.019	40.871		
22	0	9.704	-37.527	Juill.	6	14	9.188	-38.964		18	5	9.846	-40.699	
Mars	28	17	-9.361		37.545	13	8	-9.332	39.243	24	23	-9.912	40.591	
	7	11	9.564	-37.313	20	1	9.291	-39.412	Déc.	1	17	10.109	-40.264	
Avril	14	4	-9.213	37.347	Août	26	19	-9.376		39.697	8	10	-9.766	40.220
	20	22	9.469	-37.197		2	12	9.357	-39.868	15	4	10.006	-39.864	
	27	15	-9.083	37.246		9	6	-9.436	40.113	21	21	-9.597	39.793	
	3	9	9.361	-37.161		15	23	9.455	-40.315	28	15	9.841	-39.439	
	10	2	-8.998	37.213		22	17	-9.494	40.505	Janv.	4	9	-9.787	39.236
Mai	16	20	9.274	-37.221	Sept.	29	10	9.514	-40.701		11	2	9.687	-39.025
	23	13	-8.914	37.293		5	4	-9.583	40.809	17	20	-9.598	38.794	
	30	7	9.196	-37.355		11	22	9.980	-40.918	24	13	9.496	-38.618	
	7	0	-8.894	37.455		18	15	-9.629	41.053	31	7	-9.441	38.365	
	13	18	9.138	-37.562		25	9	9.996	-41.122	Févr.	7	0	9.306	-38.255

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2015

JANVIER				FÉVRIER				MARS			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			0	0			31	0			59
1	Jeu	2457024	1	1	Dim	2457055	32	1	Dim	2457083	60
2	Ven	7025	2	2	Lun	7056	33	2	Lun	7084	61
3	Sam	7026	3	3	Mar	7057	34	3	Mar	7085	62
4	Dim	7027	4	4	Mer	7058	35	4	Mer	7086	63
5	Lun	7028	5	5	Jeu	7059	36	5	Jeu	7087	64
6	Mar	7029	6	6	Ven	7060	37	6	Ven	7088	65
7	Mer	7030	7	7	Sam	7061	38	7	Sam	7089	66
8	Jeu	7031	8	8	Dim	7062	39	8	Dim	7090	67
9	Ven	7032	9	9	Lun	7063	40	9	Lun	7091	68
10	Sam	7033	10	10	Mar	7064	41	10	Mar	7092	69
11	Dim	7034	11	11	Mer	7065	42	11	Mer	7093	70
12	Lun	7035	12	12	Jeu	7066	43	12	Jeu	7094	71
13	Mar	7036	13	13	Ven	7067	44	13	Ven	7095	72
14	Mer	7037	14	14	Sam	7068	45	14	Sam	7096	73
15	Jeu	7038	15	15	Dim	7069	46	15	Dim	7097	74
16	Ven	7039	16	16	Lun	7070	47	16	Lun	7098	75
17	Sam	7040	17	17	Mar	7071	48	17	Mar	7099	76
18	Dim	7041	18	18	Mer	7072	49	18	Mer	7100	77
19	Lun	7042	19	19	Jeu	7073	50	19	Jeu	7101	78
20	Mar	7043	20	20	Ven	7074	51	20	Ven	7102	79
21	Mer	7044	21	21	Sam	7075	52	21	Sam	7103	80
22	Jeu	7045	22	22	Dim	7076	53	22	Dim	7104	81
23	Ven	7046	23	23	Lun	7077	54	23	Lun	7105	82
24	Sam	7047	24	24	Mar	7078	55	24	Mar	7106	83
25	Dim	7048	25	25	Mer	7079	56	25	Mer	7107	84
26	Lun	7049	26	26	Jeu	7080	57	26	Jeu	7108	85
27	Mar	7050	27	27	Ven	7081	58	27	Ven	7109	86
28	Mer	7051	28	28	Sam	7082	59	28	Sam	7110	87
29	Jeu	7052	29					29	Dim	7111	88
30	Ven	7053	30					30	Lun	7112	89
31	Sam	7054	31					31	Mar	7113	90

