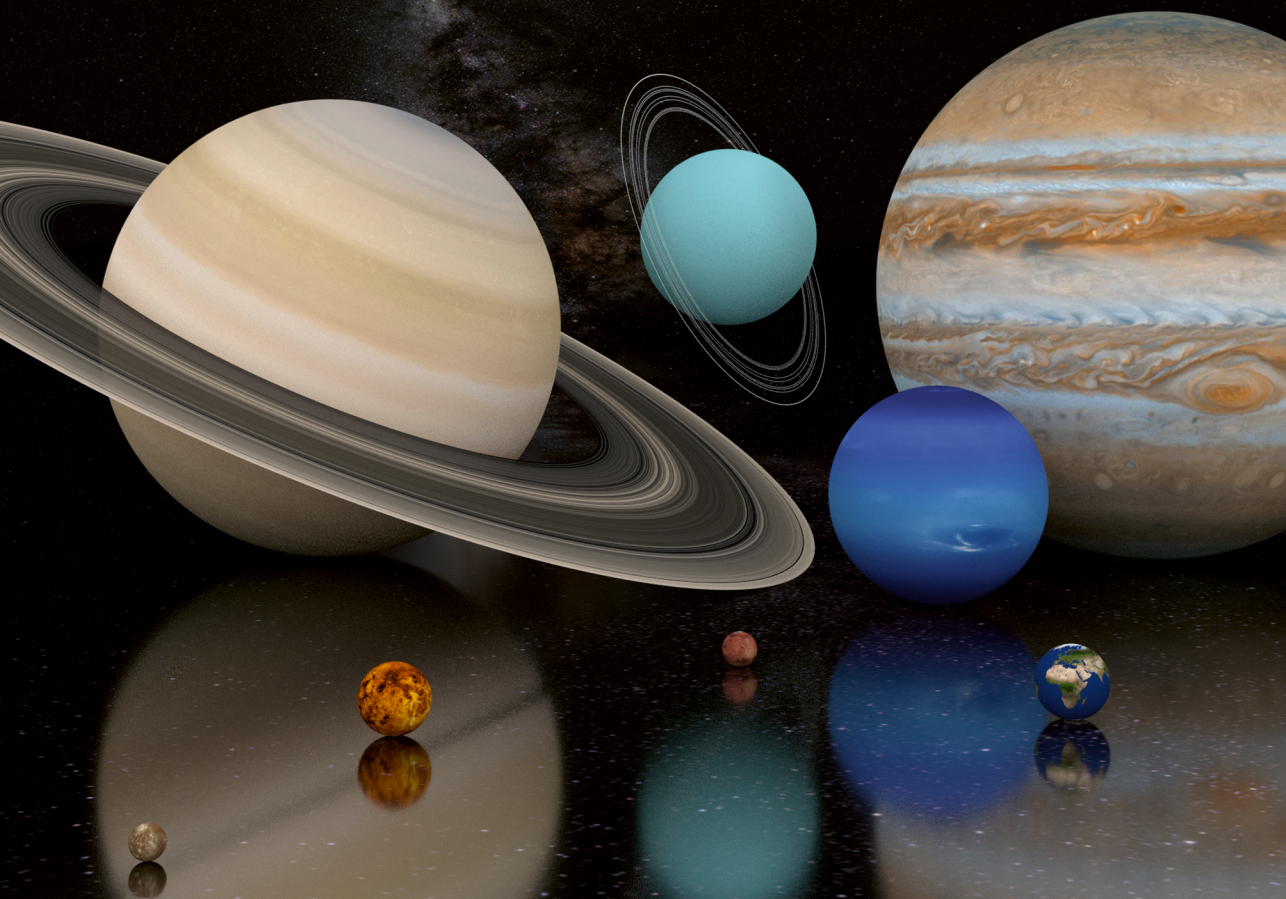


CONNAISSANCE DES TEMPS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2019



imce


Bureau des Longitudes

BUREAU DES LONGITUDES

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE
ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

CONNAISSANCE DES TEMPS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2019

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2019.

Agenda astronomique pour 2019.

Le Passage de Vénus, IMCCE et observatoire de Paris, 2004.

Introduction aux éphémérides astronomiques. Supplément explicatif à la Connaissance des Temps (1998) (nouvelle édition en 2019).

Le Manuel des éclipses, édition en 2005.

Publication éditée par Edinautic, Paris

Éphémérides Nautiques 2019.

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

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.

© IMCCE / Bureau des longitudes 2018

ISBN : 978-2-910015-80-0

Le logiciel ecdt qui accompagne cet ouvrage est téléchargeable à l'adresse suivante :

www.imcce.fr/ecdt

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

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

Claude Boucher
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 solutions 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 solution de précession-nutation de la Terre, UAI2000, et l'utilisation de l'origine non-tournante sont appliquées. Les valeurs des constantes liées aux nouveaux concepts sont données par les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2009 et 2012.
- La représentation des coordonnées en développements polynomiaux est maintenant abandonnée dans les pages de l'ouvrage, au profit d'une représentation tabulée, mais reste en usage sous forme

de fichiers électroniques accessibles à l'utilisateur.

– Un logiciel d'éphémérides électroniques *eCDT*, téléchargeable à l'adresse suivante :
<http://www.imcce.fr/ecdt>.

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 341^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.

J. Laskar

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

Membre du Bureau des longitudes et de l'Académie des sciences

M. Birlan

Responsable de la publication

J. Normand

Responsable du logiciel

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

LISTE DES ACRONYMES

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

ERRATA

Connaissance des Temps 2018

– page I. vi ,

au lieu de Ce volume est le 339^e, *lire* Ce volume est le 340^e.

– page I. 169 ,

au lieu de Pour cette édition 2012 et les suivantes, *lire* Pour l'édition 2012 et les suivantes.

– page I. 190 Echelles de temps,

au lieu de en prenant $t - t_u = 68$ s, *lire* en prenant $t - t_u = 69, 184$ s.

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

Les serveurs sur Internet

<http://www.imcce.fr>

<http://www.imcce.eu>

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

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

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

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	I. iii
Préface	I. v
Liste des acronymes	I. vii
Notations	I. ix
Errata	I. ix
Les serveurs de l'IMCCE	I. x
Table des matières	I. xi
PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES	I. 1
1. Définitions et données astronomiques	I. 3
1.1. Introduction	I. 3
1.2. Systèmes d'unités	I. 4
1.3. Le système UAI de constantes astronomiques	I. 9
1.4. Données concernant les corps du système solaire	I. 16
1.5. Autres constantes et unités	I. 31
1.6. Bibliographie.	I. 34
2. Échelles de temps	I. 39
2.1. Introduction. Le temps et les astronomes	I. 39
2.2. Évolution des échelles de temps	I. 40
2.3. Le temps universel (TU ou UT, Universal Time)	I. 42
2.4. Le temps atomique international (TAI)	I. 43
2.5. Le temps universel coordonné (UTC, Universal Time Coordinated)	I. 46
2.6. Le temps des éphémérides (TE ou ET, Ephemeris Time)	I. 49
2.7. Les échelles de temps relativistes	I. 50
2.8. Bibliographie	I. 55
3. Systèmes de référence	I. 63
3.1. Introduction aux systèmes de référence	I. 63
3.2. Systèmes de référence relativistes	I. 65
3.3. Systèmes de référence dynamiques	I. 72
3.4. Le système de référence céleste international ICRS	I. 80
3.5. Le système international de référence terrestre ITRS	I. 86
3.6. Passage du système de référence céleste géocentrique au système de référence terrestre	I. 94

3.7. Bibliographie	I. 109
4. Rotation de la Terre	I. 115
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 115
4.2. La précession	I. 121
4.3. Modèles de nutation	I. 127
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 137
4.5. Bibliographie	I. 146
5. Changements de coordonnées	I. 149
5.1. Notions préliminaires	I. 149
5.2. Coordonnées usuelles	I. 151
5.3. Formules de changements de coordonnées	I. 156
5.4. Application des résolutions de l'UAI 2001 aux changements de coordonnées	I. 164
5.5. Bibliographie	I. 168
6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 169
6.1. Introduction	I. 169
6.2. TT-TDB	I. 170
6.3. Ajustement aux observations planétaires	I. 171
6.4. Paramètres ajustés dans INPOP10a	I. 171
6.5. Précisions et incertitudes sur les orbites des planètes	I. 172
6.6. La Lune	I. 178
6.7. Bibliographie	I. 181
7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 183
7.1. Introduction	I. 183
7.2. Modèle dynamique	I. 183
7.3. Ajustement aux observations	I. 184
7.4. Représentation des solutions	I. 186
7.5. Bibliographie	I. 188
8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 189
8.1. Présentation des éphémérides	I. 189
8.2. Sources des éphémérides	I. 193
8.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 194
8.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 196
8.5. Précision des éphémérides	I. 198
8.6. Bibliographie	I. 202

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2019	II. 1
Temps sidéral, nutation	II. 3
Temps sidéral, nutation en longitude et obliquité	II. 4
Angle de rotation de la Terre	II. 9
Angle de rotation de la Terre, équation des origines	II. 10
Système céleste intermédiaire	II. 15
Coordonnées du CIP X et Y, Angle s	II. 16
Soleil	II. 21
Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite, déclinaison, temps de passage	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30
Lune	II. 35
Ascension droite, déclinaison, distance	II. 36
Planètes principales	II. 53
Coordonnées héliocentriques	II. 54
Mercure	II. 54
Vénus	II. 58
Mars	II. 60
Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune	II. 61
Coordonnées géocentriques	II. 62
Mercure	II. 62
Vénus	II. 66
Mars	II. 70
Jupiter	II. 74
Saturne	II. 78
Uranus	II. 82
Neptune	II. 86
Pluton et astéroïdes	II. 91
Coordonnées géocentriques	II. 92
Pluton	II. 92
Cérès	II. 93
Pallas	II. 94
Junon	II. 95

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

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES

Chapitre 1. Définitions et données astronomiques	I. 3
Chapitre 2. Échelles de temps	I. 39
Chapitre 3. Systèmes de référence	I. 63
Chapitre 4. Rotation de la Terre.....	I. 115
Chapitre 5. Changements de coordonnées.....	I. 149
Chapitre 6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 169
Chapitre 7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 183
Chapitre 8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 189

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

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

1.1. INTRODUCTION

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

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

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

par la résolution B3 de l’UAI2015 concernant les valeurs standard des masses du Soleil, de la Terre et de Jupiter (Prsa et al. 2016)

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

1.2. SYSTÈMES D’UNITÉS

1.2.1. Système fondamental

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Unité de temps : la seconde est la durée de $9\,192\,631\,770$ périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (13^e CGPM, 1967).

Unité de courant électrique : l'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newton par mètre de longueur (CIPM, 1946 et 9^e CGPM, 1948).

Unité de température thermodynamique : le kelvin est la fraction $1/273.16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau (13^e CGPM, 1967).

Unité de quantité de matière : la mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0.012 kilogramme de carbone 12. Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules (14^e CGPM, 1971). Remarquons que, dans la définition de la mole, il est entendu que l'on se réfère à des atomes de carbone 12 non liés, au repos et dans leur état fondamental.

Unité d'intensité lumineuse : la candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est $1/683$ watt par stéradian (16^e CGPM, 1979).

Les unités dérivées sont formées par combinaison des unités de base à l'aide de relations algébriques liant les grandeurs correspondantes (cf. Bureau des longitudes, 1981).

La classe des unités supplémentaires d'angle plan et d'angle solide, le radian et le stéradian, a été abrogée par la 11^e CGPM, (1995). Ces unités sont désormais interprétées comme unités dérivées sans dimension.

Le radian est l'angle plan compris entre deux rayons qui, sur la circonférence d'un cercle, interceptent un arc de longueur égale à celle du rayon. Il a pour symbole rad.

Le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère. Il a pour symbole sr.

Par ailleurs, le Comité international des poids et mesures a adopté en 1996 une nouvelle classification des unités en dehors du SI qui peuvent être utilisées avec le SI. Parmi celles-ci, on donne dans la table 1.2 les unités usuelles de temps et d'angle employées quotidiennement.

Table 1.2. Unités en dehors du SI, en usage avec le SI.

Nom	Symbole	Valeur en unité SI
minute	min	1 min = 60 s
heure	h	1 h = 60 min = 3600 s
jour	d	1 d = 24 h = 86400 s
degré	°	1° = ($\pi/180$) rad
minute	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\,800$) rad
seconde	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\,000$) rad

Il est recommandé que le degré soit subdivisé de manière décimale plutôt qu'en utilisant la minute et la seconde.

1.2.2. Système UAI d'unités astronomiques

Unités de base

Les trois unités de base du système d'unités astronomiques, complétant le SI, sont réunies dans la table 1.3.

Table 1.3. Unités de base du système UAI d’unités astronomiques.

Grandeur	Unité	Symbole
Longueur	unité astronomique	ua
Temps	jour	d
Masse	masse du Soleil	M_{\odot}

Définitions

L’unité de temps est le jour, égal à 86 400 secondes du Système International d’unités.
 L’unité de masse est la masse du Soleil.

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

La définition antérieure de l’unité de longueur l’établissait comme étant le demi-grand axe d’une orbite que décrirait autour du Soleil une planète de masse négligeable, non perturbée, dont le moyen mouvement est égal à k radians par jour, k étant la constante de Gauss, les unités de temps et de masse étant celles que l’on vient de définir ⁽¹⁾.

Unités auxiliaires

On utilise comme unité auxiliaire de temps, l’année julienne définie comme étant égale à 365,25 jours, et le siècle julien égal à 100 années juliennes, soit 36 525 jours.

Les unités auxiliaires de longueur sont le parsec (pc) et l’année lumière (al). Le parsec est la distance d’une étoile dont la parallaxe annuelle est égale à une seconde de degré, c’est-à-dire, la distance à laquelle une unité astronomique est vue sous un angle d’une seconde de degré. L’année lumière est le trajet parcouru par la lumière pendant une année julienne dans un espace-temps vide de matière.

Unités en mécanique céleste relativiste

Dans le cadre de la mécanique relativiste (UAI, 2000) les unités sont celles du SI pour un système de référence barycentrique dont le temps-coordonnée est le TCB et pour un système de référence géocentrique dont le temps-coordonnée est le TCG (cf. 2.7.1). L’emploi du TDB comme temps-coordonnée d’un système barycentrique (Seidelmann et Fukushima, 1992) ou du TT comme temps-coordonnée d’un système géocentrique entraîne l’introduction de nouvelles unités de temps et de longueur afin de conserver constante la valeur de la vitesse de la lumière (cf. 2.7.2). En désignant par s_B et m_B les unités de temps et de longueur compatibles avec l’emploi du TDB et par s_G et

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

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

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

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

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

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

1.2.3. Tables de correspondance

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

Table 1.4. Correspondance entre les unités de temps.

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

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

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

1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

1.3.1. Origine des temps

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

L'époque standard a été définie pour l'UAI 1976, comme étant 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. Notons que la résolution B3 de l'UAI2015 statue des valeurs standards sur la constante héliocentrique, ainsi que sur celles concernant Jupiter et la Terre, en tronquant à la décimale où les valeurs sont identiques dans les échèles de temps TDB et TCB (Prsa et al. 2016). Ces valeurs seront utilisées lors des recherches concernant la dynamique des systèmes extrasolaires.

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 INPOP10a (Fienga, 2011).

La table 1.8 donne les rapports des masses des principaux satellites de Jupiter, Saturne et Neptune à la masse de la planète centrale pour le système UAI 1976 et pour des systèmes plus récents.

Masses des astéroïdes

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

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

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

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

Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil

La table 1.9 donne les rayons équatoriaux R_e des planètes, de la Lune et du Soleil dans les systèmes UAI 2009 et Seidelmann et al. 2002.

Champ de gravitation des planètes et de la Lune

Pour évaluer le potentiel gravitationnel U créé par un corps du système solaire en un point extérieur à ce corps, on utilise des développements en harmoniques sphériques de coefficients C_{nk} et S_{nk} , sous la forme :

$$U = \frac{Gm}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{k=0}^n (C_{nk} \cos k\lambda + S_{nk} \sin k\lambda) P_{nk}(\sin \varphi) \right]$$

où G désigne la constante de la gravitation universelle, m la masse du corps et a son rayon équatorial ; λ , φ et r sont les coordonnées sphériques (respectivement, la longitude, la latitude et la distance à l'origine) du point courant dans un système de référence lié au corps et défini par son centre de masse, son équateur et son méridien origine. $P_{nk}(u)$ est une fonction de Legendre de seconde espèce égale à :

$$P_{nk}(u) = \frac{1}{2^n n!} (1 - u^2)^{k/2} \frac{d^{n+k}(u^2 - 1)^n}{du^{n+k}}.$$

On distingue les harmoniques zonaux ($k = 0$) des harmoniques tesséraux ($k \neq 0$). On pose $J_n = -C_{n0}$. Pour les corps à symétrie de révolution, les coefficients des harmoniques tesséraux sont nuls.

Table 1.6. Constantes astronomiques dans les systèmes de l’UAI 2009/2012 et IERS 2003/2010.

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

Table 1.6. (fin).

	UAI 2009/2012	IERS 2003/2010
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, μ	$0.012\,300\,0371 \pm 4 \times 10^{-10}$	$0.012\,300\,0383 \pm 5 \times 10^{-10}$
Masse du Soleil, $GS/G = S$	1.9884×10^{30} kg	
Rapport de la masse du Soleil à la masse de la Terre $GS/GM = S/M$	332 946.0	
Rapport de la masse du Soleil à la somme des masses de la Terre et de la Lune, $(S/M)/(1 + \mu)$	328 900.5	
Aplatissement de la Terre, f	$0.003\,352\,81 = 1/298.257$	$1/298.256\,42 \pm 1/0.00001$
Constante de la précession par siècle julien pour J2000, p	$5\,028''.796\,195$ (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 INPOP10a. Les valeurs numériques entre parenthèses donnent les erreurs estimées.

	UAI2009/2012	INPOP10a
Mercure	6 023 600(300)	6 023 600.002
Vénus	408 523.719(8)	408 523.710
Terre + Lune		328 900.552
Terre	332 946.048 7(7)	
Mars	3 098 703.59(2)	3 098 708.001
Jupiter + satellites galiléens	1 047.348 644(2)	1 047.3486
Saturne + satellites	3 497.9018(1)	3 497.898
Uranus + satellites	22 902.98(3)	22 902.980
Neptune + satellites	19 412.26(3)	19 412.240
(134 340) Pluton + satellites	136 566 000(28 000)	135 200 000.038
(136 199) Eris	119 100 000(1 400 000)	

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 issus respectivement des théories VSOP2013 et TOP2013 (Simon et al, 2013) ; 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. La notation BTL représente le barycentre Terre-Lune.

Planète	a (ua)	λ (radians)	k	h	q	p
Mercure	0.387 098 31	4.402 608 63	0.044 660 63	0.200 723 31	0.040 615 64	0.045 635 49
Vénus	0.723 329 82	3.176 134 46	–0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 11	0.028 822 82
BTL	1.000 001 02	1.753 470 37	–0.003 740 82	0.016 284 49	0	0
Mars	1.523 679 34	6.203 500 01	0.085 365 59	–0.037 899 71	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	0.599 546 11	0.046 985 85	0.012 003 72	–0.002 065 62	0.011 183 86
Saturne	9.554 910 39	0.874 018 51	–0.002 959 91	0.055 429 64	–0.008 717 46	0.019 891 44
Uranus	19.218 438 56	5.481 225 40	–0.045 953 07	0.005 648 34	0.001 859 24	0.006 486 02
Neptune	30.110 415 99	5.311 897 93	0.005 998 84	0.006 691 81	–0.010 291 48	0.011 516 77
Pluton	39.544 617 14	4.165 471 12	–0.178 738 96	–0.173 404 72	–0.051 702 31	0.139 779 93

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 J2000 (E), soit par rapport à l'équateur de la planète (e). Dans cette table figurent en outre,

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

les noms des découvreurs des satellites et des anneaux ainsi que la date de leur découverte : en particulier les découvertes par Voyager 1 des anneaux de Jupiter (Johnson et al., 1979) et de l’anneau D de Saturne (Smith et al., 1981), et celles par Pioneer 11 des anneaux F et G (Gehrels et al., 1980).

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

Planètes	P (jours)	T	
Mercuré	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 (10^3km)	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)	0.5765	Showalter (²)	1990
Atlas	XV	137.67	0.0012	0.003	(e)	0.6031	Voyager 2	1980
Prométhée	XVI	139.38	0.0022	0.007	(e)	0.6144 99	Voyager 2	1978
Pandore	XVII	141.71	0.0042	0.051	(e)	0.6299	Voyager 2	1980
Épiméthée	XI	152.03	0.0099	0.326	(e)	0.699 92	Fountain/Larson	1978
Janus	X	152.03	0.0067	0.148	(e)	0.699 92	Dollfus	1966
Mimas	I	186.018	0.016/0.022	1.61/1.63	(e)	0.947 33	Herschel	1789
Encelade	II	238.409	0.003/0.006	0.008/0.02	(e)	1.374 52	Herschel	1789
Calypso	XIV	294.95	0.003	0.025	(e)	1.8914	Voyager 2	1980
Télésto	XIII	294.98	0.002	0.025	(e)	1.8918	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
Rhée	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
Hypérion	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
Aché	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
Dia	LI	12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	CBET4075
S/2003 J 2		28 494	0.380	151.83	167.11	4.73	982.61	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 3		18 291	0.241	143.73	98.23	240.36	505.36	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 4		23 196	0.204	144.86	193.98	190.71	721.71	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 5		24 020	0.210	165.01	122.05	198.68	760.51	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 9		22 382	0.269	164.46	327.85	61.47	684.05	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 10		24 185	0.214	164.09	185.20	173.41	768.36	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 12		18 952	0.376	145.76	23.36	62.94	532.99	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 15		22 012	0.113	140.85	41.58	243.05	667.17	2003	10/06/03	M2003-G17
S/2003 J 16		20 434	0.269	148.62	82.43	23.62	596.76	2003	10/06/03	M2003-G18

Table 1.15. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
S/2003 J 18		20 219	0.104	146.37	98.15	215.50	587.38	2017	4/09/17	M2017-L09
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		23 401	0.332	148.77	341.94	105.25	731.32	2017	4/09/17	M2017-L10
S/2016 J 1		20 595	0.140	139.84	328.15	293.76	603.83	2017	4/09/17	M2017-L08
S/2017 J 1		23 484	0.397	149.20	79.73	326.77	735.21	2017	4/09/17	M2017-L47
Saturne										
Daphnis	XXXV	136.5					0.594	2005		IAUC 8524
Aegaeon	LIII	167.5	0.0002	0.001			0.80812	2008		IAUC 9023
Méthonné	XXXII	194					1.01	2004		IAUC 8389
Anthé	XLIX	197.7	0.001	0.1			1.0365	2007		IAUC 8857
Palléné	XXXIII	211					1.14	2004		IAUC 8389
Kiviuq	XXIV	11 319	0.166	48.39	91.26	351.82	449.60	2000	18/10/01	M2001-T07
Ijiraq	XXII	11 359	0.359	49.18	70.73	150.97	452.00	2000	18/10/01	M2001-T06
Paaliaq	XX	14 985	0.462	45.86	241.98	350.03	684.86	2000	18/10/01	M2001-T06
Skathi	XXVII	15 472	0.212	148.71	207.65	285.51	718.51	2000	18/10/01	M2001-T23
Albiorix	XXVI	16 496	0.452	37.40	59.55	109.01	791.01	2000	18/10/01	M2001-T07
Bebhionn	XXXVII	17 154	0.333	40.75	9.71	193.15	820.13	2004	30/01/05	M2005-J13
Skoll	XLVII	17 474	0.422	155.62	206.42	296.79	862.37	2006	06/03/06	M2006-M48
Erriapus	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarqeq	LII	17 910	0.108	49.90	65.59	91.95	894.91	2007	10/04/07	M2007-G38
Tarvos	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
Hyrrokkin	XLIV	18 168	0.360	153.3	268.52	47.34	914.29	2006	26/06/06	M2006-M44
Siarnaq	XXIX	18 201	0.380	48.50	65.94	63.72	916.80	2000	18/10/01	M2001-U42
Mundilfari	XXV	18 413	0.212	169.80	299.99	79.92	932.80	2000	18/10/01	M2001-T07
Greip	LI	18 654	0.317	172.85	138.77	343.63	951.20	2006	10/05/07	M2007-G29
Jarnsaxa	L	19 013	0.192	163.16	234.70	21.10	978.75	2006	28/02/07	M2007-D79
Bergelmir	XXXVIII	19 104	0.130	157.39	146.04	215.48	985.95	2004	14/02/06	M2006-C55
Suttungr	XXIII	19 186	0.145	174.65	73.01	252.94	992.16	2000	18/10/01	M2001-T06
Narvi	XXXI	19 244	0.313	136.39	175.00	184.35	996.71	2003	14/07/04	M2004-D41
Hati	XLIII	19 709	0.308	163.13	30.57	323.73	1 033.05	2004	14/02/06	M2006-C74
Thrymr	XXX	19 958	0.565	174.91	86.56	246.25	1 052.63	2000	18/10/01	M2001-X20
Farbauti	XL	19 985	0.175	158.36	351.16	146.07	1 054.78	2004	13/02/06	M2006-C72
Aegir	XXXVI	20 466	0.225	167.41	264.24	196.13	1 093.12	2004	10/02/06	M2006-C55
Bestla	XXXIX	20 519	0.745	147.38	82.19	290.32	1 097.35	2004	10/02/06	M2006-C55
Fenrir	XLI	21 931	0.105	162.83	124.32	239.48	1 212.53	2004	13/02/06	M2006-C72
Surtur	XLVIII	22 289	0.369	166.92	329.29	257.60	1 242.36	2006	06/07/06	M2006-N06
Kari	XLV	22 321	0.340	148.38	181.70	290.65	1 245.06	2006	06/03/06	M2006-M48
Loge	XLVI	22 984	0.142	166.54	46.81	344.12	1 300.95	2006	06/03/06	M2006-M48

Table 1.15. (fin).

Nom	N°	<i>a</i> (10 ³ km)	<i>e</i>	<i>I</i> (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	<i>P</i> (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Saturne										
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Fornjot	XLII	24 484	0.166	167.88	331.86	271.23	1 430.37	2004	14/02/06	M2006-C74
Polydeuces	XXXIV							2004		IAUC 8432
S/2004 S 3		140.58					0.621	2004		IAUC 8432
S/2004 S 4								2004		IAUC 8401
S/2004 S 7		20 577	0.554	165.60	100.47	346.26	1 101.99	2004	30/01/05	M2005-J13
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
Prospéro	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Sétébos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
Ferdinand	XXIV	20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
Neptune										
Halimède	IX	16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
Sao	XI	22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
Laomédie	XII	22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
Néso	XIII	47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
Psamathée	X	49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19
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 ses 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, Hypérior, 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 Hypérior 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°	<i>m</i>		<i>Gm</i> (m ³ s ⁻²)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Terre				
Lune		3.694 3037×10 ⁻⁸	1.230 0038×10 ⁻²	4.902 8006×10 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
Rhéal	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							
Rh�a	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⁾
Ph�eb�e	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⁾	
Desd�emone	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							
Nai�ade	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 :

$$1 \text{ eV} = 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ J approximativement.}$$

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

- Aksnes, K. : 1978, The motion of Jupiter XIII (Leda), 1974-2000, *Astron. J.* **83**, 1249.
- 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.
- 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.
- Fienga, A., Laskar, J., et al. : 2011, The INPOP10a planetary ephemeris and its applications in fundamental physics, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **111**, 363.
- 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.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1981, The satellite of Pluto, III, *Astron. J.* **86**, 442.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al., 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- 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.
- Prsa, A., Harmanec, P., Torres, G., et al. : 2016, Nominal values for selected solar and planetary quantities : IAU 2015 Resolution B3, *Astron. J.* **152** :2, id. 41.
- 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., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Simon, J.-L., Francou, G., Fienga, A., Manche, H. : 2013, New analytical planetary theories VSOP2013 and TOP2013, *Astron. Astrophys.* **577**, A49.
- 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 $T_1 = aT_2 + b$. Les échelles liées par ce type de relation sont dites équivalentes. En restreignant la question de l'uniformité du TAI à cet aspect on peut fournir une réponse basée sur l'observation. Les comparaisons du TAI et du Temps des éphémérides effectuées depuis près de quarante ans indiquent que l'écart entre les deux échelles est demeuré constant

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

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 l'UTC comme échelle largement diffusée et accessible pour les besoins civils est en discussion au sein des instances internationales incluant les communautés astronomique, géodésique et géophysique ainsi que les organismes de télécommunications et de navigation. Le reproche principal que l'on peut faire à cette échelle est son absence de continuité matérialisée par l'introduction d'une seconde intercalaire, imposant des mises à jour de tables dans des programmes informatiques. De plus certains systèmes automatiques ne sont pas en mesure d'intégrer ces sauts.

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

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

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

Table 2.2. Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2019 (selon l’IERS).

Date début	Date fin	TAI – UTC	Date début	Date fin	TAI – UTC
1/01/1972	1/07/1972	10 s	1/01/1988	1/01/1990	24 s
1/07/1972	1/01/1973	11 s	1/01/1990	1/01/1991	25 s
1/01/1973	1/01/1974	12 s	1/01/1991	1/07/1992	26 s
1/01/1974	1/01/1975	13 s	1/07/1992	1/07/1993	27 s
1/01/1975	1/01/1976	14 s	1/07/1993	1/07/1994	28 s
1/01/1976	1/01/1977	15 s	1/07/1994	1/01/1996	29 s
1/01/1977	1/01/1978	16 s	1/01/1996	1/07/1997	30 s
1/01/1978	1/01/1979	17 s	1/07/1997	1/01/1999	31 s
1/01/1979	1/01/1980	18 s	1/01/1999	1/01/2006	32 s
1/01/1980	1/07/1981	19 s	1/01/2006	1/01/2009	33 s
1/07/1981	1/07/1982	20 s	1/01/2009	1/07/2012	34 s
1/07/1982	1/07/1983	21 s	1/07/2012	1/07/2015	35 s
1/07/1983	1/07/1985	22 s	1/07/2015	1/01/2017	36 s
1/07/1985	1/01/1988	23 s	1/01/2017		37 s

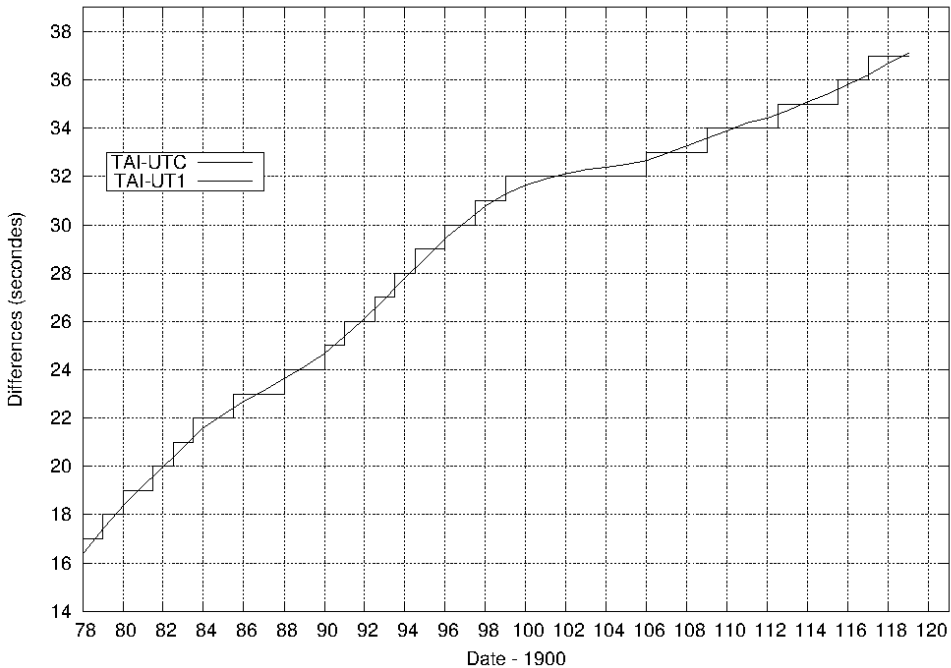


Fig. 2.1. Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1978 à 2019.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.7. LES ÉCHELLES DE TEMPS RELATIVISTES

2.7.1. Les échelles TCB et TCG

Depuis 1991, les systèmes de référence d'espace et de temps adoptés par l'UAI sont construits dans le cadre de la théorie de la relativité générale. La théorie est la forme standard obtenue en donnant aux paramètres post-newtoniens leur valeur nominale, $\gamma = 1$ et $\beta = 1$ pour les deux plus importants. Ce cadre général est présenté dans le paragraphe 3.2 consacré aux systèmes de référence. Dans ce chapitre nous considérons uniquement les conséquences sur les échelles de temps avec l'introduction des deux échelles de temps-coordonnée TCB et TCG, qui seront ensuite reliées à des réalisations, dont le TAI. La théorie de la relativité et la précision atteinte aujourd'hui dans les observations amènent à distinguer les échelles de temps dynamiques selon qu'elles sont considérées comme échelles de temps-coordonnée ou comme échelles de temps propre. On présente ici les calculs qui établissent la relation la plus importante entre ces échelles.

Soit le système de coordonnées barycentriques (BCRS) dans lequel la métrique de l'espace-temps dans le système solaire, en utilisant la convention de sommation d'Einstein (voir 3.1.1), prend la forme :

$$ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta,$$

où l'on peut écrire les différentes composantes du tenseur métrique $g_{\alpha\beta}$ en fonction des coordonnées barycentriques (t : TCB, \mathbf{x}). En considérant les planètes comme des masses ponctuelles, les solutions des équations d'Einstein s'écrivent, à l'ordre $1/c^4$ (UAI, 2001),

$$\begin{aligned} g_{00} &= - \left(1 - \frac{2U}{c^2} + \frac{2U^2}{c^4} + \frac{\Delta(t, \mathbf{x})}{c^4} \right), \\ g_{0i} &= - \frac{4U^i}{c^3}, \\ g_{kl} &= \left(1 + \frac{2U}{c^2} \right) \delta_{kl}, \end{aligned}$$

où δ_{ki} est le symbole de Kronecker, égal à 0 si $k \neq i$ et à 1 si $k = i$. Dans les expressions ci-dessus U est le potentiel newtonien produit au point $M(\mathbf{x})$ par les planètes, de masses m_p et de vecteurs positions \mathbf{x}_p :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où

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

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

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

qui conduit par intégration à l'équation suivante :

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

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

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

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

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

avec

$$L_C = 1,480\,826\,867\,41 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}.$$

L'intégration complète de l'équation aboutit à une éphéméride du TCG en fonction du TCB qui peut être représentée par des séries de polynômes de Tchebychev, ou bien par un développement analytique en série de Poisson, si les théories planétaires sous-jacentes sont analytiques. C'est le cas de la solution de la table 2.3 qui donne les principaux termes de la série calculée par Fairhead et Bretagnon (1990) à partir de la théorie VSOP87. Cette série a la forme :

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

où TDB est le Temps dynamique barycentrique exprimé en siècles juliens de 36 525 jours écoulés depuis l'époque J2000. Les coefficients A_i^{α} sont exprimés en microsecondes (μs) (en toute rigueur μs pour $\alpha = 0$, $\mu\text{s}/\text{siècle}$ pour $\alpha = 1$, etc.). La table 3.3 contient tous les termes dont l'amplitude est supérieure à 0.1 nanoseconde (ns) sur une durée d'un siècle. Elle assure une précision de 1 ns sur la transformation $\text{TCB} \Leftrightarrow \text{TCG}$. Elle contient 474 termes périodiques ($\alpha=0$), 81 termes en $t \sin t$ ($\alpha=1$), 6 termes en $t^2 \sin t$ ($\alpha=2$) et un terme en $t^3 \sin t$ ($\alpha=3$). Notons que le deuxième terme de la série en $t^2 \sin t$ a une fréquence nulle et est donc, en réalité, un terme en t^2 .

2.7.2. Les échelles TT et TDB

L'échelle de *Temps terrestre* (TT) est l'échelle de temps utilisée pour les éphémérides géocentriques apparentes. Le TCG est une échelle de temps-coordonnée rattachée au géocentre, sans lien ni théorique ni pratique avec le TAI. Pour pallier ce défaut, on a souhaité définir une échelle idéale très proche du temps propre sur le géoïde et donc réalisable par des horloges locales. Son unité devait être la seconde SI sur le géoïde et l'échelle devait être en continuité avec le TE. À la date du 1 janvier 1977 à 0h TAI, TT a pour valeur 1 janvier 1977, 0h 0 min 32.184s. 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 $L_G \sim W_0/c^2 \sim GM_{\oplus}/R_{\oplus}c^2 \approx 6.95 \times 10^{-10}$. 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.

$$\begin{aligned} \text{TCB} - \text{TDB} &= L_B \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 - \text{TDB}_0 ; \\ \text{TDB}_0 &= -6.55 \times 10^{-5} \text{ s} ; \quad L_B = 1.550\,519\,768 \times 10^{-8} \\ \text{TCG} - \text{TT} &= L_G \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 ; \quad L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10} \\ \text{TT(TAI)} &= \text{TAI} + 32.184 \text{ s} \\ \text{TDB} &= \text{TT} + P \end{aligned}$$

2.8. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (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	2 195.415 7609	3.000 2980	1.09	351	0	0.000 228	3 301.902 1112	4.656 9855	0.19
304	0	0.000 342	613.202 8180	4.322 2386	1.02	352	0	0.000 227	628.700 8003	2.911 8916	1.00
305	0	0.000 341	1 214.666 7056	4.700 6580	0.52	353	0	0.000 225	1 646.033 3530	2.596 4518	0.38
306	0	0.000 338	606.584 4601	0.877 7761	1.04	354	0	0.000 223	1 980.094 5956	3.069 3274	0.32
307	0	0.000 336	-238.889 4020	5.353 7960	2.63	355	0	0.000 222	590.570 2242	3.731 9903	1.06
308	0	0.000 332	2 019.909 4960	1.652 9014	0.31	356	0	0.000 222	1 182.316 1639	1.942 3866	0.53
309	0	0.000 331	1 805.292 9543	0.566 7906	0.35	357	0	0.000 220	-13.562 5325	1.765 4303	46.33
310	0	0.000 331	607.370 8908	4.007 8812	1.03	358	0	0.000 216	630.385 1245	3.862 9423	1.00
311	0	0.000 330	1 055.759 4161	3.710 0437	0.60	359	0	0.000 211	575.656 6279	3.789 3928	1.09
312	0	0.000 329	626.884 8756	3.033 8277	1.00	360	0	0.000 209	-1 098.880 8158	2.636 1401	0.57
313	0	0.000 325	1 567.108 1759	2.178 8505	0.40	361	0	0.000 209	575.020 3491	1.661 9435	1.09
314	0	0.000 325	2 059.724 3963	0.180 0444	0.31	362	0	0.000 208	-22.752 6189	4.127 8838	27.62
315	0	0.000 323	1 259.245 0020	1.072 2628	0.50	363	0	0.000 206	7.032 8180	5.934 0761	89.34
316	0	0.000 318	70.993 3048	5.941 2071	8.85	364	0	0.000 205	-627.948 5421	1.829 3627	1.00
317	0	0.000 318	13.851 7497	2.253 2530	45.36	365	0	0.000 205	628.666 6279	1.742 8823	1.00
318	0	0.000 311	691.585 9589	1.693 5742	0.91	366	0	0.000 204	22.747 6133	5.636 1927	27.62
319	0	0.000 305	938.800 5909	0.578 3402	0.67	367	0	0.000 203	158.195 9348	5.549 8536	3.97
320	0	0.000 304	-182.317 5189	3.409 0352	3.45	368	0	0.000 200	564.219 8243	1.016 1158	1.11
321	0	0.000 301	10.994 5689	0.510 9221	57.15	369	0	0.000 200	680.565 3268	0.868 2210	0.92
322	0	0.000 301	4 323.230 6658	6.205 3112	0.15	370	0	0.000 198	2 593.412 4331	3.832 7031	0.24
323	0	0.000 301	608.082 2455	2.135 3962	1.03	371	0	0.000 197	-7.084 9445	4.690 7025	88.68
324	0	0.000 299	31 642.822 8673	5.384 5937	0.02	372	0	0.000 197	53.362 3118	1.048 9829	11.77
325	0	0.000 297	2 407.292 1470	1.997 2494	0.26	373	0	0.000 195	406.121 9215	3.308 4634	1.55
326	0	0.000 294	-37.737 3608	3.708 7842	16.65	374	0	0.000 191	1 066.068 6935	5.405 5160	0.59
327	0	0.000 292	74.299 0061	2.714 3336	8.46	375	0	0.000 191	41.555 2491	4.401 1656	15.12
328	0	0.000 292	1 234.573 9058	4.096 0941	0.51	376	0	0.000 191	614.455 8353	5.020 3934	1.02
329	0	0.000 290	977.910 8676	1.812 3204	0.64	377	0	0.000 190	2 929.661 5390	4.175 6585	0.21
330	0	0.000 290	309.788 3823	4.075 2916	2.03	378	0	0.000 189	523.792 1014	5.245 3130	1.20
331	0	0.000 285	-53.321 4083	4.687 3132	11.78	379	0	0.000 189	15.377 8810	4.812 3726	40.86
332	0	0.000 284	563.606 5017	5.655 3858	1.11	380	0	0.000 188	1 311.972 1103	2.032 1958	0.48
333	0	0.000 280	1 235.996 6152	0.710 8725	0.51	381	0	0.000 188	147.886 6574	5.686 8658	4.25
334	0	0.000 280	2 823.723 3459	5.304 8291	0.22	382	0	0.000 187	4 716.251 6355	1.354 3719	0.13
335	0	0.000 276	2.429 8514	0.770 2994	258.58	383	0	0.000 187	1 191.914 0867	2.629 4566	0.53
336	0	0.000 271	1 309.584 2665	3.208 9122	0.48	384	0	0.000 185	-20.936 6942	4.694 7566	30.01

Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (fin).

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

3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

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

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

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

3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

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

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

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

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

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

3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

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

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

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

Une des possibilités envisageables est de considérer plusieurs systèmes de référence barycentriques et géocentriques, comme il avait été suggéré pour la première fois par Brumberg et al. (1996). Au niveau barycentrique, on peut considérer un système écliptique BRSC et un système équatorial BRSQ couplés à l’ICRS (BCRS, que l’on nommera dans la suite BRS). Leurs plans principaux coïncident avec les plans de l’écliptique et de l’équateur fixes à J2000. L’échelle de temps-coordonnée des trois systèmes quadridimensionnels est $t = \text{TCB}$. Leurs coordonnées dans l’espace peuvent être désignées par $\mathbf{x} = (x^i)$, $\mathbf{x}_C = (x_C^i)$ et $\mathbf{x}_Q = (x_Q^i)$, respectivement ($i = 1, 2, 3$). Au niveau géocentrique, chacun de ces trois systèmes introduit deux systèmes géocentriques, l’un dynamiquement (D) non-tournant par rapport au système barycentrique correspondant et l’autre cinématiquement non-tournant (K) par rapport à ce même système barycentrique. Il en résulte que l’on a au niveau géocentrique six systèmes géocentriques DGRS, KGRS, DGRSC, KGRSC, DGRSQ et KGRSQ. Ils ont tous comme échelle de temps-coordonnée $u = \text{TCG}$ (dans le cadre de l’approximation post-newtonienne). Leurs coordonnées spatiales sont désignées par $\mathbf{w} = (w^i)$, $\mathbf{w}_C = (w_C^i)$ et $\mathbf{w}_Q = (w_Q^i)$, respectivement. Si cela est nécessaire, les coordonnées spatiales des systèmes dynamiquement (D) non-tournant et cinématiquement (K) non-tournant peuvent être distinguées explicitement en précisant w^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 :

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec l'équation du temps relativiste

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

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

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

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

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

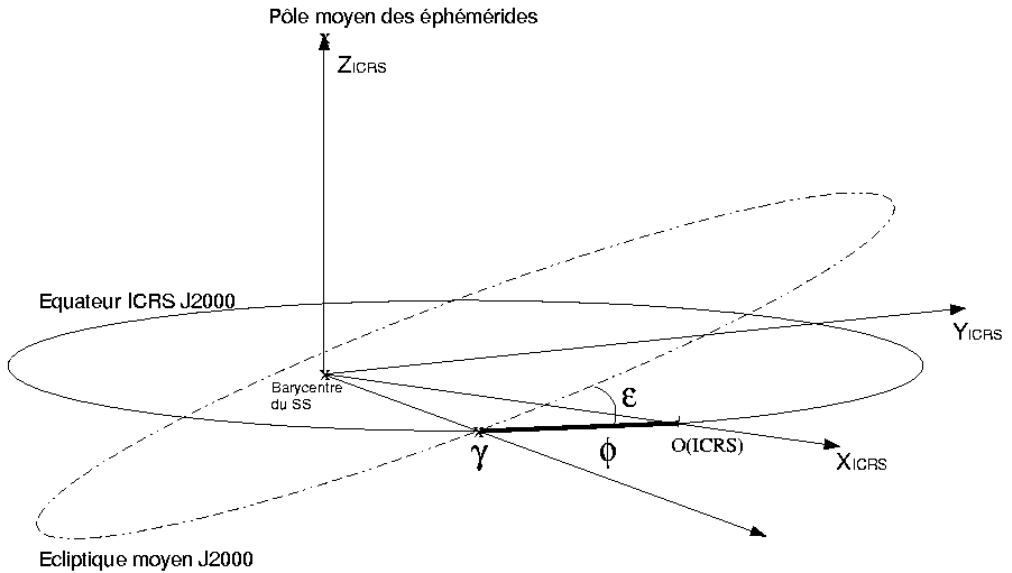


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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

3.3.2. Définitions

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

Le plan de *l'écliptique moyen inertiel de la date* est le plan perpendiculaire au moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune lorsque sa vitesse est calculée dans un système de coordonnées

non-tournant. C'est le plan naturel des équations du mouvement des planètes (Standish, 1981). Afin de relier le repère dynamique représenté par le plan de l'écliptique moyen inertiel de la date à un repère matérialisant un système de référence, on associe au plan de l'écliptique moyen inertiel de la date, *l'équinoxe dynamique moyen inertiel de la date* qui sera le nœud ascendant, noté γ sur la figure 3.3.1, du plan de l'écliptique inertiel moyen de la date sur le plan fixe de *l'équateur moyen de la date*, plan défini à partir de la direction du pôle céleste et les théories de précession-nutation associées au système de référence que l'on cherche à raccorder. De façon plus générale, lorsque l'on choisit le plan de l'écliptique inertiel moyen d'une date de référence comme plan de référence d'un système, on est amené à compléter ce choix par celui d'un axe fixe du plan, passant par le centre du système de référence et coupant la sphère céleste en un point dit origine ou origine des ascensions droites. On prend souvent pour origine l'équinoxe dynamique inertiel. Pour la définition de l'ICRS, il a été choisi comme origine des ascensions droites l'ascension droite moyenne de vingt-trois radio-sources (cf. 3.4). Ce point est très proche de l'équinoxe dynamique inertiel moyen à J2000 (Arias et al., 1988) et est représenté par $o(\text{ICRS})$ sur la figure 3.3.1. Sur cette figure est aussi indiqué l'angle ε d'inclinaison entre le plan écliptique moyen J2000 et le plan équatorial de l'ICRS.

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

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

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

3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

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

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

Nous choisissons ici de présenter trois d'entre eux. Le premier système de référence conventionnel 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

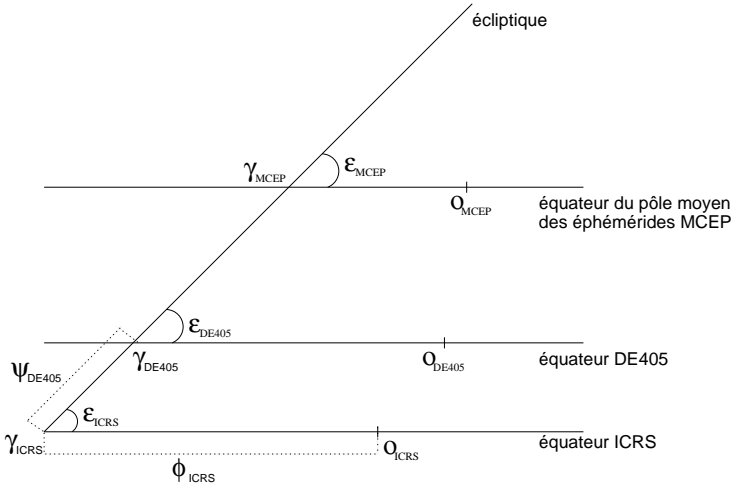


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d’après Chapront et al., 2002).

à la solution en séries du mouvement de la Lune ELP 2000-82B (Chapront et Chapront-Touzé, 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.

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	

Ainsi, si l'on choisit comme matrices de précession-nutation des matrices calculées à partir des 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

nutations 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 à d'autres systèmes de référence. La médiane des incertitudes des coordonnées des sources de définition dans l'ICRF1 est de ± 0.35 mas en ascension droite et ± 0.40 mas en déclinaison. L'analyse VLBI appliquée au calcul des coordonnées des sources de l'ICRF a donné des positions dans un système très proche de l'ICRS. La partie finale de l'établissement du repère conventionnel est son alignement à l'ICRS. Pour effectuer cet alignement on a utilisé un modèle basé sur celui qui a été développé à l'IERS pour la comparaison de catalogues VLBI (Arias et al., 1988). L'analyse de l'orientation du système quand on considère des ensembles différents de sources radio indique que les axes de l'ICRS sont stables au niveau de 0.020 mas.

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

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

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

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

3.4.8. Futur de l'ICRS

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

3.5. LE SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE TERRESTRE ITRS

3.5.1. Introduction

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

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

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

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

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

La réalisation de l'ITRS, appelée (ITRF : International Terrestrial Reference Frame) par les techniques modernes de géodésie spatiale a été confiée au Service International de la Rotation de la Terre et des Systèmes de Référence (IERS : International Earth Rotation and Reference Systems Service), 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 :

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

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

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

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

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

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

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

avec :

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

où I est la matrice unité.

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

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

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

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

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

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

3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.5.3.2. Réalisation par combinaison de repères de référence individuels

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

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

La combinaison consiste en l'estimation :

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

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

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

3.5.4. Le Système International de Référence Terrestre ITRS

3.5.4.1. Historique

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

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

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

3.5.4.2. Définition de l'ITRF

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

- L'origine et l'échelle sont définies par une moyenne de certaines solutions SLR.
- L'orientation est définie par des alignements successifs, depuis le BTS87 dont l'orientation a été alignée aux séries des paramètres d'orientation de la Terre (EOP) du BIH. Il est à noter cependant que l'orientation du BTS87 ainsi que son évolution temporelle ont à nouveau été alignées sur les EOP de l'IERS.
- L'évolution temporelle en orientation : pour l'ITRF88 et l'ITRF89, il n'y avait pas de champ de vitesses estimé, le modèle de mouvement des plaques tectoniques AMO-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,

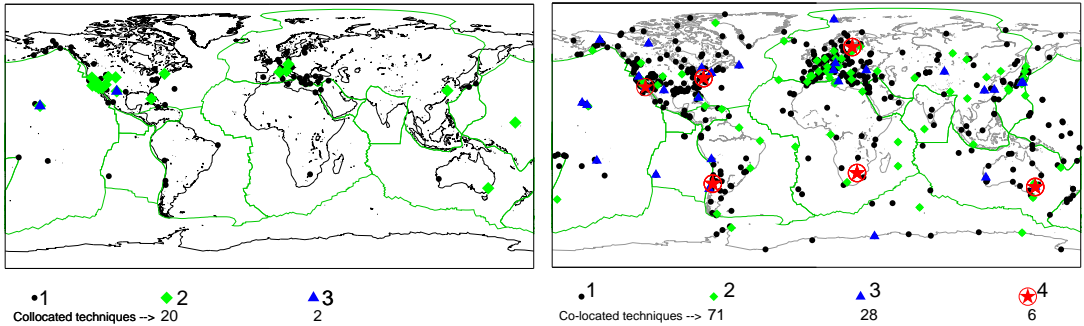


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

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-mutation. Ces diverses composantes sont décrites dans le chapitre 4. La représentation de la rotation de la Terre exige la connaissance du mouvement de l'axe instantané de rotation à la fois dans le système de référence céleste et dans le système de référence terrestre, ainsi que du mouvement de rotation de la Terre autour de son axe de rotation. On utilise ainsi, en pratique, cinq paramètres appelés *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) (cf. 4.4). Deux d'entre eux représentent la trajectoire du pôle intermédiaire sur la sphère céleste, deux autres expriment les

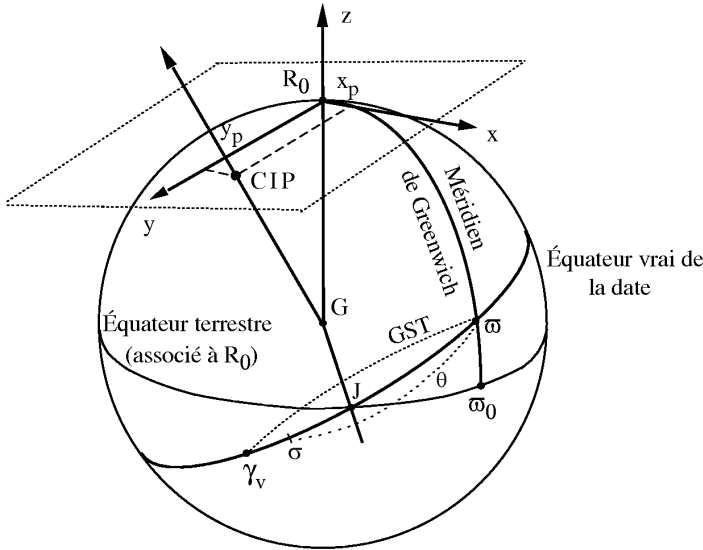


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

coordonnées, x_p, y_p , de ce pôle sur la sphère terrestre et le cinquième, la rotation de la Terre autour de l'axe du pôle. La connaissance de ces cinq paramètres en fonction de la date est indispensable pour effectuer la transformation (3.6.1).

Le Temps universel UT1, le temps sidéral à Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time) et l'ERA θ , sont trois angles qui donnent la direction du méridien origine par rapport à une direction céleste origine et peuvent ainsi être utilisés pour mesurer l'angle de rotation de la Terre. Pour des raisons historiques, c'est le Temps universel UT1, considéré dans le passé comme une forme théorique de temps solaire, qui est utilisé comme l'un des paramètres de rotation de la Terre. UT1 se rapporte à la direction d'un Soleil moyen fictif ayant un mouvement uniforme en UT1 le long de l'équateur. La définition de UT1 est ainsi basée sur une relation avec un angle horaire qui mesure plus directement l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste, tels que GST, angle horaire du point γ (expression classique) ou l'ERA, θ , angle horaire de l'origine non-tournante (expression nouvelle). GST se rapporte à une direction qui subit la précession et la nutation, tandis que θ se rapporte à une direction qui, par définition, n'a aucune rotation instantanée (cf. 3.6.4.4). Ceci permet de définir UT1 comme étant proportionnel à l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste. Les variations relatives de la vitesse angulaire de rotation de la Terre, $m_3 = (\omega_3 - \Omega)/\Omega$, se traduisent par des variations $\Delta UT1$ du paramètre UT1, telles que : $\Delta UT1 = (1/k) \int_0^t m_3 dt$, k étant le facteur de 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

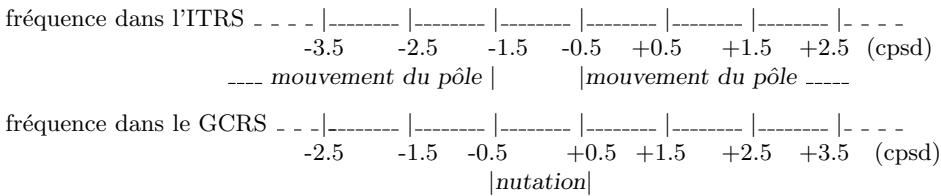
utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en R_0 . ϖ_0 est l'origine des longitudes, ϖ est l'intersection du méridien origine 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 12 h UT1 en moyenne lorsque le Soleil passe par le méridien origine.
- La relation linéaire entre l'ERA θ et UT1 doit permettre d'assurer la continuité en phase et en terme linéaire de UT1 avec la valeur obtenue en se basant sur la relation conventionnelle entre le temps sidéral du méridien de Greenwich et UT1 qui était utilisée en pratique avant le 1 janvier 2003.

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

3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

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

Soit (P_0) le système céleste quasi-inertiel défini par le pôle céleste moyen P_0 et l'équinoxe γ_0 à l'époque t_0 . On définit, dans l'équateur mobile à la date t , c'est-à-dire dans le système de référence équatorial instantané vrai de pôle P (dans la pratique, le CIP) et d'équinoxe γ_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

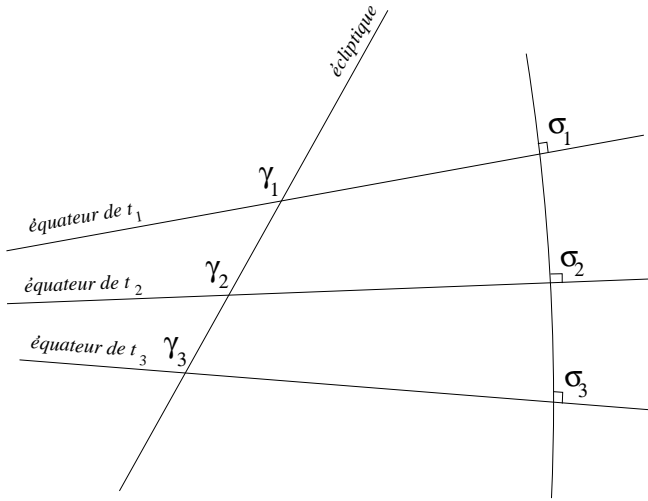


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

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

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

Ou bien, à des termes en d^4 près :

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

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

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

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

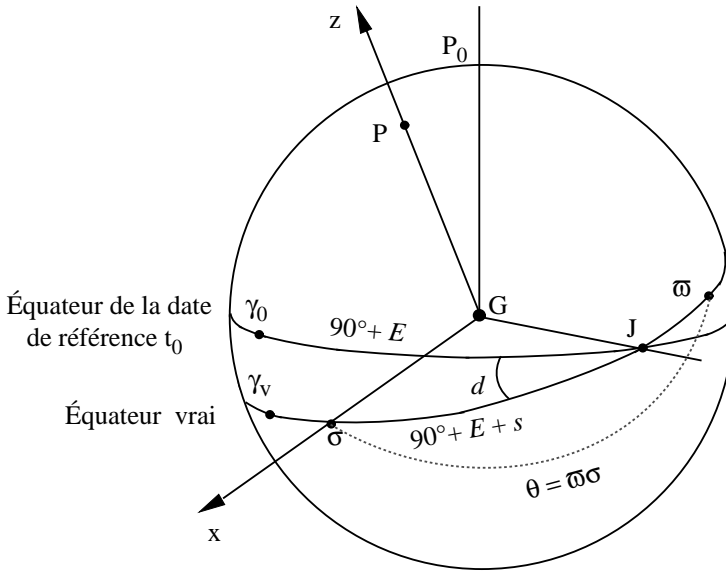


Fig. 3.6.3. Définition de l’origine “non-tournante”.

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

$\theta - \text{GST}$ est l’ascension droite de l’équinoxe comptée à partir du CIO, quantité également appelée *équation des origines* et dT_0 est une constante à ajuster pour assurer la continuité de UT1 à la date du changement (1 Janvier 2003) ; les autres termes représentent la précession-nutation en ascension droite accumulée de J2000 à la date t .

Cette expression est à la base de la relation numérique donnée par (3.6.23) entre le temps sidéral et UT1 qui a été obtenue par Capitaine et al. (2003b) en imposant : (i) l’équivalence avec la définition conventionnelle de UT1 donnée par (3.6.3), (ii) la compatibilité avec le modèle UAI 2000 de la nutation et l’expression correspondante de s , (iii) la continuité de UT1 avec la valeur obtenue au 1 janvier 2003 à 0h TT par les procédures utilisées avant le 1 janvier 2003.

3.6.5. Expression de la transformation entre le GCRS et l’ITRS utilisant l’origine non-tournante

3.6.5.1. Expression des matrices de rotation relatives aux origines non-tournantes

Toute transformation entre les 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) :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.6.6.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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 $0.1 \mu s$:

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

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

Ou bien, de façon équivalente :

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

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

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

3.7. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107 (B10)**, 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003a, The impact of a No-Net-Rotation Condition on ITRF2000, *Geophys. Res. Lett.* **30 (2)**, 1064, doi :10.1029/2002GL016279.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003b, ITRF2000 : From Theory to Implementation, *Proceedings of IAG V Hotine Marussi symposium*.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand J., Garayt, B., Boucher, C. : 2007. ITRF2005 : A New release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *J. Geophys. Res.*, **112**, B09401, doi : 10.1029/2007JB004949.
- Aoki, S., Guinot, B., et al. : 1982, The New Definition of Universal Time, *Astron. Astrophys.* **105**, 359.
- Argus, D.F., Gordon, R.G. : 1991, No-net rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.* **18**, 2038.
- Arias, E.F., Bouquillon, S. : 2004, Representation of the International Celestial Reference System (ICRS) by different sets of selected radio sources, *Astron. Astrophys.* **422**, 1105.
- Arias, E.F., Charlot, P., et al. : 1995, The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRF, *Astron. Astrophys.* **303**, 604.
- Arias, F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, Comparison of VLBI celestial reference frames, *Astron. Astrophys.* **199**, 357.
- Arias, E.F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, An extragalactic celestial reference frame consistency with the BIH terrestrial system (1987), BIH Annual Report for 1988, D-113, observatoire de Paris.
- Boucher, C. : 1989, Current intercomparisons between CTS's in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolacek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 324.
- Boucher, C. : 2001, Terrestrial coordinate systems and frames, in *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, MacMillan.
- Boucher, C., Altamimi, Z. : 1985, Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame, *The MERIT/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames* Vol. **2**, Mueller, I.I ed., OSU/DGS, Columbus, Ohio, USA.
- Bretagnon, P. : 1982, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. Solution VSOP82, *Astron. Astrophys.* **114**, 278.
- Bretagnon, P., Brumberg, V.A. : 2003, On transformation between international celestial and terrestrial reference systems, *Astron. Astrophys.* **408**, 387.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions for precession consistent with the IAU 2000A model. Considerations about the ecliptic and the Earth Orientation Parameters, *Astron. Astrophys.* **400**, 485.

- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1998, SMART97 : A new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Guinot, B. : 1996, Astronomical Units and Constants in the General Relativity Framework, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **64**, 231.
- Brumberg, V.A., Groten, E. : 2001, IAU Resolutions on Reference Systems and Time Scales in Practice, *Astron. Astrophys.* **367**, 1070.
- Brumberg, V.A., Simon J.-L. : 2004, Relativistic indirect third-body perturbations in the SMART Earth's rotation theory, in *Journées 2003, Systèmes de référence spatio-temporels*, Saint-Pétersbourg.
- Brzeziński, A., Capitaine N. : 2003, Lunisolar perturbations in Earth rotation due to the triaxial figure of the Earth : geophysical aspects, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels 2001*, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 51.
- Capitaine, N. : 1990, The Celestial Pole Coordinates," *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **48**, 127.
- Capitaine, N. : 2000a, Overview and proposition for a modern definition of the CEP in "Polar motion : Historical and scientific problems", *ASP Conference series*, Vol 208, S. Dick, D.D. McCarthy and B. Luzum eds, 573.
- Capitaine, N. : 2000b, Definition of the Celestial Ephemeris Pole and the Celestial Ephemeris Origin, in "Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond astrometry", K.J. Johnston, D.D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan eds, USNO, 153.
- Capitaine, N., Gontier A.-M. : 1993, Accurate procedure for deriving UT1 at a submilliarcsecond accuracy from Greenwich sidereal time or from stellar angle, *Astron. Astrophys.* **275**, 645.
- Capitaine, N., Guinot, B., McCarthy, D.D. : 2000, Definition of the Celestial Ephemeris origin and of UT1 in the international Reference Frame, *Astron. Astrophys.* **335**, 398.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T : 2003a, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Capitaine, N., Wallace, P.T, McCarthy, D.D. : 2003b, Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1, *Astron. Astrophys.* **406**, 1135.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003c, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M. : 1997, Lunar motion : theory and observations, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **66**, 31.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 1999, Determination of the lunar orbital and rotational parameters of the ecliptic reference system orientation from LLR measurements and IERS data, *Astron. Astrophys.* **343**, 624.

- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.
- Chapront, J., Francou, G. : 2003, The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations, *Astron. Astrophys.* **404**, 735.
- Charlot, P., Sovers, O.J., Williams, J.G., Newhall, X.X. : 1995, Precession and Nutation from Joint Analysis of Radio Interferometric and Lunar Laser Ranging Observations, *Astron. J.* **109**, 418.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S. : 1994, Effect of recent revisions of the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.* **21** (20), 2191.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB–TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feissel-Vernier, M. : 2002, Selecting stable extragalactic compact radio sources from the permanent astrogeodetic VLBI program, *Astron. Astrophys.* **403**, 105.
- Fey, A.L., Charlot, P. : 1997, VLBA observations of radio reference frame sources . II. Astrometric suitability based on observed structure, *Astrophys. J. Suppl.* **111**.
- Fey, A.L., Ma, C., Arias, E.F., Charlot, P. et al. : 2004, The second extension of the International Celestial Frame : ICRF-EXT.1 *Astron. J.*, **403**, (6), 3587.
- Folkner, W.M., Charlot, P., et al. : 1994, Determination of the extragalactic-planetary frame tie from joint analysis of radio interferometric and lunar laser ranging measurements, *Astron. Astrophys.* **287**, 279.
- Folkner, W.M., Williams, J.G., and Boggs, D.H. : 2009, The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421, IPN Progress Report 42-178, August 15, 2009.
http://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-178/178C.pdf
- Fricke, W. : 1982, Determination of the Equinox and Equator of the FK5, *Astron. Astrophys.* **107**, L13.
- Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T. et al. : 1988, Fifth Fundamental Catalogue (FK5), Veröff. Astron. Rechen-Institut Heidelberg 32, Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Guinot B. : 1979, Basic problems in the kinematics of the rotation of the Earth, in Time and the Earth's Rotation, IAU Symposium N 82, McCarthy D.D, Pilkington D.H. eds, D. Reidel, pp. 7–18.
- Guinot, B. : 2000, Time systems and time frames, the epochs, in *J2000, a fundamental epoch for origins of reference systems and astronomical models* (Journées 2000), Capitaine, N. ed., observatoire de Paris, 209.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al. : 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* 13, McCarthy ed., observatoire de Paris, 148.
- IERS : 1996, IERS Conventions (1996), *IERS technical note* 21, McCarthy ed., observatoire de

Paris.

- IERS : 1999, : First extension of the ICRF, ICRF-Ext.1, *1998 IERS Annual Report*, Gambis, D. ed., observatoire de Paris, 87.
- IERS : 2002, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, *IERS technical note 29*, Capitaine, N., Gambis, D., McCarthy, D.D., Petit, G., Ray, J., Richter, B., Rothacher, M., Standish, E.M., Vondrak, J. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS technical note 32*, McCarthy, D.D., Petit, G. eds, Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- IERS : 2009, The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry, *IERS technical note 35*, Fey A., Gordon, D., Jacobs, C. eds., Verlag des Bundesamts fr Kartographie une Geodsie, 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.*.
- 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.
- Moons, M. : 1984, Planetary perturbations of the libration of the Moon, *Celest. Mech.* **34**, 263
- 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.

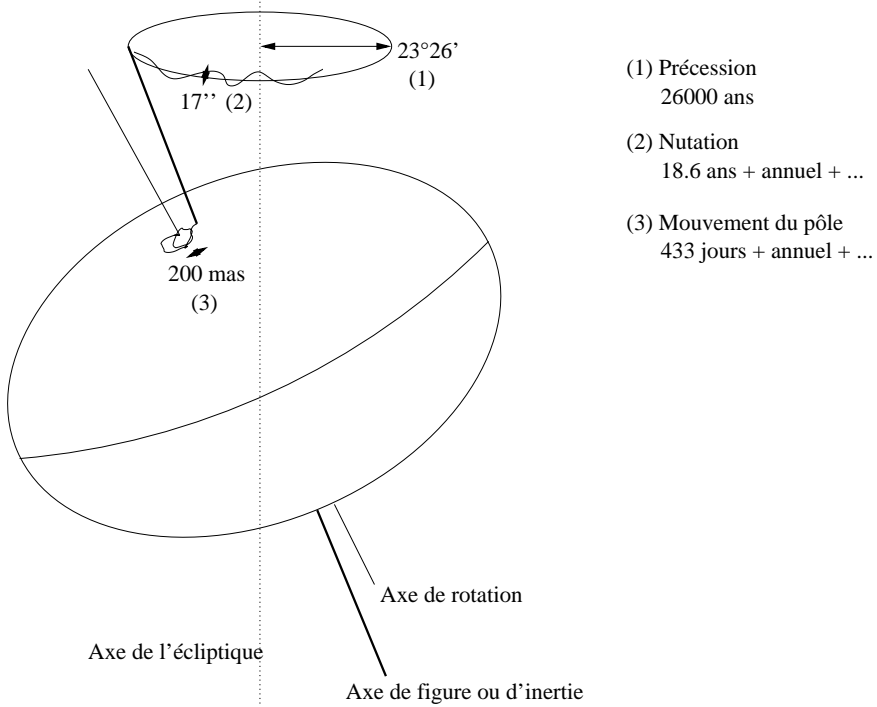


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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

4.1.3.4. La précession-nutation

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

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

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

4.2. LA PRÉCESSION

4.2.1. Quantités liées à la précession

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

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

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

On note :

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

4.2.2. Modèles de précession

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

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

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

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

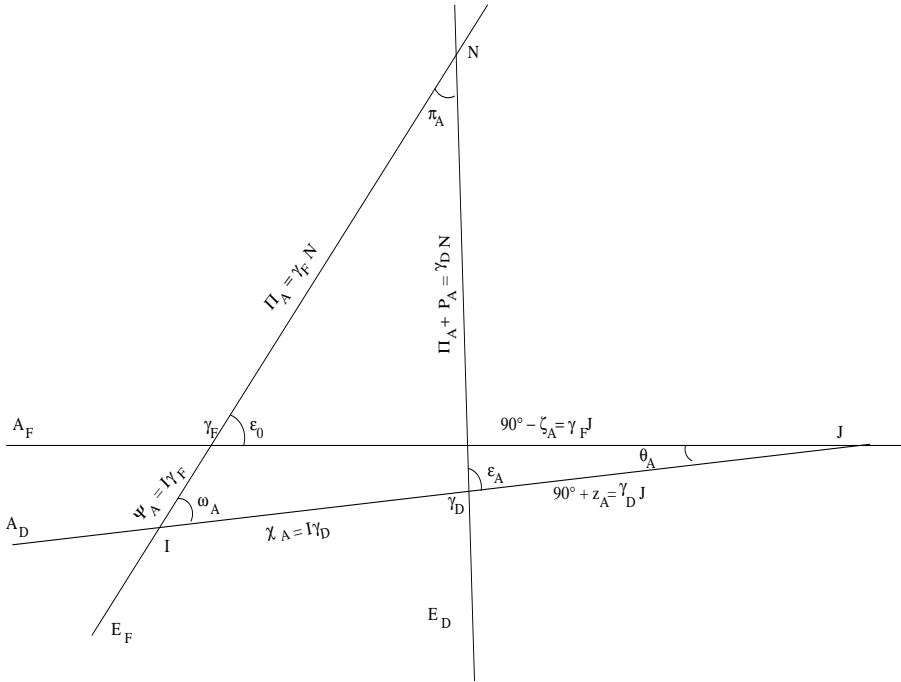


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

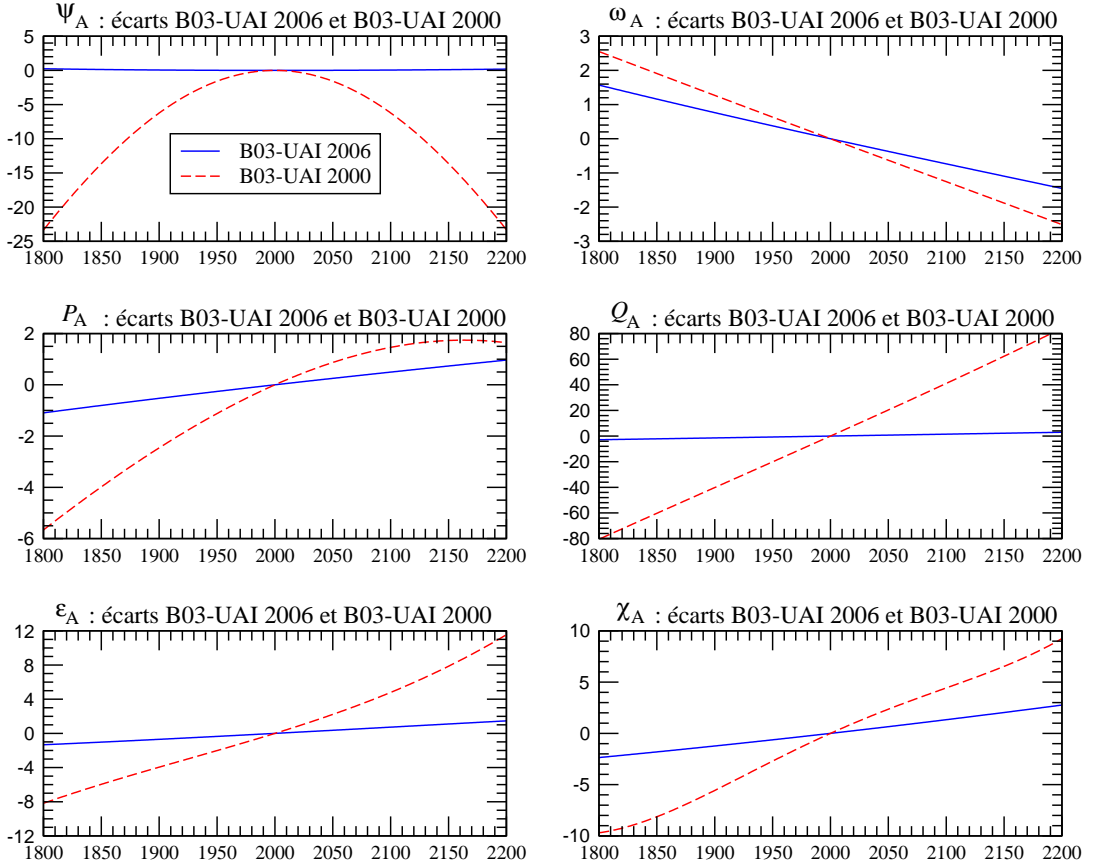


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001'').

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

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

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

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

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

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

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

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.4. Modèle géophysique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les deux premiers points conduisent à l'expression

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.7. Fréquences des nutations et mouvement du pôle

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

4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

4.4.1. Introduction

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

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

4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

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

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

4.4.2.1. Mouvement du pôle ou polhodie

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

Le terme de Chandler

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

Les variations saisonnières

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

Mouvement séculaire

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

du pôle, notamment depuis la contribution des données spatiales depuis plusieurs décades ainsi que par l'utilisation de modèles précis de mouvements locaux des stations d'observation dus aux plaques tectoniques. Ces variations séculaires qui apparaissent dans le mouvement du pôle sont généralement attribuées aux effets du rebond postglaciaire, réponse lente et anélastique de la Terre à la fonte des glaces des calottes polaires depuis le dernier âge glaciaire il y a environ 10 000 ans. Ce phénomène est responsable des variations du terme zonal d'ordre deux, noté J_2 , ainsi que celles d'autres termes du modèle de champ de gravité de la Terre observées notamment par télémétrie laser du satellite Lageos. Les échelles de temps concernées par le rebond postglaciaire sont si grandes, plusieurs milliers d'années, que le mouvement séculaire du pôle apparaît comme un terme linéaire. L'étude du rebond postglaciaire est de grande importance pour l'analyse de la variation du niveau de la mer provenant du réchauffement global. Les mouvements verticaux de l'ordre de quelques millimètres par an sont comparables aux effets provenant de l'expansion thermique et de ceux résultant de la fonte des glaces. Les données récentes du mouvement du pôle sont sensibles aux redistributions de masse et donnent de fortes contraintes sur les modèles de variation du niveau de la mer. Des études récentes montrent que les fontes de glaciers et les bassins hydrologiques pourraient être également responsables de 20% de l'excitation du mouvement observé du pôle séculaire. Plusieurs auteurs dans le passé ont mis en évidence l'existence d'un terme décennal de période d'environ 20 à 30 ans dite oscillation de Markowitz. L'existence de ce terme que certains ont attribué à des erreurs systématiques dans la position de stations d'observation est cependant controversée.

4.4.2.2. UT1

UT1 est l'angle de rotation autour du pôle. Il est défini par une relation conventionnelle (IERS, 2003) et donne accès à la direction de l'IRM dans l'ICRS. Il est en fait exprimé comme l'une des différences UT1-TAI ou UT1-UTC. DUT1 est la différence UT1-UTC exprimée avec une précision de ± 0.1 s ; elle est diffusée avec les signaux horaires et annoncée par l'IERS. La différence entre la longueur du jour relative à la rotation de la Terre, LOD , et les 86 400 s du TAI, est appelée l'excès de la durée du jour 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.

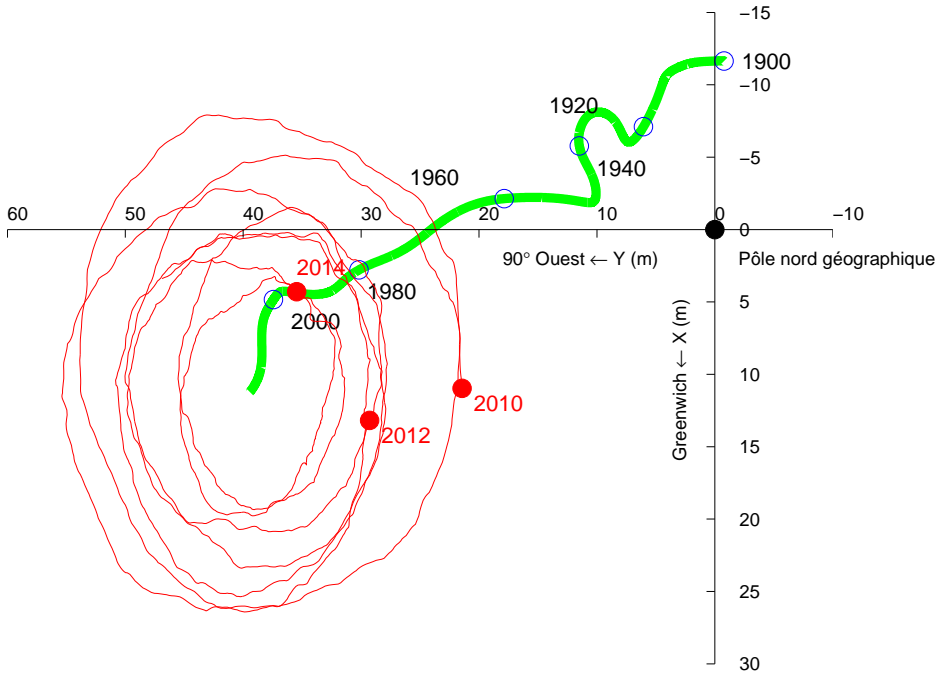


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré.
L'axe des x est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

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 70 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 Niño. 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 annuelles et semi-annuelles et également inter-annuelles dues essentiellement à la circulation atmosphérique et associées aux principales oscillations climatiques (El Niño dans le bassin Pacifique, mousson dans l'océan Indien). 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).

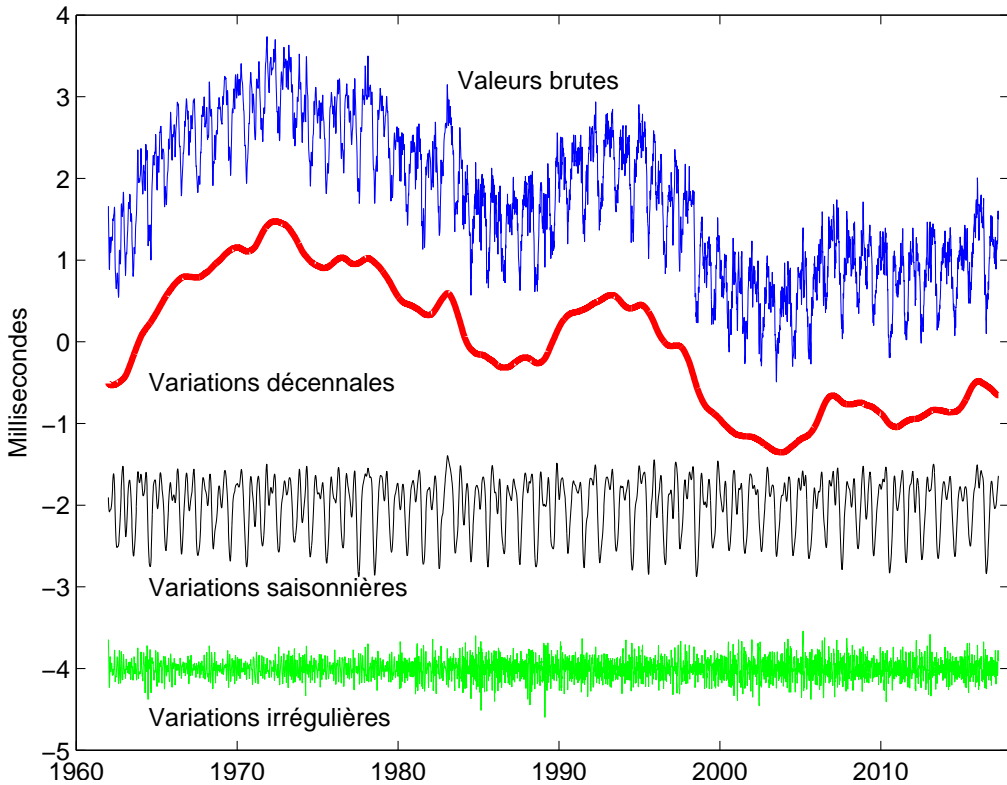


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières. L'unité est la milliseconde.

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 de dépasser

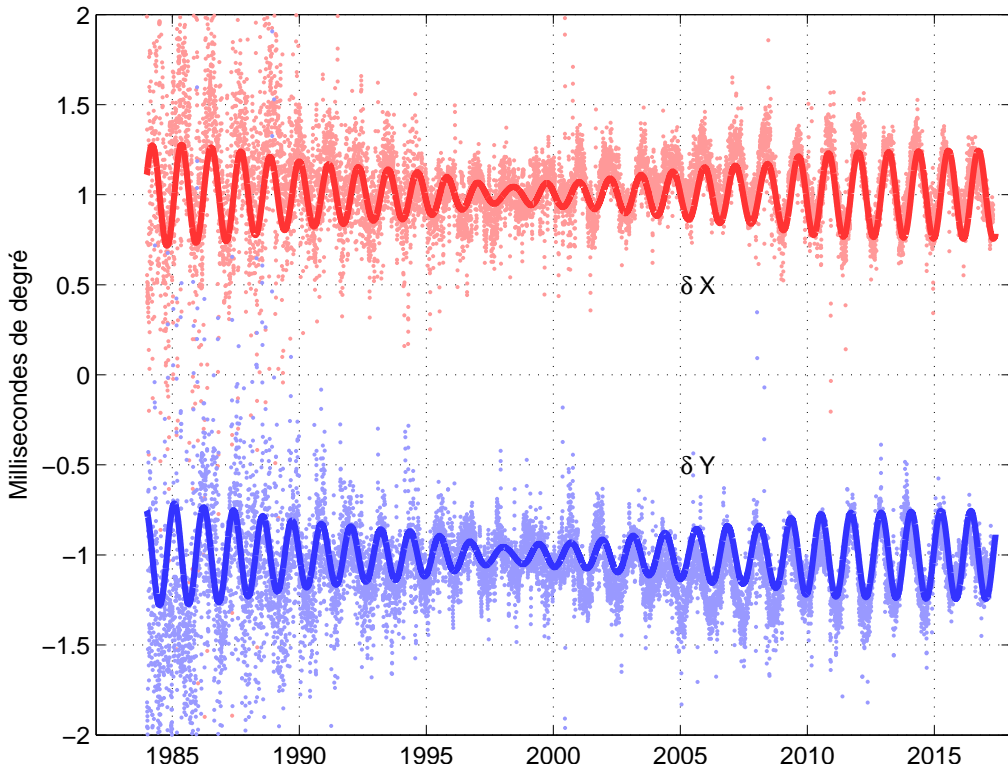


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

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).

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

L'exactitude actuelle est de l'ordre de 200 mas pour les composants du pôle et 20 microsecondes de temps (μs) pour UT1, ce qui correspond à moins d'un centimètre sur la Terre. Cependant l'exactitude n'égale pas la précision interne des solutions individuelles qui sont respectivement de 100 mas et 5 μs , à cause des erreurs de propagation dans la réalisation des deux repères de référence céleste et terrestre. On trouvera plus de détails sur les combinaisons et l'analyse des EOP dans Gambis (2004). Des méthodes rigoureuses, reposant sur une détermination globale simultanée des repères de référence et des paramètres de la rotation de la Terre, sont actuellement en développement (Anderson, 1995 ; Yaya, 2002 ; Altamimi et al., 2004). Elles permettront une meilleure compréhension de ce problème.

Remarque sur les termes précision et exactitude

Selon les définitions standard largement admises par la communauté scientifique, le terme *exactitude* a un sens spécifique caractérisant la stabilité, l'uniformité ou la reproductibilité d'une série de données, alors que la *précision*, qui doit être distinguée, reflète une évaluation externe relative à la vérité que l'on ne peut pas atteindre et qui relate la qualité du résultat. On peut seulement estimer l'inexactitude, défaut d'exactitude.

4.5. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Boucher, C., Gambis, D. : 2004, Long-term Stability of the Terrestrial Reference Frame, *Adv. Space Research* **36(3)**, 342.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., & Métivier, L. : 2011, ITRF2008 : an improved solution of the international terrestrial reference frame, *J. Geod.* **85**, 457.
- Anderson, P.H. : 1995, High-precision station positioning and satellite orbit determination, *Ph.D. Thesis, NDRE/publication 95/01094*, FFI/ E, Box 25, N-2007, Kjeller, Norway.
- Barnes, R.T.H., Hide, R., et al. : 1983, Atmospheric angular momentum fluctuations, length-of-day changes and polar motion dans *Proc. R. Soc. Lond.* **387**, 31.
- Bevington, P.R. :1969, Data reduction and error analysis for the physical sciences, *McGraw-Hill Book Company*, New York, USA.
- Bougéard, M., Gambis, D., Ray, R. : 2000, Algorithms for box constrained M-estimation : fitting large data sets with applications to Earth Orientation Parameters series, *Physics and Chemistry of the Earth* **25(9-11)**, 679.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions consistent with the IAU 2000A model, *Astron. Astrophys.* **400**, 785.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., et al. : 1998, SMART97 : a new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 2000, Nonrigid Earth Rotation Solution, in : *Towards Models and Constants for Sub-microarcsecond Astrometry.*, IAU Colloquium 180, K. Johnson, D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan, eds, Washington, USA, 230.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Francou, G. : 1992, in *Systèmes de référence spatio-temporels. Journées 1991*, N. Capitaine, ed., observatoire de Paris
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2004, Comparison between high precision precession models for the ecliptic and the equator, *Astron. Astrophys.* **421**, 365.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1988, ELP2000-85 : a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astron. Astrophys.* **190**, 342.
- Defraigne, P., Dehant, V., Paquet, P. : 1995, Link between the retrograde-prograde nutations and nutations in obliquity and longitude, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **62**, 363.

- Dziewonski, A.D., Anderson, D.L. : 1981, Preliminary Reference Earth Model., *Phys. Earth planet. Inter.* **25**, 297.
- Eubanks, T.M. : 1993, Variations in Earth Orientation, in *Contributions of Space Techniques to geodynamics*, Smith. D.E., Turcotte, D.L., eds, Wahshington D.C., 1.
- Fey, A. L., Gordon, D., Jacobs, et al. : 2015, The second realisation of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry, *Astron. J.* **150**, 58.
- Fukushima, T. : 2003, A New precession formula, *Astron. J.* **126**, 1.
- Gambis, D. : 2002, Allan Variance analysis applied to Earth Orientation Analysis, *Adv. Space Research* **30(2)**, 207.
- Gambis, D. : 2004, Monitoring Earth Orientation at the IERS using space-geodetic observations., *J. of Geodesy*, 78.
- Gross, 2000, The excitation of the Chandler wobble. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2329.
- Gwinn, C. R., Herring, T. A., Shapiro, I. I. : 1986, Geodesy by radiointerferometry : studies of the forced nutations of the Earth, 2. Interpretation, *J. Geophys. Res.* **91**, 4755.
- Hilton, J.L., Capitaine, N., Chapront, J., Ferrandiz, J.M., Fienga, A., Fukushima, T., Getino, J., Mathews, P., Simon, J.-L., Soffel, M., Vondrak, J., Wallace, P., Williams, J. : 2006, Report of the International Astronomic Union Division I Working Group on Precession and the Ecliptic, *Cel. Mech. Dyn. Astron.* **94**, 351.
- IERS : 2000, IERS Conventions 2000, <http://www.usno.mil/Conventions2000>, draft.
- IERS : 2003, IERS Conventions 2003, *IERS Technical Note 32*, McCarthy, D.D., Petit, G. eds., Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, ISBN 3-89888-884-3.
- Lambert, S., Capitaine, N. : 2004, Effects of zonal deformations and Earth's rotation rate variations on precession-nutation, *Astron. Astrophys.* **428**, 255.
- Lambert, S., Mathews, P.M. : 2006, Second-order torque on the tidal redistribution and the Earth's rotation, *Astron. Astrophys.* **453**, 363.
- Lieske, J.H., Lederle, T., et al. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Mathews, P.M., Bretagnon, P. : 2003, Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle., *Astron. Astrophys.* **400**, 1113.
- Mathews, P.M., Buffett, B.A., et al. : 1991, Forced nutations of the Earth : Influence of inner core dynamics, 1. Theory, *J. Geophys. Res.* **96**, 8219.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation and precession : new nutation series for nonrigid Earth and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res.* **107** (B4), DOI :10.1029/2001JB000390.
- Roosbeek, F., Dehant, V. : 1998, RDAN97 : An analytical development of rigid Earth nutation series using the torque approach, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **70**, 215.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU Theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.

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

CHAPITRE 5

CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

5.1. NOTIONS PRÉLIMINAIRES

5.1.1. Coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires

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

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

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

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

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

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

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

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

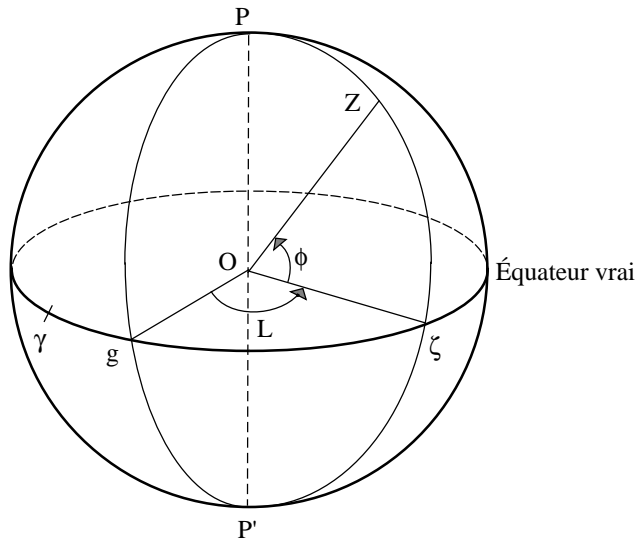


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

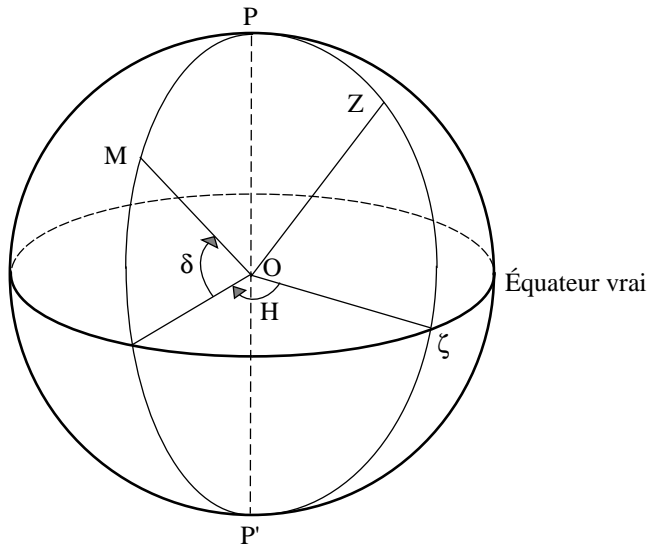


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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 :

$$H = \text{GST} - \alpha_V - L, \tag{5.7}$$

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

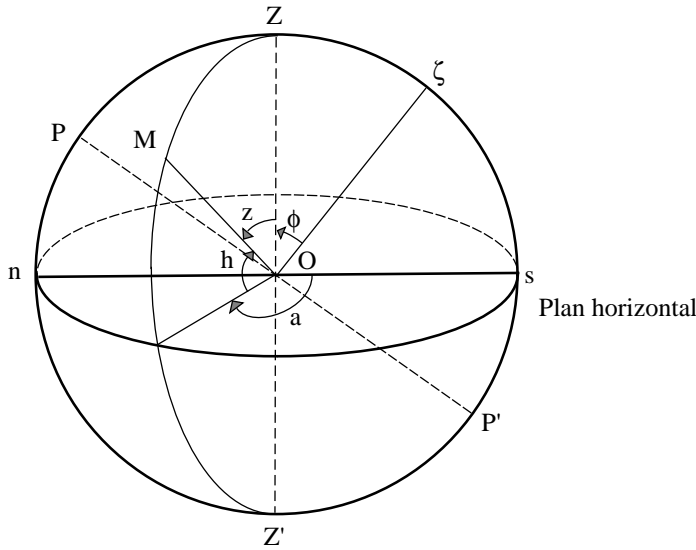


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

- 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 :

$$z = 90^\circ - h. \tag{5.10}$$

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	$\left\{ \begin{array}{l} \text{pôle nord de} \\ \text{l'écliptique} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{longitude } \lambda \\ \text{sens positif =} \\ \text{sens direct} \\ \text{latitude } \beta \\ -90^\circ < \beta < 90^\circ \end{array} \right.$
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	$\left\{ \begin{array}{l} \text{pôle céleste} \\ \text{nord} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{ascension droite } \alpha \\ \text{sens positif =} \\ \text{sens direct} \\ \text{déclinaison } \delta \\ -90^\circ < \delta < 90^\circ \end{array} \right.$
équatoriales moyennes de la date	équateur céleste moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
équatoriales vraies	équateur céleste vrai de la date	équinoxe vrai de la date		
horaires d'un lieu	équateur céleste vrai de la date	intersection du méridien du lieu et du plan de référence	pôle céleste nord	angle horaire H sens positif = sens rétrograde déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
horizontales d'un lieu	plan horizontal du lieu	direction sud (astronomes) direction nord (marins)	zénith du lieu	azimut a sens positif = sens rétrograde hauteur h $-90^\circ < h < 90^\circ$

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

5.2.2. Coordonnées liées à un repère de référence terrestre

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

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

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

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

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

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées équiptiques

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

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

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

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

En coordonnées polaires :

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

d'où

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

et

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

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

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

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

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

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

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^A , y_F^A , z_F^A les coordonnées cartésiennes et par α_F et δ_F l'ascension droite et la déclinaison. x_D^A , y_D^A , z_D^A , 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'étoile n'est pas voisin du pôle, on peut utiliser les relations approchées suivantes :

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

avec

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

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

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

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

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

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

5.3.3. Relations entre les coordonnées écliptiques moyennes de deux dates

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

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

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

La matrice de nutation s'écrit donc :

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

On déduit de ces produits de matrices

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

D'où :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

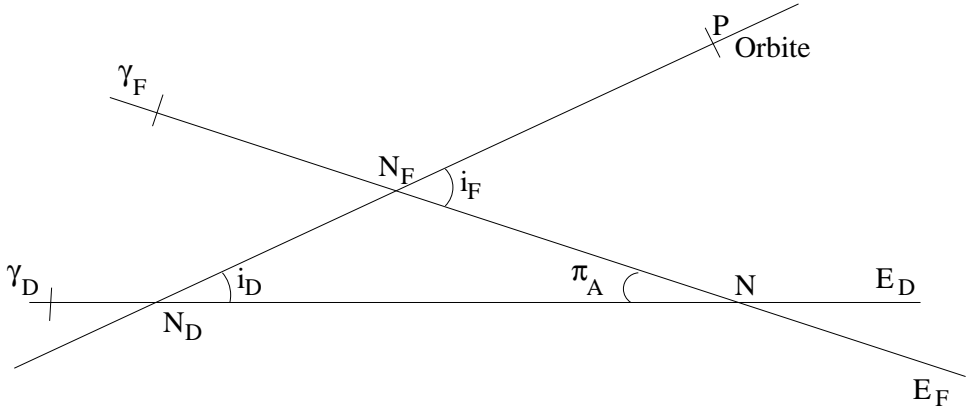


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

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

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

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

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

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

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

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 :

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

5.3.8. Changement de repère de référence

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

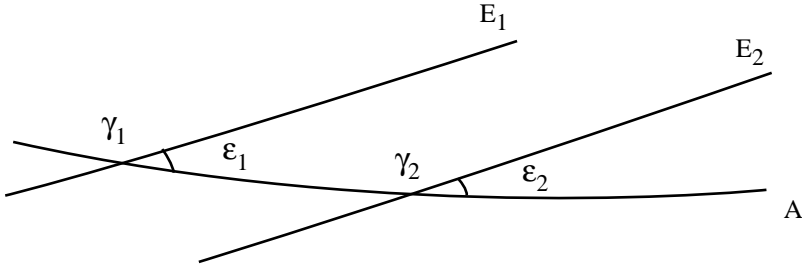


Fig. 5.5. Changement de repère.

On note :

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

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

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

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

et :

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

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

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

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

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

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

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

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

5.4.1. Algorithme classique

Lorsque des observations faites au sol doivent être préparées ou analysées pour une comparaison à un modèle, il est nécessaire d'effectuer des changements de coordonnées exprimées d'une part dans le repère terrestre, lié à la physique et à la rotation de la Terre, et d'autre part dans le repère céleste, lié au mouvement de l'objet observé et de la Terre autour du Soleil. Ainsi, supposons que l'on souhaite calculer les coordonnées locales, azimut et hauteur, d'un objet à une date t . Pour cela, on calculera, à partir d'une théorie dynamique de l'objet et de la Terre développée dans l'ICRS, les vecteurs barycentriques de l'objet et de la Terre à la date t en TDB (*cf.* chapitre 2). On en déduira le vecteur géocentrique de l'objet que l'on corrigera du temps de lumière, de la déflexion des

rayons lumineux due au Soleil et à d'autres objets massifs si cela est nécessaire, et de l'aberration annuelle. Pour toutes ces notions, on se reportera au chapitre 7 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997). Le vecteur \mathbf{X}_{ICRS} , ainsi obtenu, décrit la position et la vitesse géocentriques de l'objet par rapport à l'origine des ascensions droites de l'ICRS et dans le plan équatorial de l'ICRS. Afin de calculer des coordonnées dans le repère terrestre, il est nécessaire d'appliquer les rotations suivantes :

1. L'ICRS a un repère (l'ICRF), dit cinématique, indépendant du mouvement de la Terre autour du Soleil. Il faut donc ramener le vecteur \mathbf{X}_{ICRS} dans un repère lié à la dynamique planétaire, c'est-à-dire dans le repère de référence dynamique J2000. Pour cela, on applique la matrice B de rotation correspondant au décalage entre l'origine des ascensions droites de l'ICRS et l'équinoxe moyen J2000, ainsi qu'au passage de l'équateur ICRS à l'équateur moyen J2000. On a :

$$B = R_1(-\eta_0)R_2(\zeta_0)R_3(d\alpha_0) \quad (5.38)$$

où les décalages η_0 et ζ_0 (cf. 3.6.6) associés au modèle de nutation UAI 2000A sont (Capitaine et al., 2003) : $\eta_0 = -0.006819''$, $\zeta_0 = -0.016617''$. Le décalage $d\alpha_0$ est (Chapront et al., 2002) : $d\alpha_0 = -0.0146''$.

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

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

5.4.2. Origine non-tournante

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

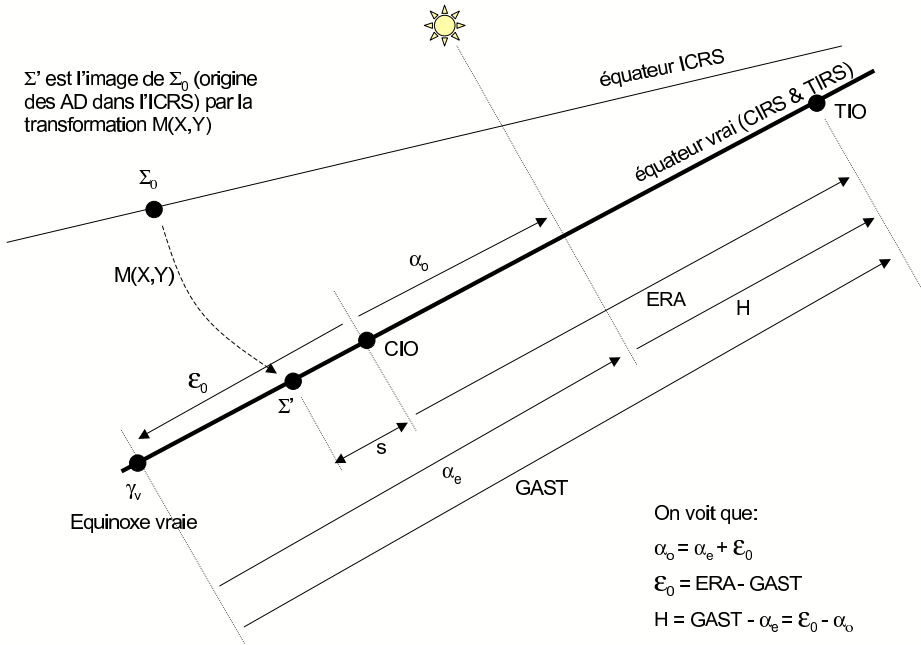


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

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

La matrice C s'écrit alors :

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

où

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

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

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

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

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

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

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

Le décalage entre le CIO et le TIO permet, de plus, le passage entre le CIRS et le TIRS. Ainsi, pour obtenir les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{TIRS} , dans le système de référence terrestre, on applique au vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , une rotation $R_3(ERA)$. On effectue ainsi une transformation équivalente à l'étape 4 de l'algorithme classique. Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite observer à partir des relations données en 5.3.6. L'angle horaire H est obtenu avec $H = ERA - \alpha_o$.

Les coordonnées X, Y et la variable s sont tabulées pages II. 16 – II. 19 ; ERA et \mathcal{E}_0 sont tabulées pages II. 10 – II. 13.

La figure 5.6 illustre les relations entre les angles liés à l'origine non-tournante et les angles classiques.

5.4.3. Mouvement du pôle

Dans le cas où une grande précision est demandée, il est alors nécessaire de considérer le passage entre le TIRS et l'ITRS, système dans lequel sont données les coordonnées géocentriques des stations d'observations (*cf.* 4.4). Pour cela, on effectue à la suite de l'étape 4 de l'algorithme classique ou de son équivalent dans l'algorithme de l'origine non-tournante, les rotations $R_2(-x)R_1(-y)R_3(s')$ où :

- la matrice $R_3(s')$ est liée au petit décalage d'origine, s' , entre l'origine du TIRS et celle de l'ITRS. Ce décalage est en fait une dérive séculaire entre les deux origines et est tel que $s' = -0.000047''T$ où T est mesuré en siècle julien depuis J2000.0,
- le produit $R_2(-x)R_1(-y)$ représente le mouvement du pôle céleste dans l'ITRS, (x, y) étant les coordonnées du pôle du TIRS dans l'ITRS. Ces coordonnées sont fournies par l'IERS (*cf.* 4.4).

5.5. BIBLIOGRAPHIE

- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques, (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W. eds, EDP Sciences, Les Ulis, chapitre 4, 80–83 et 98–114.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T. : 2003, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.

CHAPITRE 6

MOUVEMENT DES PLANÈTES ET DE LA LUNE : LA SOLUTION INPOP

A. FIENGA, H. MANCHE

6.1. INTRODUCTION

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes publiées dans la *Connaissance des Temps* sont issues des théories INPOP (Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris) élaborées à l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides. Pour l'édition 2012 et les suivantes, la théorie INPOP10a ajustée aux observations (Fienga et al., 2011) a été utilisée pour les calculs des positions du Soleil, des planètes, de Pluton et de la Lune.

La théorie INPOP est une intégration numérique du mouvement des planètes et de la Lune ajustée aux observations. Les éphémérides numériques contemporaines sont basées sur une intégration numérique des équations du mouvement par la méthode Adams-Cowell. Le modèle tient compte des interactions entre masses ponctuelles (entre les huit planètes, Pluton, le Soleil, les astéroïdes et autres planètes-naines), incluant forces newtoniennes et effets relativistes PPN (Moyer, 2000), les effets liés à la non-sphéricité de certains corps (Soleil, Terre, Lune), ainsi que ceux induits par leurs déformations par marées solides. L'ajustement d'INPOP a été effectué sur un grand nombre (environ 118 000 pour les planètes, 18 600 pour la Lune) d'observations terrestres et spatiales.

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

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

6.2. TT-TDB

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

6.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS PLANÉTAIRES

La partie planétaire d'INPOP a été ajustée aux observations présentées dans la table 6.1. Un grand nombre d'observations issues des données de suivi des sondes spatiales a été utilisé. Sont données en dernières colonnes des estimations de la précision externe d'INPOP10a et d'INPOP06 pour chaque type d'observations. Ces valeurs reflètent la qualité du modèle dynamique mis en place, de l'ajustement effectué et des observations utilisées.

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

6.4. PARAMÈTRES AJUSTÉS DANS INPOP10a

6.4.1. Les astéroïdes

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

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

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

6.4.2. Les autres paramètres ajustés aux observations planétaires

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

6.5. PRÉCISIONS ET INCERTITUDES SUR LES ORBITES DES PLANÈTES

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

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

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

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

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

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

	INPOP06 $\pm 1\sigma$	INPOP08 $\pm 1\sigma$	INPOP10a $\pm 1\sigma$	K11 $\pm 1\sigma$
$(EMRAT-81.3000) \times 10^{-4}$	F	(5.4 ± 0.5)	(5.7 ± 0.010)	(5.694 ± 0.015)
$J2_{\odot} \times 10^{-7}$	(2.46 ± 0.40)	(1.82 ± 0.47)	(2.40 ± 0.25)	
$GM_{\odot} - GM_{\odot}^{DE405} [\text{km}^3 \cdot \text{s}^{-2}]$	0.0 ± 50 (F)	0.0 ± 50 (F)	37.013 ± 1	24.013 ± 10
AU-AU ^{IEERS03} [m]	F	8.2 ± 0.11	0.0 (F)	
AU [m] from GM _⊙	F	13.9 ± 0.3	9.0 ± 3	

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

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

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

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

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

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

Table 6.6. (suite).

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

6.6. LA LUNE

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

6.6.1. Modèle dynamique

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

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

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

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

6.6.2. Observations

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(1) Les 14 autres sont fixés par LP150Q.

(2) C_{40} est fixé par EGM96.

6.7. BIBLIOGRAPHIE

- Baer J., Chesley, S.R., Matson, R.D. : 2011, Astrometric Masses of 26 Asteroids and Observations on Asteroid Porosity, *Astron. J.* **141**, 143.
- Fienga, A., Manche, H., et al. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *Astron. Astrophys.* **477**, 315.
- Fienga, A., Laskar, J., et al. : 2009, INPOP08, a 4-D planetary ephemeris : from asteroid and time-scale computations to ESA Mars Express and Venus Express contributions, *Astron. Astrophys.* **507**, 1675.
- Fienga, A., Laskar, J., et al. : 2011, INPOP10a and its applications in fundamental physics. *Celest. Mech.*, **111**, 363.
- Folkner, W.M., Williams, J.G., Boggs, D.H. : 2008, JPL planetary and lunar ephemerides, DE421, JPL IOM **343R-08-003**.
- Konopliv, A. S., Asmar, et al. : 2001, Recent Gravity Models as a Result of the Lunar Prospector Mission, *Icarus* **150**, 1
- Konopliv, A.S., Asmar, S.W., et al. : 2011, Mars high resolution gravity fields from MRO, Mars seasonal gravity, and other dynamical parameters, *Icarus* **211**, 401.
- Kuchynka, P., Laskar, J., et al. : 2010, A ring as a model of the main belt in planetary ephemerides, *Astron. Astrophys.* **514**, 96.
- Lawson, C.L., Hanson, R.J. : 1995, Solving Least Squares Problems, SIAM, Philadelphia, PA
- Manche H., Fienga A., et al. : 2010, LLR residuals of the latest INPOP solution and constraints on post-Newtonian parameters, in *Systèmes de référence spatio-temporels Journées 2010*.
- Moyer, T.D. : 2000, Formulation for Observed and Computed Values of Deep Space Network Data Types for Navigation, Joseph H. Yuen d, John Wiley & Sons.
- Soffel, M., Klioner, S.A., et al. : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- Tapley, B. D., Watkins, M. M., et al. : 1996, The Joint Gravity Model 3, *J. Geophys. Res.* **101**, 28029

CHAPITRE 7

MODÈLES ORBITAUX DES SATELLITES NATURELS

V. LAINEY ET A. VIENNE

7.1. INTRODUCTION

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

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

7.2. MODÈLE DYNAMIQUE

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

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

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

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

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

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

7.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

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

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

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

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

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

8.1.2. Définitions astronomiques

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

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

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

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

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

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

8.1.3. Échelles de temps

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

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

Le temps sidéral est une fonction à la fois du Temps universel TU et de TT. Nous l'avons calculé par la formule (3.6.25), en prenant $t - t_u = 69, 184$ 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 tabulées pour des dates en TT. L'équation des équinoxes (*cf.* 3.6.6.2) qui n'est donnée que sur le logiciel est une fonction de TT.

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

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

			TT – UTC
1983	Juil. 1 – 1985	Juil. 1	54.184 s
1985	Juil. 1 – 1988	Jan. 1	55.184 s
1988	Jan. 1 – 1990	Jan. 1	56.184 s
1990	Jan. 1 – 1991	Jan. 1	57.184 s
1991	Jan. 1 – 1992	Juil. 1	58.184 s
1992	Juil. 1 – 1993	Juil. 1	59.184 s
1993	Juil. 1 – 1994	Juil. 1	60.184 s
1994	Juil. 1 – 1996	Jan. 1	61.184 s
1996	Jan. 1 – 1997	Juil. 1	62.184 s
1997	Juil. 1 – 1999	Jan. 1	63.184 s
1999	Jan. 1 – 2006	Jan. 1	64.184 s
2006	Jan. 1 – 2009	Jan. 1	65.184 s
2009	Jan. 1 – 2012	Juil. 1	66.184 s
2012	Juil. 1 – 2015	Juil. 1	67.184 s
2015	Juil. 1 – 2017	Jan. 1	68.184 s
2017	Jan. 1 –		69.184 s

8.1.4. Contenu de l'ouvrage

La *Connaissance des Temps* publie des tables donnant :

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

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

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

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

– la distance à la Terre, sans correction d'aberration.

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

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

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

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

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

• Les coordonnées tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est* pour les satellites de Mars (p. II. 98 – II. 107) et *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est et ouest* pour les satellites galiléens de Jupiter (p. II. 110 – II. 116), les huit premiers satellites de Saturne (p. II. 118 – II. 135) et *des plus grandes elongations nord et sud* pour les cinq premiers satellites d'Uranus (p. II. 138 – II. 148).

Les coordonnées tangentielles des satellites par rapport au centre de la planète, sont, au premier ordre :

$$X = \Delta\alpha \cos \delta, \quad Y = \Delta\delta,$$

où δ est la déclinaison de la planète et où $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ sont les différences en ascension droite et en déclinaison entre le satellite et le centre de la planète. Ce sont des coordonnées moyennes astrométriques rapportées à l'équateur J2000 pour tous les satellites. L'axe des Y est dirigé vers le pôle de l'équateur moyen des coordonnées (nord) et l'axe des X est orienté dans le sens des ascensions droites croissantes (est).

Notons que l'approximation du premier ordre n'est pas suffisante lorsque le satellite s'éloigne beaucoup de la planète comme, par exemple, Callisto. On se reportera, à ce sujet, au paragraphe 4.3.3 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

• Un *calendrier* est publié p. II. 150 – II. 151. Il contient : D, le numéro du jour de chaque mois ; JOUR, le nom du jour de la semaine ; JJ, la date julienne à 12h ; JDA, le numéro du jour de l'année.

8.1.5. Contenu du logiciel *eCDT*

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

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

Enfin, on trouve sur ce logiciel, les prédictions des *phénomènes* des satellites galiléens.

8.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

8.2.1. Soleil, Lune, Planètes et Pluton

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune, des planètes et de la planète naine Pluton (résolution B6 de l'UAI, 2006), publiées dans la *Connaissance des Temps*, sont issues de la solution INPOP10a (Fienga et al., 2011) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Cette solution est présentée dans le chapitre 6.

8.2.2. Cérès et petits corps

Les éphémérides de la planète naine Cérès et des petits corps Pallas, Junon et Vesta sont issues d'une intégration numérique effectuée à l'IMCCE (Rocher, 2013a-d).

8.2.3. Satellites

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

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

8.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

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

8.3.1. Interpolation par la formule de Bessel

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

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

Formons le tableau des différences :

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

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 2019 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	6h 53m 42.805s				21° 32' 34.43"			
		968.30				-213.49		
6h	7h 09m 51.106s		2.85		21° 29' 00.94"		-351.31	
		971.15		-1.92		-564.80		-0.37
12h	7h 26m 02.254s		0.92		21° 19' 36.14"		-351.68	
		972.07				-916.48		
18h	7h 42m 14.325s				21° 04' 19.66"			

On a $t_1 = 6h$ 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 :

$$\alpha(t) = 7h\ 9m\ 51.11s + 399.25s - 0.23s - 0.007s = 7h\ 16m\ 30.12s$$

$$\delta(t) = 21^\circ\ 29'\ 0.94'' - 232.20'' + 42.55'' - 0.001'' = 21^\circ\ 25'\ 51.29''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 7h\ 16m\ 30.12s$$

$$\delta(t) = 21^\circ\ 25'\ 51.29''$$

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

Nous en donnons ici un bref résumé du fonctionnement du logiciel de calcul eCDT.

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.

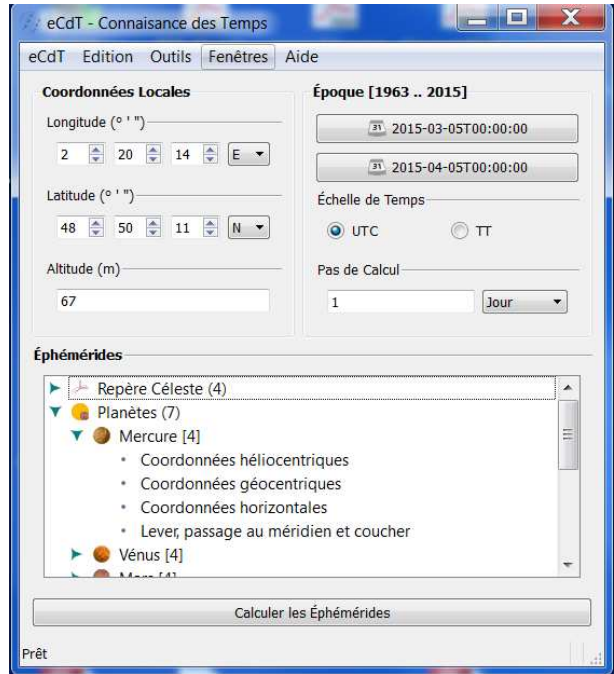


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

• 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 et Mac. Pour toute information complémentaire, ou mise à jour de fichiers et logiciel, consulter la page web <http://www.imcce.fr/fr/publications/logiciels/ecdt/>.

8.4.2. Représentation des coordonnées

L'angle de rotation de la Terre est calculé à partir de la formule (3.6.17). Les autres coordonnées données sur le logiciel sont représentées sous formes de polynômes de Tchebychev. La représentation sous forme de polynômes de Tchebychev est utilisée pour les coordonnées du Soleil, de la Lune, des planètes, des planètes naines, des petits corps ainsi que pour le Temps sidéral, l'équation des équinoxes, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées

du CIP et l'angle s . Il est possible de visualiser et d'utiliser soi-même les coefficients et il est donc utile de rappeler les caractéristiques de cette représentation.

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

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

où :

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

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

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

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

– soit par la relation :

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

– soit par la relation de récurrence :

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

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

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

8.5. PRÉCISION DES ÉPHÉMÉRIDES

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

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

b) La précision externe. Elle représente essentiellement ce qui, dans l'écart entre la théorie et l'observation, est dû aux erreurs sur les constantes physiques et sur la définition du repère dans lequel les coordonnées sont mesurées. Cette précision est directement liée à la précision avec laquelle ont été effectuées les observations ayant servi à déterminer les constantes physiques du problème.

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

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

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

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

Table 8.2. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev données sur le logiciel.

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

Table 8.2. (fin).

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

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

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

Table 8.4. Précision globale des éphémérides de la Connaissance des Temps.