AVRIL				MAI				JUIN			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			90	0			120	0			151
1	Mer	2457114	91	1	Ven	2457144	121	1	Lun	2457175	152
2	Jeu	7115	92	2	Sam	7145	122	2	Mar	7176	153
3	Ven	7116	93	3	Dim	7146	123	3	Mer	7177	154
4	Sam	7117	94	4	Lun	7147	124	4	Jeu	7178	155
5	Dim	7118	95	5	Mar	7148	125	5	Ven	7179	156
6	Lun	7119	96	6	Mer	7149	126	6	Sam	7180	157
7	Mar	7120	97	7	Jeu	7150	127	7	Dim	7181	158
8	Mer	7121	98	8	Ven	7151	128	8	Lun	7182	159
9	Jeu	7122	99	9	Sam	7152	129	9	Mar	7183	160
10	Ven	7123	100	10	Dim	7153	130	10	Mer	7184	161
11	Sam	7124	101	11	Lun	7154	131	11	Jeu	7185	162
12	Dim	7125	102	12	Mar	7155	132	12	Ven	7186	163
13	Lun	7126	103	13	Mer	7156	133	13	Sam	7187	164
14	Mar	7127	104	14	Jeu	7157	134	14	Dim	7188	165
15	Mer	7128	105	15	Ven	7158	135	15	Lun	7189	166
16	Jeu	7129	106	16	Sam	7159	136	16	Mar	7190	167
17	Ven	7130	107	17	Dim	7160	137	17	Mer	7191	168
18	Sam	7131	108	18	Lun	7161	138	18	Jeu	7192	169
19	Dim	7132	109	19	Mar	7162	139	19	Ven	7193	170
20	Lun	7133	110	20	Mer	7163	140	20	Sam	7194	171
21	Mar	7134	111	21	Jeu	7164	141	21	Dim	7195	172
22	Mer	7135	112	22	Ven	7165	142	22	Lun	7196	173
23	Jeu	7136	113	23	Sam	7166	143	23	Mar	7197	174
24	Ven	7137	114	24	Dim	7167	144	24	Mer	7198	175
25	Sam	7138	115	25	Lun	7168	145	25	Jeu	7199	176
26	Dim	7139	116	26	Mar	7169	146	26	Ven	7200	177
27	Lun	7140	117	27	Mer	7170	147	27	Sam	7201	178
28	Mar	7141	118	28	Jeu	7171	148	28	Dim	7202	179
29	Mer	7142	119	29	Ven	7172	149	29	Lun	7203	180
30	Jeu	7143	120	30	Sam	7173	150	30	Mar	7204	181
				31	Dim	7174	151				

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : Daniel HESTROFFER

Directeur adjoint : Philippe ROBUTEL

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

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

Astronomes adjoints : Benoît CARRY,
Florent DELEFLIE,
Pascal DESCAMPS,
Valéry LAINEY,
Jérémy 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 : Gwenaél BOUÉ,
Marc FOUCHARD,
Laurent NIEDERMAN,
Nicolas RAMBAUX,

Stéfan RENNER.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

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

Ingénieurs d'études : Mirel BIRLAN,
Hervé MANCHE,
Zhiqiang QIN,
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 : Romain DECOSTA,
Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER,
Louis-Étienne MEUNIER,
Jonathan NORMAND,
Nicolas THOUVENIN.

Assistants ingénieurs : François NOCTULE.

Techniciens : Maïder BUGNON OLANO,
Philippe DUHAMEL,
Yohann GOMINET,
Kamel MESLOUG,
Agnès PATU.

ÉTUDIANTS pour l'année 2014

Thésitifs : Pierre AUCLAIR-DESROTOUT,
Farida BAIDOLDA,
Thibaut CASTAN,
Jérôme DAQUIN,
Yann DUCHEMIN,
Auriane EGAL,

Nathan HARA,
Fatoumata KEBE,
Irina KOVALENKO,
Adrien LEULEU,
Shan-Na LI,
Alexandre POUSSE,
Melanie SAILLENFEST,
Éléonore SAQUET.
Josselin DESMARS,
Siegfried EGGL,
Maria KUDRYASHOVA,
Jessica MASSETI,
Andy RICHARD.

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>	Pascal WILLIS

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

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

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.

Denis PRIOU, directeur de la recherche et de l'enseignement à l'Institut national de l'information géographique et forestière.

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

Daniel HESTROFFER ([°]), astronome, directeur de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Richard BONNEVILLE, directeur adjoint au CNES.

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".

Catherine DE BERGH, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Yves DESNOËS, ingénieur général de l'Armement, ancien directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Frédérique RÉMY, directeur de recherche au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.

Chantal BALKOWSKI, astronome, observatoire de Paris.

Véronique DEHANT, chef de section, observatoire royal de Belgique.

Annie SOURIAU, sismologue émérite l'observatoire Midi-Pyrénées.

Michel DIAMENT, institut de physique du globe de Paris.

Alessandro MORBIDELLI, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur.

Patrick CHARLOT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Bordeaux .

Terry QUINN, directeur émérite 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

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.

Gilbert AMAT, professeur honoraire, université de Paris VI.

Michel LEFEBVRE, ingénieur honoraire CNES, Groupe de recherches de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées.

Secrétaire administratif : Michel TELLIER, Pascale CHARPENTIER.

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 1 5

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



40 euros

978-2-7598-1258-5

www.edpsciences.org

edpsciences