Astre	Précision globale
Soleil	0''.05
Lune	0''.03
Mercure	0''.06
Vénus	0''.03
Mars	0''.03
Jupiter	0''.2
Saturne	0''.3
Uranus	0''.6
Neptune	0''.8
Pluton et astéroïdes	2''
Satellites de Mars	0''.01
Satellites galiléens de Jupiter	0''.02
Satellites de Saturne	de 0''.015 à 0''.03
Satellites d'Uranus	de 0''.1 à 0''.2

8.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E. : 1982, New constants for Sampson-Lieske theory of the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **107**, 305.
- Arlot, J.-E., Lainey, V., Thuillot, W. : 2006, Predictions of the mutual events of the Uranian satellites occurring in 2006-2009 *Astron. Astrophys.* **456**, 1173.
- Bureau des longitudes : 1978, *Connaissance des Temps* pour l'an 1979, Gauthier-Villars d., Paris.
- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W., EDP Sciences, Les Ulis.
- Duriez, L. , Vienne, A., : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.* **324**, 366.
- Fienga, A., Laskar, J., Kuchynka, P., Manche, H., et al. : 2011, The INPOP10 planetary ephemeris and its applications in fundamental physics. *Astron. Astrophys.* **111**, 363.
- Lainey, V., Arlot, J.-E., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. II. Fitting the observations *Astron. Astrophys.* **427**, 371.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons *Astron. Astrophys.* **465**, 1075.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- Rocher, P. : 2013a, Ajustement de l'orbite de Cérès, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 99, ISBN 2-910015-68-8.
- Rocher, P. : 2013b, Ajustement de l'orbite de Pallas, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 100, ISBN 2-910015-69-6.
- Rocher, P. : 2013c, Ajustement de l'orbite de Junon, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 101, ISBN 2-910015-70-X.
- Rocher, P. : 2013d, Ajustement de l'orbite de Vesta, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 102, ISBN 2-910015-71-8.
- Sampson, R.A. : 1921, Theory of the four great satellites of Jupiter, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **63**.
- Standish, E.M. : 1985, Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry, J. Kovalevsky and V.A. Brumberg eds. (Reidel, Dordrecht, Holland), 71.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312**, **F-98-048**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.* **297**, 588.

ÉPHÉMÉRIDES POUR L'ANNÉE 2019

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

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

TEMPS SIDÉRAL 2019 à 0h TU, NUTATION 2019 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s		
	h	m	s				h	m	s				
Janv.	0	6	37	29.047 15	-15.081 79	-4.691 70	Févr.	15	9	38	50.626 03	-14.559 82	-3.721 68
	1	6	41	25.602 07	-15.089 09	-4.712 59		16	9	42	47.187 26	-14.463 95	-3.706 14
	2	6	45	22.159 39	-15.057 22	-4.737 24		17	9	46	43.748 90	-14.361 46	-3.666 56
	3	6	49	18.718 98	-14.988 28	-4.757 78		18	9	50	40.309 00	-14.284 11	-3.603 67
	4	6	53	15.280 28	-14.891 25	-4.767 78		19	9	54	36.865 82	-14.260 23	-3.526 03
	5	6	57	11.842 48	-14.779 62	-4.763 15		20	9	58	33.418 59	-14.302 72	-3.448 10
	6	7	1	8.404 63	-14.668 65	-4.742 52		21	10	2	29.967 84	-14.402 73	-3.384 94
	7	7	5	4.965 87	-14.572 75	-4.707 13		22	10	6	26.515 19	-14.533 73	-3.346 33
	8	7	9	1.525 48	-14.503 28	-4.660 42		23	10	10	23.062 63	-14.663 45	-3.333 74
	9	7	12	58.083 06	-14.467 16	-4.607 32		24	10	14	19.611 73	-14.765 92	-3.341 34
	10	7	16	54.638 48	-14.466 23	-4.553 43		25	10	18	16.163 32	-14.827 77	-3.359 49
	11	7	20	51.191 95	-14.497 24	-4.504 29		26	10	22	12.717 43	-14.848 26	-3.378 23
	12	7	24	47.743 95	-14.552 37	-4.464 73		27	10	26	9.273 57	-14.835 80	-3.389 57
	13	7	28	44.295 19	-14.619 91	-4.438 32		28	10	30	5.830 90	-14.803 73	-3.388 37
14	7	32	40.846 56	-14.685 19	-4.426 86	Mars	1	10	34	2.388 51	-14.767 06	-3.372 43	
15	7	36	37.399 08	-14.731 81	-4.429 87	2	10	37	58.945 53	-14.740 06	-3.342 11		
16	7	40	33.953 73	-14.743 63	-4.444 00	3	10	41	55.501 22	-14.734 73	-3.299 91		
17	7	44	30.511 28	-14.707 96	-4.462 75	4	10	45	52.055 06	-14.759 68	-3.249 96		
18	7	48	27.072 04	-14.619 91	-4.476 79	5	10	49	48.606 78	-14.819 26	-3.197 49		
19	7	52	23.635 54	-14.487 02	-4.475 56	6	10	53	45.156 42	-14.912 95	-3.148 17		
20	7	56	20.200 42	-14.331 46	-4.450 48	7	10	57	41.704 31	-15.035 22	-3.107 44		
21	8	0	16.764 66	-14.186 42	-4.398 85	8	11	1	38.251 07	-15.175 89	-3.079 67		
22	8	4	13.326 20	-14.085 53	-4.326 35	9	11	5	34.797 55	-15.321 24	-3.067 44		
23	8	8	9.883 76	-14.049 50	-4.245 88	10	11	9	31.344 69	-15.455 80	-3.070 98		
24	8	12	6.437 39	-14.077 97	-4.172 68	11	11	13	27.893 41	-15.564 49	-3.087 91		
25	8	16	2.988 26	-14.151 43	-4.118 51	12	11	17	24.444 46	-15.635 16	-3.113 27		
26	8	19	59.538 15	-14.240 99	-4.088 19	13	11	21	20.998 24	-15.661 05	-3.140 03		
27	8	23	56.088 73	-14.319 28	-4.079 59	14	11	25	17.554 72	-15.642 96	-3.159 95		
28	8	27	52.641 16	-14.367 43	-4.085 91	15	11	29	14.113 28	-15.590 88	-3.165 04		
29	8	31	49.195 93	-14.377 23	-4.098 44	16	11	33	10.672 73	-15.524 02	-3.149 47		
30	8	35	45.752 97	-14.349 97	-4.108 79	17	11	37	7.231 51	-15.468 34	-3.111 81		
31	8	39	42.311 76	-14.293 98	-4.110 25	18	11	41	3.787 95	-15.450 67	-3.056 67		
Févr.	1	8	43	38.871 54	-14.221 85	-4.098 41	19	11	45	0.340 92	-15.489 85	-2.994 82	
	2	8	47	35.431 43	-14.148 01	-4.071 46	20	11	48	56.890 26	-15.588 35	-2.940 51	
	3	8	51	31.990 55	-14.086 54	-4.030 03	21	11	52	53.437 00	-15.729 41	-2.906 55	
	4	8	55	28.548 20	-14.049 29	-3.976 94	22	11	56	49.982 98	-15.882 89	-2.899 39	
	5	8	59	25.103 87	-14.044 39	-3.916 69	23	12	0	46.530 13	-16.017 27	-2.917 11	
	6	9	3	21.657 35	-14.075 20	-3.854 75	24	12	4	43.079 78	-16.110 84	-2.951 14	
	7	9	7	18.208 76	-14.139 92	-3.796 82	25	12	8	39.632 35	-16.156 69	-2.990 24	
	8	9	11	14.758 51	-14.231 73	-3.748 05	26	12	12	36.187 45	-16.161 02	-3.024 24	
	9	9	15	11.307 27	-14.339 66	-3.712 33	27	12	16	32.744 23	-16.138 04	-3.046 17	
	10	9	19	7.855 91	-14.449 74	-3.691 69	28	12	20	29.301 63	-16.104 78	-3.052 75	
	11	9	23	4.405 36	-14.546 56	-3.685 98	29	12	24	25.858 68	-16.077 37	-3.043 91	
	12	9	27	0.956 53	-14.615 13	-3.692 49	30	12	28	22.414 55	-16.069 04	-3.022 02	
	13	9	30	57.510 19	-14.643 20	-3.705 94	31	12	32	18.968 69	-16.089 11	-2.991 14	
	14	9	34	54.066 73	-14.624 07	-3.718 70	Avril	1	12	36	15.520 79	-16.142 61	-2.956 36

TEMPS SIDÉRAL 2019 à 0h TU, NUTATION 2019 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s			
	h	m	s				h	m	s					
Avril	2	12	40	12.070 81	-16.229 94	-2.923 30	Mai	18	15	41	33.537 75	-17.538 08	-3.332 37	
	3	12	44	8.619 03	-16.346 75	-2.897 50		19	15	45	30.094 68	-17.512 66	-3.386 50	
	4	12	48	5.166 01	-16.484 00	-2.883 76		20	15	49	26.654 31	-17.442 88	-3.433 28	
	5	12	52	1.712 53	-16.628 61	-2.885 34		21	15	53	23.215 70	-17.344 50	-3.465 31	
	6	12	55	58.259 56	-16.764 85	-2.903 27		22	15	57	19.777 63	-17.237 26	-3.479 25	
	7	12	59	54.808 10	-16.876 66	-2.935 79		23	16	1	16.338 95	-17.139 94	-3.475 69	
	8	13	3	51.358 95	-16.950 55	-2.978 22		24	16	5	12.898 78	-17.066 99	-3.458 16	
	9	13	7	47.912 60	-16.978 65	-3.023 52		25	16	9	9.456 58	-17.027 17	-3.431 89	
	10	13	11	44.469 04	-16.961 08	-3.063 35		26	16	13	6.012 17	-17.023 47	-3.402 83	
	11	13	15	41.027 71	-16.907 15	-3.089 68		27	16	17	2.565 70	-17.053 64	-3.376 84	
	12	13	19	37.587 52	-16.834 63	-3.096 66		28	16	20	59.117 56	-17.110 84	-3.359 18	
	13	13	23	34.147 02	-16.766 99	-3.082 33		29	16	24	55.668 44	-17.184 27	-3.354 02	
	14	13	27	30.704 74	-16.728 57	-3.049 83		30	16	28	52.219 19	-17.259 85	-3.363 94	
	15	13	31	27.259 52	-16.738 16	-3.007 46		31	16	32	48.770 80	-17.321 28	-3.389 33	
	16	13	35	23.810 94	-16.802 64	-2.967 19		Juin	1	16	36	45.324 29	-17.352 01	-3.427 75
	17	13	39	20.359 54	-16.913 20	-2.941 42		2	16	40	41.880 49	-17.338 38	-3.473 65	
18	13	43	16.906 75	-17.046 67	-2.939 02	3	16	44	38.439 83	-17.273 51	-3.518 68			
19	13	47	13.454 40	-17.172 83	-2.962 14	4	16	48	35.002 08	-17.161 07	-3.553 13			
20	13	51	10.004 15	-17.264 79	-3.005 66	5	16	52	31.566 28	-17.016 70	-3.568 43			
21	13	55	6.556 90	-17.307 56	-3.059 41	6	16	56	28.130 89	-16.865 70	-3.559 93			
22	13	59	3.112 68	-17.300 96	-3.111 98	7	17	0	24.694 15	-16.736 58	-3.528 90			
23	14	2	59.670 74	-17.256 85	-3.154 08	8	17	4	21.254 65	-16.652 69	-3.482 64			
24	14	6	56.230 00	-17.193 34	-3.180 33	9	17	8	17.811 70	-16.625 15	-3.432 54			
25	14	10	52.789 28	-17.129 35	-3.189 39	10	17	12	14.365 55	-16.649 91	-3.390 72			
26	14	14	49.347 61	-17.080 87	-3.183 15	11	17	16	10.917 27	-16.709 55	-3.366 69			
27	14	18	45.904 30	-17.059 27	-3.165 65	12	17	20	7.468 40	-16.778 83	-3.365 05			
28	14	22	42.458 96	-17.070 85	-3.142 09	13	17	24	4.020 54	-16.831 66	-3.384 60			
29	14	26	39.011 51	-17.116 92	-3.118 19	14	17	28	0.574 92	-16.847 76	-3.419 14			
30	14	30	35.562 15	-17.194 11	-3.099 57	15	17	31	57.132 17	-16.817 08	-3.459 36			
Mai	1	14	34	32.111 38	-17.294 56	-3.091 26	16	17	35	53.692 18	-16.741 22	-3.495 37		
2	14	38	28.659 91	-17.406 28	-3.097 11	17	17	39	50.254 24	-16.631 81	-3.518 97			
3	14	42	25.208 69	-17.514 06	-3.119 04	18	17	43	46.817 27	-16.506 63	-3.525 32			
4	14	46	21.758 73	-17.601 14	-3.156 36	19	17	47	43.380 08	-16.384 95	-3.513 37			
5	14	50	18.310 99	-17.652 00	-3.205 29	20	17	51	39.941 65	-16.283 50	-3.485 51			
6	14	54	14.866 12	-17.655 96	-3.259 10	21	17	55	36.501 28	-16.213 85	-3.446 51			
7	14	58	11.424 26	-17.610 59	-3.309 05	22	17	59	33.058 63	-16.181 46	-3.402 35			
8	15	2	7.984 94	-17.523 83	-3.346 24	23	18	3	29.613 73	-16.185 82	-3.359 20			
9	15	6	4.547 06	-17.413 53	-3.363 84	24	18	7	26.166 92	-16.221 29	-3.322 64			
10	15	10	1.109 12	-17.304 01	-3.359 17	25	18	11	22.718 82	-16.278 09	-3.297 15			
11	15	13	57.669 61	-17.220 35	-3.334 84	26	18	15	19.270 20	-16.343 23	-3.285 71			
12	15	17	54.227 33	-17.181 87	-3.298 47	27	18	19	15.822 01	-16.401 50	-3.289 35			
13	15	21	50.781 79	-17.196 72	-3.261 07	28	18	23	12.375 22	-16.436 84	-3.306 79			
14	15	25	47.333 34	-17.259 11	-3.234 24	29	18	27	8.930 74	-16.434 40	-3.333 96			
15	15	29	43.883 12	-17.350 36	-3.227 06	30	18	31	5.489 21	-16.383 73	-3.363 88			
16	15	33	40.432 77	-17.443 90	-3.243 48	Juill.	1	18	35	2.050 76	-16.282 64	-3.387 35		
17	15	37	36.983 92	-17.512 90	-3.281 16	2	18	38	58.614 81	-16.140 75	-3.394 66			

TEMPS SIDÉRAL 2019 à 0h TU, NUTATION 2019 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
Juill.	3	18	42	55.18000	-15.98014	-3.37851	Août	18	21	44	16.75538	-15.51507	-2.09829
	4	18	46	51.74448	-15.83115	-3.33716		19	21	48	13.30344	-15.63463	-2.06326
	5	18	50	48.30644	-15.72332	-3.27605		20	21	52	9.85131	-15.75723	-2.04342
	6	18	54	44.86476	-15.67504	-3.20666		21	21	56	6.39990	-15.86812	-2.03845
	7	18	58	41.41939	-15.68712	-3.14280		22	22	0	2.95005	-15.95334	-2.04580
	8	19	2	37.97131	-15.74345	-3.09596		23	22	3	59.50248	-16.00148	-2.06071
	9	19	6	34.52214	-15.81770	-3.07212		24	22	7	56.05759	-16.00571	-2.07648
	10	19	10	31.07356	-15.88215	-3.07078		25	22	11	52.61539	-15.96604	-2.08507
	11	19	14	27.62692	-15.91508	-3.08612		26	22	15	49.17531	-15.89154	-2.07825
	12	19	18	24.18291	-15.90491	-3.10921		27	22	19	45.73620	-15.80139	-2.04967
	13	19	22	20.74157	-15.85113	-3.13046		28	22	23	42.29635	-15.72307	-1.99742
	14	19	26	17.30235	-15.76271	-3.14161		29	22	27	38.85400	-15.68581	-1.92637
	15	19	30	13.86431	-15.65499	-3.13717		30	22	31	35.40788	-15.71008	-1.84837
	16	19	34	10.42634	-15.54601	-3.11506		31	22	35	31.95789	-15.79768	-1.77901
	17	19	38	6.98741	-15.45283	-3.07651		Sept. 1	22	39	28.50521	-15.92917	-1.73180
	18	19	42	3.54670	-15.38873	-3.02544		2	22	43	25.05187	-16.07164	-1.71284
	19	19	46	0.10374	-15.36141	-2.96748		3	22	47	21.59985	-16.19232	-1.71919
20	19	49	56.65842	-15.37250	-2.90886	4	22	51	18.15048	-16.26997	-1.74131		
21	19	53	53.21101	-15.41793	-2.85553	5	22	55	14.70408	-16.29891	-1.76738		
22	19	57	49.76203	-15.48896	-2.81233	6	22	59	11.26020	-16.28661	-1.78700		
23	20	1	46.31224	-15.57341	-2.78262	7	23	3	7.81790	-16.24847	-1.79317		
24	20	5	42.86250	-15.65694	-2.76784	8	23	7	4.37607	-16.20270	-1.78273		
25	20	9	39.41374	-15.72438	-2.76730	9	23	11	0.93365	-16.16656	-1.75596		
26	20	13	35.96685	-15.76129	-2.77795	10	23	14	57.48978	-16.15406	-1.71581		
27	20	17	32.52254	-15.75610	-2.79427	11	23	18	54.04389	-16.17466	-1.66707		
28	20	21	29.08116	-15.70295	-2.80843	12	23	22	50.59571	-16.23258	-1.61555		
29	20	25	25.64252	-15.60506	-2.81124	13	23	26	47.14532	-16.32664	-1.56733		
30	20	29	22.20570	-15.47734	-2.79408	14	23	30	43.69311	-16.45054	-1.52792		
31	20	33	18.76911	-15.34597	-2.75195	15	23	34	40.23972	-16.59367	-1.50158		
Août 1	20	37	15.33078	-15.24282	-2.68635	16	23	38	36.78599	-16.74242	-1.49072		
2	20	41	11.88909	-15.19479	-2.60645	17	23	42	33.33283	-16.88190	-1.49550		
3	20	45	8.44335	-15.21278	-2.52670	18	23	46	29.88111	-16.99789	-1.51369		
4	20	49	4.99419	-15.28684	-2.46164	19	23	50	26.43153	-17.07885	-1.54085		
5	20	53	1.54320	-15.39077	-2.42062	20	23	54	22.98452	-17.11775	-1.57068		
6	20	56	58.09231	-15.49299	-2.40520	21	23	58	19.54013	-17.11381	-1.59577		
7	21	0	54.64313	-15.56741	-2.40996	22	0	2	16.09795	-17.07374	-1.60858		
8	21	4	51.19654	-15.59956	-2.42545	23	0	6	12.65707	-17.01243	-1.60285		
9	21	8	47.75264	-15.58753	-2.44137	24	0	10	9.21614	-16.95193	-1.57544		
10	21	12	44.31095	-15.53952	-2.44897	25	0	14	5.77358	-16.91800	-1.52820		
11	21	16	40.87057	-15.47009	-2.44239	26	0	18	2.32801	-16.93333	-1.46905		
12	21	20	37.43044	-15.39644	-2.41904	27	0	21	58.87876	-17.00872	-1.41116		
13	21	24	33.98955	-15.33524	-2.37951	28	0	25	55.42633	-17.13618	-1.36921		
14	21	28	30.54706	-15.30012	-2.32703	29	0	29	51.97233	-17.28930	-1.35385		
15	21	32	27.10244	-15.30003	-2.26668	30	0	33	48.51892	-17.43283	-1.36731		
16	21	36	23.65546	-15.33828	-2.20452	Oct. 1	0	37	45.06794	-17.53678	-1.40279		
17	21	40	20.20629	-15.41247	-2.14663	2	0	41	41.62025	-17.58677	-1.44799		

TEMPS SIDÉRAL 2019 à 0h TU, NUTATION 2019 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	38.175 67	-17.585 92	-1.490 10	Nov.	18	3	46	59.684 43	-18.210 32	-1.880 33
	4	0	49	34.733 25	-17.549 74	-1.519 64		19	3	50	56.244 06	-18.140 62	-1.847 00
	5	0	53	31.291 73	-17.498 93	-1.531 84		20	3	54	52.800 66	-18.120 51	-1.807 37
	6	0	57	27.849 88	-17.453 47	-1.526 30		21	3	58	49.354 14	-18.151 33	-1.772 97
	7	1	1	24.406 72	-17.429 31	-1.505 88		22	4	2	45.905 27	-18.220 64	-1.754 82
	8	1	5	20.961 62	-17.436 97	-1.475 43		23	4	6	42.455 52	-18.304 20	-1.760 28
	9	1	9	17.514 27	-17.481 37	-1.440 81		24	4	10	39.006 74	-18.372 14	-1.790 46
	10	1	13	14.064 70	-17.562 07	-1.408 12		25	4	14	35.560 53	-18.398 00	-1.839 54
	11	1	17	10.613 25	-17.673 65	-1.383 03		26	4	18	32.117 78	-18.367 31	-1.896 42
	12	1	21	7.160 49	-17.806 40	-1.370 16		27	4	22	28.678 38	-18.281 81	-1.948 42
	13	1	25	3.707 25	-17.947 21	-1.372 51		28	4	26	25.241 34	-18.157 58	-1.985 22
	14	1	29	0.254 43	-18.081 05	-1.390 90		29	4	30	21.805 22	-18.018 44	-2.001 43
15	1	32	56.802 96	-18.192 92	-1.423 69	30	4	34	18.368 55	-17.888 34	-1.997 03		
16	1	36	53.353 61	-18.270 14	-1.466 75	Déc.	1	4	38	14.930 19	-17.785 77	-1.976 13	
17	1	40	49.906 86	-18.304 67	-1.513 86		2	4	42	11.489 50	-17.721 32	-1.945 16	
18	1	44	46.462 82	-18.295 06	-1.557 52		3	4	46	8.046 30	-17.697 81	-1.911 18	
19	1	48	43.021 10	-18.247 49	-1.590 20		4	4	50	4.600 82	-17.711 64	-1.880 75	
20	1	52	39.580 86	-18.175 72	-1.605 71		5	4	54	1.153 58	-17.754 36	-1.859 24	
21	1	56	36.140 89	-18.099 62	-1.600 70		6	4	57	57.705 29	-17.814 10	-1.850 53	
22	2	0	32.699 77	-18.042 07	-1.576 00		7	5	1	54.256 83	-17.876 72	-1.856 70	
23	2	4	29.256 24	-18.024 10	-1.537 34		8	5	5	50.809 13	-17.926 89	-1.877 76	
24	2	8	25.809 48	-18.058 74	-1.495 06		9	5	9	47.363 11	-17.949 67	-1.911 38	
25	2	12	22.359 56	-18.145 20	-1.462 06		10	5	13	43.919 52	-17.932 63	-1.952 68	
26	2	16	18.907 52	-18.266 29	-1.450 13		11	5	17	40.478 81	-17.868 63	-1.994 51	
27	2	20	15.455 21	-18.391 95	-1.465 60		12	5	21	37.040 90	-17.758 67	-2.028 33	
28	2	24	12.004 62	-18.489 25	-1.506 54	13	5	25	33.605 14	-17.613 66	-2.045 91		
29	2	28	8.557 22	-18.534 55	-1.563 39	14	5	29	30.170 29	-17.453 79	-2.041 60		
30	2	32	5.113 40	-18.521 38	-1.622 79	15	5	33	26.734 78	-17.304 65	-2.014 32		
31	2	36	1.672 51	-18.460 33	-1.672 46	16	5	37	23.297 12	-17.190 71	-1.968 61		
Nov.	1	2	39	58.233 24	-18.372 58	-1.704 60	17	5	41	19.856 30	-17.128 34	-1.913 81	
	2	2	43	54.794 16	-18.281 84	-1.716 84	18	5	45	16.412 12	-17.120 82	-1.861 80	
	3	2	47	51.354 03	-18.208 20	-1.711 29	19	5	49	12.965 27	-17.157 10	-1.823 81	
	4	2	51	47.912 02	-18.165 31	-1.692 89	20	5	53	9.517 11	-17.214 78	-1.807 40	
	5	2	55	44.467 72	-18.159 88	-1.667 90	21	5	57	6.069 34	-17.266 12	-1.814 56	
	6	2	59	41.021 10	-18.192 34	-1.642 75	22	6	1	2.623 53	-17.285 42	-1.841 21	
	7	3	3	37.572 46	-18.257 94	-1.623 39	23	6	4	59.180 71	-17.255 78	-1.878 39	
	8	3	7	34.122 34	-18.347 63	-1.614 72	24	6	8	55.741 13	-17.173 33	-1.914 81	
	9	3	11	30.671 51	-18.449 00	-1.620 22	25	6	12	52.304 19	-17.047 58	-1.939 84	
	10	3	15	27.220 86	-18.547 34	-1.641 42	26	6	16	48.868 71	-16.897 99	-1.946 26	
	11	3	19	23.771 35	-18.627 11	-1.677 54	27	6	20	45.433 25	-16.748 04	-1.931 58	
	12	3	23	20.323 85	-18.674 09	-1.725 20	28	6	24	41.996 50	-16.619 14	-1.898 03	
13	3	27	16.878 98	-18.678 03	-1.778 53	29	6	28	38.557 55	-16.526 25	-1.851 18		
14	3	31	13.436 97	-18.635 25	-1.829 88	30	6	32	35.115 98	-16.476 14	-1.798 25		
15	3	35	9.997 52	-18.550 55	-1.871 05	31	6	36	31.671 86	-16.467 80	-1.746 47		
16	3	39	6.559 80	-18.437 45	-1.895 11	32	6	40	28.225 61	-16.494 09	-1.701 98		
17	3	43	3.122 58	-18.316 27	-1.898 08	33	6	44	24.777 95	-16.543 69	-1.669 27		

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 2019 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	7	53.325 38	-14	22.381 82	Févr.	15	144	28	10.720 28	-14	28.670 13
	1	100	7	1.529 61	-14	22.501 44		16	145	27	18.924 52	-14	28.884 40
	2	101	6	9.733 85	-14	22.656 99		17	146	26	27.128 76	-14	29.104 72
	3	102	5	17.938 09	-14	22.846 56		18	147	25	35.332 99	-14	29.301 95
	4	103	4	26.142 32	-14	23.061 89		19	148	24	43.537 23	-14	29.450 10
	5	104	3	34.346 56	-14	23.290 61		20	149	23	51.741 47	-14	29.537 36
	6	105	2	42.550 80	-14	23.518 70		21	150	22	59.945 71	-14	29.571 85
	7	106	1	50.755 04	-14	23.732 98		22	151	22	8.149 94	-14	29.577 94
	8	107	0	58.959 27	-14	23.922 98		23	152	21	16.354 18	-14	29.585 22
	9	108	0	7.163 51	-14	24.082 38		24	153	20	24.558 42	-14	29.617 53
	10	108	59	15.367 75	-14	24.209 50		25	154	19	32.762 65	-14	29.687 10
	11	109	58	23.571 98	-14	24.307 31		26	155	18	40.966 89	-14	29.794 61
	12	110	57	31.776 22	-14	24.383 01		27	156	17	49.171 13	-14	29.932 36
	13	111	56	39.980 46	-14	24.447 33		28	157	16	57.375 37	-14	30.088 07
14	112	55	48.184 70	-14	24.513 73	Mars	1	158	16	5.579 60	-14	30.248 01	
15	113	54	56.388 93	-14	24.597 27	2	159	15	13.783 84	-14	30.399 06		
16	114	54	4.593 17	-14	24.712 74	3	160	14	21.988 08	-14	30.530 22		
17	115	53	12.797 41	-14	24.871 80	4	161	13	30.192 31	-14	30.633 60		
18	116	52	21.001 64	-14	25.078 91	5	162	12	38.396 55	-14	30.705 20		
19	117	51	29.205 88	-14	25.327 16	6	163	11	46.600 79	-14	30.745 49		
20	118	50	37.410 12	-14	25.596 18	7	164	10	54.805 03	-14	30.759 58		
21	119	49	45.614 35	-14	25.855 53	8	165	10	3.009 26	-14	30.756 81		
22	120	48	53.818 59	-14	26.074 34	9	166	9	11.213 50	-14	30.749 73		
23	121	48	2.022 83	-14	26.233 64	10	167	8	19.417 74	-14	30.752 58		
24	122	47	10.227 07	-14	26.333 76	11	168	7	27.621 97	-14	30.779 17		
25	123	46	18.431 30	-14	26.392 63	12	169	6	35.826 21	-14	30.840 65		
26	124	45	26.635 54	-14	26.436 74	13	170	5	44.030 45	-14	30.943 22		
27	125	44	34.839 78	-14	26.491 22	14	171	4	52.234 68	-14	31.086 13		
28	126	43	43.044 01	-14	26.573 35	15	172	4	0.438 92	-14	31.260 22		
29	127	42	51.248 25	-14	26.690 69	16	173	3	8.643 16	-14	31.447 86		
30	128	41	59.452 49	-14	26.842 01	17	174	2	16.847 40	-14	31.625 22		
31	129	41	7.656 73	-14	27.019 69	18	175	1	25.051 63	-14	31.767 69		
Févr.	1	130	40	15.860 96	-14	27.212 16	19	176	0	33.255 87	-14	31.857 98	
	2	131	39	24.065 20	-14	27.406 19	20	176	59	41.460 11	-14	31.893 85	
	3	132	38	32.269 44	-14	27.588 87	21	177	58	49.664 34	-14	31.890 70	
	4	133	37	40.473 67	-14	27.749 32	22	178	57	57.868 58	-14	31.876 18	
	5	134	36	48.677 91	-14	27.880 08	23	179	57	6.072 82	-14	31.879 20	
	6	135	35	56.882 15	-14	27.978 07	24	180	56	14.277 06	-14	31.919 67	
	7	136	35	5.086 39	-14	28.044 96	25	181	55	22.481 29	-14	32.003 92	
	8	137	34	13.290 62	-14	28.086 99	26	182	54	30.685 53	-14	32.126 27	
	9	138	33	21.494 86	-14	28.114 25	27	183	53	38.889 77	-14	32.273 66	
	10	139	32	29.699 10	-14	28.139 55	28	184	52	47.094 00	-14	32.430 47	
	11	140	31	37.903 33	-14	28.177 02	29	185	51	55.298 24	-14	32.581 89	
	12	141	30	46.107 57	-14	28.240 42	30	186	51	3.502 48	-14	32.715 81	
	13	142	29	54.311 81	-14	28.340 99	31	187	50	11.706 72	-14	32.823 65	
	14	143	29	2.516 05	-14	28.484 87	Avril	1	188	49	19.910 95	-14	32.900 83

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2019 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	48	28.115 19	-14	32.946 97	Mai	18	235	8	45.510 10	-14	37.556 15	
	3	190	47	36.319 43	-14	32.966 07		19	236	7	53.714 33	-14	37.705 80	
	4	191	46	44.523 66	-14	32.966 42		20	237	7	1.918 57	-14	37.896 14	
	5	192	45	52.727 90	-14	32.960 04		21	238	6	10.122 81	-14	38.112 71	
	6	193	45	0.932 14	-14	32.961 33		22	239	5	18.327 05	-14	38.337 39	
	7	194	44	9.136 38	-14	32.985 06		23	240	4	26.531 28	-14	38.552 96	
	8	195	43	17.340 61	-14	33.043 58		24	241	3	34.735 52	-14	38.746 16	
	9	196	42	25.544 85	-14	33.144 13		25	242	2	42.939 76	-14	38.908 95	
	10	197	41	33.749 09	-14	33.286 57		26	243	1	51.143 99	-14	39.038 61	
	11	198	40	41.953 32	-14	33.462 36		27	244	0	59.348 23	-14	39.137 20	
	12	199	39	50.157 56	-14	33.655 19		28	245	0	7.552 47	-14	39.211 00	
	13	200	38	58.361 80	-14	33.843 53		29	245	59	15.756 71	-14	39.269 90	
	14	201	38	6.566 04	-14	34.005 04		30	246	58	23.960 94	-14	39.326 85	
	15	202	37	14.770 27	-14	34.122 50		31	247	57	32.165 18	-14	39.396 80	
	16	203	36	22.974 51	-14	34.189 58		Juin	1	248	56	40.369 42	-14	39.494 92
	17	204	35	31.178 75	-14	34.214 41		2	249	55	48.573 65	-14	39.633 75	
18	205	34	39.382 98	-14	34.218 23	3	250	54	56.777 89	-14	39.819 59			
19	206	33	47.587 22	-14	34.228 79	4	251	54	4.982 13	-14	40.049 08			
20	207	32	55.791 46	-14	34.270 74	5	252	53	13.186 37	-14	40.307 85			
21	208	32	3.995 70	-14	34.357 82	6	253	52	21.390 60	-14	40.572 68			
22	209	31	12.199 93	-14	34.490 19	7	254	51	29.594 84	-14	40.817 41			
23	210	30	20.404 17	-14	34.656 98	8	255	50	37.799 08	-14	41.020 63			
24	211	29	28.608 41	-14	34.841 55	9	256	49	46.003 31	-14	41.172 15			
25	212	28	36.812 64	-14	35.026 55	10	257	48	54.207 55	-14	41.275 69			
26	213	27	45.016 88	-14	35.197 30	11	258	48	2.411 79	-14	41.347 23			
27	214	26	53.221 12	-14	35.343 38	12	259	47	10.616 03	-14	41.409 96			
28	215	26	1.425 36	-14	35.459 02	13	260	46	18.820 26	-14	41.487 80			
29	216	25	9.629 59	-14	35.543 01	14	261	45	27.024 50	-14	41.599 35			
30	217	24	17.833 83	-14	35.598 46	15	262	44	35.228 74	-14	41.753 83			
Mai	1	218	23	26.038 07	-14	35.632 58	16	263	43	43.432 97	-14	41.949 75		
2	219	22	34.242 30	-14	35.656 36	17	264	42	51.637 21	-14	42.176 44			
3	220	21	42.446 54	-14	35.683 77	18	265	41	59.841 45	-14	42.417 59			
4	221	20	50.650 78	-14	35.730 19	19	266	41	8.045 69	-14	42.655 51			
5	222	19	58.855 01	-14	35.809 84	20	267	40	16.249 92	-14	42.874 87			
6	223	19	7.059 25	-14	35.932 53	21	268	39	24.454 16	-14	43.065 03			
7	224	18	15.263 49	-14	36.100 49	22	269	38	32.658 40	-14	43.221 02			
8	225	17	23.467 73	-14	36.306 40	23	270	37	40.862 63	-14	43.343 28			
9	226	16	31.671 96	-14	36.533 90	24	271	36	49.066 87	-14	43.437 00			
10	227	15	39.876 20	-14	36.760 67	25	272	35	57.271 11	-14	43.511 16			
11	228	14	48.080 44	-14	36.963 69	26	273	35	5.475 34	-14	43.577 69			
12	229	13	56.284 67	-14	37.125 25	27	274	34	13.679 58	-14	43.650 53			
13	230	13	4.488 91	-14	37.237 87	28	275	33	21.883 82	-14	43.744 42			
14	231	12	12.693 15	-14	37.306 89	29	276	32	30.088 06	-14	43.872 97			
15	232	11	20.897 39	-14	37.349 44	30	277	31	38.292 29	-14	44.045 80			
16	233	10	29.101 62	-14	37.389 92	Juill.	1	278	30	46.496 53	-14	44.264 87		
17	234	9	37.305 86	-14	37.452 93	2	279	29	54.700 77	-14	44.521 37			

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2019 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	29	2.905 00	-14	44.795 02	Août	18	325	49	20.299 91	-14	51.030 85
	4	281	28	11.109 24	-14	45.057 99		19	326	48	28.504 15	-14	51.047 44
	5	282	27	19.313 48	-14	45.283 17		20	327	47	36.708 39	-14	51.061 24
	6	283	26	27.517 72	-14	45.453 71		21	328	46	44.912 62	-14	51.085 80
	7	284	25	35.721 95	-14	45.568 88		22	329	45	53.116 86	-14	51.133 93
	8	285	24	43.926 19	-14	45.643 46		23	330	45	1.321 10	-14	51.216 08
	9	286	23	52.130 43	-14	45.701 63		24	331	44	9.525 33	-14	51.338 52
	10	287	23	0.334 66	-14	45.768 80		25	332	43	17.729 57	-14	51.501 24
	11	288	22	8.538 90	-14	45.864 91		26	333	42	25.933 81	-14	51.695 91
	12	289	21	16.743 14	-14	46.000 56		27	334	41	34.138 05	-14	51.904 90
	13	290	20	24.947 38	-14	46.176 22		28	335	40	42.342 28	-14	52.103 03
	14	291	19	33.151 61	-14	46.383 66		29	336	39	50.546 52	-14	52.263 48
	15	292	18	41.355 85	-14	46.608 79		30	337	38	58.750 76	-14	52.367 45
	16	293	17	49.560 09	-14	46.835 06		31	338	38	6.954 99	-14	52.413 32
	17	294	16	57.764 32	-14	47.046 83		Sept. 1	339	37	15.159 23	-14	52.418 94
	18	295	16	5.968 56	-14	47.231 91		2	340	36	23.363 47	-14	52.414 53
	19	296	15	14.172 80	-14	47.383 24		3	341	35	31.567 71	-14	52.430 11
20	297	14	22.377 04	-14	47.499 32	4	342	34	39.771 94	-14	52.485 19		
21	298	13	30.581 27	-14	47.583 91	5	343	33	47.976 18	-14	52.584 97		
22	299	12	38.785 51	-14	47.645 01	6	344	32	56.180 42	-14	52.722 57		
23	300	11	46.989 75	-14	47.693 81	7	345	32	4.384 65	-14	52.883 86		
24	301	10	55.193 98	-14	47.743 47	8	346	31	12.588 89	-14	53.052 15		
25	302	10	3.398 22	-14	47.807 90	9	347	30	20.793 13	-14	53.211 58		
26	303	9	11.602 46	-14	47.900 35	10	348	29	28.997 37	-14	53.349 32		
27	304	8	19.806 70	-14	48.031 43	11	349	28	37.201 60	-14	53.456 68		
28	305	7	28.010 93	-14	48.206 53	12	350	27	45.405 84	-14	53.529 80		
29	306	6	36.215 17	-14	48.422 66	13	351	26	53.610 08	-14	53.569 77		
30	307	5	44.419 41	-14	48.666 15	14	352	26	1.814 31	-14	53.582 36		
31	308	4	52.623 64	-14	48.912 96	15	353	25	10.018 55	-14	53.577 31		
Août 1	309	4	0.827 88	-14	49.133 86	16	354	24	18.222 79	-14	53.567 13		
2	310	3	9.032 12	-14	49.304 17	17	355	23	26.427 03	-14	53.565 46		
3	311	2	17.236 36	-14	49.413 91	18	356	22	34.631 26	-14	53.585 34		
4	312	1	25.440 59	-14	49.472 21	19	357	21	42.835 50	-14	53.637 38		
5	313	0	33.644 83	-14	49.503 14	20	358	20	51.039 74	-14	53.728 01		
6	313	59	41.849 07	-14	49.535 65	21	359	19	59.243 97	-14	53.857 95		
7	314	58	50.053 30	-14	49.593 69	22	0	19	7.448 21	-14	54.021 02		
8	315	57	58.257 54	-14	49.690 51	23	1	18	15.652 45	-14	54.203 57		
9	316	57	6.461 78	-14	49.827 87	24	2	17	23.856 69	-14	54.385 36		
10	317	56	14.666 02	-14	49.998 23	25	3	16	32.060 92	-14	54.542 76		
11	318	55	22.870 25	-14	50.188 23	26	4	15	40.265 16	-14	54.654 94		
12	319	54	31.074 49	-14	50.382 09	27	5	14	48.469 40	-14	54.712 01		
13	320	53	39.278 73	-14	50.564 52	28	6	13	56.673 63	-14	54.721 33		
14	321	52	47.482 96	-14	50.723 01	29	7	13	4.877 87	-14	54.707 12		
15	322	51	55.687 20	-14	50.849 35	30	8	12	13.082 11	-14	54.701 75		
16	323	51	3.891 44	-14	50.940 52	Oct. 1	9	11	21.286 35	-14	54.732 70		
17	324	50	12.095 67	-14	50.998 72	2	10	10	29.490 58	-14	54.813 16		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2019 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	9	37.694 82	-14	54.940 26	Nov.	18	56	29	55.089 73	-15	0.176 74	
	4	12	8	45.899 06	-14	55.099 76		19	57	29	3.293 96	-15	0.366 95	
	5	13	7	54.103 29	-14	55.272 68		20	58	28	11.498 20	-15	0.511 65	
	6	14	7	2.307 53	-14	55.440 66		21	59	27	19.702 44	-15	0.609 63	
	7	15	6	10.511 77	-14	55.589 10		22	60	26	27.906 68	-15	0.672 31	
	8	16	5	18.716 00	-14	55.708 34		23	61	25	36.110 91	-15	0.721 94	
	9	17	4	26.920 24	-14	55.793 86		24	62	24	44.315 15	-15	0.785 91	
	10	18	3	35.124 48	-14	55.846 08		25	63	23	52.519 39	-15	0.888 51	
	11	19	2	43.328 72	-14	55.869 97		26	64	23	0.723 62	-15	1.043 01	
	12	20	1	51.532 95	-14	55.874 46		27	65	22	8.927 86	-15	1.247 78	
	13	21	0	59.737 19	-14	55.871 55		28	66	21	17.132 10	-15	1.488 07	
	14	22	0	7.941 43	-14	55.875 05		29	67	20	25.336 33	-15	1.742 02	
	15	22	59	16.145 66	-14	55.898 72		30	68	19	33.540 57	-15	1.987 66	
	16	23	58	24.349 90	-14	55.954 20		Déc.	1	69	18	41.744 81	-15	2.208 04
	17	24	57	32.554 14	-14	56.048 83			2	70	17	49.949 05	-15	2.393 43
	18	25	56	40.758 38	-14	56.183 97			3	71	16	58.153 28	-15	2.541 26
	19	26	55	48.962 61	-14	56.353 93			4	72	16	6.357 52	-15	2.654 84
20	27	54	57.166 85	-14	56.546 08	5	73		15	14.561 76	-15	2.741 91		
21	28	54	5.371 09	-14	56.742 19	6	74		14	22.765 99	-15	2.813 38		
22	29	53	13.575 32	-14	56.921 25	7	75		13	30.970 23	-15	2.882 22		
23	30	52	21.779 56	-14	57.064 00	8	76		12	39.174 47	-15	2.962 50		
24	31	51	29.983 80	-14	57.158 47	9	77		11	47.378 71	-15	3.067 91		
25	32	50	38.188 04	-14	57.205 39	10	78		10	55.582 94	-15	3.209 86		
26	33	49	46.392 27	-14	57.220 57	11	79		10	3.787 18	-15	3.394 91		
27	34	48	54.596 51	-14	57.231 57	12	80		9	11.991 42	-15	3.622 12		
28	35	48	2.800 75	-14	57.268 62	13	81		8	20.195 65	-15	3.881 48		
29	36	47	11.004 98	-14	57.353 39	14	82		7	28.399 89	-15	4.154 45		
30	37	46	19.209 22	-14	57.491 80	15	83		6	36.604 13	-15	4.417 56		
31	38	45	27.413 46	-14	57.674 14	16	84		5	44.808 37	-15	4.648 36		
Nov.	1	39	44	35.617 70	-14	57.880 95	17		85	4	53.012 60	-15	4.831 83	
	2	40	43	43.821 93	-14	58.090 49	18	86	4	1.216 84	-15	4.964 98		
	3	41	42	52.026 17	-14	58.284 32	19	87	3	9.421 08	-15	5.057 96		
	4	42	42	0.230 41	-14	58.449 93	20	88	2	17.625 31	-15	5.131 32		
	5	43	41	8.434 64	-14	58.581 18	21	89	1	25.829 55	-15	5.210 52		
	6	44	40	16.638 88	-14	58.677 66	22	90	0	34.033 79	-15	5.319 14		
	7	45	39	24.843 12	-14	58.743 75	23	90	59	42.238 03	-15	5.472 66		
	8	46	38	33.047 36	-14	58.787 73	24	91	58	50.442 26	-15	5.674 63		
	9	47	37	41.251 59	-14	58.821 00	25	92	57	58.646 50	-15	5.916 32		
	10	48	36	49.455 83	-14	58.857 07	26	93	57	6.850 74	-15	6.179 87		
	11	49	35	57.660 07	-14	58.910 19	27	94	56	15.054 97	-15	6.443 73		
	12	50	35	5.864 30	-14	58.993 41	28	95	55	23.259 21	-15	6.688 27		
	13	51	34	14.068 54	-14	59.116 12	29	96	54	31.463 45	-15	6.899 76		
	14	52	33	22.272 78	-14	59.281 70	30	97	53	39.667 69	-15	7.071 99		
	15	53	32	30.477 02	-14	59.485 72	31	98	52	47.871 92	-15	7.205 90		
	16	54	31	38.681 25	-14	59.715 80	32	99	51	56.076 16	-15	7.308 05		
	17	55	30	46.885 49	-14	59.953 26	33	100	51	4.280 40	-15	7.388 82		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2019 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Janv.	0	374.676 30	-5.486 61	0.003 03	Févr.	15	377.411 72	-4.528 09	0.002 12
	1	374.728 17	-5.507 73	0.003 05		16	377.504 78	-4.512 95	0.002 11
	2	374.795 61	-5.532 66	0.003 07		17	377.600 57	-4.473 77	0.002 07
	3	374.877 80	-5.553 54	0.003 09		18	377.686 47	-4.411 25	0.002 01
	4	374.971 22	-5.563 93	0.003 10		19	377.751 15	-4.333 88	0.001 94
	5	375.070 50	-5.559 72	0.003 09		20	377.789 45	-4.256 11	0.001 87
	6	375.169 58	-5.539 50	0.003 07		21	377.804 80	-4.193 02	0.001 81
	7	375.262 74	-5.504 50	0.003 04		22	377.807 73	-4.154 42	0.001 78
	8	375.345 42	-5.458 14	0.003 00		23	377.811 06	-4.141 84	0.001 76
	9	375.414 87	-5.405 33	0.002 95		24	377.825 14	-4.149 50	0.001 77
	10	375.470 33	-5.351 68	0.002 90		25	377.855 33	-4.167 78	0.001 79
	11	375.513 07	-5.302 72	0.002 85		26	377.901 96	-4.186 72	0.001 80
	12	375.546 17	-5.263 29	0.002 82		27	377.961 74	-4.198 31	0.001 81
	13	375.574 29	-5.237 00	0.002 79		28	378.029 36	-4.197 40	0.001 81
14	375.603 24	-5.225 67	0.002 78	Mars	1	378.098 87	-4.181 75	0.001 80	
15	375.639 55	-5.228 82	0.002 78	2	378.164 61	-4.151 71	0.001 77		
16	375.689 65	-5.243 17	0.002 80	3	378.221 77	-4.109 75	0.001 73		
17	375.758 62	-5.262 21	0.002 81	4	378.266 92	-4.059 99	0.001 68		
18	375.848 45	-5.276 62	0.002 82	5	378.298 31	-4.007 65	0.001 64		
19	375.956 17	-5.275 85	0.002 82	6	378.316 12	-3.958 41	0.001 59		
20	376.073 01	-5.251 26	0.002 80	7	378.322 53	-3.917 71	0.001 55		
21	376.185 77	-5.200 10	0.002 75	8	378.321 57	-3.889 93	0.001 53		
22	376.281 07	-5.128 00	0.002 68	9	378.318 67	-3.877 69	0.001 52		
23	376.350 60	-5.047 83	0.002 61	10	378.320 01	-3.881 24	0.001 52		
24	376.394 45	-4.974 81	0.002 54	11	378.331 57	-3.898 22	0.001 54		
25	376.420 32	-4.920 75	0.002 49	12	378.358 22	-3.923 70	0.001 56		
26	376.439 69	-4.890 51	0.002 46	13	378.402 68	-3.950 64	0.001 58		
27	376.463 46	-4.882 01	0.002 46	14	378.464 65	-3.970 82	0.001 60		
28	376.499 14	-4.888 48	0.002 46	15	378.540 21	-3.976 23	0.001 61		
29	376.550 06	-4.901 22	0.002 47	16	378.621 73	-3.961 01	0.001 59		
30	376.615 72	-4.911 85	0.002 48	17	378.698 90	-3.923 67	0.001 56		
31	376.692 85	-4.913 63	0.002 48	18	378.761 03	-3.868 79	0.001 50		
Févr.	1	376.776 45	-4.902 15	0.002 47	19	378.800 57	-3.807 11	0.001 45	
	2	376.860 79	-4.875 55	0.002 45	20	378.816 49	-3.752 87	0.001 40	
	3	376.940 28	-4.834 46	0.002 41	21	378.815 40	-3.718 91	0.001 37	
	4	377.010 18	-4.781 67	0.002 36	22	378.809 25	-3.711 72	0.001 36	
	5	377.067 25	-4.721 65	0.002 30	23	378.810 59	-3.729 44	0.001 38	
	6	377.110 12	-4.659 89	0.002 25	24	378.828 10	-3.763 55	0.001 41	
	7	377.139 49	-4.602 09	0.002 19	25	378.864 56	-3.802 81	0.001 44	
	8	377.158 04	-4.553 40	0.002 15	26	378.917 56	-3.837 03	0.001 47	
	9	377.170 13	-4.517 72	0.002 12	27	378.981 47	-3.859 24	0.001 49	
	10	377.181 30	-4.497 14	0.002 10	28	379.049 54	-3.866 10	0.001 50	
	11	377.197 69	-4.491 49	0.002 09	29	379.115 34	-3.857 54	0.001 49	
	12	377.225 25	-4.498 12	0.002 10	30	379.173 62	-3.835 90	0.001 47	
	13	377.268 90	-4.511 75	0.002 11	31	379.220 63	-3.805 21	0.001 44	
14	377.331 32	-4.524 78	0.002 12	Avril	1	379.254 36	-3.770 58	0.001 41	

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2019 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Avril	2 379.274 63	-3.737 61	0.001 38	Mai	18 381.276 41	-4.155 20	0.001 74
	3 379.283 15	-3.711 85	0.001 36		19 381.341 15	-4.209 62	0.001 79
	4 379.283 48	-3.698 10	0.001 34		20 381.423 57	-4.256 75	0.001 84
	5 379.280 83	-3.699 68	0.001 34		21 381.517 43	-4.289 17	0.001 87
	6 379.281 43	-3.717 61	0.001 36		22 381.614 88	-4.303 53	0.001 88
	7 379.291 69	-3.750 17	0.001 39		23 381.708 47	-4.300 38	0.001 87
	8 379.316 99	-3.792 71	0.001 43		24 381.792 42	-4.283 20	0.001 86
	9 379.360 49	-3.838 20	0.001 47		25 381.863 23	-4.257 23	0.001 83
	10 379.422 17	-3.878 29	0.001 51		26 381.919 69	-4.228 41	0.001 81
	11 379.498 37	-3.904 94	0.001 53		27 381.962 67	-4.202 61	0.001 78
	12 379.582 05	-3.912 28	0.001 54		28 381.994 86	-4.185 09	0.001 76
	13 379.663 88	-3.898 29	0.001 52		29 382.020 54	-4.180 04	0.001 76
	14 379.734 16	-3.866 09	0.001 49		30 382.045 31	-4.190 06	0.001 77
	15 379.785 39	-3.823 94	0.001 45		31 382.075 63	-4.215 58	0.001 79
	16 379.814 78	-3.783 80	0.001 42	Juin	1 382.118 11	-4.254 18	0.001 83
	17 379.825 79	-3.758 08	0.001 39		2 382.178 20	-4.300 34	0.001 87
	18 379.827 58	-3.755 68	0.001 39		3 382.258 67	-4.345 71	0.001 91
	19 379.832 17	-3.778 82	0.001 41		4 382.358 11	-4.380 59	0.001 94
	20 379.850 28	-3.822 42	0.001 45		5 382.470 33	-4.396 37	0.001 96
	21 379.887 90	-3.876 33	0.001 50		6 382.585 29	-4.388 36	0.001 95
	22 379.945 17	-3.929 14	0.001 55		7 382.691 64	-4.357 78	0.001 92
	23 380.017 40	-3.971 55	0.001 59		8 382.780 06	-4.311 91	0.001 87
	24 380.097 41	-3.998 14	0.001 61		9 382.846 09	-4.262 09	0.001 83
	25 380.177 69	-4.007 54	0.001 62		10 382.891 29	-4.220 46	0.001 79
	26 380.251 86	-4.001 62	0.001 61		11 382.922 53	-4.196 57	0.001 77
	27 380.315 39	-3.984 39	0.001 60		12 382.949 85	-4.195 04	0.001 76
	28 380.365 75	-3.961 04	0.001 57		13 382.983 62	-4.214 74	0.001 78
	29 380.402 39	-3.937 30	0.001 55		14 383.031 94	-4.249 48	0.001 81
	30 380.426 63	-3.918 78	0.001 53		15 383.098 83	-4.289 99	0.001 85
Mai	1 380.441 58	-3.910 54	0.001 53		16 383.183 71	-4.326 36	0.001 88
	2 380.451 99	-3.916 43	0.001 53		17 383.281 99	-4.350 39	0.001 90
	3 380.463 90	-3.938 41	0.001 55		18 383.386 61	-4.357 18	0.001 91
	4 380.483 97	-3.975 81	0.001 59		19 383.489 92	-4.345 67	0.001 90
	5 380.518 40	-4.024 89	0.001 63		20 383.585 26	-4.318 22	0.001 87
	6 380.571 46	-4.078 93	0.001 68		21 383.667 99	-4.279 58	0.001 83
	7 380.644 16	-4.129 19	0.001 73		22 383.735 93	-4.235 71	0.001 79
	8 380.733 37	-4.166 76	0.001 76		23 383.789 24	-4.192 79	0.001 75
	9 380.832 03	-4.184 78	0.001 78		24 383.830 15	-4.156 40	0.001 72
	10 380.930 47	-4.180 53	0.001 77		25 383.862 54	-4.131 06	0.001 69
	11 381.018 71	-4.156 57	0.001 75		26 383.891 55	-4.119 73	0.001 68
	12 381.089 04	-4.120 51	0.001 71		27 383.923 22	-4.123 52	0.001 69
	13 381.138 15	-4.083 31	0.001 68		28 383.963 95	-4.141 13	0.001 70
	14 381.168 32	-4.056 61	0.001 65		29 384.019 67	-4.168 54	0.001 73
	15 381.186 92	-4.049 52	0.001 65		30 384.094 56	-4.198 78	0.001 75
	16 381.204 52	-4.066 01	0.001 66	Juill.	1 384.189 53	-4.222 66	0.001 78
	17 381.231 78	-4.103 81	0.001 70		2 384.300 80	-4.230 45	0.001 78

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2019 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Juill.	3 384.419 61	-4.214 81	0.001 77	Août	18 387.133 88	-2.946 29	0.000 56
	4 384.533 91	-4.173 95	0.001 73		19 387.141 34	-2.911 30	0.000 52
	5 384.631 92	-4.113 26	0.001 67		20 387.147 53	-2.891 48	0.000 50
	6 384.706 28	-4.044 19	0.001 60		21 387.158 31	-2.886 56	0.000 50
	7 384.756 62	-3.980 55	0.001 54		22 387.179 26	-2.894 00	0.000 51
	8 384.789 28	-3.933 85	0.001 50		23 387.214 91	-2.909 06	0.000 52
	9 384.814 72	-3.910 11	0.001 48		24 387.268 02	-2.925 07	0.000 53
	10 384.843 95	-3.908 90	0.001 48		25 387.338 63	-2.933 96	0.000 54
	11 384.885 66	-3.924 42	0.001 49		26 387.423 16	-2.927 51	0.000 54
	12 384.944 46	-3.947 77	0.001 51		27 387.514 00	-2.899 32	0.000 51
	13 385.020 63	-3.969 34	0.001 53		28 387.600 24	-2.847 44	0.000 46
	14 385.110 61	-3.980 88	0.001 54		29 387.670 23	-2.776 70	0.000 39
	15 385.208 34	-3.976 86	0.001 54		30 387.715 78	-2.698 89	0.000 32
	16 385.306 64	-3.955 17	0.001 52		31 387.736 11	-2.629 62	0.000 25
	17 385.398 73	-3.917 02	0.001 48	Sept.	1 387.738 88	-2.582 42	0.000 21
	18 385.479 31	-3.866 30	0.001 43		2 387.737 16	-2.563 46	0.000 19
	19 385.545 29	-3.808 62	0.001 38		3 387.744 00	-2.569 84	0.000 20
	20 385.596 00	-3.750 22	0.001 32		4 387.767 89	-2.592 06	0.000 22
	21 385.633 02	-3.697 04	0.001 27		5 387.811 13	-2.618 32	0.000 24
	22 385.659 82	-3.653 97	0.001 23		6 387.870 81	-2.638 20	0.000 26
	23 385.681 23	-3.624 35	0.001 20		7 387.940 81	-2.644 67	0.000 27
	24 385.702 94	-3.609 66	0.001 19		8 388.013 93	-2.634 55	0.000 26
	25 385.730 98	-3.609 24	0.001 19		9 388.083 28	-2.608 08	0.000 23
	26 385.771 12	-3.620 07	0.001 20		10 388.143 30	-2.568 19	0.000 19
	27 385.827 98	-3.636 63	0.001 21		11 388.190 18	-2.519 65	0.000 15
	28 385.903 92	-3.651 12	0.001 23		12 388.222 23	-2.468 28	0.000 10
	29 385.997 71	-3.654 33	0.001 23		13 388.239 90	-2.420 13	0.000 05
	30 386.103 44	-3.637 63	0.001 21		14 388.245 65	-2.380 74	0.000 02
	31 386.210 74	-3.595 96	0.001 17		15 388.243 71	-2.354 40	-0.000 01
Août	1 386.306 91	-3.530 78	0.001 11		16 388.239 46	-2.343 52	-0.000 02
	2 386.381 22	-3.451 20	0.001 03		17 388.238 83	-2.348 29	-0.000 01
	3 386.429 28	-3.371 65	0.000 96		18 388.247 48	-2.366 53	0.000 00
	4 386.454 96	-3.306 70	0.000 90		19 388.270 03	-2.393 78	0.000 03
	5 386.468 67	-3.265 75	0.000 86		20 388.309 30	-2.423 79	0.000 06
	6 386.482 95	-3.250 39	0.000 85		21 388.365 62	-2.449 12	0.000 08
	7 386.508 20	-3.255 26	0.000 85		22 388.436 37	-2.462 24	0.000 09
	8 386.550 21	-3.270 93	0.000 86		23 388.515 64	-2.456 86	0.000 09
	9 386.609 79	-3.287 10	0.000 88		24 388.594 69	-2.429 79	0.000 06
	10 386.683 72	-3.295 03	0.000 89		25 388.663 26	-2.382 84	0.000 02
	11 386.766 22	-3.288 80	0.000 88		26 388.712 28	-2.323 91	-0.000 04
	12 386.850 48	-3.265 82	0.000 86		27 388.737 41	-2.266 13	-0.000 09
	13 386.929 86	-3.226 63	0.000 82		28 388.741 77	-2.224 19	-0.000 13
	14 386.998 92	-3.174 45	0.000 77		29 388.735 80	-2.208 81	-0.000 15
	15 387.054 08	-3.114 34	0.000 71		30 388.733 52	-2.222 26	-0.000 14
	16 387.094 00	-3.052 35	0.000 66	Oct.	1 388.746 89	-2.257 80	-0.000 10
	17 387.119 61	-2.994 57	0.000 60		2 388.781 68	-2.303 15	-0.000 06

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2019 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Oct.	3 388.836 70	-2.345 50	-0.000 02	Nov.	18 391.110 48	-2.745 66	0.000 34
	4 388.905 83	-2.375 34	0.000 01		19 391.193 21	-2.712 70	0.000 31
	5 388.980 85	-2.387 87	0.000 02		20 391.256 25	-2.673 34	0.000 27
	6 389.053 82	-2.382 65	0.000 01		21 391.299 01	-2.639 12	0.000 24
	7 389.118 38	-2.362 51	-0.000 01		22 391.326 38	-2.621 10	0.000 22
	8 389.170 33	-2.332 28	-0.000 03		23 391.347 99	-2.626 65	0.000 23
	9 389.207 69	-2.297 83	-0.000 07		24 391.375 71	-2.656 95	0.000 26
	10 389.230 60	-2.265 24	-0.000 10		25 391.420 07	-2.706 22	0.000 30
	11 389.241 20	-2.240 20	-0.000 12		26 391.486 90	-2.763 40	0.000 36
	12 389.243 32	-2.227 33	-0.000 13		27 391.575 54	-2.815 79	0.000 41
	13 389.242 17	-2.229 67	-0.000 13		28 391.679 65	-2.853 05	0.000 44
	14 389.243 73	-2.248 07	-0.000 11		29 391.789 78	-2.869 74	0.000 46
	15 389.253 96	-2.280 91	-0.000 08		30 391.896 41	-2.865 80	0.000 45
	16 389.277 92	-2.324 08	-0.000 04	Déc.	1 391.992 16	-2.845 32	0.000 43
	17 389.318 85	-2.371 36	0.000 00		2 392.072 80	-2.814 70	0.000 40
	18 389.377 35	-2.415 28	0.000 04		3 392.137 16	-2.781 01	0.000 37
	19 389.450 99	-2.448 28	0.000 07		4 392.186 66	-2.750 79	0.000 34
	20 389.534 34	-2.464 15	0.000 09		5 392.224 63	-2.729 45	0.000 32
	21 389.619 49	-2.459 51	0.000 08		6 392.255 77	-2.720 88	0.000 31
	22 389.697 35	-2.435 15	0.000 06		7 392.285 71	-2.727 18	0.000 32
	23 389.759 53	-2.396 76	0.000 02		8 392.320 53	-2.748 39	0.000 34
	24 389.800 81	-2.354 66	-0.000 02		9 392.366 18	-2.782 21	0.000 37
	25 389.821 43	-2.321 76	-0.000 05		10 392.427 64	-2.823 78	0.000 41
	26 389.828 18	-2.309 86	-0.000 06		11 392.507 78	-2.865 97	0.000 45
	27 389.833 00	-2.325 35	-0.000 05		12 392.606 23	-2.900 22	0.000 48
	28 389.848 99	-2.366 36	-0.000 01		13 392.718 70	-2.918 30	0.000 50
	29 389.885 59	-2.423 37	0.000 05		14 392.837 16	-2.914 50	0.000 49
	30 389.945 44	-2.483 03	0.000 10		15 392.951 47	-2.887 73	0.000 47
	31 390.024 37	-2.533 04	0.000 15		16 393.051 85	-2.842 46	0.000 42
Nov.	1 390.114 00	-2.565 57	0.000 18		17 393.131 76	-2.788 01	0.000 37
	2 390.204 90	-2.578 21	0.000 19		18 393.189 84	-2.736 25	0.000 32
	3 390.289 08	-2.573 03	0.000 19		19 393.230 45	-2.698 44	0.000 28
	4 390.361 08	-2.554 95	0.000 17		20 393.262 44	-2.682 17	0.000 27
	5 390.418 22	-2.530 20	0.000 14		21 393.296 86	-2.689 48	0.000 28
	6 390.460 28	-2.505 24	0.000 12		22 393.343 93	-2.716 34	0.000 30
	7 390.489 14	-2.486 00	0.000 10		23 393.410 42	-2.753 81	0.000 34
	8 390.508 37	-2.477 42	0.000 09		24 393.497 92	-2.790 61	0.000 37
	9 390.522 89	-2.482 98	0.000 10		25 393.602 69	-2.816 11	0.000 39
	10 390.538 55	-2.504 25	0.000 12		26 393.717 02	-2.823 03	0.000 40
	11 390.561 54	-2.540 47	0.000 15		27 393.831 59	-2.808 86	0.000 39
	12 390.597 51	-2.588 29	0.000 20		28 393.937 87	-2.775 77	0.000 35
	13 390.650 58	-2.641 86	0.000 25		29 394.029 88	-2.729 33	0.000 31
	14 390.722 23	-2.693 51	0.000 30		30 394.104 91	-2.676 73	0.000 26
	15 390.810 61	-2.735 08	0.000 34		31 394.163 32	-2.625 20	0.000 21
	16 390.910 35	-2.759 57	0.000 36		32 394.207 93	-2.580 91	0.000 17
	17 391.013 40	-2.762 99	0.000 36		33 394.243 21	-2.548 35	0.000 13

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 2019 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.				
	° / "	"	ua		° / "	"	ua				
Janv.	0	278 58	51.39	+9.76	0.983 322 84	Févr.	15	325 44	38.02	+4.45	0.987 577 94
	1	280 0	1.16	+9.70	0.983 311 33		16	326 45	13.86	+4.44	0.987 769 60
	2	281 1	11.28	+9.62	0.983 304 20		17	327 45	47.98	+4.43	0.987 965 87
	3	282 2	21.68	+9.50	0.983 301 26		18	328 46	20.40	+4.43	0.988 166 99
	4	283 3	32.27	+9.36	0.983 302 37		19	329 46	51.17	+4.42	0.988 373 12
	5	284 4	42.97	+9.20	0.983 307 40		20	330 47	20.34	+4.40	0.988 584 31
	6	285 5	53.68	+9.02	0.983 316 32		21	331 47	47.97	+4.35	0.988 800 53
	7	286 7	4.31	+8.83	0.983 329 11		22	332 48	14.12	+4.27	0.989 021 58
	8	287 8	14.77	+8.64	0.983 345 78		23	333 48	38.85	+4.16	0.989 247 21
	9	288 9	24.98	+8.46	0.983 366 42		24	334 49	2.17	+4.01	0.989 477 06
	10	289 10	34.86	+8.28	0.983 391 12		25	335 49	24.11	+3.83	0.989 710 76
	11	290 11	44.33	+8.12	0.983 420 00		26	336 49	44.65	+3.62	0.989 947 92
	12	291 12	53.32	+7.97	0.983 453 22		27	337 50	3.79	+3.38	0.990 188 18
	13	292 14	1.75	+7.85	0.983 490 96		28	338 50	21.49	+3.13	0.990 431 19
14	293 15	9.58	+7.75	0.983 533 42	Mars	1	339 50	37.71	+2.85	0.990 676 63	
15	294 16	16.74	+7.68	0.983 580 83		2	340 50	52.40	+2.57	0.990 924 21	
16	295 17	23.20	+7.64	0.983 633 44		3	341 51	5.53	+2.28	0.991 173 67	
17	296 18	28.92	+7.63	0.983 691 53		4	342 51	17.03	+2.00	0.991 424 78	
18	297 19	33.88	+7.64	0.983 755 37		5	343 51	26.84	+1.73	0.991 677 33	
19	298 20	38.09	+7.68	0.983 825 23		6	344 51	34.90	+1.46	0.991 931 16	
20	299 21	41.55	+7.73	0.983 901 34		7	345 51	41.16	+1.22	0.992 186 14	
21	300 22	44.31	+7.78	0.983 983 89		8	346 51	45.53	+1.00	0.992 442 16	
22	301 23	46.41	+7.84	0.984 072 92		9	347 51	47.97	+0.80	0.992 699 18	
23	302 24	47.90	+7.88	0.984 168 40		10	348 51	48.39	+0.63	0.992 957 19	
24	303 25	48.82	+7.90	0.984 270 15		11	349 51	46.75	+0.49	0.993 216 20	
25	304 26	49.21	+7.89	0.984 377 91		12	350 51	42.99	+0.38	0.993 476 31	
26	305 27	49.08	+7.84	0.984 491 35		13	351 51	37.05	+0.30	0.993 737 63	
27	306 28	48.41	+7.77	0.984 610 09		14	352 51	28.88	+0.23	0.994 000 31	
28	307 29	47.20	+7.65	0.984 733 78	15	353 51	18.47	+0.19	0.994 264 57		
29	308 30	45.40	+7.51	0.984 862 06	16	354 51	5.79	+0.16	0.994 530 64		
30	309 31	42.96	+7.33	0.984 994 62	17	355 50	50.83	+0.13	0.994 798 77		
31	310 32	39.81	+7.12	0.985 131 18	18	356 50	33.62	+0.11	0.995 069 22		
Févr.	1	311 33	35.90	+6.90	0.985 271 47	19	357 50	14.19	+0.07	0.995 342 20	
	2	312 34	31.15	+6.66	0.985 415 30	20	358 49	52.60	+0.01	0.995 617 88	
	3	313 35	25.48	+6.41	0.985 562 49	21	359 49	28.92	-0.08	0.995 896 33	
	4	314 36	18.81	+6.15	0.985 712 90	22	0 49	3.21	-0.19	0.996 177 50	
	5	315 37	11.07	+5.90	0.985 866 44	23	1 48	35.57	-0.34	0.996 461 25	
	6	316 38	2.17	+5.66	0.986 023 03	24	2 48	6.05	-0.52	0.996 747 31	
	7	317 38	52.04	+5.43	0.986 182 67	25	3 47	34.71	-0.73	0.997 035 37	
	8	318 39	40.59	+5.22	0.986 345 35	26	4 47	1.57	-0.97	0.997 325 09	
	9	319 40	27.75	+5.03	0.986 511 14	27	5 46	26.66	-1.22	0.997 616 09	
	10	320 41	13.46	+4.86	0.986 680 10	28	6 45	49.99	-1.50	0.997 908 01	
	11	321 41	57.64	+4.72	0.986 852 37	29	7 45	11.55	-1.78	0.998 200 50	
	12	322 42	40.23	+4.62	0.987 028 09	30	8 44	31.34	-2.06	0.998 493 22	
	13	323 43	21.18	+4.53	0.987 207 44	31	9 43	49.33	-2.34	0.998 785 87	
	14	324 44	0.46	+4.48	0.987 390 64	Avril	1	10 43	5.50	-2.61	0.999 078 16

SOLEIL 2019 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 42	19.82	-2.86	0.999 369 82	Mai	18	56 31	52.93	-7.65	1.011 336 07
	3	12 41	32.26	-3.10	0.999 660 61		19	57 29	39.26	-7.80	1.011 542 09
	4	13 40	42.77	-3.32	0.999 950 30		20	58 27	24.19	-7.97	1.011 746 16
	5	14 39	51.32	-3.51	1.000 238 72		21	59 25	7.82	-8.15	1.011 948 16
	6	15 38	57.84	-3.67	1.000 525 72		22	60 22	50.21	-8.35	1.012 147 89
	7	16 38	2.30	-3.80	1.000 811 19		23	61 20	31.44	-8.54	1.012 345 13
	8	17 37	4.63	-3.90	1.001 095 10		24	62 18	11.58	-8.74	1.012 539 62
	9	18 36	4.80	-3.98	1.001 377 44		25	63 15	50.66	-8.92	1.012 731 08
	10	19 35	2.75	-4.03	1.001 658 28		26	64 13	28.74	-9.09	1.012 919 23
	11	20 33	58.43	-4.06	1.001 937 74		27	65 11	5.85	-9.23	1.013 103 80
	12	21 32	51.83	-4.08	1.002 215 98		28	66 8	42.02	-9.36	1.013 284 50
13	22 31	42.93	-4.09	1.002 493 21	29	67 6	17.26	-9.46	1.013 461 05		
14	23 30	31.71	-4.11	1.002 769 69	30	68 3	51.59	-9.52	1.013 633 16		
15	24 29	18.19	-4.13	1.003 045 68	31	69 1	25.02	-9.56	1.013 800 56		
16	25 28	2.41	-4.17	1.003 321 44	Juin	1	69 58	57.54	-9.57	1.013 962 99	
17	26 26	44.42	-4.23	1.003 597 19		2	70 56	29.13	-9.54	1.014 120 22	
18	27 25	24.29	-4.31	1.003 873 09		3	71 53	59.78	-9.49	1.014 272 04	
19	28 24	2.09	-4.43	1.004 149 24		4	72 51	29.44	-9.41	1.014 418 32	
20	29 22	37.92	-4.58	1.004 425 61		5	73 48	58.08	-9.32	1.014 558 99	
21	30 21	11.85	-4.76	1.004 702 08		6	74 46	25.65	-9.22	1.014 694 07	
22	31 19	43.98	-4.96	1.004 978 47		7	75 43	52.13	-9.11	1.014 823 64	
23	32 18	14.36	-5.19	1.005 254 51		8	76 41	17.48	-9.02	1.014 947 91	
24	33 16	43.06	-5.43	1.005 529 90		9	77 38	41.69	-8.93	1.015 067 11	
25	34 15	10.11	-5.68	1.005 804 32		10	78 36	4.76	-8.87	1.015 181 54	
26	35 13	35.55	-5.93	1.006 077 44		11	79 33	26.71	-8.83	1.015 291 53	
27	36 11	59.40	-6.17	1.006 348 93	12	80 30	47.58	-8.82	1.015 397 38		
28	37 10	21.68	-6.41	1.006 618 48	13	81 28	7.41	-8.84	1.015 499 39		
29	38 8	42.39	-6.63	1.006 885 77	14	82 25	26.29	-8.89	1.015 597 81		
30	39 7	1.53	-6.83	1.007 150 52	15	83 22	44.28	-8.96	1.015 692 84		
Mai	1	40 5	19.10	-7.01	1.007 412 43	16	84 20	1.47	-9.06	1.015 784 61	
	2	41 3	35.09	-7.16	1.007 671 25	17	85 17	17.97	-9.17	1.015 873 18	
	3	42 1	49.46	-7.28	1.007 926 73	18	86 14	33.84	-9.30	1.015 958 57	
	4	43 0	2.20	-7.38	1.008 178 64	19	87 11	49.20	-9.43	1.016 040 70	
	5	43 58	13.27	-7.44	1.008 426 82	20	88 9	4.11	-9.55	1.016 119 48	
	6	44 56	22.64	-7.47	1.008 671 14	21	89 6	18.66	-9.67	1.016 194 74	
	7	45 54	30.25	-7.48	1.008 911 52	22	90 3	32.91	-9.78	1.016 266 30	
	8	46 52	36.07	-7.47	1.009 147 98	23	91 0	46.94	-9.86	1.016 333 97	
	9	47 50	40.06	-7.45	1.009 380 58	24	91 58	0.79	-9.93	1.016 397 51	
	10	48 48	42.18	-7.41	1.009 609 47	25	92 55	14.52	-9.96	1.016 456 69	
	11	49 46	42.42	-7.38	1.009 834 85	26	93 52	28.17	-9.97	1.016 511 28	
12	50 44	40.77	-7.35	1.010 056 96	27	94 49	41.77	-9.94	1.016 561 00		
13	51 42	37.24	-7.34	1.010 276 09	28	95 46	55.35	-9.89	1.016 605 59		
14	52 40	31.85	-7.34	1.010 492 53	29	96 44	8.93	-9.80	1.016 644 79		
15	53 38	24.66	-7.38	1.010 706 54	30	97 41	22.51	-9.69	1.016 678 33		
16	54 36	15.72	-7.44	1.010 918 36	Juill.	1	98 38	36.08	-9.55	1.016 705 97	
17	55 34	5.12	-7.53	1.011 128 17		2	99 35	49.62	-9.39	1.016 727 49	

SOLEIL 2019 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 33 3.11	-9.21	1.016 742 75	Août	18	144 31 16.51	-5.62	1.012 388 52
	4	101 30 16.49	-9.03	1.016 751 68		19	145 28 57.27	-5.53	1.012 199 62
	5	102 27 29.74	-8.86	1.016 754 33		20	146 26 39.52	-5.41	1.012 008 13
	6	103 24 42.80	-8.70	1.016 750 82		21	147 24 23.32	-5.25	1.011 813 96
	7	104 21 55.64	-8.55	1.016 741 39		22	148 22 8.72	-5.07	1.011 616 96
	8	105 19 8.26	-8.44	1.016 726 34		23	149 19 55.79	-4.87	1.011 416 98
	9	106 16 20.66	-8.35	1.016 706 01		24	150 17 44.55	-4.63	1.011 213 83
	10	107 13 32.85	-8.29	1.016 680 75		25	151 15 35.05	-4.38	1.011 007 29
	11	108 10 44.89	-8.26	1.016 650 91		26	152 13 27.30	-4.11	1.010 797 12
	12	109 7 56.81	-8.26	1.016 616 80		27	153 11 21.32	-3.83	1.010 583 07
	13	110 5 8.69	-8.28	1.016 578 69		28	154 9 17.10	-3.55	1.010 364 88
	14	111 2 20.61	-8.32	1.016 536 82		29	155 7 14.61	-3.27	1.010 142 34
15	111 59 32.64	-8.38	1.016 491 34	30	156 5 13.79	-3.01	1.009 915 31		
16	112 56 44.86	-8.44	1.016 442 37	31	157 3 14.60	-2.77	1.009 683 73		
17	113 53 57.38	-8.50	1.016 389 99	Sept.	1	158 1 16.97	-2.57	1.009 447 67	
18	114 51 10.26	-8.55	1.016 334 18	2	158 59 20.83	-2.39	1.009 207 32		
19	115 48 23.60	-8.59	1.016 274 94	3	159 57 26.15	-2.25	1.008 962 97		
20	116 45 37.47	-8.62	1.016 212 17	4	160 55 32.89	-2.13	1.008 714 98		
21	117 42 51.94	-8.62	1.016 145 79	5	161 53 41.03	-2.05	1.008 463 73		
22	118 40 7.09	-8.60	1.016 075 64	6	162 51 50.58	-1.99	1.008 209 62		
23	119 37 22.97	-8.55	1.016 001 57	7	163 50 1.57	-1.94	1.007 953 03		
24	120 34 39.65	-8.47	1.015 923 41	8	164 48 14.02	-1.91	1.007 694 31		
25	121 31 57.17	-8.36	1.015 840 94	9	165 46 27.97	-1.88	1.007 433 77		
26	122 29 15.57	-8.22	1.015 753 95	10	166 44 43.47	-1.84	1.007 171 71		
27	123 26 34.90	-8.05	1.015 662 19	11	167 43 0.57	-1.80	1.006 908 36		
28	124 23 55.17	-7.85	1.015 565 40	12	168 41 19.33	-1.75	1.006 643 96		
29	125 21 16.39	-7.64	1.015 463 34	13	169 39 39.81	-1.67	1.006 378 66		
30	126 18 38.56	-7.40	1.015 355 73	14	170 38 2.07	-1.58	1.006 112 62		
31	127 16 1.65	-7.16	1.015 242 38	15	171 36 26.17	-1.46	1.005 845 93		
Août	1	128 13 25.64	-6.92	1.015 123 13	16	172 34 52.19	-1.32	1.005 578 67	
2	129 10 50.46	-6.69	1.014 997 92	17	173 33 20.17	-1.15	1.005 310 87		
3	130 8 16.07	-6.48	1.014 866 82	18	174 31 50.18	-0.95	1.005 042 50		
4	131 5 42.42	-6.29	1.014 729 99	19	175 30 22.28	-0.73	1.004 773 52		
5	132 3 9.48	-6.13	1.014 587 70	20	176 28 56.51	-0.48	1.004 503 84		
6	133 0 37.22	-6.00	1.014 440 30	21	177 27 32.93	-0.21	1.004 233 33		
7	133 58 5.65	-5.91	1.014 288 16	22	178 26 11.58	+0.07	1.003 961 82		
8	134 55 34.78	-5.84	1.014 131 65	23	179 24 52.47	+0.36	1.003 689 10		
9	135 53 4.64	-5.80	1.013 971 15	24	180 23 35.63	+0.66	1.003 414 96		
10	136 50 35.28	-5.77	1.013 806 99	25	181 22 21.06	+0.94	1.003 139 13		
11	137 48 6.77	-5.77	1.013 639 47	26	182 21 8.72	+1.22	1.002 861 37		
12	138 45 39.15	-5.77	1.013 468 83	27	183 19 58.59	+1.47	1.002 581 47		
13	139 43 12.51	-5.77	1.013 295 31	28	184 18 50.61	+1.70	1.002 299 26		
14	140 40 46.91	-5.77	1.013 119 04	29	185 17 44.70	+1.89	1.002 014 71		
15	141 38 22.44	-5.76	1.012 940 17	30	186 16 40.78	+2.05	1.001 727 88		
16	142 35 59.16	-5.73	1.012 758 78	Oct.	1	187 15 38.78	+2.17	1.001 438 95	
17	143 33 37.16	-5.69	1.012 574 89	2	188 14 38.64	+2.27	1.001 148 19		

SOLEIL 2019 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	13	40.31	+2.34	1.000 855 95	Nov.	18	235	3	53.79	+8.26	0.988 624 31
	4	190	12	43.75	+2.39	1.000 562 60		19	236	4	23.91	+8.47	0.988 418 38
	5	191	11	48.95	+2.42	1.000 268 54		20	237	4	55.88	+8.65	0.988 216 21
	6	192	10	55.91	+2.45	0.999 974 13		21	238	5	29.70	+8.80	0.988 017 53
	7	193	10	4.63	+2.49	0.999 679 73		22	239	6	5.32	+8.93	0.987 822 08
	8	194	9	15.15	+2.53	0.999 385 67		23	240	6	42.71	+9.01	0.987 629 57
	9	195	8	27.46	+2.58	0.999 092 25		24	241	7	21.78	+9.06	0.987 439 76
	10	196	7	41.62	+2.64	0.998 799 76		25	242	8	2.46	+9.08	0.987 252 49
	11	197	6	57.65	+2.73	0.998 508 44		26	243	8	44.65	+9.06	0.987 067 66
	12	198	6	15.59	+2.84	0.998 218 52		27	244	9	28.26	+9.02	0.986 885 24
	13	199	5	35.48	+2.98	0.997 930 18		28	245	10	13.17	+8.96	0.986 705 33
	14	200	4	57.38	+3.14	0.997 643 59		29	246	10	59.29	+8.88	0.986 528 08
15	201	4	21.32	+3.32	0.997 358 86	30	247	11	46.54	+8.81	0.986 353 70		
16	202	3	47.36	+3.53	0.997 076 06	Déc.	1	248	12	34.85	+8.73	0.986 182 46	
17	203	3	15.54	+3.77	0.996 795 23		2	249	13	24.15	+8.67	0.986 014 63	
18	204	2	45.92	+4.02	0.996 516 34		3	250	14	14.38	+8.62	0.985 850 50	
19	205	2	18.54	+4.29	0.996 239 32		4	251	15	5.51	+8.58	0.985 690 35	
20	206	1	53.43	+4.56	0.995 964 05		5	252	15	57.50	+8.57	0.985 534 48	
21	207	1	30.61	+4.83	0.995 690 37		6	253	16	50.33	+8.59	0.985 383 17	
22	208	1	10.11	+5.10	0.995 418 08		7	254	17	43.96	+8.63	0.985 236 68	
23	209	0	51.92	+5.36	0.995 146 93		8	255	18	38.38	+8.69	0.985 095 28	
24	210	0	36.04	+5.59	0.994 876 66		9	256	19	33.60	+8.78	0.984 959 23	
25	211	0	22.41	+5.79	0.994 607 03		10	257	20	29.60	+8.89	0.984 828 75	
26	212	0	11.00	+5.97	0.994 337 81		11	258	21	26.40	+9.03	0.984 704 07	
27	213	0	1.72	+6.10	0.994 068 85		12	259	22	24.02	+9.18	0.984 585 35	
28	213	59	54.49	+6.21	0.993 800 07	13	260	23	22.49	+9.33	0.984 472 70		
29	214	59	49.22	+6.28	0.993 531 53	14	261	24	21.83	+9.49	0.984 366 18		
30	215	59	45.82	+6.32	0.993 263 35	15	262	25	22.08	+9.64	0.984 265 76		
31	216	59	44.21	+6.33	0.992 995 78	16	263	26	23.26	+9.78	0.984 171 34		
Nov.	1	217	59	44.31	+6.34	0.992 729 11	17	264	27	25.40	+9.90	0.984 082 74	
2	218	59	46.08	+6.33	0.992 463 67	18	265	28	28.49	+9.98	0.983 999 73		
3	219	59	49.48	+6.32	0.992 199 80	19	266	29	32.55	+10.04	0.983 922 01		
4	220	59	54.47	+6.32	0.991 937 86	20	267	30	37.53	+10.06	0.983 849 28		
5	222	0	1.04	+6.33	0.991 678 18	21	268	31	43.40	+10.04	0.983 781 21		
6	223	0	9.18	+6.35	0.991 421 09	22	269	32	50.11	+9.98	0.983 717 51		
7	224	0	18.89	+6.40	0.991 166 88	23	270	33	57.56	+9.89	0.983 657 91		
8	225	0	30.16	+6.46	0.990 915 84	24	271	35	5.69	+9.78	0.983 602 20		
9	226	0	43.01	+6.55	0.990 668 25	25	272	36	14.38	+9.64	0.983 550 24		
10	227	0	57.46	+6.67	0.990 424 35	26	273	37	23.53	+9.49	0.983 501 94		
11	228	1	13.52	+6.81	0.990 184 37	27	274	38	33.05	+9.33	0.983 457 31		
12	229	1	31.22	+6.97	0.989 948 50	28	275	39	42.84	+9.17	0.983 416 41		
13	230	1	50.59	+7.16	0.989 716 89	29	276	40	52.79	+9.02	0.983 379 37		
14	231	2	11.67	+7.37	0.989 489 64	30	277	42	2.84	+8.88	0.983 346 33		
15	232	2	34.50	+7.59	0.989 266 80	31	278	43	12.89	+8.75	0.983 317 49		
16	233	2	59.11	+7.81	0.989 048 36	32	279	44	22.87	+8.65	0.983 293 06		
17	234	3	25.53	+8.04	0.988 834 24	33	280	45	32.74	+8.58	0.983 273 26		

SOLEIL 2019 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	12.116	-23	6	48.92	12	2	57.50	Févr.	15	21	52	59.812	-12	50	59.12	12	14	7.80
	1	18	44	37.343	-23	2	20.35	12	3	26.04		16	21	56	53.474	-12	30	22.88	12	14	4.53
	2	18	49	2.290	-22	57	24.17	12	3	54.28		17	22	0	46.403	-12	9	34.68	12	14	0.53
	3	18	53	26.922	-22	52	0.52	12	4	22.19		18	22	4	38.612	-11	48	34.92	12	13	55.82
	4	18	57	51.206	-22	46	9.57	12	4	49.74		19	22	8	30.118	-11	27	24.03	12	13	50.42
	5	19	2	15.107	-22	39	51.49	12	5	16.88		20	22	12	20.939	-11	6	2.39	12	13	44.34
	6	19	6	38.591	-22	33	6.46	12	5	43.59		21	22	16	11.094	-10	44	30.37	12	13	37.62
	7	19	11	1.625	-22	25	54.69	12	6	9.83		22	22	20	0.606	-10	22	48.36	12	13	30.27
	8	19	15	24.177	-22	18	16.39	12	6	35.58		23	22	23	49.496	-10	0	56.72	12	13	22.30
	9	19	19	46.218	-22	10	11.76	12	7	0.80		24	22	27	37.784	-9	38	55.85	12	13	13.74
	10	19	24	7.717	-22	1	41.06	12	7	25.46		25	22	31	25.491	-9	16	46.12	12	13	4.61
	11	19	28	28.647	-21	52	44.52	12	7	49.55		26	22	35	12.633	-8	54	27.95	12	12	54.91
	12	19	32	48.984	-21	43	22.39	12	8	13.04		27	22	38	59.226	-8	32	1.71	12	12	44.68
	13	19	37	8.704	-21	33	34.96	12	8	35.89		28	22	42	45.287	-8	9	27.84	12	12	33.92
14	19	41	27.784	-21	23	22.51	12	8	58.09	Mars	1	22	46	30.831	-7	46	46.72	12	12	22.65	
15	19	45	46.204	-21	12	45.32	12	9	19.62		2	22	50	15.872	-7	23	58.76	12	12	10.88	
16	19	50	3.945	-21	1	43.70	12	9	40.46		3	22	54	0.425	-7	1	4.38	12	11	58.64	
17	19	54	20.991	-20	50	17.96	12	10	0.59		4	22	57	44.507	-6	38	3.97	12	11	45.94	
18	19	58	37.327	-20	38	28.45	12	10	20.01		5	23	1	28.133	-6	14	57.93	12	11	32.79	
19	20	2	52.938	-20	26	15.48	12	10	38.69		6	23	5	11.319	-5	51	46.68	12	11	19.21	
20	20	7	7.813	-20	13	39.41	12	10	56.62		7	23	8	54.082	-5	28	30.60	12	11	5.22	
21	20	11	21.940	-20	0	40.59	12	11	13.81		8	23	12	36.437	-5	5	10.10	12	10	50.83	
22	20	15	35.311	-19	47	19.34	12	11	30.23		9	23	16	18.403	-4	41	45.58	12	10	36.06	
23	20	19	47.919	-19	33	36.02	12	11	45.90		10	23	19	59.996	-4	18	17.43	12	10	20.93	
24	20	23	59.759	-19	19	30.97	12	12	0.80		11	23	23	41.236	-3	54	46.05	12	10	5.45	
25	20	28	10.827	-19	5	4.52	12	12	14.92		12	23	27	22.139	-3	31	11.84	12	9	49.64	
26	20	32	21.121	-18	50	17.03	12	12	28.28		13	23	31	2.724	-3	7	35.18	12	9	33.52	
27	20	36	30.638	-18	35	8.86	12	12	40.85		14	23	34	43.010	-2	43	56.47	12	9	17.11	
28	20	40	39.374	-18	19	40.39	12	12	52.63	15	23	38	23.015	-2	20	16.11	12	9	0.42		
29	20	44	47.324	-18	3	52.00	12	13	3.63	16	23	42	2.757	-1	56	34.48	12	8	43.48		
30	20	48	54.484	-17	47	44.09	12	13	13.82	17	23	45	42.257	-1	32	51.97	12	8	26.31		
31	20	53	0.849	-17	31	17.07	12	13	23.22	18	23	49	21.535	-1	9	8.95	12	8	8.93		
Févr.	1	20	57	6.413	-17	14	31.33	12	13	31.82	19	23	53	0.613	-0	45	25.80	12	7	51.37	
	2	21	1	11.173	-16	57	27.29	12	13	39.61	20	23	56	39.515	-0	21	42.85	12	7	33.65	
	3	21	5	15.125	-16	40	5.35	12	13	46.59	21	0	0	18.269	0	1	59.56	12	7	15.80	
	4	21	9	18.266	-16	22	25.94	12	13	52.76	22	0	3	56.901	0	25	41.10	12	6	57.84	
	5	21	13	20.595	-16	4	29.47	12	13	58.12	23	0	7	35.438	0	49	21.46	12	6	39.79	
	6	21	17	22.112	-15	46	16.36	12	14	2.67	24	0	11	13.907	1	13	0.31	12	6	21.69	
	7	21	21	22.817	-15	27	47.02	12	14	6.42	25	0	14	52.333	1	36	37.32	12	6	3.55	
	8	21	25	22.714	-15	9	1.89	12	14	9.35	26	0	18	30.736	2	0	12.14	12	5	45.40	
	9	21	29	21.805	-14	50	1.37	12	14	11.49	27	0	22	9.137	2	23	44.44	12	5	27.25	
	10	21	33	20.096	-14	30	45.90	12	14	12.82	28	0	25	47.556	2	47	13.86	12	5	9.13	
	11	21	37	17.594	-14	11	15.90	12	14	13.37	29	0	29	26.013	3	10	40.05	12	4	51.06	
	12	21	41	14.305	-13	51	31.79	12	14	13.13	30	0	33	4.524	3	34	2.64	12	4	33.06	
	13	21	45	10.238	-13	31	34.01	12	14	12.11	31	0	36	43.108	3	57	21.29	12	4	15.13	
	14	21	49	5.404	-13	11	22.97	12	14	10.33	Avril	1	0	40	21.783	4	20	35.62	12	3	57.31

SOLEIL 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Avril	2	0	44	0.565	4	43	45.30	12	3	39.61	Mai	18	3	37	58.580	19	26	12.93	11	56	26.07
	3	0	47	39.473	5	6	49.95	12	3	22.05		19	3	41	57.347	19	39	23.77	11	56	28.56
	4	0	51	18.523	5	29	49.21	12	3	4.63		20	3	45	56.667	19	52	14.53	11	56	31.59
	5	0	54	57.732	5	52	42.74	12	2	47.38		21	3	49	56.537	20	4	45.00	11	56	35.17
	6	0	58	37.116	6	15	30.16	12	2	30.32		22	3	53	56.952	20	16	54.92	11	56	39.29
	7	1	2	16.691	6	38	11.13	12	2	13.45		23	3	57	57.906	20	28	44.06	11	56	43.95
	8	1	5	56.473	7	0	45.28	12	1	56.79		24	4	1	59.392	20	40	12.18	11	56	49.14
	9	1	9	36.477	7	23	12.24	12	1	40.36		25	4	6	1.401	20	51	19.06	11	56	54.85
	10	1	13	16.717	7	45	31.67	12	1	24.17		26	4	10	3.924	21	2	4.45	11	57	1.07
	11	1	16	57.206	8	7	43.19	12	1	8.23		27	4	14	6.951	21	12	28.13	11	57	7.79
	12	1	20	37.959	8	29	46.45	12	0	52.56		28	4	18	10.470	21	22	29.88	11	57	15.00
13	1	24	18.989	8	51	41.07	12	0	37.18	29	4	22	14.469	21	32	9.49	11	57	22.69		
14	1	28	0.310	9	13	26.72	12	0	22.10	30	4	26	18.934	21	41	26.74	11	57	30.83		
15	1	31	41.938	9	35	3.02	12	0	7.34	31	4	30	23.852	21	50	21.43	11	57	39.41		
16	1	35	23.889	9	56	29.66	11	59	52.91	Juin	1	4	34	29.206	21	58	53.38	11	57	48.42	
17	1	39	6.183	10	17	46.29	11	59	38.83		2	4	38	34.977	22	7	2.38	11	57	57.84	
18	1	42	48.838	10	38	52.61	11	59	25.13		3	4	42	41.147	22	14	48.26	11	58	7.64	
19	1	46	31.877	10	59	48.31	11	59	11.83		4	4	46	47.694	22	22	10.86	11	58	17.81	
20	1	50	15.320	11	20	33.11	11	58	58.93		5	4	50	54.594	22	29	9.99	11	58	28.31	
21	1	53	59.185	11	41	6.70	11	58	46.46		6	4	55	1.823	22	35	45.49	11	58	39.13	
22	1	57	43.490	12	1	28.78	11	58	34.43		7	4	59	9.353	22	41	57.22	11	58	50.24	
23	2	1	28.251	12	21	39.05	11	58	22.87		8	5	3	17.161	22	47	45.00	11	59	1.62	
24	2	5	13.480	12	41	37.20	11	58	11.78		9	5	7	25.221	22	53	8.71	11	59	13.24	
25	2	8	59.191	13	1	22.89	11	58	1.18		10	5	11	33.513	22	58	8.21	11	59	25.09	
26	2	12	45.395	13	20	55.82	11	57	51.07	11	5	15	42.014	23	2	43.38	11	59	37.14		
27	2	16	32.101	13	40	15.65	11	57	41.48	12	5	19	50.707	23	6	54.14	11	59	49.37		
28	2	20	19.321	13	59	22.06	11	57	32.41	13	5	23	59.572	23	10	40.39	12	0	1.77		
29	2	24	7.062	14	18	14.72	11	57	23.86	14	5	28	8.591	23	14	2.08	12	0	14.30		
30	2	27	55.333	14	36	53.30	11	57	15.85	15	5	32	17.747	23	16	59.16	12	0	26.96		
Mai	1	2	31	44.142	14	55	17.48	11	57	8.38	16	5	36	27.019	23	19	31.58	12	0	39.73	
	2	2	35	33.495	15	13	26.93	11	57	1.46	17	5	40	36.389	23	21	39.31	12	0	52.58	
	3	2	39	23.398	15	31	21.33	11	56	55.09	18	5	44	45.835	23	23	22.33	12	1	5.49	
	4	2	43	13.855	15	49	0.34	11	56	49.27	19	5	48	55.338	23	24	40.61	12	1	18.46	
	5	2	47	4.871	16	6	23.66	11	56	44.01	20	5	53	4.877	23	25	34.13	12	1	31.45	
	6	2	50	56.446	16	23	30.94	11	56	39.31	21	5	57	14.430	23	26	2.88	12	1	44.44	
	7	2	54	48.582	16	40	21.88	11	56	35.16	22	6	1	23.976	23	26	6.86	12	1	57.42	
	8	2	58	41.277	16	56	56.15	11	56	31.58	23	6	5	33.494	23	25	46.07	12	2	10.36	
	9	3	2	34.529	17	13	13.42	11	56	28.54	24	6	9	42.963	23	25	0.52	12	2	23.25	
	10	3	6	28.336	17	29	13.37	11	56	26.06	25	6	13	52.360	23	23	50.24	12	2	36.05	
	11	3	10	22.694	17	44	55.68	11	56	24.13	26	6	18	1.664	23	22	15.25	12	2	48.75	
12	3	14	17.601	18	0	20.04	11	56	22.76	27	6	22	10.853	23	20	15.61	12	3	1.33		
13	3	18	13.055	18	15	26.14	11	56	21.93	28	6	26	19.905	23	17	51.35	12	3	13.75		
14	3	22	9.058	18	30	13.68	11	56	21.66	29	6	30	28.797	23	15	2.55	12	3	25.99		
15	3	26	5.610	18	44	42.39	11	56	21.93	30	6	34	37.505	23	11	49.27	12	3	38.04		
16	3	30	2.713	18	58	52.01	11	56	22.76	Juill.	1	6	38	46.003	23	8	11.62	12	3	49.86	
17	3	34	0.369	19	12	42.27	11	56	24.14		2	6	42	54.267	23	4	9.68	12	4	1.44	

SOLEIL 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Juill.	3	6	47	2.268	22	59	43.57	12	4	12.73	Août	18	9	48	17.710	13	15	29.72	12	3	54.28
	4	6	51	9.977	22	54	53.39	12	4	23.72		19	9	52	0.854	12	56	8.33	12	3	40.63
	5	6	55	17.366	22	49	39.27	12	4	34.38		20	9	55	43.514	12	36	34.63	12	3	26.51
	6	6	59	24.409	22	44	1.33	12	4	44.68		21	9	59	25.706	12	16	48.92	12	3	11.92
	7	7	3	31.082	22	37	59.69	12	4	54.61		22	10	3	7.444	11	56	51.51	12	2	56.89
	8	7	7	37.362	22	31	34.50	12	5	4.14		23	10	6	48.745	11	36	42.68	12	2	41.43
	9	7	11	43.232	22	24	45.91	12	5	13.24		24	10	10	29.622	11	16	22.75	12	2	25.54
	10	7	15	48.675	22	17	34.09	12	5	21.91		25	10	14	10.090	10	55	52.03	12	2	9.26
	11	7	19	53.676	22	9	59.22	12	5	30.13		26	10	17	50.163	10	35	10.84	12	1	52.58
	12	7	23	58.221	22	2	1.48	12	5	37.89		27	10	21	29.853	10	14	19.51	12	1	35.52
	13	7	28	2.297	21	53	41.07	12	5	45.16		28	10	25	9.170	9	53	18.36	12	1	18.10
	14	7	32	5.891	21	44	58.20	12	5	51.95		29	10	28	48.124	9	32	7.73	12	1	0.32
15	7	36	8.993	21	35	53.08	12	5	58.23	30	10	32	26.726	9	10	47.96	12	0	42.21		
16	7	40	11.590	21	26	25.92	12	6	4.01	31	10	36	4.985	8	49	19.40	12	0	23.75		
17	7	44	13.673	21	16	36.93	12	6	9.27	Sept.	1	10	39	42.914	8	27	42.37	12	0	4.98	
18	7	48	15.232	21	6	26.32	12	6	14.01	2	10	43	20.526	8	5	57.21	11	59	45.90		
19	7	52	16.260	20	55	54.31	12	6	18.21	3	10	46	57.836	7	44	4.27	11	59	26.52		
20	7	56	16.748	20	45	1.13	12	6	21.87	4	10	50	34.860	7	22	3.88	11	59	6.85		
21	8	0	16.692	20	33	47.00	12	6	24.98	5	10	54	11.613	6	59	56.39	11	58	46.93		
22	8	4	16.083	20	22	12.15	12	6	27.54	6	10	57	48.113	6	37	42.13	11	58	26.76		
23	8	8	14.919	20	10	16.81	12	6	29.55	7	11	1	24.377	6	15	21.45	11	58	6.36		
24	8	12	13.193	19	58	1.22	12	6	30.99	8	11	5	0.423	5	52	54.67	11	57	45.75		
25	8	16	10.902	19	45	25.63	12	6	31.86	9	11	8	36.270	5	30	22.13	11	57	24.95		
26	8	20	8.042	19	32	30.29	12	6	32.15	10	11	12	11.938	5	7	44.15	11	57	3.99		
27	8	24	4.608	19	19	15.47	12	6	31.87	11	11	15	47.448	4	45	1.06	11	56	42.88		
28	8	28	0.597	19	5	41.42	12	6	31.01	12	11	19	22.821	4	22	13.16	11	56	21.65		
29	8	31	56.003	18	51	48.44	12	6	29.55	13	11	22	58.079	3	59	20.78	11	56	0.31		
30	8	35	50.820	18	37	36.79	12	6	27.51	14	11	26	33.246	3	36	24.22	11	55	38.90		
31	8	39	45.041	18	23	6.78	12	6	24.86	15	11	30	8.343	3	13	23.79	11	55	17.43		
Août	1	8	43	38.658	18	8	18.69	12	6	21.61	16	11	33	43.396	2	50	19.80	11	54	55.93	
2	8	47	31.664	17	53	12.84	12	6	17.75	17	11	37	18.427	2	27	12.56	11	54	34.42		
3	8	51	24.052	17	37	49.50	12	6	13.27	18	11	40	53.461	2	4	2.37	11	54	12.92		
4	8	55	15.819	17	22	8.99	12	6	8.18	19	11	44	28.520	1	40	49.55	11	53	51.45		
5	8	59	6.965	17	6	11.59	12	6	2.46	20	11	48	3.628	1	17	34.40	11	53	30.04		
6	9	2	57.490	16	49	57.61	12	5	56.13	21	11	51	38.808	0	54	17.25	11	53	8.71		
7	9	6	47.399	16	33	27.36	12	5	49.17	22	11	55	14.080	0	30	58.41	11	52	47.49		
8	9	10	36.695	16	16	41.14	12	5	41.61	23	11	58	49.465	0	7	38.23	11	52	26.38		
9	9	14	25.386	15	59	39.29	12	5	33.44	24	12	2	24.982	-	0	15	42.97	11	52	5.42	
10	9	18	13.477	15	42	22.10	12	5	24.67	25	12	6	0.649	-	0	39	4.83	11	51	44.61	
11	9	22	0.975	15	24	49.90	12	5	15.32	26	12	9	36.483	-	1	2	26.99	11	51	23.99	
12	9	25	47.890	15	7	2.98	12	5	5.38	27	12	13	12.502	-	1	25	49.11	11	51	3.56	
13	9	29	34.230	14	49	1.68	12	4	54.88	28	12	16	48.720	-	1	49	10.82	11	50	43.34	
14	9	33	20.006	14	30	46.27	12	4	43.82	29	12	20	25.157	-	2	12	31.74	11	50	23.35	
15	9	37	5.229	14	12	17.08	12	4	32.22	30	12	24	1.830	-	2	35	51.52	11	50	3.60	
16	9	40	49.912	13	53	34.39	12	4	20.09	Oct.	1	12	27	38.754	-	2	59	9.77	11	49	44.11
17	9	44	34.068	13	34	38.51	12	4	7.43	2	12	31	15.949	-	3	22	26.14	11	49	24.90	

SOLEIL 2019 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	53.431	- 3	45	40.22	11	49	5.97	Nov.	18	15	31	57.871	-19	5	37.37	11	45	4.18
	4	12	38	31.216	- 4	8	51.66	11	48	47.36		19	15	36	6.898	-19	19	55.91	11	45	17.07
	5	12	42	9.324	- 4	32	0.07	11	48	29.08		20	15	40	16.768	-19	33	53.71	11	45	30.80
	6	12	45	47.772	- 4	55	5.08	11	48	11.15		21	15	44	27.474	-19	47	30.36	11	45	45.36
	7	12	49	26.579	- 5	18	6.31	11	47	53.59		22	15	48	39.009	-20	0	45.52	11	46	0.75
	8	12	53	5.767	- 5	41	3.41	11	47	36.42		23	15	52	51.362	-20	13	38.79	11	46	16.95
	9	12	56	45.355	- 6	3	56.02	11	47	19.66		24	15	57	4.522	-20	26	9.83	11	46	33.95
	10	13	0	25.365	- 6	26	43.76	11	47	3.34		25	16	1	18.474	-20	38	18.27	11	46	51.74
	11	13	4	5.820	- 6	49	26.29	11	46	47.48		26	16	5	33.201	-20	50	3.77	11	47	10.28
	12	13	7	46.740	- 7	12	3.25	11	46	32.09		27	16	9	48.684	-21	1	25.97	11	47	29.57
	13	13	11	28.149	- 7	34	34.28	11	46	17.20		28	16	14	4.899	-21	12	24.54	11	47	49.58
	14	13	15	10.069	- 7	56	59.04	11	46	2.84		29	16	18	21.826	-21	22	59.13	11	48	10.29
15	13	18	52.523	- 8	19	17.17	11	45	49.01	30	16	22	39.439	-21	33	9.43	11	48	31.67		
16	13	22	35.532	- 8	41	28.33	11	45	35.75	Déc.	1	16	26	57.715	-21	42	55.10	11	48	53.71	
17	13	26	19.118	- 9	3	32.15	11	45	23.07		2	16	31	16.631	-21	52	15.85	11	49	16.38	
18	13	30	3.301	- 9	25	28.27	11	45	11.00	3	16	35	36.164	-22	1	11.38	11	49	39.66		
19	13	33	48.102	- 9	47	16.34	11	44	59.56	4	16	39	56.291	-22	9	41.41	11	50	3.53		
20	13	37	33.539	-10	8	55.99	11	44	48.75	5	16	44	16.988	-22	17	45.68	11	50	27.95		
21	13	41	19.628	-10	30	26.83	11	44	38.61	6	16	48	38.234	-22	25	23.94	11	50	52.91		
22	13	45	6.386	-10	51	48.49	11	44	29.14	7	16	53	0.003	-22	32	35.95	11	51	18.39		
23	13	48	53.828	-11	13	0.56	11	44	20.37	8	16	57	22.272	-22	39	21.49	11	51	44.35		
24	13	52	41.966	-11	34	2.64	11	44	12.30	9	17	1	45.016	-22	45	40.36	11	52	10.77		
25	13	56	30.815	-11	54	54.34	11	44	4.95	10	17	6	8.211	-22	51	32.37	11	52	37.63		
26	14	0	20.387	-12	15	35.23	11	43	58.34	11	17	10	31.832	-22	56	57.34	11	53	4.90		
27	14	4	10.694	-12	36	4.91	11	43	52.46	12	17	14	55.853	-23	1	55.11	11	53	32.56		
28	14	8	1.746	-12	56	22.95	11	43	47.33	13	17	19	20.246	-23	6	25.54	11	54	0.57		
29	14	11	53.551	-13	16	28.94	11	43	42.95	14	17	23	44.985	-23	10	28.49	11	54	28.91		
30	14	15	46.117	-13	36	22.46	11	43	39.33	15	17	28	10.040	-23	14	3.82	11	54	57.56		
31	14	19	39.451	-13	56	3.07	11	43	36.48	16	17	32	35.382	-23	17	11.43	11	55	26.48		
Nov.	1	14	23	33.558	-14	15	30.34	11	43	34.41	17	17	37	0.983	-23	19	51.19	11	55	55.65	
2	14	27	28.444	-14	34	43.86	11	43	33.12	18	17	41	26.811	-23	22	3.00	11	56	25.04		
3	14	31	24.114	-14	53	43.18	11	43	32.61	19	17	45	52.836	-23	23	46.77	11	56	54.61		
4	14	35	20.576	-15	12	27.89	11	43	32.91	20	17	50	19.028	-23	25	2.43	11	57	24.33		
5	14	39	17.837	-15	30	57.59	11	43	34.01	21	17	54	45.353	-23	25	49.90	11	57	54.17		
6	14	43	15.904	-15	49	11.86	11	43	35.92	22	17	59	11.778	-23	26	9.16	11	58	24.08		
7	14	47	14.785	-16	7	10.29	11	43	38.65	23	18	3	38.268	-23	26	0.18	11	58	54.04		
8	14	51	14.487	-16	24	52.49	11	43	42.21	24	18	8	4.784	-23	25	22.94	11	59	24.00		
9	14	55	15.016	-16	42	18.06	11	43	46.59	25	18	12	31.287	-23	24	17.47	11	59	53.93		
10	14	59	16.379	-16	59	26.62	11	43	51.82	26	18	16	57.736	-23	22	43.79	12	0	23.79		
11	15	3	18.583	-17	16	17.78	11	43	57.88	27	18	21	24.092	-23	20	41.91	12	0	53.53		
12	15	7	21.633	-17	32	51.17	11	44	4.79	28	18	25	50.314	-23	18	11.91	12	1	23.11		
13	15	11	25.534	-17	49	6.41	11	44	12.56	29	18	30	16.363	-23	15	13.82	12	1	52.51		
14	15	15	30.289	-18	5	3.12	11	44	21.17	30	18	34	42.203	-23	11	47.75	12	2	21.69		
15	15	19	35.900	-18	20	40.94	11	44	30.64	31	18	39	7.797	-23	7	53.76	12	2	50.60		
16	15	23	42.369	-18	35	59.51	11	44	40.97	32	18	43	33.112	-23	3	31.99	12	3	19.22		
17	15	27	49.693	-18	50	58.44	11	44	52.15	33	18	47	58.115	-22	58	42.54	12	3	47.51		

SOLEIL 2019 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	0.153 502 54	-0.891 139 12	-0.386 305 39	Févr.	15	0.816 262 58	-0.510 037 40	-0.221 105 06
	1	0.170 755 66	-0.888 482 03	-0.385 153 68		16	0.826 094 44	-0.496 854 22	-0.215 389 52
	2	0.187 956 84	-0.885 547 37	-0.383 881 79		17	0.835 672 84	-0.483 520 16	-0.209 608 51
	3	0.205 100 44	-0.882 335 85	-0.382 490 04		18	0.844 995 45	-0.470 039 34	-0.203 763 86
	4	0.222 180 79	-0.878 848 35	-0.380 978 76		19	0.854 060 02	-0.456 415 78	-0.197 857 36
	5	0.239 192 26	-0.875 085 89	-0.379 348 38		20	0.862 864 31	-0.442 653 43	-0.191 890 77
	6	0.256 129 22	-0.871 049 66	-0.377 599 38		21	0.871 406 06	-0.428 756 18	-0.185 865 82
	7	0.272 986 10	-0.866 740 99	-0.375 732 31		22	0.879 682 94	-0.414 727 93	-0.179 784 23
	8	0.289 757 35	-0.862 161 36	-0.373 747 78		23	0.887 692 57	-0.400 572 59	-0.173 647 73
	9	0.306 437 51	-0.857 312 36	-0.371 646 45		24	0.895 432 55	-0.386 294 19	-0.167 458 04
	10	0.323 021 18	-0.852 195 74	-0.369 429 05		25	0.902 900 45	-0.371 896 83	-0.161 216 97
	11	0.339 503 04	-0.846 813 35	-0.367 096 35		26	0.910 093 87	-0.357 384 77	-0.154 926 32
	12	0.355 877 84	-0.841 167 16	-0.364 649 17		27	0.917 010 48	-0.342 762 35	-0.148 587 96
	13	0.372 140 42	-0.835 259 22	-0.362 088 40		28	0.923 648 04	-0.328 034 03	-0.142 203 80
14	0.388 285 74	-0.829 091 71	-0.359 414 96	Mars	1	0.930 004 38	-0.313 204 37	-0.135 775 78	
15	0.404 308 82	-0.822 666 89	-0.356 629 81		2	0.936 077 47	-0.298 277 99	-0.129 305 88	
16	0.420 204 82	-0.815 987 09	-0.353 733 98		3	0.941 865 36	-0.283 259 61	-0.122 796 11	
17	0.435 969 01	-0.809 054 74	-0.350 728 49		4	0.947 366 25	-0.268 154 00	-0.116 248 51	
18	0.451 596 80	-0.801 872 28	-0.347 614 44		5	0.952 578 44	-0.252 966 01	-0.109 665 15	
19	0.467 083 71	-0.794 442 19	-0.344 392 92		6	0.957 500 38	-0.237 700 53	-0.103 048 12	
20	0.482 425 40	-0.786 766 94	-0.341 065 04		7	0.962 130 65	-0.222 362 50	-0.096 399 55	
21	0.497 617 61	-0.778 848 97	-0.337 631 88		8	0.966 467 97	-0.206 956 89	-0.089 721 56	
22	0.512 656 14	-0.770 690 63	-0.334 094 53		9	0.970 511 22	-0.191 488 72	-0.083 016 32	
23	0.527 536 76	-0.762 294 26	-0.330 454 04		10	0.974 259 43	-0.175 963 02	-0.076 285 98	
24	0.542 255 21	-0.753 662 15	-0.326 711 46		11	0.977 711 79	-0.160 384 80	-0.069 532 73	
25	0.556 807 16	-0.744 796 63	-0.322 867 83		12	0.980 867 64	-0.144 759 10	-0.062 758 75	
26	0.571 188 18	-0.735 700 09	-0.318 924 22		13	0.983 726 48	-0.129 090 91	-0.055 966 21	
27	0.585 393 79	-0.726 375 01	-0.314 881 70		14	0.986 287 98	-0.113 385 19	-0.049 157 27	
28	0.599 419 47	-0.716 824 03	-0.310 741 43	15	0.988 551 95	-0.097 646 86	-0.042 334 10		
29	0.613 260 68	-0.707 049 90	-0.306 504 59	16	0.990 518 34	-0.081 880 74	-0.035 498 81		
30	0.626 912 92	-0.697 055 54	-0.302 172 42	17	0.992 187 22	-0.066 091 58	-0.028 653 50		
31	0.640 371 72	-0.686 843 99	-0.297 746 23	18	0.993 558 76	-0.050 284 00	-0.021 800 23		
Févr.	1	0.653 632 67	-0.676 418 45	-0.293 227 37	19	0.994 633 20	-0.034 462 52	-0.014 940 98	
	2	0.666 691 41	-0.665 782 22	-0.288 617 25	20	0.995 410 76	-0.018 631 56	-0.008 077 73	
	3	0.679 543 69	-0.654 938 74	-0.283 917 33	21	0.995 891 67	-0.002 795 44	-0.001 212 38	
	4	0.692 185 33	-0.643 891 56	-0.279 129 11	22	0.996 076 09	0.013 041 53	0.005 653 19	
	5	0.704 612 25	-0.632 644 34	-0.274 254 15	23	0.995 964 14	0.028 875 07	0.012 517 08	
	6	0.716 820 51	-0.621 200 85	-0.269 294 05	24	0.995 555 90	0.044 700 81	0.019 377 43	
	7	0.728 806 24	-0.609 564 94	-0.264 250 46	25	0.994 851 46	0.060 514 33	0.026 232 32	
	8	0.740 565 72	-0.597 740 55	-0.259 125 06	26	0.993 850 93	0.076 311 12	0.033 079 82	
	9	0.752 095 36	-0.585 731 71	-0.253 919 58	27	0.992 554 52	0.092 086 59	0.039 917 97	
	10	0.763 391 70	-0.573 542 50	-0.248 635 76	28	0.990 962 51	0.107 836 09	0.046 744 78	
	11	0.774 451 41	-0.561 177 06	-0.243 275 40	29	0.989 075 29	0.123 554 92	0.053 558 25	
	12	0.785 271 31	-0.548 639 60	-0.237 840 30	30	0.986 893 36	0.139 238 33	0.060 356 35	
	13	0.795 848 36	-0.535 934 33	-0.232 332 31	31	0.984 417 36	0.154 881 56	0.067 137 04	
	14	0.806 179 70	-0.523 065 51	-0.226 753 28	Avril	1	0.981 648 03	0.170 479 81	0.073 898 28

SOLEIL 2019 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	0.978 586 24	0.186 028 27	0.080 638 00	Mai	18	0.557 731 96	0.774 043 44	0.335 548 00
	3	0.975 233 00	0.201 522 15	0.087 354 16		19	0.543 586 94	0.782 692 83	0.339 297 17
	4	0.971 589 43	0.216 956 61	0.094 044 68		20	0.529 287 39	0.791 119 83	0.342 949 82
	5	0.967 656 82	0.232 326 87	0.100 707 50		21	0.514 837 11	0.799 322 28	0.346 505 02
	6	0.963 436 57	0.247 628 12	0.107 340 54		22	0.500 239 96	0.807 297 98	0.349 961 87
	7	0.958 930 26	0.262 855 61	0.113 941 76		23	0.485 499 82	0.815 044 76	0.353 319 45
	8	0.954 139 61	0.278 004 61	0.120 509 11		24	0.470 620 67	0.822 560 40	0.356 576 84
	9	0.949 066 48	0.293 070 48	0.127 040 55		25	0.455 606 54	0.829 842 75	0.359 733 14
	10	0.943 712 88	0.308 048 63	0.133 534 09		26	0.440 461 56	0.836 889 64	0.362 787 44
	11	0.938 080 98	0.322 934 57	0.139 987 76		27	0.425 189 92	0.843 698 97	0.365 738 84
	12	0.932 173 03	0.337 723 94	0.146 399 63		28	0.409 795 90	0.850 268 67	0.368 586 48
13	0.925 991 41	0.352 412 47	0.152 767 82	29	0.394 283 84	0.856 596 73	0.371 329 50		
14	0.919 538 57	0.366 996 04	0.159 090 49	30	0.378 658 19	0.862 681 17	0.373 967 05		
15	0.912 817 01	0.381 470 66	0.165 365 89	31	0.362 923 47	0.868 520 08	0.376 498 33		
16	0.905 829 26	0.395 832 48	0.171 592 30	Juin	1	0.347 084 28	0.874 111 64	0.378 922 53	
17	0.898 577 80	0.410 077 75	0.177 768 05	2	0.331 145 34	0.879 454 08	0.381 238 88		
18	0.891 065 12	0.424 202 82	0.183 891 55	3	0.315 111 47	0.884 545 75	0.383 446 66		
19	0.883 293 61	0.438 204 10	0.189 961 21	4	0.298 987 56	0.889 385 12	0.385 545 18		
20	0.875 265 61	0.452 078 00	0.195 975 48	5	0.282 778 61	0.893 970 79	0.387 533 80		
21	0.866 983 45	0.465 820 90	0.201 932 81	6	0.266 489 67	0.898 301 53	0.389 411 95		
22	0.858 449 43	0.479 429 17	0.207 831 62	7	0.250 125 80	0.902 376 30	0.391 179 13		
23	0.849 665 87	0.492 899 11	0.213 670 35	8	0.233 692 09	0.906 194 23	0.392 834 93		
24	0.840 635 17	0.506 226 96	0.219 447 41	9	0.217 193 54	0.909 754 59	0.394 378 98		
25	0.831 359 79	0.519 408 96	0.225 161 18	10	0.200 635 10	0.913 056 82	0.395 811 01		
26	0.821 842 30	0.532 441 32	0.230 810 06	11	0.184 021 63	0.916 100 46	0.397 130 80		
27	0.812 085 36	0.545 320 22	0.236 392 44	12	0.167 357 90	0.918 885 13	0.398 338 15		
28	0.802 091 74	0.558 041 89	0.241 906 69	13	0.150 648 55	0.921 410 52	0.399 432 93		
29	0.791 864 29	0.570 602 55	0.247 351 21	14	0.133 898 16	0.923 676 35	0.400 415 02		
30	0.781 406 01	0.582 998 44	0.252 724 41	15	0.117 111 23	0.925 682 34	0.401 284 32		
Mai	1	0.770 719 97	0.595 225 84	0.258 024 67	16	0.100 292 19	0.927 428 22	0.402 040 73	
2	0.759 809 37	0.607 281 06	0.263 250 43	17	0.083 445 46	0.928 913 70	0.402 684 14		
3	0.748 677 51	0.619 160 44	0.268 400 11	18	0.066 575 43	0.930 138 49	0.403 214 48		
4	0.737 327 84	0.630 860 38	0.273 472 15	19	0.049 686 51	0.931 102 28	0.403 631 64		
5	0.725 763 91	0.642 377 33	0.278 465 01	20	0.032 783 14	0.931 804 78	0.403 935 52		
6	0.713 989 41	0.653 707 84	0.283 377 20	21	0.015 869 79	0.932 245 70	0.404 126 04		
7	0.702 008 17	0.664 848 55	0.288 207 22	22	-0.001 049 02	0.932 424 76	0.404 203 11		
8	0.689 824 11	0.675 796 20	0.292 953 66	23	-0.017 968 73	0.932 341 77	0.404 166 66		
9	0.677 441 26	0.686 547 69	0.297 615 14	24	-0.034 884 71	0.931 996 52	0.404 016 64		
10	0.664 863 74	0.697 100 06	0.302 190 33	25	-0.051 792 30	0.931 388 90	0.403 753 00		
11	0.652 095 71	0.707 450 51	0.306 677 97	26	-0.068 686 80	0.930 518 84	0.403 375 75		
12	0.639 141 34	0.717 596 39	0.311 076 89	27	-0.085 563 44	0.929 386 32	0.402 884 87		
13	0.626 004 80	0.727 535 21	0.315 385 96	28	-0.102 417 40	0.927 991 42	0.402 280 40		
14	0.612 690 22	0.737 264 58	0.319 604 11	29	-0.119 243 80	0.926 334 27	0.401 562 40		
15	0.599 201 67	0.746 782 25	0.323 730 33	30	-0.136 037 70	0.924 415 10	0.400 730 95		
16	0.585 543 17	0.756 086 04	0.327 763 68	Juill.	1	-0.152 794 10	0.922 234 24	0.399 786 19	
17	0.571 718 64	0.765 173 81	0.331 703 20	2	-0.169 507 93	0.919 792 15	0.398 728 28		

SOLEIL 2019 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	-0.186 174 06	0.917 089 48	0.397 557 46	Août	18	-0.824 419 21	0.539 115 41	0.233 705 06	
	4	-0.202 787 36	0.914 127 00	0.396 274 02		19	-0.834 005 82	0.526 250 82	0.228 128 09	
	5	-0.219 342 72	0.910 905 71	0.394 878 36		20	-0.843 355 94	0.513 235 96	0.222 486 11	
	6	-0.235 835 09	0.907 426 77	0.393 370 93		21	-0.852 466 72	0.500 074 15	0.216 780 59	
	7	-0.252 259 53	0.903 691 51	0.391 752 27		22	-0.861 335 32	0.486 768 79	0.211 012 98	
	8	-0.268 611 23	0.899 701 37	0.390 022 96		23	-0.869 958 91	0.473 323 36	0.205 184 79	
	9	-0.284 885 52	0.895 457 87	0.388 183 66		24	-0.878 334 66	0.459 741 37	0.199 297 52	
	10	-0.301 077 86	0.890 962 61	0.386 235 04		25	-0.886 459 75	0.446 026 43	0.193 352 73	
	11	-0.317 183 85	0.886 217 18	0.384 177 80		26	-0.894 331 35	0.432 182 24	0.187 351 99	
	12	-0.333 199 19	0.881 223 21	0.382 012 66		27	-0.901 946 66	0.418 212 61	0.181 296 92	
	13	-0.349 119 64	0.875 982 31	0.379 740 33		28	-0.909 302 89	0.404 121 50	0.175 189 18	
	14	-0.364 941 06	0.870 496 06	0.377 361 53		29	-0.916 397 34	0.389 913 01	0.169 030 52	
	15	-0.380 659 32	0.864 766 07	0.374 876 99		30	-0.923 227 38	0.375 591 39	0.162 822 73	
	16	-0.396 270 34	0.858 793 92	0.372 287 42		31	-0.929 790 57	0.361 161 05	0.156 567 68	
	17	-0.411 770 04	0.852 581 17	0.369 593 55		Sept.	1	-0.936 084 62	0.346 626 49	0.150 267 29
	18	-0.427 154 33	0.846 129 41	0.366 796 08			2	-0.942 107 51	0.331 992 28	0.143 923 52
	19	-0.442 419 13	0.839 440 26	0.363 895 75			3	-0.947 857 41	0.317 263 01	0.137 538 37
20	-0.457 560 34	0.832 515 32	0.360 893 29	4	-0.953 332 67		0.302 443 23	0.131 113 81		
21	-0.472 573 82	0.825 356 26	0.357 789 44	5	-0.958 531 82		0.287 537 42	0.124 651 80		
22	-0.487 455 44	0.817 964 79	0.354 584 97	6	-0.963 453 52		0.272 550 02	0.118 154 30		
23	-0.502 201 02	0.810 342 67	0.351 280 65	7	-0.968 096 50	0.257 485 39	0.111 623 23			
24	-0.516 806 40	0.802 491 70	0.347 877 27	8	-0.972 459 58	0.242 347 84	0.105 060 49			
25	-0.531 267 35	0.794 413 77	0.344 375 65	9	-0.976 541 62	0.227 141 65	0.098 467 97			
26	-0.545 579 67	0.786 110 81	0.340 776 63	10	-0.980 341 54	0.211 871 05	0.091 847 54			
27	-0.559 739 08	0.777 584 84	0.337 081 09	11	-0.983 858 31	0.196 540 25	0.085 201 05			
28	-0.573 741 31	0.768 837 97	0.333 289 91	12	-0.987 090 91	0.181 153 47	0.078 530 35			
29	-0.587 582 04	0.759 872 43	0.329 404 04	13	-0.990 038 37	0.165 714 89	0.071 837 29			
30	-0.601 256 93	0.750 690 54	0.325 424 46	14	-0.992 699 77	0.150 228 70	0.065 123 71			
31	-0.614 761 63	0.741 294 80	0.321 352 20	15	-0.995 074 19	0.134 699 07	0.058 391 42			
Août	1	-0.628 091 81	0.731 687 89	0.317 188 39	16	-0.997 160 74	0.119 130 22	0.051 642 26		
	2	-0.641 243 21	0.721 872 65	0.312 934 20	17	-0.998 958 55	0.103 526 36	0.044 878 07		
	3	-0.654 211 67	0.711 852 09	0.308 590 91	18	-1.000 466 79	0.087 891 72	0.038 100 68		
	4	-0.666 993 22	0.701 629 38	0.304 159 84	19	-1.001 684 65	0.072 230 59	0.031 311 94		
	5	-0.679 584 04	0.691 207 78	0.299 642 38	20	-1.002 611 31	0.056 547 27	0.024 513 70		
	6	-0.691 980 50	0.680 590 58	0.295 039 95	21	-1.003 246 03	0.040 846 13	0.017 707 85		
	7	-0.704 179 16	0.669 781 11	0.290 353 99	22	-1.003 588 06	0.025 131 59	0.010 896 26		
	8	-0.716 176 70	0.658 782 66	0.285 585 95	23	-1.003 636 71	0.009 408 17	0.004 080 87		
	9	-0.727 969 93	0.647 598 53	0.280 737 27	24	-1.003 391 33	-0.006 319 56	-0.002 736 38		
	10	-0.739 555 75	0.636 231 95	0.275 809 37	25	-1.002 851 33	-0.022 046 91	-0.009 553 50		
	11	-0.750 931 11	0.624 686 15	0.270 803 70	26	-1.002 016 22	-0.037 769 08	-0.016 368 44		
	12	-0.762 093 04	0.612 964 33	0.265 721 67	27	-1.000 885 65	-0.053 481 14	-0.023 179 11		
	13	-0.773 038 58	0.601 069 68	0.260 564 70	28	-0.999 459 45	-0.069 178 08	-0.029 983 39		
	14	-0.783 764 83	0.589 005 38	0.255 334 19	29	-0.997 737 66	-0.084 854 84	-0.036 779 08		
	15	-0.794 268 89	0.576 774 60	0.250 031 56	30	-0.995 720 55	-0.100 506 32	-0.043 563 99		
	16	-0.804 547 89	0.564 380 54	0.244 658 22	Oct.	1	-0.993 408 61	-0.116 127 47	-0.050 335 93	
	17	-0.814 598 95	0.551 826 40	0.239 215 58		2	-0.990 802 56	-0.131 713 31	-0.057 092 72	

SOLEIL 2019 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	-0.987 903 27	-0.147 258 97	-0.063 832 23	Nov. 18	-0.566 133 32	-0.743 612 80	-0.322 352 45
4	-0.984 711 72	-0.162 759 70	-0.070 552 35	19	-0.551 667 64	-0.752 482 16	-0.326 196 73
5	-0.981 228 99	-0.178 210 83	-0.077 251 04	20	-0.537 031 68	-0.761 122 05	-0.329 941 63
6	-0.977 456 22	-0.193 607 78	-0.083 926 27	21	-0.522 229 56	-0.769 529 35	-0.333 585 84
7	-0.973 394 62	-0.208 946 05	-0.090 576 06	22	-0.507 265 51	-0.777 700 99	-0.337 128 05
8	-0.969 045 42	-0.224 221 21	-0.097 198 45	23	-0.492 143 95	-0.785 633 91	-0.340 566 94
9	-0.964 409 91	-0.239 428 87	-0.103 791 51	24	-0.476 869 45	-0.793 325 12	-0.343 901 24
10	-0.959 489 41	-0.254 564 67	-0.110 353 34	25	-0.461 446 78	-0.800 771 72	-0.347 129 67
11	-0.954 285 30	-0.269 624 31	-0.116 882 04	26	-0.445 880 84	-0.807 970 96	-0.350 251 01
12	-0.948 798 96	-0.284 603 52	-0.123 375 74	27	-0.430 176 69	-0.814 920 22	-0.353 264 12
13	-0.943 031 85	-0.299 498 04	-0.129 832 60	28	-0.414 339 48	-0.821 617 09	-0.356 167 90
14	-0.936 985 41	-0.314 303 67	-0.136 250 78	29	-0.398 374 42	-0.828 059 32	-0.358 961 34
15	-0.930 661 14	-0.329 016 19	-0.142 628 46	30	-0.382 286 76	-0.834 244 83	-0.361 643 50
16	-0.924 060 56	-0.343 631 40	-0.148 963 82	Déc. 1	-0.366 081 74	-0.840 171 72	-0.364 213 52
17	-0.917 185 20	-0.358 145 10	-0.155 255 05	2	-0.349 764 60	-0.845 838 20	-0.366 670 58
18	-0.910 036 63	-0.372 553 06	-0.161 500 35	3	-0.333 340 56	-0.851 242 61	-0.369 013 96
19	-0.902 616 46	-0.386 851 03	-0.167 697 89	4	-0.316 814 83	-0.856 383 39	-0.371 242 94
20	-0.894 926 34	-0.401 034 75	-0.173 845 85	5	-0.300 192 59	-0.861 259 12	-0.373 356 88
21	-0.886 967 96	-0.415 099 86	-0.179 942 38	6	-0.283 479 02	-0.865 868 41	-0.375 355 19
22	-0.878 743 10	-0.429 042 01	-0.185 985 64	7	-0.266 679 26	-0.870 210 03	-0.377 237 32
23	-0.870 253 64	-0.442 856 74	-0.191 973 73	8	-0.249 798 44	-0.874 282 78	-0.379 002 74
24	-0.861 501 54	-0.456 539 56	-0.197 904 75	9	-0.232 841 67	-0.878 085 57	-0.380 650 98
25	-0.852 488 95	-0.470 085 91	-0.203 776 74	10	-0.215 814 01	-0.881 617 37	-0.382 181 62
26	-0.843 218 19	-0.483 491 21	-0.209 587 74	11	-0.198 720 49	-0.884 877 23	-0.383 594 26
27	-0.833 691 77	-0.496 750 85	-0.215 335 79	12	-0.181 566 10	-0.887 864 23	-0.384 888 52
28	-0.823 912 44	-0.509 860 30	-0.221 018 90	13	-0.164 355 80	-0.890 577 47	-0.386 064 04
29	-0.813 883 16	-0.522 815 09	-0.226 635 14	14	-0.147 094 52	-0.893 016 07	-0.387 120 49
30	-0.803 607 06	-0.535 610 89	-0.232 182 59	15	-0.129 787 20	-0.895 179 16	-0.388 057 52
31	-0.793 087 45	-0.548 243 49	-0.237 659 41	16	-0.112 438 80	-0.897 065 85	-0.388 874 78
Nov. 1	-0.782 327 69	-0.560 708 88	-0.243 063 81	17	-0.095 054 34	-0.898 675 25	-0.389 571 95
2	-0.771 331 27	-0.573 003 13	-0.248 394 06	18	-0.077 638 91	-0.900 006 49	-0.390 148 66
3	-0.760 101 68	-0.585 122 49	-0.253 648 49	19	-0.060 197 71	-0.901 058 72	-0.390 604 57
4	-0.748 642 45	-0.597 063 29	-0.258 825 48	20	-0.042 736 06	-0.901 831 16	-0.390 939 37
5	-0.736 957 16	-0.608 821 96	-0.263 923 45	21	-0.025 259 37	-0.902 323 09	-0.391 152 75
6	-0.725 049 38	-0.620 395 01	-0.268 940 87	22	-0.007 773 20	-0.902 533 93	-0.391 244 45
7	-0.712 922 74	-0.631 779 04	-0.273 876 23	23	0.009 716 79	-0.902 463 23	-0.391 214 26
8	-0.700 580 85	-0.642 970 71	-0.278 728 08	24	0.027 204 88	-0.902 110 68	-0.391 062 02
9	-0.688 027 38	-0.653 966 75	-0.283 494 99	25	0.044 685 26	-0.901 476 18	-0.390 787 65
10	-0.675 265 98	-0.664 763 95	-0.288 175 55	26	0.062 152 11	-0.900 559 79	-0.390 391 14
11	-0.662 300 36	-0.675 359 16	-0.292 768 40	27	0.079 599 60	-0.899 361 75	-0.389 872 56
12	-0.649 134 19	-0.685 749 28	-0.297 272 22	28	0.097 021 94	-0.897 882 50	-0.389 232 06
13	-0.635 771 17	-0.695 931 25	-0.301 685 67	29	0.114 413 37	-0.896 122 61	-0.388 469 85
14	-0.622 214 99	-0.705 902 04	-0.306 007 46	30	0.131 768 22	-0.894 082 81	-0.387 586 21
15	-0.608 469 37	-0.715 658 61	-0.310 236 32	31	0.149 080 87	-0.891 763 95	-0.386 581 50
16	-0.594 538 04	-0.725 197 96	-0.314 370 96	32	0.166 345 76	-0.889 166 99	-0.385 456 10
17	-0.580 424 75	-0.734 517 04	-0.318 410 09	33	0.183 557 44	-0.886 293 00	-0.384 210 47

LUNE

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

LUNE 2019 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	13 56 10.340	- 6 16 3.04	382 906.737	Janv.	11 0	23 6 47.068	- 9 55 3.34	404 573.086
	6	14 8 36.663	- 7 25 12.17	383 976.819		6	23 18 7.618	- 8 55 45.04	404 097.495
	12	14 21 2.990	- 8 32 42.48	385 029.696		12	23 29 25.803	- 7 55 2.42	403 553.944
	18	14 33 29.909	- 9 38 23.55	386 063.844		18	23 40 42.234	- 6 53 2.88	402 941.601
1 0	14 45 57.960	-10 42 5.28	387 078.005	12 0	23 51 57.551	- 5 49 53.81	402 259.908		
	6	14 58 27.623	-11 43 37.85		388 071.161	6	0 3 12.428	- 4 45 42.59	401 508.610
	12	15 10 59.320	-12 42 51.72		389 042.512	12	0 14 27.568	- 3 40 36.67	400 687.771
	18	15 23 33.405	-13 39 37.63		389 991.448	18	0 25 43.699	- 2 34 43.54	399 797.804
2 0	15 36 10.166	-14 33 46.64	390 917.521	13 0	0 37 1.577	- 1 28 10.86	398 839.487		
	6	15 48 49.818	-15 25 10.12		391 820.420	6	0 48 21.977	- 0 21 6.44	397 813.984
	12	16 1 32.502	-16 13 39.79		392 699.940	12	0 59 45.697	0 46 21.68	396 722.865
	18	16 14 18.281	-16 59 7.79		393 555.956	18	1 11 13.551	1 54 5.14	395 568.123
3 0	16 27 7.141	-17 41 26.66	394 388.397	14 0	1 22 46.371	3 1 55.26	394 352.186		
	6	16 39 58.989	-18 20 29.43		395 197.219	6	1 34 24.999	4 9 42.94	393 077.932
	12	16 52 53.655	-18 56 9.67		395 982.378	12	1 46 10.286	5 17 18.58	391 748.695
	18	17 5 50.893	-19 28 21.55		396 743.809	18	1 58 3.087	6 24 32.05	390 368.279
4 0	17 18 50.388	-19 56 59.85	397 481.401	15 0	2 10 4.256	7 31 12.62	388 940.955		
	6	17 31 51.754	-20 22 0.09		398 194.982	6	2 22 14.637	8 37 8.88	387 471.463
	12	17 44 54.550	-20 43 18.49		398 884.292	12	2 34 35.062	9 42 8.68	385 965.011
	18	17 57 58.278	-21 0 52.08		399 548.976	18	2 47 6.334	10 45 59.14	384 427.261
5 0	18 11 2.401	-21 14 38.70	400 188.563	16 0	2 59 49.223	11 48 26.53	382 864.320		
	6	18 24 6.345	-21 24 37.04		400 802.459	6	3 12 44.449	12 49 16.31	381 282.718
	12	18 37 9.514	-21 30 46.65		401 389.933	12	3 25 52.670	13 48 13.12	379 689.388
	18	18 50 11.304	-21 33 7.95		401 950.118	18	3 39 14.465	14 45 0.76	378 091.631
6 0	19 3 11.109	-21 31 42.19	402 481.998	17 0	3 52 50.318	15 39 22.29	376 497.079		
	6	19 16 8.334	-21 26 31.48		402 984.412	6	4 6 40.595	16 31 0.08	374 913.657
	12	19 29 2.409	-21 17 38.73		403 456.056	12	4 20 45.532	17 19 35.93	373 349.527
	18	19 41 52.797	-21 5 7.61		403 895.480	18	4 35 5.205	18 4 51.21	371 813.033
7 0	19 54 39.003	-20 49 2.48	404 301.101	18 0	4 49 39.521	18 46 27.13	370 312.639		
	6	20 7 20.583	-20 29 28.37		404 671.207	6	5 4 28.195	19 24 4.87	368 856.860
	12	20 19 57.152	-20 6 30.90		405 003.968	12	5 19 30.735	19 57 25.98	367 454.181
	18	20 32 28.386	-19 40 16.17		405 297.448	18	5 34 46.437	20 26 12.60	366 112.985
8 0	20 44 54.029	-19 10 50.77	405 549.622	19 0	5 50 14.377	20 50 7.91	364 841.463		
	6	20 57 13.897	-18 38 21.62		405 758.386	6	6 5 53.417	21 8 56.40	363 647.531
	12	21 9 27.873	-18 2 55.97		405 921.583	12	6 21 42.214	21 22 24.33	362 538.737
	18	21 21 35.915	-17 24 41.29		406 037.014	18	6 37 39.238	21 30 20.07	361 522.180
9 0	21 33 38.050	-16 43 45.23	406 102.464	20 0	6 53 42.805	21 32 34.43	360 604.417		
	6	21 45 34.373	-16 0 15.55		406 115.723	6	7 9 51.106	21 29 0.94	359 791.383
	12	21 57 25.046	-15 14 20.09		406 074.606	12	7 26 2.254	21 19 36.14	359 088.318
	18	22 9 10.295	-14 26 6.69		405 976.978	18	7 42 14.325	21 4 19.66	358 499.694
10 0	22 20 50.406	-13 35 43.20	405 820.780	21 0	7 58 25.409	20 43 14.35	358 029.156		
	6	22 32 25.719	-12 43 17.42		405 604.050	6	8 14 33.655	20 16 26.23	357 679.475
	12	22 43 56.630	-11 48 57.08		405 324.953	12	8 30 37.316	19 44 4.40	357 452.512
	18	22 55 23.583	-10 52 49.86		404 981.802	18	8 46 34.784	19 6 20.82	357 349.191

LUNE 2019 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	9 2 24.628	18 23 30.08	357 369.495	Févr. 2 0	18 50 2.970	-21 32 44.94	402 874.460
	6 9 18 5.610	17 35 49.09	357 512.471		6 19 2 56.876	-21 31 22.24	403 404.210
	12 9 33 36.704	16 43 36.68	357 776.245		12 19 15 48.622	-21 26 17.32	403 890.693
	18 9 48 57.102	15 47 13.28	358 158.062		18 19 28 37.712	-21 17 32.63	404 334.626
23 0	10 4 6.210	14 47 0.50	358 654.325	3 0	19 41 23.667	-21 5 11.31	404 736.696
	6 10 19 3.646	13 43 20.76	359 260.661		6 19 54 6.037	-20 49 17.17	405 097.540
	12 10 33 49.224	12 36 36.98	359 971.980		12 20 6 44.405	-20 29 54.63	405 417.727
	18 10 48 22.936	11 27 12.20	360 782.555		18 20 19 18.397	-20 7 8.71	405 697.742
24 0	11 2 44.938	10 15 29.37	361 686.104	4 0	20 31 47.685	-19 41 4.98	405 937.977
	6 11 16 55.527	9 1 51.03	362 675.875		6 20 44 11.995	-19 11 49.48	406 138.714
	12 11 30 55.121	7 46 39.19	363 744.736		12 20 56 31.110	-18 39 28.71	406 300.123
	18 11 44 44.240	6 30 15.12	364 885.260		18 21 8 44.870	-18 4 9.56	406 422.250
25 0	11 58 23.487	5 12 59.27	366 089.820	5 0	21 20 53.178	-17 25 59.25	406 505.018
	6 12 11 53.527	3 55 11.17	367 350.668		6 21 32 55.996	-16 45 5.26	406 548.219
	12 12 25 15.077	2 37 9.38	368 660.021		12 21 44 53.348	-16 1 35.33	406 551.520
	18 12 38 28.887	1 19 11.47	370 010.131		18 21 56 45.317	-15 15 37.37	406 514.464
26 0	12 51 35.727	0 1 34.03	371 393.363	6 0	22 8 32.043	-14 27 19.42	406 436.474
	6 13 4 36.378	-1 15 27.29	372 802.253		6 22 20 13.725	-13 36 49.62	406 316.862
	12 13 17 31.622	-2 31 37.81	374 229.567		12 22 31 50.612	-12 44 16.20	406 154.837
	18 13 30 22.229	-3 46 43.71	375 668.351		18 22 43 23.007	-11 49 47.38	405 949.518
27 0	13 43 8.954	-5 0 32.00	377 111.970	7 0	22 54 51.257	-10 53 31.42	405 699.947
	6 13 55 52.528	-6 12 50.46	378 554.145		6 23 6 15.757	-9 55 36.57	405 405.105
	12 14 8 33.652	-7 23 27.61	379 988.984		12 23 17 36.942	-8 56 11.05	405 063.927
	18 14 21 12.990	-8 32 12.61	381 410.997		18 23 28 55.288	-7 55 23.06	404 675.326
28 0	14 33 51.166	-9 38 55.23	382 815.116	8 0	23 40 11.306	-6 53 20.77	404 238.210
	6 14 46 28.758	-10 43 25.80	384 196.702		6 23 51 25.540	-5 50 12.32	403 751.503
	12 14 59 6.295	-11 45 35.17	385 551.549		12 0 2 38.568	-4 46 5.85	403 214.170
	18 15 11 44.251	-12 45 14.67	386 875.884		18 0 13 50.996	-3 41 9.48	402 625.243
29 0	15 24 23.041	-13 42 16.07	388 166.357	9 0	0 25 3.456	-2 35 31.37	401 983.843
	6 15 37 3.023	-14 36 31.56	389 420.039		6 0 36 16.608	-1 29 19.72	401 289.206
	12 15 49 44.486	-15 27 53.77	390 634.400		12 0 47 31.131	-0 22 42.78	400 540.713
	18 16 2 27.654	-16 16 15.71	391 807.301		18 0 58 47.728	0 44 11.05	399 737.911
30 0	16 15 12.685	-17 1 30.84	392 936.969	10 0	1 10 7.121	1 51 13.27	398 880.549
	6 16 27 59.663	-17 43 33.01	394 021.977		6 1 21 30.047	2 58 15.17	397 968.593
	12 16 40 48.604	-18 22 16.54	395 061.225		12 1 32 57.258	4 5 7.83	397 002.264
	18 16 53 39.453	-18 57 36.18	396 053.910		18 1 44 29.520	5 11 42.04	395 982.058
31 0	17 6 32.088	-19 29 27.22	396 999.504	11 0	1 56 7.604	6 17 48.29	394 908.772
	6 17 19 26.320	-19 57 45.42	397 897.725		6 2 7 52.286	7 23 16.69	393 783.532
	12 17 32 21.896	-20 22 27.14	398 748.512		12 2 19 44.343	8 27 56.94	392 607.811
	18 17 45 18.506	-20 43 29.31	399 551.996		18 2 31 44.546	9 31 38.28	391 383.457
Févr. 1 0	17 58 15.788	-21 0 49.50	400 308.472	12 0	2 43 53.655	10 34 9.45	390 112.706
	6 18 11 13.335	-21 14 25.91	401 018.374		6 2 56 12.410	11 35 18.62	388 798.207
	12 18 24 10.700	-21 24 17.44	401 682.245		12 3 8 41.522	12 34 53.42	387 443.030
	18 18 37 7.410	-21 30 23.68	402 300.711		18 3 21 21.667	13 32 40.87	386 050.684

LUNE 2019 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	3 34 13.470	14 28 27.36	384625.120	Févr. 24 0	14 16 34.089	- 8 14 28.82	374621.650
	6 3 47 17.493	15 21 58.70	383170.740		6 14 29 39.270	- 9 24 25.89	376196.818
	12 4 0 34.226	16 13 0.14	381692.397		12 14 42 42.746	-10 31 58.85	377780.638
	18 4 14 4.065	17 1 16.36	380195.387		18 14 55 44.973	-11 36 57.21	379365.518
14 0	4 27 47.302	17 46 31.61	378685.443	25 0	15 8 46.363	-12 39 11.29	380944.199
	6 4 41 44.105	18 28 29.78	377168.718		6 15 21 47.273	-13 38 32.22	382509.788
	12 4 55 54.505	19 6 54.53	375651.764		12 15 34 48.009	-14 34 51.84	384055.795
	18 5 10 18.380	19 41 29.48	374141.500		18 15 47 48.817	-15 28 2.75	385576.152
15 0	5 24 55.443	20 11 58.38	372645.184	26 0	16 0 49.885	-16 17 58.21	387065.231
	6 5 39 45.229	20 38 5.37	371170.363		6 16 13 51.341	-17 4 32.13	388517.860
	12 5 54 47.095	20 59 35.23	369724.829		12 16 26 53.254	-17 47 39.06	389929.324
	18 6 10 0.212	21 16 13.66	368316.557		18 16 39 55.632	-18 27 14.19	391295.374
16 0	6 25 23.574	21 27 47.62	366953.647	27 0	16 52 58.424	-19 3 13.30	392612.223
	6 6 40 56.006	21 34 5.57	365644.247		6 17 6 1.521	-19 35 32.78	393876.538
	12 6 56 36.184	21 34 57.86	364396.480		12 17 19 4.764	-20 4 9.63	395085.435
	18 7 12 22.656	21 30 16.94	363218.362		18 17 32 7.941	-20 29 1.42	396236.464
17 0	7 28 13.870	21 19 57.65	362117.712	28 0	17 45 10.797	-20 50 6.38	397327.598
	6 7 44 8.215	21 3 57.46	361102.066		6 17 58 13.034	-21 7 23.28	398357.211
	12 8 0 4.048	20 42 16.54	360178.585		12 18 11 14.325	-21 20 51.54	399324.067
	18 8 15 59.740	20 14 57.94	359353.962		18 18 24 14.314	-21 30 31.16	400227.291
18 0	8 31 53.711	19 42 7.55	358634.339	Mars 1 0	18 37 12.625	-21 36 22.76	401066.354
	6 8 47 44.463	19 3 54.09	358025.216		6 18 50 8.873	-21 38 27.54	401841.049
	12 9 3 30.616	18 20 28.99	357531.376		12 19 3 2.665	-21 36 47.31	402551.462
	18 9 19 10.928	17 32 6.19	357156.816		18 19 15 53.616	-21 31 24.43	403197.955
19 0	9 34 44.321	16 39 1.92	356904.683	2 0	19 28 41.350	-21 22 21.86	403781.136
	6 9 50 9.887	15 41 34.46	356777.226		6 19 41 25.508	-21 9 43.06	404301.834
	12 10 5 26.902	14 40 3.80	356775.762		12 19 54 5.759	-20 53 32.04	404761.076
	18 10 20 34.819	13 34 51.33	356900.651		18 20 6 41.801	-20 33 53.30	405160.059
20 0	10 35 33.271	12 26 19.54	357151.289	3 0	20 19 13.367	-20 10 51.79	405500.124
	6 10 50 22.056	11 14 51.66	357526.119		6 20 31 40.232	-19 44 32.92	405782.732
	12 11 5 1.124	10 0 51.38	358022.644		12 20 44 2.214	-19 15 2.48	406009.441
	18 11 19 30.569	8 44 42.57	358637.471		18 20 56 19.177	-18 42 26.64	406181.878
21 0	11 33 50.607	7 26 48.99	359366.356	4 0	21 8 31.034	-18 6 51.91	406301.718
	6 11 48 1.559	6 7 34.10	360204.262		6 21 20 37.747	-17 28 25.08	406370.660
	12 12 2 3.836	4 47 20.82	361145.432		12 21 32 39.328	-16 47 13.24	406390.407
	18 12 15 57.924	3 26 31.40	362183.465		18 21 44 35.838	-16 3 23.70	406362.646
22 0	12 29 44.364	2 5 27.28	363311.401	5 0	21 56 27.386	-15 17 3.99	406289.025
	6 12 43 23.741	0 44 28.96	364521.806		6 22 8 14.129	-14 28 21.83	406171.140
	12 12 56 56.670	- 0 36 4.02	365806.866		12 22 19 56.268	-13 37 25.08	406010.518
	18 13 10 23.781	- 1 55 53.17	367158.476		18 22 31 34.050	-12 44 21.75	405808.600
23 0	13 23 45.713	- 3 14 41.08	368568.328	6 0	22 43 7.762	-11 49 19.99	405566.732
	6 13 37 3.098	- 4 32 11.39	370027.999		6 22 54 37.730	-10 52 28.01	405286.153
	12 13 50 16.560	- 5 48 8.79	371529.033		12 23 6 4.316	- 9 53 54.16	404967.987
	18 14 3 26.699	- 7 2 19.02	373063.015		18 23 17 27.918	- 8 53 46.84	404613.235

LUNE 2019 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	23 28 48.967	- 7 52 14.55	404 222.773	Mars 18 0	9 8 2.896	18 13 7.00	362 159.845
6	23 40 7.921	- 6 49 25.83	403 797.351	6	9 23 15.767	17 24 7.09	361 475.269
12	23 51 25.268	- 5 45 29.33	403 337.592	12	9 38 23.737	16 30 36.34	360 878.796
18	0 2 41.521	- 4 40 33.74	402 843.994	18	9 53 26.142	15 32 49.87	360 375.662
8 0	0 13 57.218	- 3 34 47.87	402 316.938	19 0	10 8 22.454	14 31 4.46	359 970.596
6	0 25 12.916	- 2 28 20.56	401 756.692	6	10 23 12.278	13 25 38.33	359 667.749
12	0 36 29.194	- 1 21 20.81	401 163.426	12	10 37 55.352	12 16 50.94	359 470.637
18	0 47 46.649	- 0 13 57.68	400 537.219	18	10 52 31.540	11 5 2.79	359 382.075
9 0	0 59 5.892	0 53 39.62	399 878.075	20 0	11 7 0.820	9 50 35.18	359 404.132
6	1 10 27.550	2 1 21.73	399 185.943	6	11 21 23.282	8 33 50.04	359 538.091
12	1 21 52.260	3 8 59.16	398 460.728	12	11 35 39.108	7 15 9.70	359 784.422
18	1 33 20.670	4 16 22.21	397 702.317	18	11 49 48.563	5 54 56.67	360 142.766
10 0	1 44 53.432	5 23 20.97	396 910.598	21 0	12 3 51.983	4 33 33.51	360 611.929
6	1 56 31.205	6 29 45.34	396 085.485	6	12 17 49.761	3 11 22.61	361 189.891
12	2 8 14.644	7 35 24.93	395 226.938	12	12 31 42.334	1 48 46.04	361 873.827
18	2 20 4.403	8 40 9.08	394 334.996	18	12 45 30.170	0 26 5.42	362 660.136
11 0	2 32 1.128	9 43 46.87	393 409.793	22 0	12 59 13.760	- 0 56 18.19	363 544.484
6	2 44 5.447	10 46 7.02	392 451.595	6	13 12 53.604	- 2 18 4.45	364 521.854
12	2 56 17.974	11 46 57.96	391 460.818	12	13 26 30.200	- 3 38 53.80	365 586.607
18	3 8 39.290	12 46 7.75	390 438.062	18	13 40 4.039	- 4 58 27.53	366 732.545
12 0	3 21 9.947	13 43 24.11	389 384.131	23 0	13 53 35.591	- 6 16 27.87	367 952.982
6	3 33 50.451	14 38 34.43	388 300.066	6	14 7 5.301	- 7 32 37.99	369 240.820
12	3 46 41.258	15 31 25.78	387 187.163	12	14 20 33.583	- 8 46 42.10	370 588.625
18	3 59 42.760	16 21 44.90	386 047.000	18	14 34 0.808	- 9 58 25.42	371 988.701
13 0	4 12 55.277	17 9 18.28	384 881.458	24 0	14 47 27.304	-11 7 34.23	373 433.168
6	4 26 19.046	17 53 52.22	383 692.742	6	15 0 53.350	-12 13 55.85	374 914.037
12	4 39 54.210	18 35 12.86	382 483.396	12	15 14 19.171	-13 17 18.64	376 423.279
18	4 53 40.804	19 13 6.31	381 256.316	18	15 27 44.935	-14 17 32.01	377 952.893
14 0	5 7 38.753	19 47 18.76	380 014.764	25 0	15 41 10.752	-15 14 26.41	379 494.971
6	5 21 47.855	20 17 36.59	378 762.371	6	15 54 36.672	-16 7 53.28	381 041.751
12	5 36 7.780	20 43 46.54	377 503.143	12	16 8 2.685	-16 57 45.09	382 585.676
18	5 50 38.065	21 5 35.88	376 241.455	18	16 21 28.723	-17 43 55.26	384 119.435
15 0	6 5 18.113	21 22 52.58	374 982.047	26 0	16 34 54.658	-18 26 18.17	385 636.009
6	6 20 7.194	21 35 25.53	373 730.005	6	16 48 20.311	-19 4 49.16	387 128.707
12	6 35 4.456	21 43 4.75	372 490.749	12	17 1 45.450	-19 39 24.43	388 591.191
18	6 50 8.931	21 45 41.54	371 270.003	18	17 15 9.798	-20 10 1.13	390 017.512
16 0	7 5 19.556	21 43 8.75	370 073.765	27 0	17 28 33.040	-20 36 37.20	391 402.120
6	7 20 35.185	21 35 20.91	368 908.268	6	17 41 54.827	-20 59 11.46	392 739.887
12	7 35 54.617	21 22 14.46	367 779.933	12	17 55 14.783	-21 17 43.49	394 026.117
18	7 51 16.617	21 3 47.79	366 695.324	18	18 8 32.516	-21 32 13.66	395 256.552
17 0	8 6 39.943	20 40 1.46	365 661.083	28 0	18 21 47.622	-21 42 43.04	396 427.379
6	8 22 3.375	20 10 58.18	364 683.871	6	18 34 59.696	-21 49 13.41	397 535.230
12	8 37 25.735	19 36 42.88	363 770.301	12	18 48 8.340	-21 51 47.18	398 577.177
18	8 52 45.915	18 57 22.72	362 926.861	18	19 1 13.168	-21 50 27.37	399 550.731

LUNE 2019 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	19 14 13.816	-21 45 17.56	400 453.834	Avril 9 0	4 0 45.471	16 38 45.92	386 139.922
	6 19 27 9.947	-21 36 21.86	401 284.845		6 4 14 1.612	17 26 38.74	385 255.403
	12 19 40 1.259	-21 23 44.83	402 042.535		12 4 27 27.827	18 11 23.47	384 366.022
	18 19 52 47.486	-21 7 31.47	402 726.069		18 4 41 4.086	18 52 46.73	383 472.337
30 0	20 5 28.406	-20 47 47.14	403 334.992	10 0	4 54 50.260	19 30 35.37	382 574.979
	6 20 18 3.844	-20 24 37.57	403 869.214		6 5 8 46.111	20 4 36.63	381 674.685
	12 20 30 33.671	-19 58 8.77	404 328.990		12 5 22 51.289	20 34 38.23	380 772.317
	18 20 42 57.809	-19 28 27.02	404 714.903		18 5 37 5.335	21 0 28.52	379 868.891
31 0	20 55 16.230	-18 55 38.83	405 027.845	11 0	5 51 27.677	21 21 56.62	378 965.593
	6 21 7 28.954	-18 19 50.90	405 268.994		6 6 5 57.638	21 38 52.57	378 063.806
	12 21 19 36.053	-17 41 10.12	405 439.792		12 6 20 34.442	21 51 7.49	377 165.125
	18 21 31 37.647	-16 59 43.52	405 541.928		18 6 35 17.226	21 58 33.67	376 271.371
Avril 1 0	21 43 33.899	-16 15 38.25	405 577.309	12 0	6 50 5.052	22 1 4.75	375 384.609
	6 21 55 25.021	-15 29 1.60	405 548.041		6 7 4 56.925	21 58 35.83	374 507.152
	12 22 7 11.264	-14 40 0.97	405 456.403		12 7 19 51.809	21 51 3.56	373 641.570
	18 22 18 52.918	-13 48 43.84	405 304.827		18 7 34 48.653	21 38 26.19	372 790.686
2 0	22 30 30.312	-12 55 17.81	405 095.869	13 0	7 49 46.406	21 20 43.69	371 957.579
	6 22 42 3.808	-11 59 50.57	404 832.188		6 8 4 44.041	20 57 57.73	371 145.568
	12 22 53 33.800	-11 2 29.91	404 516.523		12 8 19 40.576	20 30 11.72	370 358.206
	18 23 5 0.713	-10 3 23.76	404 151.669		18 8 34 35.092	19 57 30.75	369 599.255
3 0	23 16 24.996	- 9 2 40.12	403 740.453	14 0	8 49 26.749	19 20 1.61	368 872.666
	6 23 27 47.126	- 8 0 27.16	403 285.709		6 9 4 14.799	18 37 52.68	368 182.550
	12 23 39 7.600	- 6 56 53.16	402 790.264		12 9 18 58.599	17 51 13.88	367 533.140
	18 23 50 26.935	- 5 52 6.58	402 256.908		18 9 33 37.618	17 0 16.56	366 928.755
4 0	0 1 45.668	- 4 46 16.04	401 688.381	15 0	9 48 11.439	16 5 13.42	366 373.757
	6 0 13 4.353	- 3 39 30.33	401 087.351		6 10 2 39.761	15 6 18.38	365 872.502
	12 0 24 23.555	- 2 31 58.45	400 456.397		12 10 17 2.398	14 3 46.49	365 429.289
	18 0 35 43.855	- 1 23 49.61	399 797.995		18 10 31 19.275	12 57 53.78	365 048.308
5 0	0 47 5.841	- 0 15 13.25	399 114.502	16 0	10 45 30.418	11 48 57.18	364 733.581
	6 0 58 30.114	0 53 40.93	398 408.147		6 10 59 35.953	10 37 14.38	364 488.910
	12 1 9 57.275	2 2 43.00	397 681.019		12 11 13 36.088	9 23 3.73	364 317.820
	18 1 21 27.934	3 11 42.75	396 935.059		18 11 27 31.111	8 6 44.11	364 223.499
6 0	1 33 2.699	4 20 29.67	396 172.060	17 0	11 41 21.374	6 48 34.87	364 208.752
	6 1 44 42.176	5 28 52.97	395 393.655		6 11 55 7.284	5 28 55.65	364 275.945
	12 1 56 26.965	6 36 41.56	394 601.326		12 12 8 49.294	4 8 6.35	364 426.965
	18 2 8 17.658	7 43 44.05	393 796.402		18 12 22 27.889	2 46 26.98	364 663.176
7 0	2 20 14.831	8 49 48.72	392 980.064	18 0	12 36 3.576	1 24 17.58	364 985.389
	6 2 32 19.041	9 54 43.57	392 153.354		6 12 49 36.875	0 1 58.12	365 393.830
	12 2 44 30.821	10 58 16.29	391 317.183		12 13 3 8.309	- 1 20 11.57	365 888.127
	18 2 56 50.673	12 0 14.29	390 472.348		18 13 16 38.393	- 2 41 51.95	366 467.295
8 0	3 9 19.060	13 0 24.70	389 619.541	19 0	13 30 7.627	- 4 2 43.79	367 129.732
	6 3 21 56.400	13 58 34.44	388 759.372		6 13 43 36.485	- 5 22 28.31	367 873.228
	12 3 34 43.058	14 54 30.21	387 892.384		12 13 57 5.410	- 6 40 47.25	368 694.977
	18 3 47 39.338	15 47 58.55	387 019.075		18 14 10 34.803	- 7 57 22.93	369 591.597

LUNE 2019 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 14 24 5.015	- 9 11 58.36	370 559.157	Mai 1	0 23 47 56.127	- 6 15 39.19	401 749.365
	6 14 37 36.346	-10 24 17.31	371 593.217		6 23 59 13.446	- 5 9 29.97	401 125.567
	12 14 51 9.034	-11 34 4.35	372 688.862		12 0 10 30.916	- 4 2 20.35	400 452.274
	18 15 4 43.252	-12 41 4.95	373 840.753		18 0 21 49.187	- 2 54 18.72	399 733.359
21	0 15 18 19.101	-13 45 5.53	375 043.171	2	0 0 33 8.915	- 1 45 33.78	398 972.805
	6 15 31 56.612	-14 45 53.50	376 290.075		6 0 44 30.768	- 0 36 14.50	398 174.678
	12 15 45 35.741	-15 43 17.34	377 575.150		12 0 55 55.416	0 33 29.81	397 343.094
	18 15 59 16.366	-16 37 6.61	378 891.869		18 1 7 23.532	1 43 29.48	396 482.201
22	0 16 12 58.294	-17 27 12.01	380 233.541	3	0 1 18 55.788	2 53 34.44	395 596.143
	6 16 26 41.258	-18 13 25.38	381 593.374		6 1 30 32.853	4 3 34.19	394 689.039
	12 16 40 24.924	-18 55 39.76	382 964.522		12 1 42 15.388	5 13 17.79	393 764.955
	18 16 54 8.894	-19 33 49.36	384 340.142		18 1 54 4.041	6 22 33.84	392 827.876
23	0 17 7 52.715	-20 7 49.56	385 713.441	4	0 2 5 59.447	7 31 10.48	391 881.682
	6 17 21 35.888	-20 37 36.94	387 077.721		6 2 18 2.216	8 38 55.36	390 930.124
	12 17 35 17.876	-21 3 9.20	388 426.428		12 2 30 12.932	9 45 35.64	389 976.803
	18 17 48 58.113	-21 24 25.20	389 753.186		18 2 42 32.140	10 50 58.05	389 025.148
24	0 18 2 36.020	-21 41 24.85	391 051.839	5	0 2 55 0.348	11 54 48.87	388 078.395
	6 18 16 11.011	-21 54 9.07	392 316.483		6 3 7 38.007	12 56 53.96	387 139.576
	12 18 29 42.509	-22 2 39.79	393 541.493		12 3 20 25.512	13 56 58.85	386 211.502
	18 18 43 9.953	-22 6 59.79	394 721.554		18 3 33 23.184	14 54 48.78	385 296.752
25	0 18 56 32.813	-22 7 12.71	395 851.678	6	0 3 46 31.268	15 50 8.76	384 397.666
	6 19 9 50.594	-22 3 22.91	396 927.230		6 3 59 49.914	16 42 43.71	383 516.341
	12 19 23 2.852	-21 55 35.41	397 943.941		12 4 13 19.177	17 32 18.51	382 654.629
	18 19 36 9.191	-21 43 55.82	398 897.920		18 4 26 58.999	18 18 38.17	381 814.140
26	0 19 49 9.279	-21 28 30.25	399 785.667	7	0 4 40 49.207	19 1 27.98	380 996.244
	6 20 2 2.844	-21 9 25.20	400 604.082		6 4 54 49.505	19 40 33.61	380 202.087
	12 20 14 49.682	-20 46 47.54	401 350.467		12 5 8 59.470	20 15 41.32	379 432.593
	18 20 27 29.655	-20 20 44.39	402 022.531		18 5 23 18.551	20 46 38.13	378 688.490
27	0 20 40 2.694	-19 51 23.09	402 618.391	8	0 5 37 46.069	21 13 11.97	377 970.319
	6 20 52 28.797	-19 18 51.10	403 136.572		6 5 52 21.229	21 35 11.87	377 278.459
	12 21 4 48.024	-18 43 16.01	403 576.001		12 6 7 3.123	21 52 28.15	376 613.148
	18 21 17 0.501	-18 4 45.45	403 936.004		18 6 21 50.744	22 4 52.51	375 974.508
28	0 21 29 6.411	-17 23 27.06	404 216.301	9	0 6 36 43.009	22 12 18.25	375 362.572
	6 21 41 5.992	-16 39 28.50	404 416.995		6 6 51 38.772	22 14 40.30	374 777.306
	12 21 52 59.536	-15 52 57.40	404 538.563		12 7 6 36.851	22 11 55.38	374 218.644
	18 22 4 47.381	-15 4 1.35	404 581.849		18 7 21 36.052	22 4 1.99	373 686.507
29	0 22 16 29.909	-14 12 47.93	404 548.044	10	0 7 36 35.191	21 51 0.48	373 180.835
	6 22 28 7.543	-13 19 24.67	404 438.680		6 7 51 33.123	21 32 53.01	372 701.611
	12 22 39 40.740	-12 23 59.07	404 255.610		12 8 6 28.762	21 9 43.52	372 248.884
	18 22 51 9.992	-11 26 38.65	404 000.994		18 8 21 21.102	20 41 37.66	371 822.793
30	0 23 2 35.818	-10 27 30.92	403 677.277	11	0 8 36 9.239	20 8 42.67	371 423.583
	6 23 13 58.765	- 9 26 43.45	403 287.178		6 8 50 52.381	19 31 7.31	371 051.627
	12 23 25 19.402	- 8 24 23.84	402 833.662		12 9 5 29.858	18 49 1.69	370 707.435
	18 23 36 38.320	- 7 20 39.81	402 319.924		18 9 20 1.133	18 2 37.15	370 391.664

LUNE 2019 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	9	34	25.803	17	12	6.13	370 105.128	Mai 23	0	19	30	38.572	-22	1	34.55	396 644.533		
	6	9	48	43.596	16	17	41.99	369 848.795		6	19	43	52.905	-21	47	46.61	397 583.285		
	12	10	2	54.371	15	19	38.94	369 623.788		12	19	57	0.329	-21	30	8.68	398 474.382		
	18	10	16	58.109	14	18	11.85	369 431.378		18	20	10	0.484	-21	8	48.27	399 313.428		
13	0	10	30	54.908	13	13	36.19	369 272.973	24	0	20	22	53.097	-20	43	53.28	400 096.272		
	6	10	44	44.970	12	6	7.88	369 150.101		6	20	35	37.980	-20	15	31.94	400 819.034		
	12	10	58	28.591	10	56	3.25	369 064.397		12	20	48	15.033	-19	43	52.67	401 478.120		
	18	11	12	6.154	9	43	38.92	369 017.574		18	21	0	44.237	-19	9	4.05	402 070.245		
14	0	11	25	38.110	8	29	11.77	369 011.402	25	0	21	13	5.655	-18	31	14.69	402 592.444		
	6	11	39	4.974	7	12	58.83	369 047.674		6	21	25	19.427	-17	50	33.24	403 042.092		
	12	11	52	27.309	5	55	17.32	369 128.181		12	21	37	25.766	-17	7	8.25	403 416.913		
	18	12	5	45.716	4	36	24.53	369 254.670		18	21	49	24.950	-16	21	8.20	403 714.990		
15	0	12	19	0.826	3	16	37.80	369 428.815	26	0	22	1	17.321	-15	32	41.47	403 934.777		
	6	12	32	13.285	1	56	14.53	369 652.181		6	22	13	3.274	-14	41	56.25	404 075.104		
	12	12	45	23.750	0	35	32.11	369 926.182		12	22	24	43.259	-13	49	0.62	404 135.184		
	18	12	58	32.876	-	0	45	12.10		370 252.051	18	22	36	17.770	-12	54	2.49	404 114.616	
16	0	13	11	41.306	-	2	5	40.81	370 630.802	27	0	22	47	47.340	-11	57	9.63	404 013.387	
	6	13	24	49.669	-	3	25	36.82	371 063.196		6	22	59	12.541	-10	58	29.70	403 831.877	
	12	13	37	58.562	-	4	44	43.08	371 549.715		12	23	10	33.978	-	9	58	10.23	403 570.852
	18	13	51	8.550	-	6	2	42.71	372 090.530		18	23	21	52.283	-	8	56	18.69	403 231.465
17	0	14	4	20.153	-	7	19	19.07	372 685.478	28	0	23	33	8.114	-	7	53	2.51	402 815.253
	6	14	17	33.841	-	8	34	15.82	373 334.042		6	23	44	22.153	-	6	48	29.11	402 324.129
	12	14	30	50.025	-	9	47	16.95	374 035.336		12	23	55	35.099	-	5	42	45.94	401 760.373
	18	14	44	9.050	-10	58	6.88	374 788.092	18		0	6	47.671	-	4	36	0.56	401 126.628	
18	0	14	57	31.187	-12	6	30.53	375 590.657	29	0	0	18	0.600	-	3	28	20.63	400 425.884	
	6	15	10	56.632	-13	12	13.39	376 440.987		6	0	29	14.633	-	2	19	54.01	399 661.466	
	12	15	24	25.493	-14	15	1.57	377 336.656		12	0	40	30.526	-	1	10	48.80	398 837.020	
	18	15	37	57.792	-15	14	41.97	378 274.859		18	0	51	49.043	-	0	1	13.37	397 956.494	
19	0	15	51	33.458	-16	11	2.26	379 252.430	30	0	1	3	10.955	1	8	43.54	397 024.120		
	6	16	5	12.330	-17	3	51.04	380 265.857		6	1	14	37.034	2	18	52.83	396 044.394		
	12	16	18	54.150	-17	52	57.90	381 311.302		12	1	26	8.055	3	29	4.93	395 022.048		
	18	16	32	38.572	-18	38	13.48	382 384.628		18	1	37	44.788	4	39	9.79	393 962.030		
20	0	16	46	25.164	-19	19	29.56	383 481.427	31	0	1	49	27.995	5	48	56.82	392 869.469		
	6	17	0	13.410	-19	56	39.11	384 597.050		6	2	1	18.425	6	58	14.85	391 749.655		
	12	17	14	2.726	-20	29	36.32	385 726.640		12	2	13	16.811	8	6	52.09	390 607.997		
	18	17	27	52.463	-20	58	16.68	386 865.166		18	2	25	23.857	9	14	36.13	389 449.995		
21	0	17	41	41.923	-21	22	36.94	388 007.461	Juin 1	0	2	37	40.236	10	21	13.90	388 281.204		
	6	17	55	30.372	-21	42	35.14	389 148.254		6	2	50	6.580	11	26	31.68	387 107.197		
	12	18	9	17.052	-21	58	10.60	390 282.211		12	3	2	43.466	12	30	15.11	385 933.528		
	18	18	23	1.200	-22	9	23.86	391 403.970		18	3	15	31.411	13	32	9.22	384 765.690		
22	0	18	36	42.059	-22	16	16.64	392 508.174	2	0	3	28	30.853	14	31	58.49	383 609.081		
	6	18	50	18.896	-22	18	51.78	393 589.511		6	3	41	42.146	15	29	26.91	382 468.960		
	12	19	3	51.016	-22	17	13.14	394 642.744		12	3	55	5.537	16	24	18.08	381 350.415		
	18	19	17	17.770	-22	11	25.51	395 662.747		18	4	8	41.162	17	16	15.32	380 258.318		

LUNE 2019 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	4	22	29.025	18	5	1.84	379 197.296	Juin 14	0	14	41	54.811	-10	41	18.80	378 286.436		
	6	4	36	28.992	18	50	20.88	378 171.692		6	14	54	58.368	-11	49	9.41	379 012.367		
	12	4	50	40.774	19	31	55.96	377 185.539		12	15	8	5.569	-12	54	31.67	379 760.169		
	18	5	5	3.927	20	9	31.03	376 242.526		18	15	21	16.675	-13	57	12.63	380 529.363		
4	0	5	19	37.841	20	42	50.75	375 345.980	15	0	15	34	31.861	-14	56	59.80	381 319.335		
	6	5	34	21.744	21	11	40.73	374 498.844		6	15	47	51.206	-15	53	41.21	382 129.316		
	12	5	49	14.702	21	35	47.77	373 703.658		12	16	1	14.694	-16	47	5.46	382 958.361		
	18	6	4	15.637	21	55	0.12	372 962.556		18	16	14	42.210	-17	37	1.86	383 805.337		
5	0	6	19	23.334	22	9	7.70	372 277.253	16	0	16	28	13.536	-18	23	20.46	384 668.911		
	6	6	34	36.469	22	18	2.30	371 649.050		6	16	41	48.357	-19	5	52.18	385 547.538		
	12	6	49	53.629	22	21	37.77	371 078.839		12	16	55	26.259	-19	44	28.87	386 439.458		
	18	7	5	13.346	22	19	50.16	370 567.110		18	17	9	6.740	-20	19	3.38	387 342.689		
6	0	7	20	34.129	22	12	37.76	370 113.973	17	0	17	22	49.211	-20	49	29.69	388 255.031		
	6	7	35	54.495	22	0	1.19	369 719.170		6	17	36	33.010	-21	15	42.90	389 174.064		
	12	7	51	13.005	21	42	3.34	369 382.108		12	17	50	17.412	-21	37	39.34	390 097.162		
	18	8	6	28.295	21	18	49.31	369 101.884		18	18	4	1.644	-21	55	16.54	391 021.490		
7	0	8	21	39.103	20	50	26.30	368 877.316	18	0	18	17	44.898	-22	8	33.32	391 944.027		
	6	8	36	44.296	20	17	3.46	368 706.980		6	18	31	26.350	-22	17	29.72	392 861.574		
	12	8	51	42.883	19	38	51.68	368 589.243		12	18	45	5.172	-22	22	7.00	393 770.769		
	18	9	6	34.035	18	56	3.39	368 522.306		18	18	58	40.553	-22	22	27.61	394 668.109		
8	0	9	21	17.090	18	8	52.38	368 504.239	19	0	19	12	11.713	-22	18	35.11	395 549.968		
	6	9	35	51.552	17	17	33.51	368 533.018		6	19	25	37.917	-22	10	34.09	396 412.620		
	12	9	50	17.094	16	22	22.54	368 606.566		12	19	38	58.487	-21	58	30.10	397 252.258		
	18	10	4	33.550	15	23	35.91	368 722.787		18	19	52	12.817	-21	42	29.52	398 065.022		
9	0	10	18	40.904	14	21	30.55	368 879.599	20	0	20	5	20.378	-21	22	39.47	398 847.023		
	6	10	32	39.280	13	16	23.72	369 074.967		6	20	18	20.727	-20	59	7.71	399 594.364		
	12	10	46	28.928	12	8	32.85	369 306.927		12	20	31	13.512	-20	32	2.49	400 303.173		
	18	11	0	10.210	10	58	15.44	369 573.616		18	20	43	58.471	-20	1	32.47	400 969.620		
10	0	11	13	43.585	9	45	48.94	369 873.289	21	0	20	56	35.436	-19	27	46.61	401 589.947		
	6	11	27	9.595	8	31	30.70	370 204.336		6	21	9	4.330	-18	50	54.05	402 160.495		
	12	11	40	28.850	7	15	37.86	370 565.293		12	21	21	25.167	-18	11	4.08	402 677.725		
	18	11	53	42.016	5	58	27.39	370 954.855		18	21	33	38.043	-17	28	25.97	403 138.242		
11	0	12	6	49.802	4	40	15.99	371 371.873	22	0	21	45	43.134	-16	43	8.98	403 538.823		
	6	12	19	52.948	3	21	20.14	371 815.359		6	21	57	40.693	-15	55	22.27	403 876.435		
	12	12	32	52.213	2	1	56.03	372 284.478		12	22	9	31.040	-15	5	14.89	404 148.262		
	18	12	45	48.370	0	42	19.64	372 778.543		18	22	21	14.558	-14	12	55.67	404 351.720		
12	0	12	58	42.188	-	0	37	13.32	373 296.999	23	0	22	32	51.688	-13	18	33.30	404 484.484	
	6	13	11	34.432	-	1	56	27.34	373 839.412		6	22	44	22.924	-12	22	16.24	404 544.500	
	12	13	24	25.848	-	3	15	7.16	374 405.450		12	22	55	48.804	-11	24	12.74	404 530.010	
	18	13	37	17.161	-	4	32	57.70	374 994.860		18	23	7	9.910	-10	24	30.87	404 439.564	
13	0	13	50	9.061	-	5	49	44.11	375 607.449	24	0	23	18	26.860	-	9	23	18.51	404 272.039
	6	14	3	2.199	-	7	5	11.75	376 243.060		6	23	29	40.305	-	8	20	43.38	404 026.652
	12	14	15	57.181	-	8	19	6.17	376 901.544		12	23	40	50.925	-	7	16	53.07	403 702.973
	18	14	28	54.555	-	9	31	13.17	377 582.738		18	23	51	59.429	-	6	11	55.06	403 300.939

LUNE 2019 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	0	3	6.548	- 5 5	56.78	402820.861	Juill.	6	0	10	2	46.535	15 35	1.46	364133.679
	6	0	14	13.033	- 3 59	5.66	402263.439	6		10	17	18.355	14 31	43.15	364423.493		
	12	0	25	19.656	- 2 51	29.15	401629.764	12		10	31	39.795	13 25	14.53	364784.608		
	18	0	36	27.205	- 1 43	14.78	400921.325	18		10	45	50.964	12 15	55.89	365213.070		
	26	0	0	47	36.482	- 0 34	30.25	400140.018	7	0	10	59	52.118	11 4	7.51	365704.700	
	6	0	58	48.302	0 34	36.57	399288.142	6	11	13	43.636	9 50	9.55	366255.149			
	12	1	10	3.491	1 43	57.52	398368.401	12	11	27	26.005	8 34	21.85	366859.961			
	18	1	21	22.883	2 53	24.13	397383.906	18	11	40	59.805	7 17	3.86	367514.620			
	27	0	1	32	47.316	4 2	47.55	396338.163	8	0	11	54	25.687	5 58	34.53	368214.605	
	6	1	44	17.633	5 11	58.47	395235.074	6	12	7	44.362	4 39	12.28	368955.438			
	12	1	55	54.672	6 20	47.08	394078.922	12	12	20	56.585	3 19	14.97	369732.727			
	18	2	7	39.266	7 29	3.00	392874.361	18	12	34	3.143	1 58	59.83	370542.203			
	28	0	2	19	32.233	8 36	35.24	391626.398	9	0	12	47	4.839	0 38	43.55	371379.757	
	6	2	31	34.377	9 43	12.12	390340.377	6	13	0	2.488	- 0 41	17.79	372241.469			
	12	2	43	46.469	10 48	41.28	389021.952	12	13	12	56.901	- 2 0	48.65	373123.628			
	18	2	56	9.247	11 52	49.61	387677.066	18	13	25	48.878	- 3 19	34.01	374022.754			
	29	0	3	8	43.400	12 55	23.25	386311.917	10	0	13	38	39.203	- 4 37	19.36	374935.610	
	6	3	21	29.558	13 56	7.62	384932.930	6	13	51	28.630	- 5 53	50.63	375859.213			
	12	3	34	28.278	14 54	47.38	383546.711	12	14	4	17.879	- 7 8	54.21	376790.832			
	18	3	47	40.026	15 51	6.54	382160.015	18	14	17	7.630	- 8 22	16.88	377727.991			
	30	0	4	1	5.167	16 44	48.49	380779.698	11	0	14	29	58.512	- 9 33	45.80	378668.465	
	6	4	14	43.940	17 35	36.14	379412.667	6	14	42	51.102	-10 43	8.53	379610.267			
	12	4	28	36.451	18 23	12.04	378065.833	12	14	55	45.912	-11 50	12.97	380551.642			
	18	4	42	42.648	19 7	18.53	376746.056	18	15	8	43.388	-12 54	47.41	381491.046			
Juill.	1	0	4	57	2.310	19 47	38.01	375460.093	12	0	15	21	43.900	-13 56	40.49	382427.130	
	6	5	11	35.035	20 23	53.11	374214.535	6	15	34	47.739	-14 55	41.29	383358.724			
	12	5	26	20.232	20 55	47.01	373015.755	12	15	47	55.111	-15 51	39.31	384284.809			
	18	5	41	17.113	21 23	3.70	371869.853	18	16	1	6.132	-16 44	24.52	385204.501			
	2	0	5	56	24.702	21 45	28.32	370782.592	13	0	16	14	20.824	-17 33	47.43	386117.023	
	6	6	11	41.834	22 2	47.47	369759.354	6	16	27	39.117	-18 19	39.13	387021.683			
	12	6	27	7.180	22 14	49.48	368805.081	12	16	41	0.842	-19 1	51.36	387917.848			
	18	6	42	39.262	22 21	24.77	367924.234	18	16	54	25.737	-19 40	16.58	388804.923			
	3	0	6	58	16.486	22 22	26.02	367120.749	14	0	17	7	53.446	-20 14	48.04	389682.325	
	6	7	13	57.175	22 17	48.45	366398.001	6	17	21	23.527	-20 45	19.84	390549.460			
	12	7	29	39.608	22 7	29.91	365758.776	12	17	34	55.456	-21 11	47.02	391405.707			
	18	7	45	22.061	21 51	31.00	365205.251	18	17	48	28.637	-21 34	5.58	392250.391			
	4	0	8	1	2.851	21 29	55.07	364738.976	15	0	18	2	2.412	-21 52	12.56	393082.772	
	6	8	16	40.369	21 2	48.14	364360.875	6	18	15	36.075	-22 6	6.08	393902.023			
	12	8	32	13.123	20 30	18.80	364071.242	12	18	29	8.884	-22 15	45.33	394707.218			
	18	8	47	39.763	19 52	38.03	363869.762	18	18	42	40.073	-22 21	10.63	395497.321			
	5	0	9	2	59.108	19 9	58.95	363755.521	16	0	18	56	8.873	-22 22	23.37	396271.175	
	6	9	18	10.162	18 22	36.54	363727.041	6	19	9	34.524	-22 19	26.04	397027.496			
	12	9	33	12.121	17 30	47.40	363782.315	12	19	22	56.287	-22 12	22.12	397764.866			
	18	9	48	4.382	16 34	49.41	363918.842	18	19	36	13.464	-22 1	16.11	398481.731			

LUNE 2019 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	19 49 25.405	-21 46 13.37	399 176.401	Juill. 28 0	4 34 3.743	18 41 28.47	380 085.137
6	20 2 31.520	-21 27 20.13	399 847.055	6	4 48 0.937	19 23 26.90	378 555.962
12	20 15 31.291	-21 4 43.32	400 491.739	12	5 2 12.238	20 1 42.12	377 035.395
18	20 28 24.277	-20 38 30.54	401 108.378	18	5 16 37.403	20 35 57.04	375 531.123
18 0	20 41 10.117	-20 8 49.92	401 694.784	29 0	5 31 16.006	21 5 54.85	374 050.956
6	20 53 48.537	-19 35 50.04	402 248.663	6	5 46 7.427	21 31 19.25	372 602.775
12	21 6 19.348	-18 59 39.84	402 767.634	12	6 1 10.847	21 51 54.77	371 194.462
18	21 18 42.447	-18 20 28.50	403 249.235	18	6 16 25.255	22 7 27.12	369 833.837
19 0	21 30 57.815	-17 38 25.39	403 690.946	30 0	6 31 49.457	22 17 43.47	368 528.584
6	21 43 5.515	-16 53 39.97	404 090.202	6	6 47 22.087	22 22 32.80	367 286.176
12	21 55 5.687	-16 6 21.73	404 444.414	12	7 3 1.639	22 21 46.22	366 113.805
18	22 6 58.541	-15 16 40.12	404 750.984	18	7 18 46.491	22 15 17.21	365 018.302
20 0	22 18 44.359	-14 24 44.50	405 007.332	31 0	7 34 34.945	22 3 1.86	364 006.062
6	22 30 23.481	-13 30 44.13	405 210.910	6	7 50 25.265	21 44 59.07	363 082.975
12	22 41 56.307	-12 34 48.09	405 359.230	12	8 6 15.720	21 21 10.59	362 254.358
18	22 53 23.289	-11 37 5.29	405 449.881	18	8 22 4.623	20 51 41.10	361 524.890
21 0	23 4 44.925	-10 37 44.47	405 480.555	Août 1 0	8 37 50.374	20 16 38.14	360 898.561
6	23 16 1.756	-9 36 54.13	405 449.070	6	8 53 31.495	19 36 11.99	360 378.619
12	23 27 14.364	-8 34 42.64	405 353.388	12	9 9 6.655	18 50 35.50	359 967.541
18	23 38 23.362	-7 31 18.15	405 191.645	18	9 24 34.697	18 0 3.84	359 666.999
22 0	23 49 29.397	-6 26 48.65	404 962.166	2 0	9 39 54.655	17 4 54.23	359 477.850
6	0 0 33.144	-5 21 22.02	404 663.496	6	9 55 5.754	16 5 25.62	359 400.130
12	0 11 35.301	-4 15 6.02	404 294.412	12	10 10 7.423	15 1 58.40	359 433.063
18	0 22 36.593	-3 8 8.32	403 853.956	18	10 24 59.281	13 54 54.04	359 575.084
23 0	0 33 37.764	-2 0 36.59	403 341.444	3 0	10 39 41.132	12 44 34.79	359 823.864
6	0 44 39.577	-0 52 38.47	402 756.495	6	10 54 12.950	11 31 23.41	360 176.361
12	0 55 42.813	0 15 38.30	402 099.049	12	11 8 34.868	10 15 42.85	360 628.864
18	1 6 48.268	1 24 5.91	401 369.382	18	11 22 47.152	8 57 56.03	361 177.054
24 0	1 17 56.752	2 32 36.35	400 568.125	4 0	11 36 50.190	7 38 25.64	361 816.074
6	1 29 9.086	3 41 1.42	399 696.283	6	11 50 44.472	6 17 33.95	362 540.592
12	1 40 26.101	4 49 12.63	398 755.246	12	12 4 30.569	4 55 42.69	363 344.882
18	1 51 48.633	5 57 1.15	397 746.803	18	12 18 9.120	3 33 12.88	364 222.897
25 0	2 3 17.522	7 4 17.78	396 673.156	5 0	12 31 40.815	2 10 24.83	365 168.346
6	2 14 53.606	8 10 52.82	395 536.927	6	12 45 6.380	0 47 38.04	366 174.768
12	2 26 37.719	9 16 36.09	394 341.163	12	12 58 26.563	-0 34 48.87	367 235.606
18	2 38 30.681	10 21 16.84	393 089.347	18	13 11 42.123	-1 56 38.07	368 344.275
26 0	2 50 33.295	11 24 43.68	391 785.391	6 0	13 24 53.819	-3 17 32.64	369 494.228
6	3 2 46.334	12 26 44.60	390 433.645	6	13 38 2.400	-4 37 16.44	370 679.015
12	3 15 10.539	13 27 6.86	389 038.881	12	13 51 8.596	-5 55 34.17	371 892.337
18	3 27 46.597	14 25 37.03	387 606.295	18	14 4 13.107	-7 12 11.30	373 128.091
27 0	3 40 35.138	15 22 0.98	386 141.484	7 0	14 17 16.600	-8 26 54.05	374 380.417
6	3 53 36.716	16 16 3.87	384 650.440	6	14 30 19.698	-9 39 29.34	375 643.729
12	4 6 51.793	17 7 30.22	383 139.517	12	14 43 22.976	-10 49 44.77	376 912.743
18	4 20 20.725	17 56 3.94	381 615.414	18	14 56 26.952	-11 57 28.60	378 182.502

LUNE 2019 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	15	9	32.081	-13	2	29.69	379	448.390	Août	19	0	0	21	29.948	-3	8	46.79	405	278.573
	6	15	22	38.755	-14	4	37.52	380	706.146		6	0	32	28.882	-2	1	15.87	404	928.992		
	12	15	35	47.289	-15	3	42.17	381	951.866		12	0	43	27.785	-0	53	22.30	404	521.875		
	18	15	48	57.925	-15	59	34.31	383	182.006		18	0	54	27.358	0	14	45.76	404	056.059		
	9	0	16	2	10.823	-16	52	5.20	384	393.377		20	0	1	5	28.314	1	23	0.12	403	530.511
	6	16	15	26.062	-17	41	6.71	385	583.140		6	1	16	31.383	2	31	12.53	402	944.354		
	12	16	28	43.636	-18	26	31.37	386	748.791		12	1	27	37.307	3	39	14.62	402	296.890		
	18	16	42	3.453	-19	8	12.33	387	888.149		18	1	38	46.836	4	46	57.90	401	587.626		
	10	0	16	55	25.338	-19	46	3.46	388	999.339		21	0	1	50	0.729	5	54	13.67	400	816.293
	6	17	8	49.034	-20	19	59.34	390	080.770		6	2	1	19.752	7	0	53.00	399	982.878		
	12	17	22	14.208	-20	49	55.33	391	131.119		12	2	12	44.671	8	6	46.67	399	087.639		
	18	17	35	40.451	-21	15	47.59	392	149.304		18	2	24	16.252	9	11	45.13	398	131.136		
	11	0	17	49	7.293	-21	37	33.10	393	134.461		22	0	2	35	55.255	10	15	38.48	397	114.248
	6	18	2	34.205	-21	55	9.75	394	085.921		6	2	47	42.430	11	18	16.37	396	038.197		
	12	18	16	0.614	-22	8	36.28	395	003.184		12	2	59	38.508	12	19	28.00	394	904.565		
	18	18	29	25.908	-22	17	52.38	395	885.892		18	3	11	44.199	13	19	2.11	393	715.317		
	12	0	18	42	49.456	-22	22	58.63	396	733.808		23	0	3	24	0.179	14	16	46.88	392	472.813
	6	18	56	10.613	-22	23	56.55	397	546.787		6	3	36	27.085	15	12	29.97	391	179.826		
	12	19	9	28.737	-22	20	48.55	398	324.756		12	3	49	5.498	16	5	58.51	389	839.552		
	18	19	22	43.199	-22	13	37.93	399	067.686		18	4	1	55.939	16	56	59.08	388	455.621		
	13	0	19	35	53.396	-22	2	28.82	399	775.576		24	0	4	14	58.851	17	45	17.76	387	032.101
	6	19	48	58.763	-21	47	26.16	400	448.424		6	4	28	14.586	18	30	40.17	385	573.504		
	12	20	1	58.780	-21	28	35.62	401	086.216		12	4	41	43.393	19	12	51.53	384	084.779		
	18	20	14	52.983	-21	6	3.57	401	688.902		18	4	55	25.403	19	51	36.78	382	571.314		
	14	0	20	27	40.966	-20	39	56.97	402	256.382		25	0	5	9	20.612	20	26	40.68	381	038.917
	6	20	40	22.395	-20	10	23.34	402	788.492		6	5	23	28.876	20	57	47.99	379	493.806		
	12	20	52	57.001	-19	37	30.66	403	284.990		12	5	37	49.892	21	24	43.61	377	942.585		
	18	21	5	24.591	-19	1	27.28	403	745.548		18	5	52	23.195	21	47	12.84	376	392.214		
	15	0	21	17	45.044	-18	22	21.92	404	169.741		26	0	6	7	8.156	22	5	1.58	374	849.980
	6	21	29	58.311	-17	40	23.51	404	557.041		6	6	22	3.976	22	17	56.61	373	323.450		
	12	21	42	4.414	-16	55	41.18	404	906.817		12	6	37	9.699	22	25	45.85	371	820.429		
	18	21	54	3.444	-16	8	24.18	405	218.327		18	6	52	24.217	22	28	18.64	370	348.903		
	16	0	22	5	55.557	-15	18	41.84	405	490.723		27	0	7	7	46.292	22	25	26.02	368	916.975
	6	22	17	40.970	-14	26	43.49	405	723.050		6	7	23	14.576	22	17	0.96	367	532.806		
	12	22	29	19.958	-13	32	38.45	405	914.253		12	7	38	47.640	22	2	58.64	366	204.532		
	18	22	40	52.849	-12	36	36.00	406	063.182		18	7	54	24.002	21	43	16.59	364	940.195		
	17	0	22	52	20.020	-11	38	45.32	406	168.601		28	0	8	10	2.165	21	17	54.89	363	747.654
	6	23	3	41.894	-10	39	15.48	406	229.197		6	8	25	40.650	20	46	56.22	362	634.505		
	12	23	14	58.935	-9	38	15.44	406	243.596		12	8	41	18.026	20	10	25.94	361	607.990		
	18	23	26	11.644	-8	35	54.03	406	210.372		18	8	56	52.948	19	28	32.06	360	674.914		
	18	0	23	37	20.555	-7	32	19.95	406	128.064		29	0	9	12	24.179	18	41	25.16	359	841.560
	6	23	48	26.235	-6	27	41.79	405	995.195		6	9	27	50.617	17	49	18.24	359	113.605		
	12	23	59	29.277	-5	22	7.98	405	810.289		12	9	43	11.307	16	52	26.59	358	496.048		
	18	0	10	30.300	-4	15	46.89	405	571.887		18	9	58	25.459	15	51	7.56	357	993.139		

LUNE 2019 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	10 13 32.450	14	45	40.26	357 608.320	Sept.	10	0	20 15 22.327	-21	11	4.92	401 746.310
	6	10 28 31.824	13	36	25.38	357 344.178	6		20 28 6.754	-20	44	30.60	402 398.452		
	12	10 43 23.289	12	23	44.86	357 202.406	12		20 40 44.456	-20	14	30.81	402 997.777		
	18	10 58 6.707	11	8	1.62	357 183.783	18		20 53 15.268	-19	41	13.37	403 544.975		
	31	0	11 12 42.085	9	49	39.28	357 288.160	11	0	21 5 39.087	-19	4	46.40	404 040.838	
	6	11 27 9.561	8	29	1.91	357 514.465	6	21 17 55.876	-18	25	18.27	404 486.229			
	12	11 41 29.386	7	6	33.76	357 860.725	12	21 30 5.658	-17	42	57.54	404 882.067			
	18	11 55 41.910	5	42	39.06	358 324.091	18	21 42 8.515	-16	57	52.95	405 229.297			
Sept.	1	0	12 9 47.568	4	17	41.78	358 900.888	12	0	21 54 4.588	-16	10	13.33	405 528.876	
	6	12 23 46.862	2	52	5.49	359 586.667	6	22 5 54.071	-15	20	7.59	405 781.752			
	12	12 37 40.343	1	26	13.17	360 376.269	12	22 17 37.211	-14	27	44.70	405 988.843			
	18	12 51 28.603	0	0	27.11	361 263.903	18	22 29 14.299	-13	33	13.66	406 151.025			
	2	0	13 5 12.257	-1	24	51.23	362 243.220	13	0	22 40 45.673	-12	36	43.46	406 269.117	
	6	13 18 51.930	-2	49	21.24	363 307.399	6	22 52 11.710	-11	38	23.08	406 343.864			
	12	13 32 28.247	-4	12	43.31	364 449.234	12	23 3 32.822	-10	38	21.46	406 375.929			
	18	13 46 1.824	-5	34	38.77	365 661.220	18	23 14 49.458	-9	36	47.53	406 365.885			
	3	0	13 59 33.253	-6	54	49.99	366 935.640	14	0	23 26 2.094	-8	33	50.16	406 314.207	
	6	14 13 3.099	-8	13	0.38	368 264.648	6	23 37 11.235	-7	29	38.18	406 221.262			
	12	14 26 31.886	-9	28	54.34	369 640.346	12	23 48 17.409	-6	24	20.40	406 087.315			
	18	14 40 0.094	-10	42	17.33	371 054.866	18	23 59 21.169	-5	18	5.57	405 912.522			
	4	0	14 53 28.151	-11	52	55.79	372 500.433	15	0	0 10 23.085	-4	11	2.44	405 696.930	
	6	15 6 56.425	-13	0	37.16	373 969.430	6	0 21 23.746	-3	3	19.73	405 440.486			
	12	15 20 25.221	-14	5	9.85	375 454.455	12	0 32 23.758	-1	55	6.17	405 143.038			
	18	15 33 54.776	-15	6	23.22	376 948.373	18	0 43 23.739	-0	46	30.49	404 804.345			
	5	0	15 47 25.255	-16	4	7.59	378 444.352	16	0	0 54 24.321	0	22	18.53	404 424.084	
	6	16 0 56.749	-16	58	14.17	379 935.907	6	1 5 26.146	1	31	12.06	404 001.865			
	12	16 14 29.271	-17	48	35.10	381 416.920	12	1 16 29.867	2	40	1.21	403 537.242			
	18	16 28 2.762	-18	35	3.44	382 881.673	18	1 27 36.140	3	48	36.98	403 029.730			
	6	0	16 41 37.085	-19	17	33.13	384 324.856	17	0	1 38 45.632	4	56	50.25	402 478.818	
	6	16 55 12.031	-19	55	59.01	385 741.580	6	1 49 59.008	6	4	31.76	401 883.995			
	12	17 8 47.323	-20	30	16.81	387 127.386	12	2 1 16.938	7	11	32.06	401 244.764			
	18	17 22 22.618	-21	0	23.17	388 478.243	18	2 12 40.087	8	17	41.53	400 560.664			
	7	0	17 35 57.519	-21	26	15.61	389 790.547	18	0	2 24 9.117	9	22	50.29	399 831.295	
	6	17 49 31.577	-21	47	52.55	391 061.111	6	2 35 44.680	10	26	48.23	399 056.343			
	12	18 3 4.304	-22	5	13.27	392 287.157	12	2 47 27.414	11	29	24.98	398 235.597			
	18	18 16 35.181	-22	18	17.95	393 466.301	18	2 59 17.939	12	30	29.86	397 368.984			
	8	0	18 30 3.667	-22	27	7.60	394 596.539	19	0	3 11 16.851	13	29	51.87	396 456.586	
	6	18 43 29.213	-22	31	44.06	395 676.226	6	3 23 24.715	14	27	19.72	395 498.671			
	12	18 56 51.270	-22	32	10.01	396 704.058	12	3 35 42.059	15	22	41.78	394 495.718			
	18	19 10 9.303	-22	28	28.85	397 679.051	18	3 48 9.363	16	15	46.09	393 448.439			
	9	0	19 23 22.796	-22	20	44.75	398 600.515	20	0	4 0 47.054	17	6	20.40	392 357.809	
	6	19 36 31.265	-22	9	2.54	399 468.034	6	4 13 35.493	17	54	12.17	391 225.087			
	12	19 49 34.266	-21	53	27.71	400 281.437	12	4 26 34.969	18	39	8.61	390 051.839			
	18	20 2 31.401	-21	34	6.31	401 040.779	18	4 39 45.686	19	20	56.75	388 839.960			

LUNE 2019 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 km	Date	asc. droite			déclinaison			distance km		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Sept. 21	0	4	53	7.754	19	59	23.48	387 591.697	Oct. 2	0	15	26	59.575	-14	48	48.52	370 838.033
	6	5	6	41.179	20	34	15.69	386 309.658		6	15	40	56.018	-15	50	38.08	372 316.786
	12	5	20	25.859	21	5	20.30	384 996.839		12	15	54	53.617	-16	48	37.13	373 829.668
	18	5	34	21.570	21	32	24.46	383 656.626		18	16	8	52.229	-17	42	35.79	375 368.482
22	0	5	48	27.967	21	55	15.64	382 292.807	3	0	16	22	51.628	-18	32	25.52	376 925.153
	6	6	2	44.577	22	13	41.81	380 909.579		6	16	36	51.515	-19	17	59.07	378 491.783
	12	6	17	10.805	22	27	31.61	379 511.545		12	16	50	51.515	-19	59	10.48	380 060.709
	18	6	31	45.935	22	36	34.53	378 103.712		18	17	4	51.190	-20	35	55.08	381 624.549
23	0	6	46	29.135	22	40	41.10	376 691.481	4	0	17	18	50.043	-21	8	9.47	383 176.241
	6	7	1	19.475	22	39	43.07	375 280.628		6	17	32	47.528	-21	35	51.45	384 709.083
	12	7	16	15.939	22	33	33.60	373 877.290		12	17	46	43.065	-21	59	0.05	386 216.756
	18	7	31	17.442	22	22	7.47	372 487.928		18	18	0	36.045	-22	17	35.41	387 693.352
24	0	7	46	22.854	22	5	21.15	371 119.300	5	0	18	14	25.847	-22	31	38.79	389 133.390
	6	8	1	31.025	21	43	13.02	369 778.417		6	18	28	11.851	-22	41	12.46	390 531.828
	12	8	16	40.805	21	15	43.44	368 472.491		12	18	41	53.446	-22	46	19.65	391 884.072
	18	8	31	51.071	20	42	54.80	367 208.885		18	18	55	30.045	-22	47	4.51	393 185.976
25	0	8	47	0.751	20	4	51.62	365 995.049	6	0	19	9	1.095	-22	43	31.95	394 433.850
	6	9	2	8.847	19	21	40.53	364 838.449		6	19	22	26.088	-22	35	47.63	395 624.448
	12	9	17	14.448	18	33	30.23	363 746.500		12	19	35	44.566	-22	23	57.86	396 754.965
	18	9	32	16.753	17	40	31.48	362 726.481		18	19	48	56.132	-22	8	9.50	397 823.027
26	0	9	47	15.076	16	42	56.98	361 785.457	7	0	20	2	0.452	-21	48	29.87	398 826.679
	6	10	2	8.859	15	41	1.25	360 930.193		6	20	14	57.260	-21	25	6.72	399 764.369
	12	10	16	57.673	14	35	0.56	360 167.072		12	20	27	46.360	-20	58	8.11	400 634.937
	18	10	31	41.218	13	25	12.70	359 502.008		18	20	40	27.625	-20	27	42.34	401 437.590
27	0	10	46	19.319	12	11	56.88	358 940.365	8	0	20	53	1.000	-19	53	57.94	402 171.888
	6	11	0	51.924	10	55	33.52	358 486.883		6	21	5	26.496	-19	17	3.54	402 837.723
	12	11	15	19.090	9	36	24.07	358 145.603		12	21	17	44.192	-18	37	7.89	403 435.295
	18	11	29	40.977	8	14	50.83	357 919.809		18	21	29	54.225	-17	54	19.77	403 965.094
28	0	11	43	57.834	6	51	16.78	357 811.970	9	0	21	41	56.795	-17	8	47.98	404 427.874
	6	11	58	9.988	5	26	5.33	357 823.703		6	21	53	52.152	-16	20	41.33	404 824.629
	12	12	12	17.829	3	59	40.23	357 955.741		12	22	5	40.597	-15	30	8.57	405 156.573
	18	12	26	21.801	2	32	25.30	358 207.916		18	22	17	22.479	-14	37	18.45	405 425.111
29	0	12	40	22.382	1	4	44.31	358 579.156	10	0	22	28	58.184	-13	42	19.62	405 631.819
	6	12	54	20.078	-	0	22 59.18	359 067.497		6	22	40	28.137	-12	45	20.72	405 778.420
	12	13	8	15.407	-	1	50 22.00	359 670.105		12	22	51	52.796	-11	46	30.35	405 866.756
	18	13	22	8.889	-	3	17 1.51	360 383.314		18	23	3	12.646	-10	45	57.02	405 898.768
30	0	13	36	1.032	-	4	42 35.67	361 202.671	11	0	23	14	28.201	-	9	43 49.27	405 876.472
	6	13	49	52.323	-	6	6 43.25	362 122.997		6	23	25	39.995	-	8	40 15.58	405 801.934
	12	14	3	43.217	-	7	29 3.86	363 138.452		12	23	36	48.583	-	7	35 24.44	405 677.252
	18	14	17	34.129	-	8	49 18.06	364 242.608		18	23	47	54.536	-	6	29 24.37	405 504.533
Oct. 1	0	14	31	25.425	-10	7	7.46	365 428.530	12	0	23	58	58.440	-	5	22 23.90	405 285.871
	6	14	45	17.410	-11	22	14.75	366 688.857		6	0	10	0.896	-	4	14 31.63	405 023.331
	12	14	59	10.328	-12	34	23.78	368 015.886		12	0	21	2.516	-	3	5 56.23	404 718.928
	18	15	13	4.351	-13	43	19.61	369 401.656		18	0	32	3.910	-	1	56 46.45	404 374.614

LUNE 2019 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	0 43 5.712	- 0 47 11.18	403 992.261	Oct. 24 0	10 24 32.159	14 11 9.19	365 584.741
6	0 54 8.552	0 22 40.59	403 573.647	6	10 38 43.374	13 1 18.43	364 811.312
12	1 5 13.064	1 32 39.68	403 120.449	12	10 52 50.230	11 48 15.34	364 101.318
18	1 16 19.885	2 42 36.76	402 634.228	18	11 6 52.922	10 32 17.34	363 460.327
14 0	1 27 29.652	3 52 22.31	402 116.425	25 0	11 20 51.733	9 13 42.71	362 893.708
6	1 38 43.000	5 1 46.58	401 568.354	6	11 34 47.019	7 52 50.52	362 406.554
12	1 50 0.558	6 10 39.63	400 991.202	12	11 48 39.202	6 30 0.54	362 003.618
18	2 1 22.948	7 18 51.24	400 386.024	18	12 2 28.755	5 5 33.14	361 689.241
15 0	2 12 50.780	8 26 10.97	399 753.747	26 0	12 16 16.195	3 39 49.23	361 467.284
6	2 24 24.653	9 32 28.12	399 095.176	6	12 30 2.068	2 13 10.12	361 341.072
12	2 36 5.142	10 37 31.73	398 410.994	12	12 43 46.940	0 45 57.45	361 313.331
18	2 47 52.804	11 41 10.55	397 701.777	18	12 57 31.384	- 0 41 26.92	361 386.143
16 0	2 59 48.163	12 43 13.11	396 968.002	27 0	13 11 15.971	- 2 8 41.03	361 560.902
6	3 11 51.710	13 43 27.66	396 210.060	6	13 25 1.255	- 3 35 22.90	361 838.286
12	3 24 3.895	14 41 42.22	395 428.273	12	13 38 47.767	- 5 1 10.71	362 218.227
18	3 36 25.120	15 37 44.61	394 622.908	18	13 52 35.998	- 6 25 42.86	362 699.906
17 0	3 48 55.731	16 31 22.47	393 794.200	28 0	14 6 26.395	- 7 48 38.16	363 281.749
6	4 1 36.010	17 22 23.29	392 942.369	6	14 20 19.343	- 9 9 35.88	363 961.435
12	4 14 26.170	18 10 34.46	392 067.646	12	14 34 15.162	-10 28 15.96	364 735.920
18	4 27 26.344	18 55 43.38	391 170.294	18	14 48 14.095	-11 44 19.06	365 601.462
18 0	4 40 36.578	19 37 37.46	390 250.632	29 0	15 2 16.297	-12 57 26.78	366 553.662
6	4 53 56.826	20 16 4.26	389 309.065	6	15 16 21.834	-14 7 21.68	367 587.512
12	5 7 26.943	20 50 51.56	388 346.104	12	15 30 30.670	-15 13 47.48	368 697.446
18	5 21 6.680	21 21 47.48	387 362.395	18	15 44 42.667	-16 16 29.13	369 877.403
19 0	5 34 55.685	21 48 40.57	386 358.745	30 0	15 58 57.584	-17 15 12.93	371 120.887
6	5 48 53.498	22 11 19.98	385 336.147	6	16 13 15.074	-18 9 46.62	372 421.037
12	6 2 59.559	22 29 35.54	384 295.805	12	16 27 34.688	-18 59 59.42	373 770.695
18	6 17 13.209	22 43 17.92	383 239.156	18	16 41 55.883	-19 45 42.17	375 162.475
20 0	6 31 33.698	22 52 18.75	382 167.892	31 0	16 56 18.024	-20 26 47.30	376 588.829
6	6 46 0.199	22 56 30.76	381 083.981	6	17 10 40.402	-21 3 8.89	378 042.122
12	7 0 31.821	22 55 47.89	379 989.684	12	17 25 2.242	-21 34 42.67	379 514.686
18	7 15 7.623	22 50 5.39	378 887.565	18	17 39 22.720	-22 1 26.02	380 998.890
21 0	7 29 46.634	22 39 19.91	377 780.507	Nov. 1 0	17 53 40.978	-22 23 17.88	382 487.192
6	7 44 27.874	22 23 29.61	376 671.718	6	18 7 56.147	-22 40 18.76	383 972.197
12	7 59 10.370	22 2 34.17	375 564.731	12	18 22 7.357	-22 52 30.62	385 446.702
18	8 13 53.178	21 36 34.88	374 463.403	18	18 36 13.760	-22 59 56.78	386 903.742
22 0	8 28 35.404	21 5 34.58	373 371.911	2 0	18 50 14.548	-23 2 41.79	388 336.629
6	8 43 16.218	20 29 37.74	372 294.734	6	19 4 8.964	-23 0 51.36	389 738.985
12	8 57 54.871	19 48 50.38	371 236.642	12	19 17 56.316	-22 54 32.16	391 104.777
18	9 12 30.707	19 3 20.07	370 202.665	18	19 31 35.994	-22 43 51.74	392 428.334
23 0	9 27 3.173	18 13 15.86	369 198.068	3 0	19 45 7.469	-22 28 58.36	393 704.376
6	9 41 31.825	17 18 48.21	368 228.313	6	19 58 30.308	-22 10 0.85	394 928.026
12	9 55 56.333	16 20 8.95	367 299.015	12	20 11 44.173	-21 47 8.51	396 094.825
18	10 10 16.479	15 17 31.17	366 415.899	18	20 24 48.821	-21 20 30.97	397 200.740

LUNE 2019 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	20 37 44.108	-20 50 18.06	398 242.172	Nov. 15 0	5 21 42.945	21 32 35.08	385 795.991
6	20 50 29.982	-20 16 39.76	399 215.957	6	5 35 43.135	22 0 6.35	384 975.476
12	21 3 6.479	-19 39 46.06	400 119.368	12	5 49 51.554	22 23 13.97	384 162.170
18	21 15 33.722	-18 59 46.94	400 950.111	18	6 4 7.420	22 41 47.96	383 356.537
5 0	21 27 51.910	-18 16 52.25	401 706.321	16 0	6 18 29.856	22 55 39.55	382 558.947
6	21 40 1.314	-17 31 11.73	402 386.557	6	6 32 57.894	23 4 41.23	381 769.700
12	21 52 2.269	-16 42 54.93	402 989.788	12	6 47 30.501	23 8 46.93	380 989.055
18	22 3 55.169	-15 52 11.21	403 515.390	18	7 2 6.593	23 7 52.09	380 217.250
6 0	22 15 40.460	-14 59 9.71	403 963.126	17 0	7 16 45.056	23 1 53.71	379 454.535
6	22 27 18.631	-14 3 59.37	404 333.138	6	7 31 24.776	22 50 50.47	378 701.194
12	22 38 50.212	-13 6 48.94	404 625.929	12	7 46 4.656	22 34 42.67	377 957.575
18	22 50 15.766	-12 7 46.95	404 842.348	18	8 0 43.640	22 13 32.27	377 224.116
7 0	23 1 35.885	-11 7 1.80	404 983.571	18 0	8 15 20.736	21 47 22.84	376 501.370
6	23 12 51.188	-10 4 41.71	405 051.085	6	8 29 55.036	21 16 19.48	375 790.028
12	23 24 2.312	-9 0 54.82	405 046.666	12	8 44 25.729	20 40 28.78	375 090.942
18	23 35 9.912	-7 55 49.16	404 972.359	18	8 58 52.117	19 59 58.70	374 405.144
8 0	23 46 14.659	-6 49 32.73	404 830.456	19 0	9 13 13.623	19 14 58.46	373 733.861
6	23 57 17.233	-5 42 13.53	404 623.475	6	9 27 29.797	18 25 38.45	373 078.530
12	0 8 18.326	-4 33 59.57	404 354.137	12	9 41 40.319	17 32 10.08	372 440.807
18	0 19 18.636	-3 24 58.96	404 025.342	18	9 55 44.998	16 34 45.72	371 822.572
9 0	0 30 18.866	-2 15 19.89	403 640.145	20 0	10 9 43.769	15 33 38.56	371 225.929
6	0 41 19.726	-1 5 10.73	403 201.730	6	10 23 36.686	14 29 2.51	370 653.205
12	0 52 21.923	0 5 20.00	402 713.389	12	10 37 23.915	13 21 12.15	370 106.937
18	1 3 26.166	1 16 3.51	402 178.493	18	10 51 5.728	12 10 22.61	369 589.863
10 0	1 14 33.163	2 26 50.78	401 600.467	21 0	11 4 42.486	10 56 49.56	369 104.903
6	1 25 43.616	3 37 32.47	400 982.770	6	11 18 14.637	9 40 49.09	368 655.133
12	1 36 58.221	4 47 58.94	400 328.864	12	11 31 42.700	8 22 37.75	368 243.759
18	1 48 17.663	5 58 0.17	399 642.194	18	11 45 7.253	7 2 32.45	367 874.084
11 0	1 59 42.614	7 7 25.79	398 926.162	22 0	11 58 28.928	5 40 50.46	367 549.471
6	2 11 13.731	8 16 5.01	398 184.105	6	12 11 48.394	4 17 49.38	367 273.301
12	2 22 51.646	9 23 46.67	397 419.276	12	12 25 6.349	2 53 47.14	367 048.931
18	2 34 36.967	10 30 19.16	396 634.817	18	12 38 23.511	1 29 1.95	366 879.646
12 0	2 46 30.266	11 35 30.49	395 833.749	23 0	12 51 40.606	0 3 52.30	366 768.611
6	2 58 32.078	12 39 8.28	395 018.947	6	13 4 58.355	-1 21 23.10	366 718.819
12	3 10 42.891	13 40 59.74	394 193.130	12	13 18 17.471	-2 46 25.30	366 733.047
18	3 23 3.138	14 40 51.78	393 358.845	18	13 31 38.642	-4 10 55.20	366 813.800
13 0	3 35 33.188	15 38 30.98	392 518.458	24 0	13 45 2.522	-5 34 33.57	366 963.267
6	3 48 13.337	16 33 43.71	391 674.147	6	13 58 29.723	-6 57 1.13	367 183.277
12	4 1 3.804	17 26 16.16	390 827.892	12	14 12 0.800	-8 17 58.62	367 475.254
18	4 14 4.712	18 15 54.43	389 981.480	18	14 25 36.244	-9 37 6.88	367 840.185
14 0	4 27 16.088	19 2 24.66	389 136.497	25 0	14 39 16.468	-10 54 6.95	368 278.581
6	4 40 37.852	19 45 33.10	388 294.337	6	14 53 1.799	-12 8 40.19	368 790.460
12	4 54 9.811	20 25 6.28	387 456.209	12	15 6 52.464	-13 20 28.38	369 375.318
18	5 7 51.653	21 0 51.11	386 623.139	18	15 20 48.585	-14 29 13.91	370 032.125

LUNE 2019 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 km	Date	asc. droite			déclinaison			distance km		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Nov. 26	0	15	34	50.165	-15	34	39.84	370 759.311	Déc. 7	0	0	59	50.385	0	44	26.26	402 354.170
	6	15	48	57.088	-16	36	30.13	371 554.774		6	1	10	52.292	1	55	12.31	401 767.870
	12	16	3	9.108	-17	34	29.73	372 415.882		12	1	21	57.481	3	5	57.65	401 118.576
	18	16	17	25.853	-18	28	24.78	373 339.493		18	1	33	6.753	4	16	33.55	400 410.032
27	0	16	31	46.818	-19	18	2.72	374 321.975	8	0	1	44	20.904	5	26	50.87	399 646.237
	6	16	46	11.377	-20	3	12.44	375 359.233		6	1	55	40.718	6	36	40.07	398 831.414
	12	17	0	38.786	-20	43	44.40	376 446.742		12	2	7	6.967	7	45	51.12	397 969.989
	18	17	15	8.197	-21	19	30.75	377 579.582		18	2	18	40.405	8	54	13.49	397 066.564
28	0	17	29	38.668	-21	50	25.36	378 752.485	9	0	2	30	21.761	10	1	36.11	396 125.886
	6	17	44	9.188	-22	16	23.91	379 959.873		6	2	42	11.732	11	7	47.34	395 152.819
	12	17	58	38.692	-22	37	23.93	381 195.909		12	2	54	10.981	12	12	34.99	394 152.313
	18	18	13	6.084	-22	53	24.70	382 454.545		18	3	6	20.121	13	15	46.25	393 129.369
29	0	18	27	30.265	-23	4	27.31	383 729.567	10	0	3	18	39.710	14	17	7.79	392 089.013
	6	18	41	50.149	-23	10	34.50	385 014.649		6	3	31	10.241	15	16	25.71	391 036.254
	12	18	56	4.693	-23	11	50.60	386 303.399		12	3	43	52.126	16	13	25.66	389 976.055
	18	19	10	12.913	-23	8	21.37	387 589.407		18	3	56	45.689	17	7	52.84	388 913.298
30	0	19	24	13.906	-23	0	13.88	388 866.293	11	0	4	9	51.150	17	59	32.14	387 852.753
	6	19	38	6.860	-22	47	36.32	390 127.747		6	4	23	8.616	18	48	8.22	386 799.038
	12	19	51	51.076	-22	30	37.85	391 367.573		12	4	36	38.065	19	33	25.67	385 756.595
	18	20	5	25.964	-22	9	28.40	392 579.731		18	4	50	19.338	20	15	9.13	384 729.657
Déc. 1	0	20	18	51.060	-21	44	18.49	393 758.368	12	0	5	4	12.131	20	53	3.54	383 722.217
	6	20	32	6.018	-21	15	19.11	394 897.854		6	5	18	15.987	21	26	54.26	382 738.006
	12	20	45	10.617	-20	42	41.53	395 992.814		12	5	32	30.292	21	56	27.34	381 780.470
	18	20	58	4.752	-20	6	37.16	397 038.153		18	5	46	54.282	22	21	29.69	380 852.746
2	0	21	10	48.429	-19	27	17.45	398 029.084	13	0	6	1	27.042	22	41	49.38	379 957.649
	6	21	23	21.760	-18	44	53.74	398 961.147		6	6	16	7.523	22	57	15.79	379 097.661
	12	21	35	44.954	-17	59	37.25	399 830.229		12	6	30	54.554	23	7	39.86	378 274.919
	18	21	47	58.307	-17	11	38.92	400 632.581		18	6	45	46.864	23	12	54.25	377 491.215
3	0	22	0	2.193	-16	21	9.43	401 364.831	14	0	7	0	43.108	23	12	53.50	376 747.993
	6	22	11	57.057	-15	28	19.12	402 023.997		6	7	15	41.897	23	7	34.17	376 046.358
	12	22	23	43.406	-14	33	18.00	402 607.494		12	7	30	41.823	22	56	54.89	375 387.082
	18	22	35	21.799	-13	36	15.71	403 113.142		18	7	45	41.497	22	40	56.40	374 770.621
4	0	22	46	52.839	-12	37	21.55	403 539.171	15	0	8	0	39.578	22	19	41.52	374 197.133
	6	22	58	17.172	-11	36	44.49	403 884.224		6	8	15	34.801	21	53	15.12	373 666.497
	12	23	9	35.473	-10	34	33.19	404 147.357		12	8	30	26.002	21	21	43.99	373 178.342
	18	23	20	48.446	-9	30	56.01	404 328.038		18	8	45	12.143	20	45	16.72	372 732.074
5	0	23	31	56.820	-8	26	1.09	404 426.147	16	0	8	59	52.329	20	4	3.51	372 326.906
	6	23	43	1.340	-7	19	56.35	404 441.966		6	9	14	25.816	19	18	16.06	371 961.892
	12	23	54	2.768	-6	12	49.57	404 376.181		12	9	28	52.021	18	28	7.29	371 635.963
	18	0	5	1.878	-5	4	48.39	404 229.867		18	9	43	10.525	17	33	51.19	371 347.959
6	0	0	15	59.456	-3	56	0.42	404 004.483	17	0	9	57	21.068	16	35	42.64	371 096.664
	6	0	26	56.294	-2	46	33.26	403 701.859		6	10	11	23.546	15	33	57.23	370 880.843
	12	0	37	53.193	-1	36	34.56	403 324.187		12	10	25	18.001	14	28	51.04	370 699.273
	18	0	48	50.954	-0	26	12.08	402 874.002		18	10	39	4.608	13	20	40.59	370 550.778

LUNE 2019 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	10 52 43.668	12 9 42.63	370 434.252	Déc. 26 0	18 5 20.212	-22 46 15.27	383 388.655
6	11 6 15.591	10 56 14.08	370 348.692	6	18 19 42.049	-23 0 10.90	384 349.200
12	11 19 40.882	9 40 31.95	370 293.220	12	18 34 1.965	-23 9 12.35	385 331.523
18	11 33 0.130	8 22 53.24	370 267.097	18	18 48 18.815	-23 13 21.25	386 332.217
19 0	11 46 13.993	7 3 34.93	370 269.748	27 0	19 2 31.475	-23 12 40.89	387 347.605
6	11 59 23.188	5 42 53.96	370 300.764	6	19 16 38.866	-23 7 16.11	388 373.761
12	12 12 28.476	4 21 7.17	370 359.916	12	19 30 39.975	-22 57 13.17	389 406.538
18	12 25 30.650	2 58 31.32	370 447.155	18	19 44 33.874	-22 42 39.65	390 441.591
20 0	12 38 30.530	1 35 23.11	370 562.609	28 0	19 58 19.734	-22 23 44.28	391 474.407
6	12 51 28.946	0 11 59.16	370 706.578	6	20 11 56.841	-22 0 36.73	392 500.339
12	13 4 26.733	-1 11 23.93	370 879.525	12	20 25 24.600	-21 33 27.50	393 514.634
18	13 17 24.717	-2 34 29.64	371 082.055	18	20 38 42.542	-21 2 27.72	394 512.468
21 0	13 30 23.711	-3 57 1.45	371 314.902	29 0	20 51 50.325	-20 27 48.97	395 488.978
6	13 43 24.502	-5 18 42.85	371 578.905	6	21 4 47.732	-19 49 43.14	396 439.293
12	13 56 27.841	-6 39 17.37	371 874.979	12	21 17 34.668	-19 8 22.26	397 358.571
18	14 9 34.436	-7 58 28.55	372 204.094	18	21 30 11.151	-18 23 58.41	398 242.029
22 0	14 22 44.940	-9 15 59.97	372 567.235	30 0	21 42 37.308	-17 36 43.58	399 084.972
6	14 35 59.943	-10 31 35.26	372 965.376	6	21 54 53.363	-16 46 49.57	399 882.829
12	14 49 19.958	-11 44 58.21	373 399.446	12	22 6 59.632	-15 54 27.95	400 631.175
18	15 2 45.413	-12 55 52.74	373 870.294	18	22 18 56.507	-14 59 49.94	401 325.766
23 0	15 16 16.643	-14 4 3.04	374 378.653	31 0	22 30 44.454	-14 3 6.45	401 962.563
6	15 29 53.874	-15 9 13.61	374 925.112	6	22 42 24.002	-13 4 27.96	402 537.754
12	15 43 37.219	-16 11 9.40	375 510.078	12	22 53 55.731	-12 4 4.58	403 047.784
18	15 57 26.669	-17 9 35.91	376 133.752	18	23 5 20.269	-11 2 6.02	403 489.371
24 0	16 11 22.084	-18 4 19.34	376 796.099	32 0	23 16 38.286	-9 58 41.60	403 859.530
6	16 25 23.191	-18 55 6.69	377 496.820	6	23 27 50.482	-8 54 0.27	404 155.591
12	16 39 29.584	-19 41 45.94	378 235.338	12	23 38 57.589	-7 48 10.66	404 375.217
18	16 53 40.722	-20 24 6.19	379 010.774	18	23 50 0.363	-6 41 21.05	404 516.419
25 0	17 7 55.934	-21 1 57.77	379 821.937	33 0	0 0 59.578	-5 33 39.52	404 577.569
6	17 22 14.431	-21 35 12.43	380 667.312	6	0 11 56.029	-4 25 13.87	404 557.417
12	17 36 35.315	-22 3 43.40	381 545.057	12	0 22 50.523	-3 16 11.76	404 455.097
18	17 50 57.596	-22 27 25.51	382 453.003	18	0 33 43.880	-2 6 40.75	404 270.138

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 2019 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	222 25 54.77	0 43 14.01	0.445 722 05	Févr.	15	16 13 1.62	- 3 44 3.14	0.337 562 93
	1	225 24 30.71	0 21 21.65	0.448 936 55		16	21 32 32.98	- 3 9 59.95	0.332 594 82
	2	228 20 39.41	- 0 0 16.19	0.451 895 33		17	27 1 5.45	- 2 33 14.42	0.327 933 46
	3	231 14 36.58	- 0 21 37.84	0.454 593 88		18	32 38 24.60	- 1 54 0.70	0.323 631 16
	4	234 6 37.32	- 0 42 41.85	0.457 028 30		19	38 24 6.94	- 1 12 38.54	0.319 739 86
	5	236 56 56.18	- 1 3 26.88	0.459 195 25		20	44 17 39.03	- 0 29 33.52	0.316 309 86
	6	239 45 47.21	- 1 23 51.73	0.461 091 86		21	50 18 16.94	0 14 43.09	0.313 388 27
	7	242 33 24.04	- 1 43 55.27	0.462 715 73		22	56 25 6.04	0 59 34.83	0.311 017 42
	8	245 19 59.93	- 2 3 36.43	0.464 064 88		23	62 37 1.40	1 44 21.16	0.309 233 19
	9	248 5 47.83	- 2 22 54.17	0.465 137 69		24	68 52 48.71	2 28 18.90	0.308 063 56
	10	250 51 0.41	- 2 41 47.47	0.465 932 92		25	75 11 5.86	3 10 44.13	0.307 527 33
	11	253 35 50.18	- 3 0 15.29	0.466 449 65		26	81 30 25.09	3 50 54.29	0.307 633 25
	12	256 20 29.45	- 3 18 16.55	0.466 687 31		27	87 49 15.67	4 28 10.25	0.308 379 57
	13	259 5 10.48	- 3 35 50.13	0.466 645 63		28	94 6 6.80	5 1 58.20	0.309 754 17
14	261 50 5.45	- 3 52 54.84	0.466 324 66	Mars	1	100 19 30.60	5 31 51.10	0.311 735 12	
15	264 35 26.58	- 4 9 29.40	0.465 724 75		2	106 28 4.97	5 57 29.62	0.314 291 67	
16	267 21 26.12	- 4 25 32.43	0.464 846 58		3	112 30 35.92	6 18 42.40	0.317 385 65	
17	270 8 16.45	- 4 41 2.42	0.463 691 17		4	118 25 59.46	6 35 25.80	0.320 972 97	
18	272 56 10.10	- 4 55 57.72	0.462 259 86		5	124 13 22.73	6 47 43.11	0.325 005 30	
19	275 45 19.81	- 5 10 16.50	0.460 554 37		6	129 52 4.47	6 55 43.53	0.329 431 64	
20	278 35 58.57	- 5 23 56.78	0.458 576 83		7	135 21 34.86	6 59 40.87	0.334 199 77	
21	281 28 19.71	- 5 36 56.35	0.456 329 75		8	140 41 34.92	6 59 52.27	0.339 257 58	
22	284 22 36.89	- 5 49 12.78	0.453 816 14		9	145 51 55.44	6 56 37.01	0.344 554 03	
23	287 19 4.20	- 6 0 43.38	0.451 039 52		10	150 52 35.78	6 50 15.43	0.350 040 02	
24	290 17 56.16	- 6 11 25.20	0.448 003 94		11	155 43 42.51	6 41 8.09	0.355 668 99	
25	293 19 27.84	- 6 21 14.97	0.444 714 11		12	160 25 28.05	6 29 35.07	0.361 397 25	
26	296 23 54.83	- 6 30 9.09	0.441 175 41		13	164 58 9.45	6 15 55.51	0.367 184 27	
27	299 31 33.32	- 6 38 3.63	0.437 394 01		14	169 22 7.21	6 0 27.29	0.372 992 73	
28	302 42 40.15	- 6 44 54.24	0.433 376 94	15	173 37 44.30	5 43 26.82	0.378 788 52		
29	305 57 32.82	- 6 50 36.19	0.429 132 20	16	177 45 25.31	5 25 8.98	0.384 540 67		
30	309 16 29.53	- 6 55 4.28	0.424 668 85	17	181 45 35.77	5 5 47.11	0.390 221 17		
Févr.	31	312 39 49.19	- 6 58 12.89	0.419 997 20	18	185 38 41.62	4 45 33.07	0.395 804 79	
	1	316 7 51.41	- 6 59 55.90	0.415 128 88	19	189 25 8.75	4 24 37.33	0.401 268 94	
	2	319 40 56.52	- 7 0 6.73	0.410 077 04	20	193 5 22.67	4 3 9.03	0.406 593 39	
	3	323 19 25.51	- 6 58 38.30	0.404 856 49	21	196 39 48.34	3 41 16.18	0.411 760 11	
	4	327 3 39.93	- 6 55 23.09	0.399 483 93	22	200 8 49.94	3 19 5.71	0.416 753 05	
	5	330 54 1.86	- 6 50 13.17	0.393 978 07	23	203 32 50.78	2 56 43.64	0.421 557 96	
	6	334 50 53.70	- 6 43 0.25	0.388 359 90	24	206 52 13.29	2 34 15.15	0.426 162 21	
	7	338 54 37.99	- 6 33 35.79	0.382 652 88	25	210 7 18.90	2 11 44.72	0.430 554 62	
	8	343 5 37.16	- 6 21 51.20	0.376 883 10	26	213 18 28.16	1 49 16.20	0.434 725 32	
	9	347 24 13.16	- 6 7 37.99	0.371 079 55	27	216 26 0.64	1 26 52.90	0.438 665 60	
	10	351 50 47.03	- 5 50 48.04	0.365 274 21	28	219 30 15.07	1 4 37.69	0.442 367 78	
	11	356 25 38.40	- 5 31 14.01	0.359 502 25	29	222 31 29.32	0 42 33.05	0.445 825 15	
	12	1 9 4.80	- 5 8 49.74	0.353 802 05	30	225 30 0.47	0 20 41.11	0.449 031 79	
	13	6 1 20.93	- 4 43 30.77	0.348 215 18	31	228 26 4.89	- 0 0 56.25	0.451 982 56	
14	11 2 37.78	- 4 15 14.94	0.342 786 33	Avril	1	231 19 58.25	- 0 22 17.38	0.454 672 98	

MERCURE 2019 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	234	11	55.64	-	0	43	20.82	0.457	099	16	Mai	18	38	34	55.73	-	1	11	19.84	0.319	629	54
	3	237	2	11.59	-	1	4	5.24	0.459	257	76		19	44	28	41.36	-	0	28	12.15	0.316	214	68
	4	239	51	0.14	-	1	24	29.45	0.461	145	96		20	50	29	31.25	0	16	6.06	0.313	309	60	
	5	242	38	34.91	-	1	44	32.31	0.462	761	35		21	56	36	30.45	1	0	58.21	0.310	956	44	
	6	245	25	9.14	-	2	4	12.76	0.464	101	96		22	62	48	33.74	1	45	43.63	0.309	190	86	
	7	248	10	55.78	-	2	23	29.76	0.465	166	19		23	69	4	26.54	2	29	39.12	0.308	040	56	
	8	250	56	7.49	-	2	42	22.29	0.465	952	80		24	75	22	46.53	3	12	0.75	0.307	524	06	
	9	253	40	56.76	-	3	0	49.29	0.466	460	90		25	81	42	5.85	3	52	6.05	0.307	649	77	
	10	256	25	35.93	-	3	18	49.71	0.466	689	91		26	88	0	53.70	4	29	16.03	0.308	415	63	
	11	259	10	17.23	-	3	36	22.41	0.466	639	58		27	94	17	39.35	5	2	57.05	0.309	809	22	
	12	261	55	12.85	-	3	53	26.20	0.466	309	96		28	100	30	55.06	5	32	42.33	0.311	808	29	
13	264	40	35.01	-	4	9	59.81	0.465	701	43	29	106	39	18.94	5	58	12.77	0.314	381	87			
14	267	26	35.96	-	4	26	1.83	0.464	814	66	30	112	41	37.32	6	19	17.25	0.317	491	57			
15	270	13	28.08	-	4	41	30.77	0.463	650	69	31	118	36	46.52	6	35	52.36	0.321	093	16			
16	273	1	23.92	-	4	56	24.96	0.462	210	87	Juin	1	124	23	54.04	6	48	1.60	0.325	138	21		
17	275	50	36.21	-	5	10	42.58	0.460	496	94		2	130	2	18.96	6	55	54.32	0.329	575	65		
18	278	41	17.97	-	5	24	21.62	0.458	511	02		3	135	31	31.84	6	59	44.44	0.334	353	27		
19	281	33	42.52	-	5	37	19.89	0.456	255	66		4	140	51	13.99	6	59	49.20	0.339	418	96		
20	284	28	3.54	-	5	49	34.93	0.453	733	88		5	146	1	16.50	6	56	27.91	0.344	721	75		
21	287	24	35.13	-	6	1	4.06	0.450	949	19		6	151	1	38.96	6	50	0.94	0.350	212	61		
22	290	23	31.84	-	6	11	44.30	0.447	905	70		7	155	52	28.13	6	40	48.84	0.355	845	05		
23	293	25	8.74	-	6	21	32.39	0.444	608	11		8	160	33	56.60	6	29	11.66	0.361	575	50		
24	296	29	41.43	-	6	30	24.73	0.441	061	84		9	165	6	21.54	6	15	28.52	0.367	363	51		
25	299	37	26.15	-	6	38	17.34	0.437	273	09		10	169	30	3.53	5	59	57.23	0.373	171	87		
26	302	48	39.73	-	6	45	5.88	0.433	248	89		11	173	45	25.61	5	42	54.18	0.378	966	58		
27	306	3	39.71	-	6	50	45.61	0.428	997	30	12	177	52	52.39	5	24	34.19	0.384	716	74			
28	309	22	44.29	-	6	55	11.31	0.424	527	41	13	181	52	49.44	5	5	10.56	0.390	394	44			
29	312	46	12.42	-	6	58	17.35	0.419	849	57	14	185	45	42.69	4	44	55.10	0.395	974	54			
30	316	14	23.73	-	6	59	57.59	0.414	975	45	15	189	31	58.01	4	23	58.22	0.401	434	52			
Mai	1	319	47	38.56	-	7	0	5.44	0.409	918	25	16	193	12	0.92	4	2	29.06	0.406	754	22		
	2	323	26	17.92	-	6	58	33.80	0.404	692	85	17	196	46	16.33	3	40	35.57	0.411	915	68		
	3	327	10	43.39	-	6	55	15.15	0.399	315	98	18	200	15	8.41	3	18	24.66	0.416	902	91		
	4	331	1	17.04	-	6	50	1.52	0.393	806	45	19	203	39	0.45	2	56	2.31	0.421	701	70		
	5	334	58	21.29	-	6	42	44.64	0.388	185	31	20	206	58	14.83	2	33	33.70	0.426	299	48		
	6	339	2	18.68	-	6	33	15.96	0.382	476	08	21	210	13	12.97	2	11	3.27	0.430	685	11		
	7	343	13	31.62	-	6	21	26.88	0.376	704	98	22	213	24	15.36	1	48	34.85	0.434	848	76		
	8	347	32	22.03	-	6	7	8.91	0.370	901	04	23	216	31	41.58	1	26	11.76	0.438	781	73		
	9	351	59	10.94	-	5	50	13.98	0.365	096	37	24	219	35	50.31	1	3	56.83	0.442	476	42		
	10	356	34	17.89	-	5	30	34.76	0.359	326	23	25	222	36	59.39	0	41	52.54	0.445	926	09		
	11	1	18	0.35	-	5	8	5.13	0.353	629	08	26	225	35	25.89	0	20	1.01	0.449	124	89		
12	6	10	32.92	-	4	42	40.70	0.348	046	61	27	228	31	26.15	-	0	1	35.88	0.452	067	67		
13	11	12	6.45	-	4	14	19.40	0.342	623	57	28	231	25	15.83	-	0	22	56.49	0.454	749	98		
14	16	22	47.06	-	3	43	2.22	0.337	407	50	29	234	17	9.99	-	0	43	59.37	0.457	167	96		
15	21	42	35.06	-	3	8	53.86	0.332	448	27	30	237	7	23.15	-	1	4	43.20	0.459	318	28		
16	27	11	23.81	-	2	32	3.53	0.327	797	40	Juill.	1	239	56	9.34	-	1	25	6.78	0.461	198	12	
17	32	48	58.64	-	1	52	45.55	0.323	507	18		2	242	43	42.15	-	1	45	8.97	0.462	805	11	

MERCURE 2019 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	245 30 14.83	- 2 4 48.72	0.464 137 26	Août	18	62 59 56.95	1 47 4.88	0.309 148 36	
	4	248 16 0.30	- 2 24 4.99	0.465 193 00		19	69 15 55.26	2 30 58.11	0.308 016 94	
	5	251 1 11.24	- 2 42 56.75	0.465 971 11		20	75 34 18.19	3 13 16.18	0.307 519 69	
	6	253 46 0.12	- 3 1 22.96	0.466 470 69		21	81 53 37.73	3 53 16.67	0.307 664 73	
	7	256 30 39.26	- 3 19 22.55	0.466 691 19		22	88 12 23.08	4 30 20.72	0.308 449 68	
	8	259 15 20.91	- 3 36 54.38	0.466 632 34		23	94 29 3.53	5 3 54.91	0.309 861 81	
	9	262 0 17.25	- 3 53 57.27	0.466 294 23		24	100 42 11.49	5 33 32.66	0.311 878 61	
	10	264 45 40.50	- 4 10 29.92	0.465 677 24		25	106 50 25.28	5 58 55.12	0.314 468 85	
	11	267 31 42.92	- 4 26 30.95	0.464 782 05		26	112 52 31.51	6 19 51.41	0.317 593 95	
	12	270 18 36.89	- 4 41 58.84	0.463 609 70		27	118 47 26.83	6 36 18.34	0.321 209 52	
	13	273 6 34.95	- 4 56 51.93	0.462 161 56		28	124 34 19.08	6 48 19.60	0.325 267 05	
	14	275 55 49.86	- 5 11 8.39	0.460 439 38		29	130 12 27.70	6 56 4.70	0.329 715 40	
	15	278 46 34.64	- 5 24 46.21	0.458 445 30		30	135 41 23.57	6 59 47.69	0.334 502 36	
	16	281 39 2.61	- 5 37 43.18	0.456 181 87		31	141 0 48.33	6 59 45.88	0.339 575 83	
	17	284 33 27.47	- 5 49 56.84	0.453 652 12		Sept.	1	146 10 33.31	6 56 18.63	0.344 884 90
	18	287 30 3.33	- 6 1 24.50	0.450 859 61			2	151 10 38.36	6 49 46.32	0.350 380 61
	19	290 29 4.76	- 6 12 3.18	0.447 808 43			3	156 1 10.44	6 40 29.49	0.356 016 55
20	293 30 46.83	- 6 21 49.60	0.444 503 32	4	160 42 22.28		6 28 48.18	0.361 749 24		
21	296 35 25.18	- 6 30 40.14	0.440 949 71	5	165 14 31.17		6 15 1.47	0.367 538 33		
22	299 43 16.05	- 6 38 30.84	0.437 153 82	6	169 37 57.77		5 59 27.14	0.373 346 72		
23	302 54 36.29	- 6 45 17.33	0.433 122 74	7	173 53 5.19		5 42 21.51	0.379 140 48		
24	306 9 43.47	- 6 50 54.84	0.428 864 52	8	178 0 18.07		5 23 59.37	0.384 888 83		
25	309 28 55.80	- 6 55 18.17	0.424 388 31	9	182 0 2.00		5 4 33.97	0.390 563 93		
26	312 52 32.26	- 6 58 21.65	0.419 704 48	10	185 52 42.91		4 44 17.08	0.396 140 73		
27	316 20 52.49	- 6 59 59.14	0.414 824 76	11	189 38 46.66		4 23 19.07	0.401 596 78		
28	319 54 16.86	- 7 0 4.03	0.409 762 39	12	193 18 38.76		4 1 49.04	0.406 911 99		
29	323 33 6.38	- 6 58 29.21	0.404 532 29	13	196 52 44.10		3 39 54.90	0.412 068 45		
30	327 17 42.67	- 6 55 7.13	0.399 151 27	14	200 21 26.82		3 17 43.54	0.417 050 24		
31	331 8 27.81	- 6 49 49.84	0.393 638 19	15	203 45 10.18		2 55 20.92	0.421 843 20		
Août	1	335 5 44.20	- 6 42 29.04	0.388 014 17	16		207 4 16.53	2 32 52.17	0.426 434 80	
	2	339 9 54.41	- 6 32 56.18	0.382 302 81	17		210 19 7.28	2 10 21.73	0.430 813 95	
	3	343 21 20.82	- 6 21 2.66	0.376 530 41	18	213 30 2.87	1 47 53.42	0.434 970 83		
	4	347 40 25.35	- 6 6 40.01	0.370 726 10	19	216 37 22.86	1 25 30.53	0.438 896 80		
	5	352 7 28.97	- 5 49 40.16	0.364 922 07	20	219 41 25.90	1 3 15.89	0.442 584 27		
	6	356 42 51.18	- 5 29 55.82	0.359 153 67	21	222 42 29.82	0 41 11.95	0.446 026 55		
	7	1 26 49.37	- 5 7 20.92	0.353 459 47	22	225 40 51.66	0 19 20.84	0.449 217 78		
	8	6 19 38.05	- 4 41 51.12	0.347 881 25	23	228 36 47.72	- 0 2 15.57	0.452 152 85		
	9	11 21 27.92	- 4 13 24.45	0.342 463 85	24	231 30 33.67	- 0 23 35.67	0.454 827 33		
	10	16 32 24.96	- 3 42 1.98	0.337 254 89	25	234 22 24.54	- 0 44 37.98	0.457 237 36		
	11	21 52 29.29	- 3 7 48.56	0.332 304 29	26	237 12 34.83	- 1 5 21.20	0.459 379 64		
	12	27 21 34.04	- 2 30 53.52	0.327 663 61	27	240 1 18.56	- 1 25 44.13	0.461 251 36		
	13	32 59 24.27	- 1 51 31.37	0.323 385 14	28	242 48 49.32	- 1 45 45.64	0.462 850 14		
	14	38 45 35.89	- 1 10 2.18	0.319 520 79	29	245 35 20.33	- 2 5 24.68	0.464 174 04		
	15	44 39 34.85	- 0 26 51.90	0.316 120 68	30	248 21 4.52	- 2 24 40.20	0.465 221 49		
	16	50 40 36.56	0 17 27.86	0.313 231 68	Oct.	1	251 6 14.55	- 2 43 31.18	0.465 991 25	
	17	56 47 45.78	1 2 20.37	0.310 895 76		2	253 51 2.88	- 3 1 56.58	0.466 482 46	

MERCURE 2019 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	256	35	41.85	-	3	19	55.32	0.466	694	56	Nov.	18	88	24	1.09	4	31	26.06	0.308	478	88
	4	259	20	23.69	-	3	37	26.27	0.466	627	32		19	94	40	36.94	5	4	53.38	0.309	910	05
	5	262	5	20.60	-	3	54	28.23	0.466	280	80		20	100	53	37.65	5	34	23.54	0.311	945	10
	6	264	50	44.77	-	4	10	59.92	0.465	655	40		21	107	1	41.78	5	59	37.94	0.314	552	57
	7	267	36	48.48	-	4	26	59.95	0.464	751	82		22	113	3	36.20	6	20	25.94	0.317	693	65
	8	270	23	44.12	-	4	42	26.78	0.463	571	11		23	118	58	17.88	6	36	44.58	0.321	323	80
	9	273	11	44.24	-	4	57	18.76	0.462	114	65		24	124	44	55.02	6	48	37.76	0.325	394	39
	10	276	1	1.58	-	5	11	34.05	0.460	384	19		25	130	22	47.41	6	56	15.14	0.329	854	24
	11	278	51	49.20	-	5	25	10.64	0.458	381	88		26	135	51	26.27	6	59	50.88	0.334	651	10
	12	281	44	20.41	-	5	38	6.30	0.456	110	30		27	141	10	33.56	6	59	42.39	0.339	732	90
	13	284	38	48.94	-	5	50	18.58	0.453	572	49		28	146	20	0.90	6	56	9.07	0.345	048	77
	14	287	35	28.90	-	6	1	44.78	0.450	772	00		29	151	19	48.37	6	49	31.33	0.350	549	80
15	290	34	34.87	-	6	12	21.90	0.447	712	97	30	156	10	3.13	6	40	9.70	0.356	189	68		
16	293	36	21.96	-	6	22	6.66	0.444	400	15	Déc.	1	160	50	58.09	6	28	24.20	0.361	925	01	
17	296	41	5.81	-	6	30	55.42	0.440	838	99		2	165	22	50.64	6	14	33.86	0.367	715	55	
18	299	49	2.68	-	6	38	44.21	0.437	035	74		3	169	46	1.57	5	58	56.43	0.373	524	27	
19	303	0	29.46	-	6	45	28.66	0.432	997	51		4	174	0	54.01	5	41	48.19	0.379	317	36	
20	306	15	43.72	-	6	51	3.98	0.428	732	38		5	178	7	52.67	5	23	23.88	0.385	064	12	
21	309	35	3.71	-	6	55	24.96	0.424	249	54		6	182	7	23.16	5	3	56.69	0.390	736	79	
22	312	58	48.41	-	6	58	25.90	0.419	559	40	7	185	59	51.41	4	43	38.36	0.396	310	42		
23	316	27	17.50	-	7	0	0.67	0.414	673	72	8	189	45	43.28	4	22	39.21	0.401	762	62		
24	320	0	51.38	-	7	0	2.62	0.409	605	81	9	193	25	24.27	4	1	8.30	0.407	073	38		
25	323	39	51.07	-	6	58	24.64	0.404	370	64	10	196	59	19.24	3	39	13.52	0.412	224	86		
26	327	24	38.21	-	6	54	59.18	0.398	985	07	11	200	27	52.32	3	17	1.72	0.417	201	18		
27	331	15	34.88	-	6	49	38.25	0.393	468	02	12	203	51	26.73	2	54	38.83	0.421	988	24		
28	335	13	3.53	-	6	42	13.54	0.387	840	71	13	207	10	24.81	2	32	9.97	0.426	573	56		
29	339	17	26.69	-	6	32	36.53	0.382	126	81	14	210	25	7.92	2	9	39.55	0.430	946	08		
30	343	29	6.76	-	6	20	38.59	0.376	352	68	15	213	35	56.50	1	47	11.36	0.435	096	05		
31	347	48	25.62	-	6	6	11.26	0.370	547	58	16	216	43	10.06	1	24	48.69	0.439	014	84		
Nov.	1	352	15	44.23	-	5	49	6.50	0.364	743	77	17	219	47	7.24	1	2	34.35	0.442	694	89	
2	356	51	22.04	-	5	29	17.04	0.358	976	71	18	222	48	5.83	0	40	30.79	0.446	129	54		
3	1	35	36.35	-	5	6	36.85	0.353	285	08	19	225	46	22.86	0	18	40.12	0.449	312	96		
4	6	28	41.57	-	4	41	1.65	0.347	710	74	20	228	42	14.61	-	0	2	55.81	0.452	240	07	
5	11	30	48.30	-	4	12	29.57	0.342	298	64	21	231	35	56.72	-	0	24	15.36	0.454	906	45	
6	16	42	2.35	-	3	41	1.76	0.337	096	48	22	234	27	44.20	-	0	45	17.09	0.457	308	25	
7	22	2	23.63	-	3	6	43.21	0.332	154	24	23	237	17	51.56	-	1	5	59.68	0.459	442	21	
8	27	31	45.05	-	2	29	43.40	0.327	523	53	24	240	6	32.78	-	1	26	21.95	0.461	305	52	
9	33	9	51.41	-	1	50	16.99	0.323	256	66	25	242	54	1.44	-	1	46	22.78	0.462	895	82	
10	38	56	18.34	-	1	8	44.24	0.319	405	49	26	245	40	30.77	-	2	6	1.09	0.464	211	17	
11	44	50	31.44	-	0	25	31.28	0.316	020	09	27	248	26	13.67	-	2	25	15.86	0.465	250	02	
12	50	51	45.82	0	18	50.11	0.313	147	20	28	251	11	22.80	-	2	44	6.05	0.466	011	15		
13	56	59	5.89	1	3	43.07	0.310	828	63	29	253	56	10.63	-	3	2	30.62	0.466	493	70		
14	63	11	25.79	1	48	26.72	0.309	099	60	30	256	40	49.47	-	3	20	28.50	0.466	697	13		
15	69	27	30.42	2	32	17.75	0.307	987	29	31	259	25	31.56	-	3	37	58.56	0.466	621	20		
16	75	45	57.07	3	14	32.27	0.307	509	62	32	262	10	29.10	-	3	54	59.59	0.466	266	01		
17	82	5	17.59	3	54	27.95	0.307	674	38	33	264	55	54.29	-	4	11	30.31	0.465	631	95		

VÉBUS 2019 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				
Janv.	0	138	24	38.87	2	59	31.42	0.71849071	Avril	2	286	2	49.94	-	1	40	8.58	0.72772081		
	2	141	39	41.57	3	4	41.21	0.71853147		4	289	12	35.15	-	1	49	46.81	0.72783113		
	4	144	54	44.47	3	9	15.36	0.71858741		6	292	22	19.12	-	1	59	4.84	0.72792754		
	6	148	9	46.91	3	13	13.00	0.71865835		8	295	32	2.39	-	2	8	1.00	0.72800973		
	8	151	24	48.19	3	16	33.37	0.71874405		10	298	41	45.46	-	2	16	33.68	0.72807746		
	10	154	39	47.61	3	19	15.83	0.71884424		12	301	51	28.84	-	2	24	41.35	0.72813053		
	12	157	54	44.48	3	21	19.89	0.71895859		14	305	1	12.99	-	2	32	22.56	0.72816878		
	14	161	9	38.11	3	22	45.18	0.71908673		16	308	10	58.36	-	2	39	35.92	0.72819208		
	16	164	24	27.78	3	23	31.46	0.71922825		18	311	20	45.39	-	2	46	20.13	0.72820036		
	18	167	39	12.82	3	23	38.62	0.71938267		20	314	30	34.47	-	2	52	33.98	0.72819361		
	20	170	53	52.56	3	23	6.70	0.71954951		22	317	40	25.98	-	2	58	16.33	0.72817183		
	22	174	8	26.35	3	21	55.85	0.71972823		24	320	50	20.27	-	3	3	26.13	0.72813510		
	24	177	22	53.56	3	20	6.35	0.71991824		26	324	0	17.68	-	3	8	2.45	0.72808352		
	26	180	37	13.58	3	17	38.63	0.72011895		28	327	10	18.49	-	3	12	4.43	0.72801724		
	28	183	51	25.87	3	14	33.23	0.72032970		30	330	20	23.00	-	3	15	31.32	0.72793646		
	Févr.	30	187	5	29.88	3	10	50.82		0.72054982	Mai	2	333	30	31.45	-	3	18	22.46	0.72784143
		1	190	19	25.13	3	6	32.17		0.72077860		4	336	40	44.08	-	3	20	37.32	0.72773243
		3	193	33	11.18	3	1	38.19		0.72101532		6	339	51	1.09	-	3	22	15.43	0.72760979
5		196	46	47.63	2	56	9.91	0.72125922	8	343		1	22.68	-	3	23	16.48	0.72747388		
7		200	0	14.13	2	50	8.42	0.72150953	10	346		11	49.03	-	3	23	40.22	0.72732511		
9		203	13	30.39	2	43	34.97	0.72176546	12	349		22	20.27	-	3	23	26.55	0.72716392		
11		206	26	36.16	2	36	30.88	0.72202619	14	352		32	56.57	-	3	22	35.45	0.72699082		
13		209	39	31.26	2	28	57.54	0.72229090	16	355		43	38.04	-	3	21	7.03	0.72680632		
15		212	52	15.57	2	20	56.48	0.72255876	18	358		54	24.79	-	3	19	1.50	0.72661098		
17		216	4	48.99	2	12	29.26	0.72282892	20	2		5	16.94	-	3	16	19.19	0.72640540		
19		219	17	11.52	2	3	37.55	0.72310055	22	5		16	14.59	-	3	13	0.53	0.72619021		
21		222	29	23.19	1	54	23.07	0.72337279	24	8		27	17.82	-	3	9	6.08	0.72596607		
23		225	41	24.08	1	44	47.60	0.72364479	26	11		38	26.72	-	3	4	36.48	0.72573366		
25		228	53	14.35	1	34	52.98	0.72391571	28	14		49	41.38	-	2	59	32.52	0.72549369		
27		232	4	54.17	1	24	41.12	0.72418470	30	18		1	1.87	-	2	53	55.05	0.72524690		
Mars		1	235	16	23.80	1	14	13.95	0.72445092	Juin		1	21	12	28.29	-	2	47	45.05	0.72499406
		3	238	27	43.53	1	3	33.44	0.72471357			3	24	24	0.72	-	2	41	3.62	0.72473594
		5	241	38	53.68	0	52	41.59	0.72497181			5	27	35	39.23	-	2	33	51.92	0.72447335
	7	244	49	54.62	0	41	40.45	0.72522486	7		30	47	23.91	-	2	26	11.24	0.72420709		
	9	248	0	46.77	0	30	32.05	0.72547194	9		33	59	14.86	-	2	18	2.94	0.72393799		
	11	251	11	30.56	0	19	18.46	0.72571229	11		37	11	12.15	-	2	9	28.49	0.72366690		
	13	254	22	6.47	0	8	1.74	0.72594517	13		40	23	15.88	-	2	0	29.44	0.72339465		
	15	257	32	35.00	-	0	3	16.02	0.72616988		15	43	35	26.15	-	1	51	7.43	0.72312211	
	17	260	42	56.67	-	0	14	32.78	0.72638571		17	46	47	43.03	-	1	41	24.16	0.72285011	
	19	263	53	12.01	-	0	25	46.46	0.72659202		19	50	0	6.62	-	1	31	21.41	0.72257953	
	21	267	3	21.59	-	0	36	55.05	0.72678817		21	53	12	37.00	-	1	21	1.04	0.72231120	
	23	270	13	25.97	-	0	47	56.51	0.72697357		23	56	25	14.27	-	1	10	24.97	0.72204598	
	25	273	23	25.72	-	0	58	48.86	0.72714766		25	59	37	58.50	-	0	59	35.16	0.72178471	
	27	276	33	21.42	-	1	9	30.14	0.72730990		27	62	50	49.75	-	0	48	33.64	0.72152821	
	29	279	43	13.64	-	1	19	58.44	0.72745980		29	66	3	48.10	-	0	37	22.49	0.72127729	
	31	282	53	2.96	-	1	30	11.86	0.72759691		Juill.	1	69	16	53.57	-	0	26	3.80	0.72103276

VÉNUS 2019 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	72	30	6.22	-	0	14	39.72	0.720 795 39	Oct.	3	221	22	9.42	1	57	39.50	0.723 285 34	
	5	75	43	26.05	-	0	3	12.42	0.720 565 94	5	224	34	13.84	1	48	11.17	0.723 557 40		
	7	78	56	53.06		0	8	15.92	0.720 345 15	7	227	46	7.58	1	38	23.06	0.723 828 66		
	9	82	10	27.23		0	19	43.10	0.720 133 72	9	230	57	50.82	1	28	17.03	0.724 098 27		
	11	85	24	8.50		0	31	6.93	0.719 932 33	11	234	9	23.78	1	17	55.01	0.724 365 38		
	13	88	37	56.80		0	42	25.19	0.719 741 63	13	237	20	46.72	1	7	18.95	0.724 629 17		
	15	91	51	52.02		0	53	35.71	0.719 562 23	15	240	31	59.98	0	56	30.86	0.724 888 84		
	17	95	5	54.03		1	4	36.32	0.719 394 71	17	243	43	3.91	0	45	32.75	0.725 143 57		
	19	98	20	2.64		1	15	24.87	0.719 239 61	19	246	53	58.90	0	34	26.67	0.725 392 59		
	21	101	34	17.66		1	25	59.25	0.719 097 44	21	250	4	45.39	0	23	14.67	0.725 635 12		
	23	104	48	38.85		1	36	17.40	0.718 968 64	23	253	15	23.84	0	11	58.83	0.725 870 44		
	25	108	3	5.91		1	46	17.30	0.718 853 64	25	256	25	54.73	0	0	41.21	0.726 097 81		
	27	111	17	38.55		1	55	56.97	0.718 752 81	27	259	36	18.59	-	0	10	36.12	0.726 316 54	
29	114	32	16.39		2	5	14.53	0.718 666 48	29	262	46	35.95	-	0	21	51.10	0.726 525 97		
31	117	46	59.06		2	14	8.14	0.718 594 92	31	265	56	47.35	-	0	33	1.69	0.726 725 46		
Août	2	121	1	46.10		2	22	36.05	0.718 538 37	Nov.	2	269	6	53.36	-	0	44	5.86	0.726 914 40
	4	124	16	37.06		2	30	36.58	0.718 497 01	4	272	16	54.55	-	0	55	1.62	0.727 092 22	
	6	127	31	31.44		2	38	8.17	0.718 470 97	6	275	26	51.50	-	1	5	46.99	0.727 258 38	
	8	130	46	28.68		2	45	9.32	0.718 460 33	8	278	36	44.78	-	1	16	20.03	0.727 412 37	
	10	134	1	28.23		2	51	38.66	0.718 465 14	10	281	46	34.96	-	1	26	38.86	0.727 553 73	
	12	137	16	29.48		2	57	34.90	0.718 485 36	12	284	56	22.62	-	1	36	41.63	0.727 682 03	
	14	140	31	31.80		3	2	56.90	0.718 520 94	14	288	6	8.32	-	1	46	26.53	0.727 796 89	
	16	143	46	34.56		3	7	43.61	0.718 571 76	16	291	15	52.60	-	1	55	51.82	0.727 897 95	
	18	147	1	37.08		3	11	54.10	0.718 637 65	18	294	25	36.00	-	2	4	55.81	0.727 984 91	
	20	150	16	38.68		3	15	27.56	0.718 718 39	20	297	35	19.03	-	2	13	36.88	0.728 057 50	
	22	153	31	38.67		3	18	23.33	0.718 813 73	22	300	45	2.20	-	2	21	53.48	0.728 115 51	
	24	156	46	36.34		3	20	40.86	0.718 923 34	24	303	54	45.99	-	2	29	44.11	0.728 158 76	
	26	160	1	31.00		3	22	19.73	0.719 046 87	26	307	4	30.86	-	2	37	7.37	0.728 187 11	
28	163	16	21.96		3	23	19.66	0.719 183 93	28	310	14	17.23	-	2	44	1.93	0.728 200 48		
30	166	31	8.51		3	23	40.50	0.719 334 06	30	313	24	5.52	-	2	50	26.54	0.728 198 83		
Sept.	1	169	45	49.99		3	23	22.23	0.719 496 77	Déc.	2	316	33	56.11	-	2	56	20.04	0.728 182 15
	3	173	0	25.73		3	22	24.96	0.719 671 56	4	319	43	49.38	-	3	1	41.35	0.728 150 49	
	5	176	14	55.11		3	20	48.94	0.719 857 83	6	322	53	45.64	-	3	6	29.49	0.728 103 96	
	7	179	29	17.50		3	18	34.53	0.720 055 01	8	326	3	45.21	-	3	10	43.59	0.728 042 67	
	9	182	43	32.34		3	15	42.23	0.720 262 45	10	329	13	48.38	-	3	14	22.84	0.727 966 83	
	11	185	57	39.09		3	12	12.68	0.720 479 48	12	332	23	55.41	-	3	17	26.57	0.727 876 64	
	13	189	11	37.24		3	8	6.61	0.720 705 41	14	335	34	6.54	-	3	19	54.18	0.727 772 39	
	15	192	25	26.32		3	3	24.89	0.720 939 53	16	338	44	21.99	-	3	21	45.20	0.727 654 38	
	17	195	39	5.94		2	58	8.48	0.721 181 07	18	341	54	41.95	-	3	22	59.26	0.727 522 96	
	19	198	52	35.73		2	52	18.48	0.721 429 28	20	345	5	6.60	-	3	23	36.08	0.727 378 54	
	21	202	5	55.37		2	45	56.08	0.721 683 37	22	348	15	36.11	-	3	23	35.52	0.727 221 54	
	23	205	19	4.60		2	39	2.55	0.721 942 52	24	351	26	10.61	-	3	22	57.52	0.727 052 45	
	25	208	32	3.22		2	31	39.29	0.722 205 93	26	354	36	50.25	-	3	21	42.15	0.726 871 77	
27	211	44	51.08		2	23	47.76	0.722 472 75	28	357	47	35.14	-	3	19	49.58	0.726 680 04		
29	214	57	28.08		2	15	29.52	0.722 742 16	30	0	58	25.38	-	3	17	20.11	0.726 477 86		
Oct.	1	218	9	54.19		2	6	46.20	0.723 013 31	32	4	9	21.09	-	3	14	14.12	0.726 265 83	

MARS 2019 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	40	49	48.96	- 0	16	43.75	1.452 320 02	Juill.	3	132	27	48.19	1 50	2.89	1.651 670 81	
	4	43	7	7.65	- 0	12	20.23	1.457 086 85		7	134	14	17.35	1 50	24.95	1.653 701 71	
	8	45	23	32.07	- 0	7	57.27	1.461 935 40		11	136	0	31.44	1 50	40.64	1.655 582 58	
	12	47	39	1.92	- 0	3	35.32	1.466 857 50		15	137	46	31.66	1 50	49.98	1.657 311 97	
	16	49	53	37.01	0	0	45.20	1.471 845 05		19	139	32	19.21	1 50	53.00	1.658 888 54	
	20	52	7	17.23	0	5	3.89	1.476 889 98	23	141	17	55.29	1 50	49.73	1.660 311 09		
	24	54	20	2.61	0	9	20.34	1.481 984 30	27	143	3	21.08	1 50	40.22	1.661 578 54		
	28	56	31	53.24	0	13	34.21	1.487 120 10	31	144	48	37.80	1 50	24.49	1.662 689 91		
Févr.	1	58	42	49.31	0	17	45.14	1.492 289 55	Août	4	146	33	46.63	1 50	2.58	1.663 644 38	
	5	60	52	51.09	0	21	52.80	1.497 484 95		8	148	18	48.76	1 49	34.54	1.664 441 23	
		9	63	1	58.94	0	25	56.89		1.502 698 71	12	150	3	45.40	1 49	0.39	1.665 079 85
		13	65	10	13.28	0	29	57.12		1.507 923 36	16	151	48	37.72	1 48	20.19	1.665 559 77
		17	67	17	34.62	0	33	53.21		1.513 151 58	20	153	33	26.94	1 47	33.96	1.665 880 62
	21	69	24	3.52	0	37	44.92	1.518 376 18	24	155	18	14.23	1 46	41.75	1.666 042 15		
	25	71	29	40.60	0	41	32.00	1.523 590 14	28	157	3	0.79	1 45	43.60	1.666 044 24		
Mars	1	73	34	26.54	0	45	14.25	1.528 786 59	Sept.	1	158	47	47.82	1 44	39.56	1.665 886 88	
	5	75	38	22.08	0	48	51.46	1.533 958 82		5	160	32	36.51	1 43	29.67	1.665 570 18	
	9	77	41	28.01	0	52	23.44	1.539 100 30		9	162	17	28.05	1 42	13.97	1.665 094 37	
	13	79	43	45.14	0	55	50.02	1.544 204 65		13	164	2	23.64	1 40	52.51	1.664 459 79	
	17	81	45	14.37	0	59	11.05	1.549 265 69		17	165	47	24.47	1 39	25.34	1.663 666 92	
	21	83	45	56.58	1	2	26.39	1.554 277 38	21	167	32	31.74	1 37	52.51	1.662 716 34		
	25	85	45	52.73	1	5	35.91	1.559 233 90	25	169	17	46.66	1 36	14.06	1.661 608 76		
	29	87	45	3.79	1	8	39.49	1.564 129 57	29	171	3	10.41	1 34	30.06	1.660 344 99		
Avril	2	89	43	30.76	1	11	37.02	1.568 958 90	Oct.	3	172	48	44.20	1 32	40.54	1.658 926 00	
	6	91	41	14.68	1	14	28.43	1.573 716 58		7	174	34	29.24	1 30	45.58	1.657 352 85	
		10	93	38	16.61	1	17	13.61		1.578 397 49	11	176	20	26.72	1 28	45.22	1.655 626 73
		14	95	34	37.60	1	19	52.51		1.582 996 65	15	178	6	37.86	1 26	39.52	1.653 748 96
	18	97	30	18.76	1	22	25.05	1.587 509 29	19	179	53	3.86	1 24	28.55	1.651 721 00		
	22	99	25	21.20	1	24	51.19	1.591 930 81	23	181	39	45.93	1 22	12.38	1.649 544 41		
	26	101	19	46.04	1	27	10.88	1.596 256 76	27	183	26	45.28	1 19	51.06	1.647 220 91		
Mai	30	103	13	34.43	1	29	24.07	1.600 482 88	Nov.	31	185	14	3.12	1 17	24.67	1.644 752 32	
	4	105	6	47.50	1	31	30.74	1.604 605 09		4	187	1	40.66	1 14	53.29	1.642 140 63	
	8	106	59	26.42	1	33	30.86	1.608 619 44		8	188	49	39.12	1 12	16.99	1.639 387 94	
	12	108	51	32.36	1	35	24.42	1.612 522 17		12	190	37	59.72	1 9	35.85	1.636 496 50	
	16	110	43	6.48	1	37	11.39	1.616 309 68		16	192	26	43.66	1 6	49.95	1.633 468 69	
	20	112	34	9.98	1	38	51.78	1.619 978 52	20	194	15	52.17	1 3	59.40	1.630 307 04		
	24	114	24	44.04	1	40	25.58	1.623 525 40	24	196	5	26.45	1 1	4.28	1.627 014 24		
	28	116	14	49.85	1	41	52.78	1.626 947 19	28	197	55	27.71	0 58	4.68	1.623 593 08		
Juin	1	118	4	28.59	1	43	13.40	1.630 240 91	Déc.	2	199	45	57.18	0 55	0.73	1.620 046 56	
	5	119	53	41.48	1	44	27.44	1.633 403 73		6	201	36	56.05	0 51	52.52	1.616 377 79	
		9	121	42	29.69	1	45	34.91		1.636 432 96	10	203	28	25.53	0 48	40.18	1.612 590 06
		13	123	30	54.44	1	46	35.83		1.639 326 07	14	205	20	26.81	0 45	23.82	1.608 686 80
		17	125	18	56.92	1	47	30.22		1.642 080 67	18	207	13	1.10	0 42	3.59	1.604 671 62
	21	127	6	38.34	1	48	18.10	1.644 694 49	22	209	6	9.58	0 38	39.61	1.600 548 29		
	25	128	53	59.89	1	48	59.48	1.647 165 41	26	210	59	53.42	0 35	12.03	1.596 320 72		
	29	130	41	2.77	1	49	34.40	1.649 491 47	30	212	54	13.80	0 31	41.00	1.591 993 02		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2019 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.	0 246 24 27.42	0 43 52.09	5.350 209 0	Janv.	0 281 12 9.05	0 32 2.04	10.060 301 6
	16 247 39 51.46	0 42 26.23	5.345 506 1		16 281 41 1.73	0 30 48.49	10.059 618 2
Févr.	1 248 55 23.52	0 40 58.99	5.340 726 3	Févr.	1 282 9 54.65	0 29 34.80	10.058 893 9
	17 250 11 3.75	0 39 30.40	5.335 871 6		17 282 38 47.85	0 28 20.98	10.058 128 5
Mars	5 251 26 52.29	0 38 0.49	5.330 944 4	Mars	5 283 7 41.32	0 27 7.02	10.057 321 8
	21 252 42 49.30	0 36 29.31	5.325 946 7		21 283 36 35.08	0 25 52.94	10.056 473 8
Avril	6 253 58 54.90	0 34 56.88	5.320 880 8	Avril	6 284 5 29.16	0 24 38.73	10.055 584 3
	22 255 15 9.23	0 33 23.25	5.315 749 0		22 284 34 23.55	0 23 24.41	10.054 653 1
Mai	8 256 31 32.43	0 31 48.45	5.310 553 9	Mai	8 285 3 18.27	0 22 9.97	10.053 680 2
	24 257 48 4.62	0 30 12.51	5.305 298 1		24 285 32 13.32	0 20 55.43	10.052 665 8
Jun	9 259 4 45.93	0 28 35.49	5.299 984 3	Jun	9 286 1 8.73	0 19 40.78	10.051 610 0
	25 260 21 36.51	0 26 57.41	5.294 615 0		25 286 30 4.51	0 18 26.03	10.050 512 9
Juill.	11 261 38 36.46	0 25 18.33	5.289 193 0	Juill.	11 286 59 0.67	0 17 11.19	10.049 374 5
	27 262 55 45.92	0 23 38.27	5.283 720 9		27 287 27 57.22	0 15 56.25	10.048 195 0
Août	12 264 13 5.01	0 21 57.29	5.278 201 4	Août	12 287 56 54.19	0 14 41.23	10.046 974 4
	28 265 30 33.83	0 20 15.43	5.272 637 3		28 288 25 51.58	0 13 26.13	10.045 712 6
Sept.	13 266 48 12.51	0 18 32.73	5.267 031 2	Sept.	13 288 54 49.42	0 12 10.95	10.044 409 9
	29 268 6 1.16	0 16 49.24	5.261 385 9		29 289 23 47.72	0 10 55.70	10.043 065 9
Oct.	15 269 23 59.86	0 15 5.01	5.255 703 9	Oct.	15 289 52 46.49	0 9 40.39	10.041 680 5
	31 270 42 8.71	0 13 20.08	5.249 988 3		31 290 21 45.75	0 8 25.01	10.040 253 8
Nov.	16 272 0 27.80	0 11 34.51	5.244 241 9	Nov.	16 290 50 45.51	0 7 9.57	10.038 785 7
Déc.	2 273 18 57.21	0 9 48.35	5.238 468 0	Déc.	2 291 19 45.78	0 5 54.08	10.037 276 4
	18 274 37 37.02	0 8 1.65	5.232 669 4		18 291 48 46.57	0 4 38.54	10.035 725 9
URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Janv.	0 31 2 8.41	- 0 31 33.62	19.862 150 5	Janv.	0 345 30 23.11	- 0 58 59.33	29.938 666 3
Févr.	1 31 23 6.58	- 0 31 21.21	19.858 452 9	Févr.	1 345 41 58.17	- 0 59 17.18	29.938 153 1
Mars	5 31 44 5.28	- 0 31 8.72	19.854 734 9	Mars	5 345 53 33.34	- 0 59 35.00	29.937 644 0
Avril	6 32 5 4.52	- 0 30 56.17	19.850 997 2	Avril	6 346 5 8.61	- 0 59 52.77	29.937 138 3
Mai	8 32 26 4.32	- 0 30 43.53	19.847 239 1	Mai	8 346 16 43.99	- 1 0 10.51	29.936 634 5
Jun	9 32 47 4.70	- 0 30 30.83	19.843 459 2	Jun	9 346 28 19.48	- 1 0 28.20	29.936 130 9
Juill.	11 33 8 5.64	- 0 30 18.05	19.839 657 2	Juill.	11 346 39 55.07	- 1 0 45.86	29.935 627 6
Août	12 33 29 7.15	- 0 30 5.20	19.835 833 0	Août	12 346 51 30.75	- 1 1 3.48	29.935 124 8
Sept.	13 33 50 9.23	- 0 29 52.27	19.831 987 0	Sept.	13 347 3 6.54	- 1 1 21.05	29.934 622 5
Oct.	15 34 11 11.90	- 0 29 39.28	19.828 120 0	Oct.	15 347 14 42.42	- 1 1 38.59	29.934 120 6
Nov.	16 34 32 15.16	- 0 29 26.21	19.824 231 5	Nov.	16 347 26 18.42	- 1 1 56.08	29.933 617 9
Déc.	18 34 53 19.03	- 0 29 13.07	19.820 320 4	Déc.	18 347 37 54.51	- 1 2 13.54	29.933 113 2

MERCURE 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua	
Janv.	0	17	26	57.119	-22	58	1.53	1.284 034 12	Févr.	15	22	40	54.818	-	9	26	50.67	1.229 917 03
	1	17	33	14.792	-23	10	8.81	1.296 140 24		16	22	47	19.234	-	8	38	19.05	1.210 199 35
	2	17	39	36.134	-23	21	13.63	1.307 647 17		17	22	53	36.030	-	7	49	18.47	1.189 346 37
	3	17	46	0.893	-23	31	13.74	1.318 564 83		18	22	59	43.931	-	7	0	1.09	1.167 375 14
	4	17	52	28.840	-23	40	7.07	1.328 902 79		19	23	5	41.509	-	6	10	40.66	1.144 318 78
	5	17	58	59.763	-23	47	51.74	1.338 670 11		20	23	11	27.184	-	5	21	32.58	1.120 228 75
	6	18	5	33.466	-23	54	26.00	1.347 875 32		21	23	16	59.232	-	4	32	53.83	1.095 176 69
	7	18	12	9.766	-23	59	48.22	1.356 526 30		22	23	22	15.799	-	3	45	2.91	1.069 255 78
	8	18	18	48.492	-24	3	56.89	1.364 630 25		23	23	27	14.919	-	2	58	19.69	1.042 581 28
	9	18	25	29.483	-24	6	50.61	1.372 193 65		24	23	31	54.549	-	2	13	5.18	1.015 290 21
	10	18	32	12.589	-24	8	28.05	1.379 222 18		25	23	36	12.607	-	1	29	41.24	0.987 539 97
	11	18	38	57.667	-24	8	47.98	1.385 720 69		26	23	40	7.017	-	0	48	30.25	0.959 505 98
	12	18	45	44.580	-24	7	49.24	1.391 693 20		27	23	43	35.765	-	0	9	54.71	0.931 378 41
	13	18	52	33.198	-24	5	30.74	1.397 142 79		28	23	46	36.960	-	0	25	43.12	0.903 358 09
14	18	59	23.399	-24	1	51.43	1.402 071 63	Mars	1	23	49	8.897	0	58	1.71	0.875 652 20		
15	19	6	15.063	-23	56	50.35	1.406 480 93		2	23	51	10.121	1	26	40.67	0.848 469 56		
16	19	13	8.077	-23	50	26.57	1.410 370 87		3	23	52	39.496	1	51	21.16	0.822 016 29		
17	19	20	2.331	-23	42	39.24	1.413 740 60		4	23	53	36.271	2	11	46.43	0.796 491 62		
18	19	26	57.718	-23	33	27.54	1.416 588 13		5	23	54	0.144	2	27	42.26	0.772 084 31		
19	19	33	54.136	-23	22	50.69	1.418 910 35		6	23	53	51.321	2	38	57.55	0.748 969 44		
20	19	40	51.485	-23	10	47.97	1.420 702 88		7	23	53	10.570	2	45	24.85	0.727 305 86		
21	19	47	49.668	-22	57	18.70	1.421 960 02		8	23	51	59.259	2	47	1.01	0.707 233 94		
22	19	54	48.589	-22	42	22.23	1.422 674 67		9	23	50	19.380	2	43	47.67	0.688 873 75		
23	20	1	48.158	-22	25	57.95	1.422 838 25		10	23	48	13.540	2	35	51.84	0.672 323 59		
24	20	8	48.285	-22	8	5.30	1.422 440 63		11	23	45	44.933	2	23	26.14	0.657 658 79		
25	20	15	48.884	-21	48	43.75	1.421 470 11		12	23	42	57.274	2	6	48.98	0.644 930 93		
26	20	22	49.867	-21	27	52.86	1.419 913 34		13	23	39	54.700	1	46	24.26	0.634 167 45		
27	20	29	51.146	-21	5	32.25	1.417 755 31		14	23	36	41.644	1	22	40.88	0.625 371 85		
28	20	36	52.632	-20	41	41.59	1.414 979 28	15	23	33	22.689	0	56	11.81	0.618 524 48			
29	20	43	54.230	-20	16	20.68	1.411 566 75	16	23	30	2.409	0	27	32.93	0.613 583 96			
30	20	50	55.839	-19	49	29.39	1.407 497 38	17	23	26	45.213	-	0	2	38.34	0.610 489 30		
Févr.	31	20	57	57.353	-19	21	7.70	1.402 748 96	18	23	23	35.211	-	0	33	44.48	0.609 162 54	
	1	21	4	58.657	-18	51	15.75	1.397 297 35	19	23	20	36.094	-	1	5	9.21	0.609 511 79	
	2	21	11	59.624	-18	19	53.79	1.391 116 49	20	23	17	51.058	-	1	36	18.64	0.611 434 57	
	3	21	19	0.112	-17	47	2.30	1.384 178 38	21	23	15	22.755	-	2	6	42.21	0.614 821 10	
	4	21	25	59.962	-17	12	41.93	1.376 453 18	22	23	13	13.278	-	2	35	53.26	0.619 557 56	
	5	21	32	58.992	-16	36	53.62	1.367 909 24	23	23	11	24.174	-	3	3	29.35	0.625 528 98	
	6	21	39	56.993	-15	59	38.62	1.358 513 35	24	23	9	56.482	-	3	29	12.26	0.632 621 81	
	7	21	46	53.722	-15	20	58.52	1.348 230 98	25	23	8	50.786	-	3	52	47.80	0.640 726 01	
	8	21	53	48.895	-14	40	55.36	1.337 026 63	26	23	8	7.280	-	4	14	5.49	0.649 736 61	
	9	22	0	42.179	-13	59	31.69	1.324 864 34	27	23	7	45.830	-	4	32	58.08	0.659 554 90	
	10	22	7	33.182	-13	16	50.65	1.311 708 42	28	23	7	46.039	-	4	49	21.09	0.670 089 12	
	11	22	14	21.444	-12	32	56.09	1.297 524 20	29	23	8	7.312	-	5	3	12.34	0.681 254 83	
	12	22	21	6.425	-11	47	52.68	1.282 279 22	30	23	8	48.902	-	5	14	31.48	0.692 975 01	
	13	22	27	47.493	-11	1	46.00	1.265 944 49	31	23	9	49.964	-	5	23	19.61	0.705 179 93	
14	22	34	23.909	-10	14	42.72	1.248 496 09	Avril 1	23	11	9.586	-	5	29	38.94	0.717 806 84		

MERCURE 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 23 12 46.823	- 5 33 32.48	0.730 799 62	Mai	18 3 20 40.852	18 6 48.47	1.319 042 13
	3 23 14 40.726	- 5 35 3.81	0.744 108 30		19 3 29 18.002	18 49 12.40	1.321 544 79
	4 23 16 50.352	- 5 34 16.89	0.757 688 58		20 3 38 3.233	19 30 20.27	1.322 743 43
	5 23 19 14.789	- 5 31 15.92	0.771 501 35		21 3 46 55.808	20 9 59.78	1.322 580 94
	6 23 21 53.159	- 5 26 5.19	0.785 512 17		22 3 55 54.839	20 47 58.68	1.321 013 76
	7 23 24 44.630	- 5 18 49.03	0.799 690 82		23 4 4 59.290	21 24 5.12	1.318 014 18
	8 23 27 48.418	- 5 9 31.74	0.814 010 82		24 4 14 7.996	21 58 7.91	1.313 572 25
	9 23 31 3.790	- 4 58 17.51	0.828 449 02		25 4 23 19.681	22 29 56.83	1.307 696 78
	10 23 34 30.068	- 4 45 10.43	0.842 985 18		26 4 32 32.989	22 59 22.94	1.300 415 49
	11 23 38 6.628	- 4 30 14.44	0.857 601 59		27 4 41 46.515	23 26 18.74	1.291 774 21
	12 23 41 52.898	- 4 13 33.35	0.872 282 74		28 4 50 58.838	23 50 38.40	1.281 835 21
13 23 45 48.359	- 3 55 10.80	0.887 014 97	29 5 0 8.556	24 12 17.78	1.270 674 80		
14 23 49 52.543	- 3 35 10.26	0.901 786 15	30 5 9 14.311	24 31 14.46	1.258 380 48		
15 23 54 5.033	- 3 13 35.06	0.916 585 41	31 5 18 14.816	24 47 27.72	1.245 047 77		
16 23 58 25.459	- 2 50 28.38	0.931 402 85	Juin	1 5 27 8.876	25 0 58.37	1.230 777 14	
17 0 2 53.500	- 2 25 53.25	0.946 229 30		2 5 35 55.395	25 11 48.64	1.215 671 08	
18 0 7 28.876	- 1 59 52.56	0.961 056 02		3 5 44 33.386	25 20 1.96	1.199 831 55	
19 0 12 11.351	- 1 32 29.11	0.975 874 53		4 5 53 1.973	25 25 42.79	1.183 357 89	
20 0 17 0.727	- 1 3 45.58	0.990 676 34		5 6 1 20.384	25 28 56.44	1.166 345 18	
21 0 21 56.843	- 0 33 44.59	1.005 452 82		6 6 9 27.949	25 29 48.86	1.148 883 08	
22 0 26 59.572	- 0 2 28.67	1.020 194 96		7 6 17 24.091	25 28 26.49	1.131 055 07	
23 0 32 8.820	0 29 59.66	1.034 893 18		8 6 25 8.319	25 24 56.12	1.112 938 08	
24 0 37 24.527	1 3 37.96	1.049 537 17		9 6 32 40.213	25 19 24.79	1.094 602 34	
25 0 42 46.665	1 38 23.79	1.064 115 64		10 6 39 59.420	25 11 59.64	1.076 111 54	
26 0 48 15.235	2 14 14.71	1.078 616 14	11 6 47 5.643	25 2 47.91	1.057 523 06		
27 0 53 50.270	2 51 8.28	1.093 024 74	12 6 53 58.625	24 51 56.81	1.038 888 37		
28 0 59 31.832	3 29 2.04	1.107 325 83	13 7 0 38.148	24 39 33.52	1.020 253 50		
29 1 5 20.011	4 7 53.47	1.121 501 84	14 7 7 4.018	24 25 45.14	1.001 659 52		
30 1 11 14.926	4 47 39.96	1.135 532 89	15 7 13 16.061	24 10 38.70	0.983 143 08		
Mai	1 1 17 16.719	5 28 18.83	1.149 396 53	16 7 19 14.112	23 54 21.08	0.964 736 90	
	2 1 23 25.560	6 9 47.22	1.163 067 38	17 7 24 58.016	23 36 59.07	0.946 470 31	
	3 1 29 41.637	6 52 2.14	1.176 516 83	18 7 30 27.613	23 18 39.36	0.928 369 70	
	4 1 36 5.161	7 35 0.36	1.189 712 65	19 7 35 42.742	22 59 28.50	0.910 459 04	
	5 1 42 36.361	8 18 38.42	1.202 618 68	20 7 40 43.234	22 39 32.96	0.892 760 28	
	6 1 49 15.478	9 2 52.55	1.215 194 48	21 7 45 28.908	22 18 59.12	0.875 293 82	
	7 1 56 2.762	9 47 38.63	1.227 394 98	22 7 49 59.569	21 57 53.30	0.858 078 85	
	8 2 2 58.467	10 32 52.11	1.239 170 26	23 7 54 15.007	21 36 21.75	0.841 133 79	
	9 2 10 2.847	11 18 28.01	1.250 465 26	24 7 58 14.993	21 14 30.70	0.824 476 61	
	10 2 17 16.144	12 4 20.78	1.261 219 70	25 8 1 59.281	20 52 26.37	0.808 125 15	
	11 2 24 38.583	12 50 24.31	1.271 368 07	26 8 5 27.605	20 30 14.95	0.792 097 47	
12 2 32 10.358	13 36 31.80	1.280 839 81	27 8 8 39.682	20 8 2.68	0.776 412 13		
13 2 39 51.623	14 22 35.79	1.289 559 70	28 8 11 35.213	19 45 55.80	0.761 088 47		
14 2 47 42.475	15 8 28.04	1.297 448 62	29 8 14 13.886	19 24 0.60	0.746 146 87		
15 2 55 42.942	15 53 59.57	1.304 424 50	30 8 16 35.378	19 2 23.44	0.731 609 09		
16 3 3 52.960	16 39 0.60	1.310 403 78	Juill.	1 8 18 39.364	18 41 10.71	0.717 498 41	
17 3 12 12.361	17 23 20.62	1.315 303 24		2 8 20 25.519	18 20 28.87	0.703 840 00	

MERCURE 2019 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	8	21	53.532	18	0	24.42	0.690 661 08	Août	18	8	44	55.669	18	34	27.83	1.101 245 38
	4	8	23	3.114	17	41	3.88	0.677 991 18		19	8	51	58.073	18	18	23.81	1.125 981 28
	5	8	23	54.013	17	22	33.79	0.665 862 30		20	8	59	12.819	17	59	33.70	1.149 937 19
	6	8	24	26.038	17	5	0.64	0.654 309 11		21	9	6	37.856	17	37	59.19	1.172 984 41
	7	8	24	39.068	16	48	30.83	0.643 368 97		22	9	14	11.142	17	13	43.88	1.195 008 97
	8	8	24	33.087	16	33	10.63	0.633 081 96		23	9	21	50.680	16	46	53.23	1.215 914 21
	9	8	24	8.197	16	19	6.08	0.623 490 83		24	9	29	34.565	16	17	34.27	1.235 622 50
	10	8	23	24.650	16	6	22.95	0.614 640 80		25	9	37	21.018	15	45	55.39	1.254 075 96
	11	8	22	22.870	15	55	6.57	0.606 579 34		26	9	45	8.413	15	12	6.04	1.271 236 33
	12	8	21	3.482	15	45	21.77	0.599 355 77		27	9	52	55.298	14	36	16.41	1.287 083 87
	13	8	19	27.332	15	37	12.74	0.593 020 83		28	10	0	40.406	13	58	37.14	1.301 615 75
	14	8	17	35.513	15	30	42.91	0.587 626 12		29	10	8	22.658	13	19	19.02	1.314 843 88
15	8	15	29.377	15	25	54.82	0.583 223 37	30	10	16	1.158	12	38	32.78	1.326 792 53		
16	8	13	10.544	15	22	49.99	0.579 863 72	31	10	23	35.186	11	56	28.85	1.337 495 89		
17	8	10	40.905	15	21	28.85	0.577 596 87	Sept.	1	10	31	4.182	11	13	17.24	1.346 995 69	
18	8	8	2.607	15	21	50.68	0.576 470 15	2	10	38	27.730	10	29	7.45	1.355 338 99		
19	8	5	18.035	15	23	53.51	0.576 527 65	3	10	45	45.543	9	44	8.36	1.362 576 29		
20	8	2	29.775	15	27	34.18	0.577 809 34	4	10	52	57.438	8	58	28.21	1.368 759 82		
21	7	59	40.573	15	32	48.34	0.580 350 23	5	11	0	3.326	8	12	14.63	1.373 942 19		
22	7	56	53.282	15	39	30.53	0.584 179 70	6	11	7	3.193	7	25	34.59	1.378 175 32		
23	7	54	10.804	15	47	34.25	0.589 320 88	7	11	13	57.086	6	38	34.45	1.381 509 59		
24	7	51	36.027	15	56	52.11	0.595 790 30	8	11	20	45.100	5	51	19.99	1.383 993 27		
25	7	49	11.770	16	7	15.98	0.603 597 58	9	11	27	27.372	5	3	56.46	1.385 672 08		
26	7	47	0.722	16	18	37.06	0.612 745 36	10	11	34	4.066	4	16	28.60	1.386 588 94		
27	7	45	5.399	16	30	46.10	0.623 229 38	11	11	40	35.368	3	29	0.70	1.386 783 82		
28	7	43	28.103	16	43	33.46	0.635 038 61	12	11	47	1.483	2	41	36.64	1.386 293 70		
29	7	42	10.893	16	56	49.24	0.648 155 50	13	11	53	22.623	1	54	19.92	1.385 152 54		
30	7	41	15.570	17	10	23.35	0.662 556 25	14	11	59	39.005	1	7	13.74	1.383 391 42		
31	7	40	43.669	17	24	5.57	0.678 211 05	15	12	5	50.852	0	20	20.99	1.381 038 56		
Août	1	7	40	36.461	17	37	45.57	0.695 084 27	16	12	11	58.382	-	0	26	15.72	1.378 119 49
2	7	40	54.966	17	51	12.93	0.713 134 56	17	12	18	1.812	-	1	12	33.96	1.374 657 16	
3	7	41	39.961	18	4	17.17	0.732 314 78	18	12	24	1.353	-	1	58	31.53	1.370 672 12	
4	7	42	52.003	18	16	47.71	0.752 571 75	19	12	29	57.207	-	2	44	6.39	1.366 182 63	
5	7	44	31.442	18	28	33.88	0.773 845 98	20	12	35	49.571	-	3	29	16.64	1.361 204 81	
6	7	46	38.436	18	39	24.93	0.796 071 04	21	12	41	38.627	-	4	14	0.51	1.355 752 81	
7	7	49	12.961	18	49	10.04	0.819 173 09	22	12	47	24.550	-	4	58	16.33	1.349 838 91	
8	7	52	14.822	18	57	38.34	0.843 070 12	23	12	53	7.500	-	5	42	2.52	1.343 473 69	
9	7	55	43.659	19	4	38.94	0.867 671 39	24	12	58	47.626	-	6	25	17.56	1.336 666 12	
10	7	59	38.947	19	10	1.03	0.892 876 88	25	13	4	25.063	-	7	7	60.00	1.329 423 70	
11	8	3	59.998	19	13	33.96	0.918 576 86	26	13	9	59.931	-	7	50	8.39	1.321 752 61	
12	8	8	45.956	19	15	7.40	0.944 651 87	27	13	15	32.335	-	8	31	41.35	1.313 657 80	
13	8	13	55.800	19	14	31.47	0.970 972 98	28	13	21	2.367	-	9	12	37.51	1.305 143 12	
14	8	19	28.335	19	11	37.01	0.997 402 59	29	13	26	30.102	-	9	52	55.48	1.296 211 50	
15	8	25	22.196	19	6	15.78	1.023 795 81	30	13	31	55.597	-	10	32	33.92	1.286 865 02	
16	8	31	35.852	18	58	20.68	1.050 002 46	Oct.	1	13	37	18.889	-	11	11	31.43	1.277 105 04
17	8	38	7.618	18	47	46.04	1.075 869 74	2	13	42	39.997	-	11	49	46.60	1.266 932 28	

MERCURE 2019 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	13	47	58.916	-12	27	18.00	1.256 346 85	Nov.	18	14	41	53.996	-13	46	6.57	0.751 359 89
	4	13	53	15.616	-13	4	4.13	1.245 348 38		19	14	40	23.685	-13	27	40.20	0.772 095 36
	5	13	58	30.043	-13	40	3.47	1.233 936 05		20	14	39	36.894	-13	14	41.20	0.794 405 54
	6	14	3	42.119	-14	15	14.40	1.222 108 66		21	14	39	32.457	-13	7	2.06	0.817 957 35
	7	14	8	51.731	-14	49	35.27	1.209 864 74		22	14	40	8.304	-13	4	26.32	0.842 433 05
	8	14	13	58.737	-15	23	4.34	1.197 202 66		23	14	41	21.759	-13	6	31.33	0.867 538 85
	9	14	19	2.960	-15	55	39.76	1.184 120 72		24	14	43	9.811	-13	12	50.68	0.893 010 40
	10	14	24	4.180	-16	27	19.60	1.170 617 33		25	14	45	29.315	-13	22	56.17	0.918 615 45
	11	14	29	2.135	-16	58	1.80	1.156 691 10		26	14	48	17.151	-13	36	19.33	0.944 154 34
	12	14	33	56.513	-17	27	44.17	1.142 341 10		27	14	51	30.327	-13	52	32.51	0.969 458 92
	13	14	38	46.949	-17	56	24.36	1.127 566 97		28	14	55	6.054	-14	11	9.58	0.994 390 30
	14	14	43	33.014	-18	23	59.87	1.112 369 21		29	14	59	1.775	-14	31	46.33	1.018 836 08
15	14	48	14.212	-18	50	27.99	1.096 749 45	30	15	3	15.188	-14	54	0.70	1.042 707 18		
16	14	52	49.973	-19	15	45.79	1.080 710 73	Déc.	1	15	7	44.240	-15	17	32.79	1.065 934 73	
17	14	57	19.640	-19	39	50.11	1.064 257 90		2	15	12	27.122	-15	42	4.82	1.088 467 01	
18	15	1	42.461	-20	2	37.49	1.047 398 03	3	15	17	22.246	-16	7	21.00	1.110 266 70		
19	15	5	57.579	-20	24	4.14	1.030 140 98	4	15	22	28.232	-16	33	7.37	1.131 308 39		
20	15	10	4.023	-20	44	5.90	1.012 499 96	5	15	27	43.878	-16	59	11.63	1.151 576 34		
21	15	14	0.692	-21	2	38.21	0.994 492 26	6	15	33	8.149	-17	25	22.97	1.171 062 64		
22	15	17	46.344	-21	19	35.97	0.976 140 12	7	15	38	40.150	-17	51	31.87	1.189 765 58		
23	15	21	19.588	-21	34	53.56	0.957 471 71	8	15	44	19.110	-18	17	29.96	1.207 688 32		
24	15	24	38.868	-21	48	24.72	0.938 522 28	9	15	50	4.366	-18	43	9.90	1.224 837 69		
25	15	27	42.456	-22	0	2.45	0.919 335 55	10	15	55	55.348	-18	8	25.19	1.241 223 35		
26	15	30	28.447	-22	9	38.94	0.899 965 26	11	16	1	51.563	-19	33	10.11	1.256 856 95		
27	15	32	54.756	-22	17	5.48	0.880 476 93	12	16	7	52.590	-19	57	19.57	1.271 751 49		
28	15	34	59.130	-22	22	12.37	0.860 949 91	13	16	13	58.061	-20	20	49.05	1.285 920 85		
29	15	36	39.166	-22	24	48.87	0.841 479 46	14	16	20	7.660	-20	43	34.52	1.299 379 34		
30	15	37	52.351	-22	24	43.15	0.822 179 12	15	16	26	21.109	-21	5	32.34	1.312 141 41		
31	15	38	36.125	-22	21	42.41	0.803 182 95	16	16	32	38.167	-21	26	39.23	1.324 221 32		
Nov.	1	15	38	47.980	-22	15	33.03	0.784 647 70	17	16	38	58.623	-21	46	52.22	1.335 633 01	
	2	15	38	25.586	-22	6	1.05	0.766 754 53	18	16	45	22.290	-22	6	8.59	1.346 389 95	
	3	15	37	26.976	-21	52	52.77	0.749 710 04	19	16	51	49.002	-22	24	25.86	1.356 504 97	
	4	15	35	50.757	-21	35	55.88	0.733 746 12	20	16	58	18.608	-22	41	41.74	1.365 990 25	
	5	15	33	36.378	-21	15	0.93	0.719 117 93	21	17	4	50.975	-22	57	54.10	1.374 857 22	
	6	15	30	44.409	-20	50	3.30	0.706 099 63	22	17	11	25.976	-23	13	0.97	1.383 116 54	
	7	15	27	16.819	-20	21	5.51	0.694 977 05	23	17	18	3.494	-23	27	0.53	1.390 778 04	
	8	15	23	17.201	-19	48	19.82	0.686 037 10	24	17	24	43.416	-23	39	51.04	1.397 850 75	
	9	15	18	50.888	-19	12	10.42	0.679 553 88	25	17	31	25.636	-23	51	30.86	1.404 342 80	
	10	15	14	4.905	-18	33	15.00	0.675 772 29	26	17	38	10.048	-24	1	58.44	1.410 261 49	
	11	15	9	7.716	-17	52	24.69	0.674 890 53	27	17	44	56.550	-24	11	12.32	1.415 613 19	
	12	15	4	8.772	-17	10	42.33	0.677 043 71	28	17	51	45.042	-24	19	11.07	1.420 403 37	
13	14	59	17.894	-16	29	18.63	0.682 290 98	29	17	58	35.427	-24	25	53.33	1.424 636 52		
14	14	54	44.585	-15	49	26.93	0.690 608 26	30	18	5	27.606	-24	31	17.82	1.428 316 17		
15	14	50	37.384	-15	12	17.26	0.701 888 10	31	18	12	21.484	-24	35	23.27	1.431 444 84		
16	14	47	3.350	-14	38	50.86	0.715 946 45	32	18	19	16.964	-24	38	8.49	1.434 024 01		
17	14	44	7.756	-14	9	56.17	0.732 535 44	33	18	26	13.948	-24	39	32.32	1.436 054 08		

VÉNUS 2019 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	24	3.974	-15	4	39.52	0.627 077 43	Févr.	15	18	54	40.742	-21	5	10.99	0.971 157 04
	1	15	27	59.523	-15	18	38.60	0.634 664 03		16	18	59	40.003	-21	2	8.60	0.978 346 61
	2	15	31	57.427	-15	32	36.09	0.642 255 33		17	19	4	39.481	-20	58	31.58	0.985 519 69
	3	15	35	57.638	-15	46	30.72	0.649 850 32		18	19	9	39.125	-20	54	19.86	0.992 676 08
	4	15	40	0.105	-16	0	21.25	0.657 448 08		19	19	14	38.884	-20	49	33.41	0.999 815 47
	5	15	44	4.780	-16	14	6.49	0.665 047 75		20	19	19	38.710	-20	44	12.18	1.006 937 47
	6	15	48	11.619	-16	27	45.22	0.672 648 58		21	19	24	38.557	-20	38	16.18	1.014 041 57
	7	15	52	20.578	-16	41	16.29	0.680 249 85		22	19	29	38.377	-20	31	45.44	1.021 127 20
	8	15	56	31.613	-16	54	38.56	0.687 850 93		23	19	34	38.125	-20	24	40.02	1.028 193 78
	9	16	0	44.685	-17	7	50.90	0.695 451 21		24	19	39	37.753	-20	17	0.03	1.035 240 72
	10	16	4	59.754	-17	20	52.23	0.703 050 12		25	19	44	37.213	-20	8	45.59	1.042 267 46
	11	16	9	16.784	-17	33	41.47	0.710 647 14		26	19	49	36.458	-19	59	56.88	1.049 273 51
	12	16	13	35.737	-17	46	17.59	0.718 241 77		27	19	54	35.440	-19	50	34.08	1.056 258 45
	13	16	17	56.579	-17	58	39.56	0.725 833 52		28	19	59	34.111	-19	40	37.43	1.063 221 87
14	16	22	19.275	-18	10	46.38	0.733 421 95	Mars	1	20	4	32.427	-19	30	7.15	1.070 163 47	
15	16	26	43.791	-18	22	37.10	0.741 006 60		2	20	9	30.343	-19	19	3.54	1.077 082 93	
16	16	31	10.093	-18	34	10.75	0.748 587 05		3	20	14	27.819	-19	7	26.87	1.083 980 03	
17	16	35	38.148	-18	45	26.42	0.756 162 86		4	20	19	24.814	-18	55	17.46	1.090 854 54	
18	16	40	7.924	-18	56	23.21	0.763 733 57		5	20	24	21.292	-18	42	35.65	1.097 706 30	
19	16	44	39.384	-19	7	0.25	0.771 298 68		6	20	29	17.217	-18	29	21.80	1.104 535 16	
20	16	49	12.495	-19	17	16.67	0.778 857 63		7	20	34	12.557	-18	15	36.30	1.111 341 01	
21	16	53	47.219	-19	27	11.64	0.786 409 76		8	20	39	7.284	-18	1	19.54	1.118 123 80	
22	16	58	23.518	-19	36	44.31	0.793 954 35		9	20	44	1.369	-17	46	31.93	1.124 883 47	
23	17	3	1.353	-19	45	53.88	0.801 490 57		10	20	48	54.788	-17	31	13.93	1.131 620 01	
24	17	7	40.682	-19	54	39.53	0.809 017 58		11	20	53	47.521	-17	15	25.99	1.138 333 45	
25	17	12	21.462	-20	3	0.49	0.816 534 52		12	20	58	39.546	-16	59	8.58	1.145 023 81	
26	17	17	3.650	-20	10	56.00	0.824 040 55		13	21	3	30.847	-16	42	22.19	1.151 691 15	
27	17	21	47.198	-20	18	25.34	0.831 534 92		14	21	8	21.410	-16	25	7.34	1.158 335 53	
28	17	26	32.055	-20	25	27.80	0.839 016 94	15	21	13	11.220	-16	7	24.54	1.164 957 02		
29	17	31	18.172	-20	32	2.73	0.846 485 99	16	21	18	0.269	-15	49	14.33	1.171 555 67		
30	17	36	5.493	-20	38	9.47	0.853 941 54	17	21	22	48.546	-15	30	37.25	1.178 131 50		
Févr.	31	17	40	53.965	-20	43	47.41	0.861 383 12	18	21	27	36.046	-15	11	33.84	1.184 684 48	
	1	17	45	43.531	-20	48	55.96	0.868 810 32	19	21	32	22.767	-14	52	4.65	1.191 214 50	
	2	17	50	34.135	-20	53	34.57	0.876 222 80	20	21	37	8.709	-14	32	10.23	1.197 721 34	
	3	17	55	25.719	-20	57	42.69	0.883 620 25	21	21	41	53.874	-14	11	51.12	1.204 204 70	
	4	18	0	18.227	-21	1	19.83	0.891 002 41	22	21	46	38.269	-13	51	7.89	1.210 664 15	
	5	18	5	11.602	-21	4	25.52	0.898 369 07	23	21	51	21.900	-13	30	1.12	1.217 099 19	
	6	18	10	5.787	-21	6	59.30	0.905 720 04	24	21	56	4.773	-13	8	31.38	1.223 509 29	
	7	18	15	0.726	-21	9	0.78	0.913 055 20	25	22	0	46.895	-12	46	39.29	1.229 893 87	
	8	18	19	56.361	-21	10	29.58	0.920 374 41	26	22	5	28.271	-12	24	25.47	1.236 252 41	
	9	18	24	52.639	-21	11	25.34	0.927 677 60	27	22	10	8.910	-12	1	50.55	1.242 584 38	
	10	18	29	49.503	-21	11	47.75	0.934 964 68	28	22	14	48.818	-11	38	55.16	1.248 889 32	
	11	18	34	46.900	-21	11	36.54	0.942 235 61	29	22	19	28.005	-11	15	39.94	1.255 166 78	
	12	18	39	44.776	-21	10	51.45	0.949 490 34	30	22	24	6.480	-10	52	5.55	1.261 416 36	
	13	18	44	43.076	-21	9	32.28	0.956 728 85	31	22	28	44.257	-10	28	12.62	1.267 637 70	
14	18	49	41.749	-21	7	38.84	0.963 951 09	Avril	1	22	33	21.348	-10	4	1.82	1.273 830 46	

VÉNUS 2019 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 37	57.769	- 9 39 33.80	1.279 994 32	Mai	18 2 5	54.990	11 4 44.40	1.528 535 54
	3 22 42	33.537	- 9 14 49.21	1.286 129 01		19 2 10	33.577	11 30 9.27	1.533 063 14
	4 22 47	8.671	- 8 49 48.72	1.292 234 28		20 2 15	13.012	11 55 19.02	1.537 549 08
	5 22 51	43.189	- 8 24 32.98	1.298 309 90		21 2 19	53.323	12 20 12.95	1.541 992 83
	6 22 56	17.115	- 7 59 2.67	1.304 355 71		22 2 24	34.536	12 44 50.35	1.546 393 81
	7 23 0	50.470	- 7 33 18.44	1.310 371 57		23 2 29	16.676	13 9 10.53	1.550 751 43
	8 23 5	23.279	- 7 7 20.97	1.316 357 37		24 2 33	59.765	13 33 12.75	1.555 065 10
	9 23 9	55.565	- 6 41 10.92	1.322 313 07		25 2 38	43.826	13 56 56.32	1.559 334 22
	10 23 14	27.356	- 6 14 48.97	1.328 238 61		26 2 43	28.878	14 20 20.51	1.563 558 22
	11 23 18	58.678	- 5 48 15.79	1.334 134 02		27 2 48	14.943	14 43 24.61	1.567 736 53
	12 23 23	29.557	- 5 21 32.05	1.339 999 30		28 2 53	2.036	15 6 7.91	1.571 868 59
	13 23 28	0.024	- 4 54 38.43	1.345 834 47		29 2 57	50.175	15 28 29.69	1.575 953 86
	14 23 32	30.106	- 4 27 35.59	1.351 639 54		30 3 2	39.375	15 50 29.24	1.579 991 80
	15 23 36	59.837	- 4 0 24.19	1.357 414 48		31 3 7	29.649	16 12 5.84	1.583 981 92
	16 23 41	29.250	- 3 33 4.90	1.363 159 22		Jun 1 3 12	21.007	16 33 18.79	1.587 923 74
	17 23 45	58.379	- 3 5 38.35	1.368 873 62		2 3 17	13.459	16 54 7.39	1.591 816 80
18 23 50	27.263	- 2 38 5.18	1.374 557 43	3 3 22	7.010	17 14 30.93	1.595 660 71		
19 23 54	55.940	- 2 10 26.02	1.380 210 30	4 3 27	1.664	17 34 28.71	1.599 455 15		
20 23 59	24.447	- 1 42 41.51	1.385 831 82	5 3 31	57.422	17 54 0.03	1.603 199 86		
21 0 3	52.823	- 1 14 52.31	1.391 421 46	6 3 36	54.281	18 13 4.20	1.606 894 67		
22 0 8	21.103	- 0 46 59.05	1.396 978 67	7 3 41	52.238	18 31 40.51	1.610 539 46		
23 0 12	49.322	- 0 19 2.40	1.402 502 83	8 3 46	51.287	18 49 48.29	1.614 134 21		
24 0 17	17.514	0 8 56.97	1.407 993 36	9 3 51	51.424	19 7 26.86	1.617 678 90		
25 0 21	45.714	0 36 58.38	1.413 449 67	10 3 56	52.642	19 24 35.54	1.621 173 56		
26 0 26	13.956	1 5 1.17	1.418 871 17	11 4 1	54.934	19 41 13.69	1.624 618 21		
27 0 30	42.272	1 33 4.65	1.424 257 34	12 4 6	58.293	19 57 20.68	1.628 012 85		
28 0 35	10.699	2 1 8.15	1.429 607 63	13 4 12	2.709	20 12 55.89	1.631 357 42		
29 0 39	39.269	2 29 10.98	1.434 921 55	14 4 17	8.171	20 27 58.74	1.634 651 83		
30 0 44	8.019	2 57 12.47	1.440 198 62	15 4 22	14.663	20 42 28.62	1.637 895 93		
Mai 1 0 48	36.982	3 25 11.94	1.445 438 37	16 4 27	22.169	20 56 24.97	1.641 089 48		
2 0 53	6.195	3 53 8.70	1.450 640 37	17 4 32	30.668	21 9 47.23	1.644 232 21		
3 0 57	35.691	4 21 2.07	1.455 804 22	18 4 37	40.136	21 22 34.85	1.647 323 78		
4 1 2	5.505	4 48 51.36	1.460 929 54	19 4 42	50.548	21 34 47.28	1.650 363 82		
5 1 6	35.673	5 16 35.88	1.466 016 01	20 4 48	1.875	21 46 24.01	1.653 351 91		
6 1 11	6.227	5 44 14.95	1.471 063 36	21 4 53	14.087	21 57 24.51	1.656 287 60		
7 1 15	37.202	6 11 47.87	1.476 071 37	22 4 58	27.152	22 7 48.29	1.659 170 46		
8 1 20	8.630	6 39 13.94	1.481 039 88	23 5 3	41.034	22 17 34.89	1.662 000 03		
9 1 24	40.544	7 6 32.47	1.485 968 78	24 5 8	55.696	22 26 43.84	1.664 775 85		
10 1 29	12.973	7 33 42.75	1.490 857 99	25 5 14	11.102	22 35 14.71	1.667 497 46		
11 1 33	45.952	8 0 44.07	1.495 707 47	26 5 19	27.209	22 43 7.09	1.670 164 42		
12 1 38	19.512	8 27 35.74	1.500 517 20	27 5 24	43.975	22 50 20.59	1.672 776 28		
13 1 42	53.686	8 54 17.05	1.505 287 14	28 5 30	1.355	22 56 54.86	1.675 332 60		
14 1 47	28.509	9 20 47.33	1.510 017 21	29 5 35	19.303	23 2 49.56	1.677 832 94		
15 1 52	4.016	9 47 5.88	1.514 707 31	30 5 40	37.770	23 8 4.39	1.680 276 89		
16 1 56	40.243	10 13 12.02	1.519 357 24	Juill. 1 5 45	56.704	23 12 39.06	1.682 664 09		
17 2 1	17.223	10 39 5.09	1.523 966 77	2 5 51	16.050	23 16 33.33	1.684 994 20		

VÉNUS 2019 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	56	35.754	23	19	46.97	1.687 266 97	Août	18	9	54	8.364	14	9	42.22	1.729 969 31	
	4	6	1	55.755	23	22	19.78	1.689 482 24		19	9	58	56.887	13	45	6.78	1.729 565 39	
	5	6	7	15.996	23	24	11.58	1.691 639 95		20	10	3	44.419	13	20	8.80	1.729 107 46	
	6	6	12	36.417	23	25	22.23	1.693 740 13		21	10	8	30.981	12	54	48.98	1.728 595 59	
	7	6	17	56.961	23	25	51.59	1.695 782 89		22	10	13	16.595	12	29	8.04	1.728 029 85	
	8	6	23	17.572	23	25	39.59	1.697 768 41		23	10	18	1.286	12	3	6.69	1.727 410 24	
	9	6	28	38.196	23	24	46.16	1.699 696 90		24	10	22	45.079	11	36	45.63	1.726 736 78	
	10	6	33	58.780	23	23	11.29	1.701 568 55		25	10	27	27.999	11	10	5.60	1.726 009 44	
	11	6	39	19.269	23	20	54.99	1.703 383 56		26	10	32	10.072	10	43	7.32	1.725 228 18	
	12	6	44	39.610	23	17	57.32	1.705 142 08		27	10	36	51.323	10	15	51.52	1.724 392 95	
	13	6	49	59.751	23	14	18.35	1.706 844 22		28	10	41	31.780	9	48	18.95	1.723 503 69	
	14	6	55	19.638	23	9	58.20	1.708 490 06		29	10	46	11.468	9	20	30.33	1.722 560 38	
	15	7	0	39.219	23	4	57.01	1.710 079 63		30	10	50	50.416	8	52	26.42	1.721 563 05	
	16	7	5	58.441	22	59	14.92	1.711 612 90		31	10	55	28.651	8	24	7.95	1.720 511 83	
	17	7	11	17.255	22	52	52.14	1.713 089 81		Sept.	1	11	0	6.206	7	55	35.65	1.719 406 97
	18	7	16	35.610	22	45	48.86	1.714 510 27		2	11	4	43.114	7	26	50.26	1.718 248 81	
	19	7	21	53.460	22	38	5.34	1.715 874 15		3	11	9	19.409	6	57	52.50	1.717 037 81	
20	7	27	10.756	22	29	41.82	1.717 181 29	4	11	13	55.127	6	28	43.11	1.715 774 51			
21	7	32	27.456	22	20	38.60	1.718 431 53	5	11	18	30.303	5	59	22.83	1.714 459 48			
22	7	37	43.516	22	10	55.99	1.719 624 68	6	11	23	4.975	5	29	52.40	1.713 093 29			
23	7	42	58.895	22	0	34.33	1.720 760 54	7	11	27	39.178	5	0	12.57	1.711 676 53			
24	7	48	13.554	21	49	33.98	1.721 838 90	8	11	32	12.951	4	30	24.05	1.710 209 75			
25	7	53	27.456	21	37	55.33	1.722 859 55	9	11	36	46.332	4	0	27.59	1.708 693 49			
26	7	58	40.564	21	25	38.79	1.723 822 27	10	11	41	19.362	3	30	23.91	1.707 128 25			
27	8	3	52.845	21	12	44.81	1.724 726 82	11	11	45	52.081	3	0	13.74	1.705 514 53			
28	8	9	4.266	20	59	13.84	1.725 572 97	12	11	50	24.530	2	29	57.81	1.703 852 77			
29	8	14	14.795	20	45	6.38	1.726 360 49	13	11	54	56.752	1	59	36.83	1.702 143 39			
30	8	19	24.401	20	30	22.92	1.727 089 19	14	11	59	28.790	1	29	11.51	1.700 386 79			
31	8	24	33.056	20	15	4.00	1.727 758 89	15	12	4	0.689	0	58	42.58	1.698 583 35			
Août	1	8	29	40.730	19	59	10.17	1.728 369 51	16	12	8	32.491	0	28	10.75	1.696 733 37		
2	8	34	47.396	19	42	41.99	1.728 921 05	17	12	13	4.244	- 0	2	23.27	1.694 837 18			
3	8	39	53.034	19	25	40.01	1.729 413 64	18	12	17	35.990	- 0	32	58.76	1.692 895 02			
4	8	44	57.622	19	8	4.83	1.729 847 51	19	12	22	7.775	- 1	3	35.00	1.690 907 12			
5	8	50	1.148	18	49	57.04	1.730 222 99	20	12	26	39.643	- 1	34	11.29	1.688 873 66			
6	8	55	3.599	18	31	17.25	1.730 540 48	21	12	31	11.639	- 2	4	46.89	1.686 794 81			
7	9	0	4.968	18	12	6.08	1.730 800 41	22	12	35	43.805	- 2	35	21.08	1.684 670 66			
8	9	5	5.248	17	52	24.18	1.731 003 22	23	12	40	16.184	- 3	5	53.13	1.682 501 27			
9	9	10	4.435	17	32	12.20	1.731 149 33	24	12	44	48.818	- 3	36	22.29	1.680 286 69			
10	9	15	2.528	17	11	30.81	1.731 239 16	25	12	49	21.748	- 4	6	47.83	1.678 026 89			
11	9	19	59.527	16	50	20.68	1.731 273 08	26	12	53	55.014	- 4	37	8.98	1.675 721 86			
12	9	24	55.433	16	28	42.48	1.731 251 43	27	12	58	28.655	- 5	7	24.99	1.673 371 59			
13	9	29	50.252	16	6	36.90	1.731 174 51	28	13	3	2.713	- 5	37	35.11	1.670 976 10			
14	9	34	43.990	15	44	4.61	1.731 042 60	29	13	7	37.227	- 6	7	38.58	1.668 535 51			
15	9	39	36.658	15	21	6.31	1.730 855 93	30	13	12	12.239	- 6	37	34.63	1.666 050 02			
16	9	44	28.267	14	57	42.68	1.730 614 71	Oct.	1	13	16	47.788	- 7	7	22.52	1.663 519 95		
17	9	49	18.830	14	33	54.42	1.730 319 12	2	13	21	23.911	- 7	37	1.46	1.660 945 71			

VÉBUS 2019 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	13	26	0.647	- 8	6	30.69	1.658 327 79	Nov.	18	17	16	22.616	-24	4	25.07	1.496 796 26	
	4	13	30	38.031	- 8	35	49.42	1.655 666 72		19	17	21	47.336	-24	11	59.32	1.492 479 58	
	5	13	35	16.100	- 9	4	56.88	1.652 963 06		20	17	27	12.636	-24	18	50.24	1.488 132 10	
	6	13	39	54.889	- 9	33	52.29	1.650 217 36		21	17	32	38.458	-24	24	57.47	1.483 753 67	
	7	13	44	34.433	-10	2	34.87	1.647 430 18		22	17	38	4.742	-24	30	20.70	1.479 344 12	
	8	13	49	14.769	-10	31	3.83	1.644 602 04		23	17	43	31.429	-24	34	59.66	1.474 903 22	
	9	13	53	55.932	-10	59	18.39	1.641 733 45		24	17	48	58.455	-24	38	54.10	1.470 430 76	
	10	13	58	37.956	-11	27	17.78	1.638 824 91		25	17	54	25.756	-24	42	3.83	1.465 926 52	
	11	14	3	20.876	-11	55	1.21	1.635 876 90		26	17	59	53.263	-24	44	28.67	1.461 390 34	
	12	14	8	4.725	-12	22	27.91	1.632 889 86		27	18	5	20.908	-24	46	8.50	1.456 822 11	
	13	14	12	49.538	-12	49	37.10	1.629 864 22		28	18	10	48.616	-24	47	3.22	1.452 221 81	
	14	14	17	35.346	-13	16	27.99	1.626 800 38		29	18	16	16.315	-24	47	12.77	1.447 589 47	
	15	14	22	22.179	-13	42	59.82	1.623 698 71		30	18	21	43.930	-24	46	37.12	1.442 925 22	
	16	14	27	10.069	-14	9	11.81	1.620 559 54		Déc.	1	18	27	11.389	-24	45	16.28	1.438 229 21
	17	14	31	59.042	-14	35	3.18	1.617 383 14			2	18	32	38.620	-24	43	10.28	1.433 501 65
	18	14	36	49.124	-15	0	33.15	1.614 169 76		3	18	38	5.550	-24	40	19.20	1.428 742 77	
	19	14	41	40.340	-15	25	40.94	1.610 919 58		4	18	43	32.112	-24	36	43.14	1.423 952 83	
20	14	46	32.711	-15	50	25.76	1.607 632 73	5	18	48	58.236	-24	32	22.27	1.419 132 08			
21	14	51	26.257	-16	14	46.83	1.604 309 30	6	18	54	23.857	-24	27	16.76	1.414 280 79			
22	14	56	20.993	-16	38	43.35	1.600 949 29	7	18	59	48.910	-24	21	26.84	1.409 399 23			
23	15	1	16.935	-17	2	14.54	1.597 552 68	8	19	5	13.331	-24	14	52.76	1.404 487 70			
24	15	6	14.096	-17	25	19.59	1.594 119 40	9	19	10	37.059	-24	7	34.82	1.399 546 48			
25	15	11	12.487	-17	47	57.70	1.590 649 34	10	19	16	0.035	-23	59	33.34	1.394 575 86			
26	15	16	12.115	-18	10	8.09	1.587 142 40	11	19	21	22.202	-23	50	48.68	1.389 576 13			
27	15	21	12.989	-18	31	49.98	1.583 598 49	12	19	26	43.504	-23	41	21.24	1.384 547 58			
28	15	26	15.111	-18	53	2.58	1.580 017 60	13	19	32	3.888	-23	31	11.42	1.379 490 46			
29	15	31	18.482	-19	13	45.12	1.576 399 78	14	19	37	23.303	-23	20	19.69	1.374 404 97			
30	15	36	23.096	-19	33	56.83	1.572 745 19	15	19	42	41.700	-23	8	46.52	1.369 291 26			
31	15	41	28.947	-19	53	36.96	1.569 054 07	16	19	47	59.033	-22	56	32.38	1.364 149 42			
Nov.	1	15	46	36.023	-20	12	44.75	1.565 326 74	17	19	53	15.259	-22	43	37.81	1.358 979 43		
	2	15	51	44.312	-20	31	19.45	1.561 563 57	18	19	58	30.339	-22	30	3.31	1.353 781 23		
	3	15	56	53.797	-20	49	20.31	1.557 764 94	19	20	3	44.237	-22	15	49.44	1.348 554 66		
	4	16	2	4.461	-21	6	46.62	1.553 931 28	20	20	8	56.918	-22	0	56.78	1.343 299 50		
	5	16	7	16.285	-21	23	37.67	1.550 062 99	21	20	14	8.353	-21	45	25.90	1.338 015 48		
	6	16	12	29.248	-21	39	52.76	1.546 160 49	22	20	19	18.512	-21	29	17.45	1.332 702 33		
	7	16	17	43.326	-21	55	31.22	1.542 224 18	23	20	24	27.368	-21	12	32.05	1.327 359 74		
	8	16	22	58.493	-22	10	32.39	1.538 254 46	24	20	29	34.893	-20	55	10.38	1.321 987 41		
	9	16	28	14.722	-22	24	55.64	1.534 251 73	25	20	34	41.063	-20	37	13.11	1.316 585 09		
	10	16	33	31.981	-22	38	40.35	1.530 216 35	26	20	39	45.854	-20	18	40.96	1.311 152 57		
	11	16	38	50.237	-22	51	45.94	1.526 148 71	27	20	44	49.243	-19	59	34.63	1.305 689 68		
	12	16	44	9.455	-23	4	11.84	1.522 049 14	28	20	49	51.211	-19	39	54.86	1.300 196 34		
	13	16	49	29.596	-23	15	57.50	1.517 917 97	29	20	54	51.740	-19	19	42.38	1.294 672 49		
	14	16	54	50.620	-23	27	2.41	1.513 755 48	30	20	59	50.819	-18	58	57.94	1.289 118 16		
	15	17	0	12.482	-23	37	26.08	1.509 561 91	31	21	4	48.437	-18	37	42.28	1.283 533 39		
	16	17	5	35.136	-23	47	8.04	1.505 337 45	32	21	9	44.586	-18	15	56.17	1.277 918 27		
	17	17	10	58.531	-23	56	7.84	1.501 082 21	33	21	14	39.263	-17	53	40.38	1.272 272 93		

MARS 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Janv.	0	23	57	48.287	-	0	35	16.42	1.252 595 18	Févr.	15	1	52	21.356	12	3	32.16	1.647 386 56
	1	0	0	13.966	-	0	17	58.97	1.261 006 70		16	1	54	55.668	12	18	26.41	1.655 972 98
	2	0	2	39.786	-	0	0	41.70	1.269 433 60		17	1	57	30.220	12	33	14.61	1.664 551 34
	3	0	5	5.750	0	16	35.28	1.277 875 20	18		2	0	5.013	12	47	56.60	1.673 121 53	
	4	0	7	31.859	0	33	51.85	1.286 330 82	19		2	2	40.046	13	2	32.26	1.681 683 45	
	5	0	9	58.115	0	51	7.86	1.294 799 75	20		2	5	15.322	13	17	1.45	1.690 237 05	
	6	0	12	24.519	1	8	23.18	1.303 281 28	21		2	7	50.846	13	31	24.07	1.698 782 24	
	7	0	14	51.070	1	25	37.69	1.311 774 71	22		2	10	26.623	13	45	40.01	1.707 318 84	
	8	0	17	17.770	1	42	51.23	1.320 279 36	23		2	13	2.660	13	59	49.19	1.715 846 57	
	9	0	19	44.618	2	0	3.66	1.328 794 56	24		2	15	38.965	14	13	51.52	1.724 365 05	
	10	0	22	11.614	2	17	14.86	1.337 319 68	25		2	18	15.541	14	27	46.91	1.732 873 78	
	11	0	24	38.760	2	34	24.67	1.345 854 11	26		2	20	52.394	14	41	35.27	1.741 372 20	
	12	0	27	6.056	2	51	32.97	1.354 397 27	27		2	23	29.525	14	55	16.51	1.749 859 66	
	13	0	29	33.503	3	8	39.60	1.362 948 61	28		2	26	6.938	15	8	50.52	1.758 335 50	
14	0	32	1.102	3	25	44.43	1.371 507 65	Mars	1	2	28	44.634	15	22	17.20	1.766 799 00		
15	0	34	28.854	3	42	47.33	1.380 073 90	2	2	31	22.612	15	35	36.45	1.775 249 45			
16	0	36	56.761	3	59	48.15	1.388 646 97	3	2	34	0.876	15	48	48.16	1.783 686 11			
17	0	39	24.823	4	16	46.75	1.397 226 50	4	2	36	39.424	16	1	52.21	1.792 108 24			
18	0	41	53.042	4	33	42.99	1.405 812 23	5	2	39	18.257	16	14	48.51	1.800 515 09			
19	0	44	21.417	4	50	36.73	1.414 403 95	6	2	41	57.375	16	27	36.94	1.808 905 93			
20	0	46	49.950	5	7	27.82	1.423 001 55	7	2	44	36.779	16	40	17.40	1.817 280 03			
21	0	49	18.640	5	24	16.10	1.431 604 96	8	2	47	16.468	16	52	49.77	1.825 636 68			
22	0	51	47.489	5	41	1.44	1.440 214 14	9	2	49	56.442	17	5	13.95	1.833 975 17			
23	0	54	16.501	5	57	43.71	1.448 829 03	10	2	52	36.701	17	17	29.84	1.842 294 86			
24	0	56	45.681	6	14	22.78	1.457 449 51	11	2	55	17.243	17	29	37.32	1.850 595 12			
25	0	59	15.038	6	30	58.55	1.466 075 33	12	2	57	58.067	17	41	36.31	1.858 875 36			
26	1	1	44.579	6	47	30.91	1.474 706 18	13	3	0	39.170	17	53	26.69	1.867 135 09			
27	1	4	14.313	7	3	59.79	1.483 341 59	14	3	3	20.550	18	5	8.37	1.875 373 82			
28	1	6	44.248	7	20	25.07	1.491 981 03	15	3	6	2.202	18	16	41.23	1.883 591 17			
29	1	9	14.390	7	36	46.65	1.500 623 88	16	3	8	44.123	18	28	5.17	1.891 786 84			
30	1	11	44.743	7	53	4.43	1.509 269 48	17	3	11	26.307	18	39	20.07	1.899 960 59			
Févr.	31	1	14	15.312	8	9	18.29	1.517 917 12	18	3	14	8.750	18	50	25.83	1.908 112 27		
	1	1	16	46.100	8	25	28.12	1.526 566 07	19	3	16	51.449	19	1	22.33	1.916 241 81		
	2	1	19	17.110	8	41	33.80	1.535 215 60	20	3	19	34.401	19	12	9.47	1.924 349 15		
	3	1	21	48.344	8	57	35.19	1.543 864 95	21	3	22	17.608	19	22	47.15	1.932 434 25		
	4	1	24	19.805	9	13	32.18	1.552 513 36	22	3	25	1.071	19	33	15.29	1.940 497 01		
	5	1	26	51.494	9	29	24.64	1.561 160 09	23	3	27	44.793	19	43	33.82	1.948 537 27		
	6	1	29	23.414	9	45	12.44	1.569 804 41	24	3	30	28.775	19	53	42.68	1.956 554 74		
	7	1	31	55.566	10	0	55.46	1.578 445 60	25	3	33	13.017	20	3	41.80	1.964 549 06		
	8	1	34	27.952	10	16	33.56	1.587 082 97	26	3	35	57.520	20	13	31.11	1.972 519 75		
	9	1	37	0.575	10	32	6.63	1.595 715 85	27	3	38	42.282	20	23	10.55	1.980 466 29		
	10	1	39	33.436	10	47	34.53	1.604 343 61	28	3	41	27.299	20	32	40.04	1.988 388 06		
	11	1	42	6.536	11	2	57.14	1.612 965 65	29	3	44	12.570	20	41	59.50	1.996 284 45		
	12	1	44	39.877	11	18	14.33	1.621 581 44	30	3	46	58.092	20	51	8.86	2.004 154 81		
	13	1	47	13.461	11	33	25.98	1.630 190 46	31	3	49	43.860	21	0	8.05	2.011 998 46		
14	1	49	47.287	11	48	31.97	1.638 792 29	Avril	1	3	52	29.873	21	8	56.97	2.019 814 73		

MARS 2019 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	3	55	16.125	21	17	35.56	2.027 602 92	Mai	18	6	5	18.255	24	33	28.58	2.347 865 64
	3	3	58	2.614	21	26	3.74	2.035 362 34		19	6	8	8.525	24	33	10.43	2.353 861 17
	4	4	0	49.336	21	34	21.43	2.043 092 30		20	6	10	58.698	24	32	40.61	2.359 811 40
	5	4	3	36.286	21	42	28.57	2.050 792 11		21	6	13	48.768	24	31	59.16	2.365 716 13
	6	4	6	23.461	21	50	25.09	2.058 461 10		22	6	16	38.727	24	31	6.10	2.371 575 09
	7	4	9	10.855	21	58	10.92	2.066 098 60		23	6	19	28.567	24	30	1.47	2.377 387 93
	8	4	11	58.463	22	5	46.00	2.073 704 02		24	6	22	18.283	24	28	45.31	2.383 154 26
	9	4	14	46.278	22	13	10.26	2.081 276 78		25	6	25	7.868	24	27	17.63	2.388 873 64
	10	4	17	34.293	22	20	23.64	2.088 816 36		26	6	27	57.314	24	25	38.47	2.394 545 61
	11	4	20	22.500	22	27	26.09	2.096 322 33		27	6	30	46.617	24	23	47.85	2.400 169 67
	12	4	23	10.889	22	34	17.54	2.103 794 32		28	6	33	35.769	24	21	45.82	2.405 745 30
13	4	25	59.452	22	40	57.92	2.111 232 04	29	6	36	24.766	24	19	32.41	2.411 271 97		
14	4	28	48.178	22	47	27.16	2.118 635 28	30	6	39	13.602	24	17	7.66	2.416 749 11		
15	4	31	37.059	22	53	45.21	2.126 003 93	31	6	42	2.270	24	14	31.61	2.422 176 17		
16	4	34	26.088	22	59	52.00	2.133 337 91	Juin	1	6	44	50.765	24	11	44.30	2.427 552 55	
17	4	37	15.258	23	5	47.45	2.140 637 22		2	6	47	39.081	24	8	45.78	2.432 877 68	
18	4	40	4.565	23	11	31.53	2.147 901 86		3	6	50	27.211	24	5	36.12	2.438 150 97	
19	4	42	54.006	23	17	4.20	2.155 131 81		4	6	53	15.146	24	2	15.37	2.443 371 90	
20	4	45	43.578	23	22	25.42	2.162 326 99		5	6	56	2.877	23	58	43.59	2.448 539 98	
21	4	48	33.277	23	27	35.17	2.169 487 25		6	6	58	50.394	23	55	0.84	2.453 654 81	
22	4	51	23.098	23	32	33.43	2.176 612 36		7	7	1	37.687	23	51	7.18	2.458 716 06	
23	4	54	13.037	23	37	20.18	2.183 701 97		8	7	4	24.746	23	47	2.66	2.463 723 54	
24	4	57	3.086	23	41	55.39	2.190 755 69		9	7	7	11.561	23	42	47.34	2.468 677 12	
25	4	59	53.240	23	46	19.04	2.197 773 04		10	7	9	58.127	23	38	21.26	2.473 576 77	
26	5	2	43.492	23	50	31.10	2.204 753 51	11	7	12	44.436	23	33	44.48	2.478 422 54		
27	5	5	33.834	23	54	31.54	2.211 696 54	12	7	15	30.485	23	28	57.05	2.483 214 51		
28	5	8	24.261	23	58	20.33	2.218 601 56	13	7	18	16.271	23	23	59.04	2.487 952 77		
29	5	11	14.764	24	1	57.45	2.225 467 97	14	7	21	1.790	23	18	50.52	2.492 637 43		
30	5	14	5.339	24	5	22.87	2.232 295 17	15	7	23	47.040	23	13	31.57	2.497 268 55		
Mai	1	5	16	55.977	24	8	36.58	2.239 082 53	16	7	26	32.015	23	8	2.25	2.501 846 17	
	2	5	19	46.673	24	11	38.55	2.245 829 43	17	7	29	16.714	23	2	22.66	2.506 370 26	
	3	5	22	37.418	24	14	28.76	2.252 535 22	18	7	32	1.132	22	56	32.87	2.510 840 73	
	4	5	25	28.206	24	17	7.21	2.259 199 27	19	7	34	45.266	22	50	32.95	2.515 257 42	
	5	5	28	19.029	24	19	33.88	2.265 820 96	20	7	37	29.111	22	44	22.98	2.519 620 11	
	6	5	31	9.879	24	21	48.78	2.272 399 69	21	7	40	12.666	22	38	3.03	2.523 928 54	
	7	5	34	0.745	24	23	51.90	2.278 934 92	22	7	42	55.927	22	31	33.17	2.528 182 38	
	8	5	36	51.617	24	25	43.24	2.285 426 14	23	7	45	38.893	22	24	53.46	2.532 381 29	
	9	5	39	42.484	24	27	22.80	2.291 872 95	24	7	48	21.562	22	18	3.99	2.536 524 85	
	10	5	42	33.334	24	28	50.59	2.298 274 99	25	7	51	3.932	22	11	4.81	2.540 612 67	
11	5	45	24.153	24	30	6.59	2.304 632 04	26	7	53	46.003	22	3	56.01	2.544 644 28		
12	5	48	14.932	24	31	10.81	2.310 943 92	27	7	56	27.773	21	56	37.66	2.548 619 22		
13	5	51	5.658	24	32	3.23	2.317 210 56	28	7	59	9.242	21	49	9.84	2.552 536 99		
14	5	53	56.325	24	32	43.86	2.323 431 95	29	8	1	50.407	21	41	32.62	2.556 397 07		
15	5	56	46.923	24	33	12.69	2.329 608 10	30	8	4	31.269	21	33	46.10	2.560 198 94		
16	5	59	37.448	24	33	29.74	2.335 739 08	Juill.	1	8	7	11.823	21	25	50.36	2.563 942 05	
17	6	2	27.894	24	33	35.03	2.341 824 92		2	8	9	52.067	21	17	45.50	2.567 625 88	

MARS 2019 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	8	12	31.996	21	9	31.61	2.571 249 97	Août	18	10	9	25.898	12	34	14.53	2.671 432 75
	4	8	15	11.605	21	1	8.79	2.574 813 89		19	10	11	51.730	12	20	38.91	2.672 114 75
	5	8	17	50.887	20	52	37.14	2.578 317 35		20	10	14	17.342	12	6	58.63	2.672 732 09
	6	8	20	29.839	20	43	56.74	2.581 760 16		21	10	16	42.740	11	53	13.79	2.673 284 56
	7	8	23	8.456	20	35	7.67	2.585 142 21		22	10	19	7.931	11	39	24.45	2.673 771 87
	8	8	25	46.738	20	26	10.00	2.588 463 55		23	10	21	32.922	11	25	30.71	2.674 193 73
	9	8	28	24.683	20	17	3.83	2.591 724 26		24	10	23	57.718	11	11	32.65	2.674 549 80
	10	8	31	2.293	20	7	49.24	2.594 924 47		25	10	26	22.324	10	57	30.36	2.674 839 72
	11	8	33	39.568	19	58	26.33	2.598 064 36		26	10	28	46.746	10	43	23.94	2.675 063 09
	12	8	36	16.509	19	48	55.17	2.601 144 07		27	10	31	10.986	10	29	13.49	2.675 219 51
	13	8	38	53.118	19	39	15.89	2.604 163 75		28	10	33	35.048	10	14	59.11	2.675 308 58
	14	8	41	29.395	19	29	28.56	2.607 123 49		29	10	35	58.934	10	0	40.89	2.675 329 95
15	8	44	5.340	19	19	33.29	2.610 023 35	30	10	38	22.645	9	46	18.95	2.675 283 32		
16	8	46	40.954	19	9	30.18	2.612 863 33	31	10	40	46.185	9	31	53.38	2.675 168 52		
17	8	49	16.239	18	59	19.32	2.615 643 38	Sept.	1	10	43	9.557	9	17	24.27	2.674 985 51	
18	8	51	51.195	18	49	0.78	2.618 363 41	2	10	45	32.768	9	2	51.70	2.674 734 36		
19	8	54	25.825	18	38	34.67	2.621 023 25	3	10	47	55.823	8	48	15.77	2.674 415 28		
20	8	57	0.131	18	28	1.07	2.623 622 70	4	10	50	18.728	8	33	36.57	2.674 028 54		
21	8	59	34.116	18	17	20.06	2.626 161 53	5	10	52	41.489	8	18	54.20	2.673 574 45		
22	9	2	7.784	18	6	31.71	2.628 639 44	6	10	55	4.110	8	4	8.75	2.673 053 36		
23	9	4	41.138	17	55	36.12	2.631 056 13	7	10	57	26.595	7	49	20.33	2.672 465 56		
24	9	7	14.181	17	44	33.38	2.633 411 24	8	10	59	48.951	7	34	29.04	2.671 811 34		
25	9	9	46.917	17	33	23.55	2.635 704 39	9	11	2	11.183	7	19	34.97	2.671 090 97		
26	9	12	19.350	17	22	6.74	2.637 935 18	10	11	4	33.296	7	4	38.20	2.670 304 65		
27	9	14	51.484	17	10	43.03	2.640 103 16	11	11	6	55.296	6	49	38.83	2.669 452 58		
28	9	17	23.320	16	59	12.52	2.642 207 89	12	11	9	17.191	6	34	36.95	2.668 534 89		
29	9	19	54.862	16	47	35.30	2.644 248 88	13	11	11	38.988	6	19	32.63	2.667 551 70		
30	9	22	26.110	16	35	51.48	2.646 225 64	14	11	14	0.693	6	4	25.96	2.666 503 06		
31	9	24	57.064	16	24	1.16	2.648 137 73	15	11	16	22.315	5	49	17.01	2.665 389 02		
Août	1	9	27	27.722	16	12	4.45	2.649 984 75	16	11	18	43.862	5	34	5.87	2.664 209 54	
2	9	29	58.085	16	0	1.45	2.651 766 38	17	11	21	5.343	5	18	52.60	2.662 964 58		
3	9	32	28.151	15	47	52.26	2.653 482 44	18	11	23	26.765	5	3	37.29	2.661 654 05		
4	9	34	57.922	15	35	36.97	2.655 132 87	19	11	25	48.136	4	48	20.02	2.660 277 81		
5	9	37	27.402	15	23	15.66	2.656 717 71	20	11	28	9.463	4	33	0.87	2.658 835 68		
6	9	39	56.593	15	10	48.42	2.658 237 12	21	11	30	30.755	4	17	39.92	2.657 327 46		
7	9	42	25.500	14	58	15.35	2.659 691 30	22	11	32	52.016	4	2	17.26	2.655 752 91		
8	9	44	54.128	14	45	36.55	2.661 080 48	23	11	35	13.253	3	46	52.98	2.654 111 76		
9	9	47	22.480	14	32	52.11	2.662 404 89	24	11	37	34.470	3	31	27.19	2.652 403 71		
10	9	49	50.560	14	20	2.14	2.663 664 75	25	11	39	55.672	3	15	59.99	2.650 628 49		
11	9	52	18.371	14	7	6.73	2.664 860 24	26	11	42	16.861	3	0	31.46	2.648 785 80		
12	9	54	45.918	13	54	5.99	2.665 991 49	27	11	44	38.043	2	45	1.73	2.646 875 45		
13	9	57	13.204	13	41	0.00	2.667 058 62	28	11	46	59.221	2	29	30.87	2.644 897 30		
14	9	59	40.234	13	27	48.87	2.668 061 67	29	11	49	20.403	2	13	58.99	2.642 851 34		
15	10	2	7.013	13	14	32.67	2.669 000 67	30	11	51	41.593	1	58	26.18	2.640 737 70		
16	10	4	33.546	13	1	11.49	2.669 875 57	Oct.	1	11	54	2.799	1	42	52.52	2.638 556 64	
17	10	6	59.839	12	47	45.42	2.670 686 30	2	11	56	24.026	1	27	18.13	2.636 308 49		

MARS 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance	
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua	
Oct. 3	11	58	45.280	1	11	43.09	2.633 993 69	Nov. 18	13	49	22.350	-10	29	16.77	2.459 433 54	
4	12	1	6.564	0	56	7.52	2.631 612 66	19	13	51	51.978	-10	43	33.12	2.454 245 06	
5	12	3	27.885	0	40	31.51	2.629 165 85	20	13	54	21.926	-10	57	45.35	2.449 001 28	
6	12	5	49.247	0	24	55.17	2.626 653 69	21	13	56	52.199	-11	11	53.36	2.443 702 22	
7	12	8	10.656	0	9	18.60	2.624 076 57	22	13	59	22.801	-11	25	57.01	2.438 347 94	
8	12	10	32.118	-0	6	18.12	2.621 434 86	23	14	1	53.738	-11	39	56.19	2.432 938 55	
9	12	12	53.640	-0	21	54.88	2.618 728 90	24	14	4	25.015	-11	53	50.80	2.427 474 24	
10	12	15	15.231	-0	37	31.59	2.615 958 99	25	14	6	56.634	-12	7	40.71	2.421 955 32	
11	12	17	36.896	-0	53	8.18	2.613 125 40	26	14	9	28.601	-12	21	25.82	2.416 382 21	
12	12	19	58.645	-1	8	44.56	2.610 228 39	27	14	12	0.915	-12	35	6.00	2.410 755 40	
13	12	22	20.486	-1	1	24	20.64	2.607 268 14	28	14	14	33.580	-12	48	41.14	2.405 075 51
14	12	24	42.427	-1	1	39	56.35	2.604 244 84	29	14	17	6.595	-13	2	11.09	2.399 343 20
15	12	27	4.478	-1	55	31.60	2.601 158 59	30	14	19	39.963	-13	15	35.74	2.393 559 20	
16	12	29	26.646	-2	11	6.31	2.598 009 49	Nov. 1	14	22	13.685	-13	28	54.96	2.387 724 21	
17	12	31	48.939	-2	26	40.40	2.594 797 56	2	14	24	47.765	-13	42	8.62	2.381 838 97	
18	12	34	11.365	-2	42	13.78	2.591 522 80	3	14	27	22.206	-13	55	16.60	2.375 904 20	
19	12	36	33.931	-2	57	46.36	2.588 185 15	4	14	29	57.013	-14	8	18.79	2.369 920 57	
20	12	38	56.642	-3	13	18.05	2.584 784 52	5	14	32	32.190	-14	21	15.08	2.363 888 78	
21	12	41	19.505	-3	28	48.74	2.581 320 78	6	14	35	7.741	-14	34	5.35	2.357 809 47	
22	12	43	42.525	-3	44	18.34	2.577 793 80	7	14	37	43.673	-14	46	49.49	2.351 683 28	
23	12	46	5.705	-3	59	46.74	2.574 203 43	8	14	40	19.990	-14	59	27.41	2.345 510 81	
24	12	48	29.050	-4	15	13.82	2.570 549 53	9	14	42	56.697	-15	11	58.99	2.339 292 63	
25	12	50	52.566	-4	30	39.49	2.566 832 00	10	14	45	33.799	-15	24	24.14	2.333 029 30	
26	12	53	16.258	-4	46	3.64	2.563 050 83	11	14	48	11.301	-15	36	42.76	2.326 721 30	
27	12	55	40.133	-5	1	26.17	2.559 206 09	12	14	50	49.207	-15	48	54.73	2.320 369 07	
28	12	58	4.196	-5	16	46.98	2.555 297 97	13	14	53	27.520	-16	0	59.97	2.313 972 99	
29	13	0	28.453	-5	32	5.97	2.551 326 81	14	14	56	6.243	-16	12	58.35	2.307 533 35	
30	13	2	52.909	-5	47	23.02	2.547 293 02	15	14	58	45.378	-16	24	49.77	2.301 050 39	
31	13	5	17.567	-6	2	38.02	2.543 197 13	16	15	1	24.924	-16	36	34.10	2.294 524 30	
Nov. 1	13	7	42.431	-6	17	50.86	2.539 039 69	17	15	4	4.885	-16	48	11.23	2.287 955 22	
2	13	10	7.505	-6	33	1.43	2.534 821 29	18	15	6	45.262	-16	59	41.03	2.281 343 29	
3	13	12	32.794	-6	48	9.61	2.530 542 51	19	15	9	26.055	-17	11	3.38	2.274 688 64	
4	13	14	58.302	-7	3	15.29	2.526 203 92	20	15	12	7.268	-17	22	18.15	2.267 991 47	
5	13	17	24.036	-7	18	18.36	2.521 806 06	21	15	14	48.901	-17	33	25.24	2.261 252 01	
6	13	19	50.002	-7	33	18.73	2.517 349 44	22	15	17	30.956	-17	44	24.52	2.254 470 57	
7	13	22	16.207	-7	48	16.29	2.512 834 56	23	15	20	13.431	-17	55	15.88	2.247 647 55	
8	13	24	42.658	-8	3	10.94	2.508 261 88	24	15	22	56.325	-18	5	59.21	2.240 783 44	
9	13	27	9.363	-8	18	2.58	2.503 631 84	25	15	25	39.635	-18	16	34.38	2.233 878 83	
10	13	29	36.330	-8	32	51.13	2.498 944 84	26	15	28	23.358	-18	27	1.27	2.226 934 39	
11	13	32	3.565	-8	47	36.49	2.494 201 27	27	15	31	7.491	-18	37	19.75	2.219 950 84	
12	13	34	31.078	-9	2	18.57	2.489 401 45	28	15	33	52.029	-18	47	29.70	2.212 928 98	
13	13	36	58.875	-9	16	57.27	2.484 545 66	29	15	36	36.971	-18	57	31.00	2.205 869 63	
14	13	39	26.964	-9	31	32.51	2.479 634 14	30	15	39	22.315	-19	7	23.51	2.198 773 61	
15	13	41	55.351	-9	46	4.18	2.474 667 07	31	15	42	8.059	-19	17	7.12	2.191 641 77	
16	13	44	24.041	-10	0	32.19	2.469 644 57	32	15	44	54.203	-19	26	41.73	2.184 474 91	
17	13	46	53.039	-10	14	56.42	2.464 566 71	33	15	47	40.746	-19	36	7.20	2.177 273 87	

JUPITER 2019 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	°	'	"			
Janv.	0	16	40	28.516	-21	32	35.21	6.201 438 40	Févr.	15	17	16	45.836	-22	26	26.76	5.661 586 94
	1	16	41	22.310	-21	34	18.94	6.193 537 51		16	17	17	23.749	-22	27	5.26	5.646 654 40
	2	16	42	15.926	-21	36	1.12	6.185 439 11		17	17	18	1.141	-22	27	42.66	5.631 630 39
	3	16	43	9.356	-21	37	41.76	6.177 144 43		18	17	18	38.003	-22	28	18.95	5.616 517 96
	4	16	44	2.593	-21	39	20.87	6.168 654 81		19	17	19	14.327	-22	28	54.16	5.601 320 01
	5	16	44	55.629	-21	40	58.44	6.159 971 70		20	17	19	50.105	-22	29	28.29	5.586 039 43
	6	16	45	48.453	-21	42	34.47	6.151 096 66		21	17	20	25.330	-22	30	1.34	5.570 679 00
	7	16	46	41.058	-21	44	8.96	6.142 031 33		22	17	20	59.998	-22	30	33.32	5.555 241 57
	8	16	47	33.435	-21	45	41.90	6.132 777 44		23	17	21	34.102	-22	31	4.25	5.539 730 00
	9	16	48	25.577	-21	47	13.29	6.123 336 79		24	17	22	7.636	-22	31	34.16	5.524 147 29
	10	16	49	17.475	-21	48	43.13	6.113 711 25		25	17	22	40.593	-22	32	3.07	5.508 496 55
	11	16	50	9.123	-21	50	11.41	6.103 902 77		26	17	23	12.965	-22	32	31.01	5.492 781 00
	12	16	51	0.515	-21	51	38.14	6.093 913 32		27	17	23	44.742	-22	32	58.00	5.477 004 03
	13	16	51	51.644	-21	53	3.30	6.083 744 95		28	17	24	15.915	-22	33	24.06	5.461 169 11
14	16	52	42.504	-21	54	26.92	6.073 399 72	Mars	1	17	24	46.475	-22	33	49.21	5.445 279 83	
15	16	53	33.089	-21	55	48.99	6.062 879 74		2	17	25	16.413	-22	34	13.45	5.429 339 87	
16	16	54	23.394	-21	57	9.53	6.052 187 15		3	17	25	45.718	-22	34	36.82	5.413 352 98	
17	16	55	13.413	-21	58	28.55	6.041 324 10		4	17	26	14.384	-22	34	59.31	5.397 323 01	
18	16	56	3.139	-21	59	46.08	6.030 292 71		5	17	26	42.402	-22	35	20.94	5.381 253 87	
19	16	56	52.567	-22	1	2.12	6.019 095 09		6	17	27	9.763	-22	35	41.72	5.365 149 53	
20	16	57	41.687	-22	2	16.69	6.007 733 27		7	17	27	36.462	-22	36	1.65	5.349 014 04	
21	16	58	30.491	-22	3	29.81	5.996 209 20		8	17	28	2.492	-22	36	20.76	5.332 851 49	
22	16	59	18.971	-22	4	41.47	5.984 524 74		9	17	28	27.847	-22	36	39.06	5.316 666 00	
23	17	0	7.118	-22	5	51.67	5.972 681 66		10	17	28	52.520	-22	36	56.56	5.300 461 74	
24	17	0	54.926	-22	7	0.42	5.960 681 72		11	17	29	16.508	-22	37	13.28	5.284 242 89	
25	17	1	42.389	-22	8	7.70	5.948 526 66		12	17	29	39.804	-22	37	29.25	5.268 013 65	
26	17	2	29.502	-22	9	13.53	5.936 218 31		13	17	30	2.402	-22	37	44.49	5.251 778 20	
27	17	3	16.257	-22	10	17.92	5.923 758 59		14	17	30	24.298	-22	37	59.02	5.235 540 70	
28	17	4	2.650	-22	11	20.90	5.911 149 52	15	17	30	45.485	-22	38	12.88	5.219 305 28		
29	17	4	48.671	-22	12	22.47	5.898 393 26	16	17	31	5.957	-22	38	26.08	5.203 076 02		
30	17	5	34.313	-22	13	22.66	5.885 492 08	17	17	31	25.706	-22	38	38.64	5.186 856 91		
31	17	6	19.566	-22	14	21.49	5.872 448 39	18	17	31	44.726	-22	38	50.58	5.170 651 86		
Févr.	1	17	7	4.421	-22	15	18.96	5.859 264 67	19	17	32	3.010	-22	39	1.88	5.154 464 71	
	2	17	7	48.869	-22	16	15.08	5.845 943 53	20	17	32	20.554	-22	39	12.57	5.138 299 19	
	3	17	8	32.900	-22	17	9.87	5.832 487 66	21	17	32	37.354	-22	39	22.64	5.122 159 01	
	4	17	9	16.505	-22	18	3.34	5.818 899 85	22	17	32	53.407	-22	39	32.10	5.106 047 88	
	5	17	9	59.676	-22	18	55.49	5.805 182 96	23	17	33	8.708	-22	39	40.97	5.089 969 55	
	6	17	10	42.403	-22	19	46.32	5.791 339 92	24	17	33	23.255	-22	39	49.27	5.073 927 88	
	7	17	11	24.680	-22	20	35.85	5.777 373 73	25	17	33	37.041	-22	39	57.02	5.057 926 84	
	8	17	12	6.498	-22	21	24.09	5.763 287 47	26	17	33	50.061	-22	40	4.24	5.041 970 51	
9	17	12	47.852	-22	22	11.04	5.749 084 23	27	17	34	2.307	-22	40	10.94	5.026 063 12		
10	17	13	28.733	-22	22	56.72	5.734 767 18	28	17	34	13.773	-22	40	17.15	5.010 208 97		
11	17	14	9.136	-22	23	41.15	5.720 339 50	29	17	34	24.453	-22	40	22.86	4.994 412 46		
12	17	14	49.054	-22	24	24.34	5.705 804 41	30	17	34	34.342	-22	40	28.09	4.978 678 08		
13	17	15	28.481	-22	25	6.33	5.691 165 14	31	17	34	43.433	-22	40	32.83	4.963 010 36		
14	17	16	7.411	-22	25	47.12	5.676 424 91	Avril 1	17	34	51.722	-22	40	37.09	4.947 413 89		

JUPITER 2019 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	17	34	59.206	-22	40	40.87	4.931 893 31	Mai	18	17	26	36.477	-22	35	35.49	4.376 591 87
	3	17	35	5.882	-22	40	44.17	4.916 453 32		19	17	26	9.510	-22	35	17.52	4.369 497 87
	4	17	35	11.747	-22	40	46.99	4.901 098 63		20	17	25	42.059	-22	34	59.03	4.362 669 77
	5	17	35	16.800	-22	40	49.34	4.885 833 97		21	17	25	14.140	-22	34	40.03	4.356 110 04
	6	17	35	21.039	-22	40	51.23	4.870 664 13		22	17	24	45.767	-22	34	20.50	4.349 821 18
	7	17	35	24.465	-22	40	52.65	4.855 593 84		23	17	24	16.957	-22	34	0.45	4.343 805 66
	8	17	35	27.078	-22	40	53.62	4.840 627 88		24	17	23	47.727	-22	33	39.88	4.338 065 90
	9	17	35	28.877	-22	40	54.15	4.825 770 94		25	17	23	18.097	-22	33	18.78	4.332 604 26
	10	17	35	29.862	-22	40	54.27	4.811 027 69		26	17	22	48.084	-22	32	57.14	4.327 423 05
	11	17	35	30.034	-22	40	53.97	4.796 402 73		27	17	22	17.709	-22	32	34.98	4.322 524 48
	12	17	35	29.392	-22	40	53.27	4.781 900 58		28	17	21	46.993	-22	32	12.28	4.317 910 66
13	17	35	27.936	-22	40	52.17	4.767 525 64	29	17	21	15.957	-22	31	49.04	4.313 583 61		
14	17	35	25.665	-22	40	50.68	4.753 282 22	30	17	20	44.624	-22	31	25.29	4.309 545 25		
15	17	35	22.581	-22	40	48.79	4.739 174 52	31	17	20	13.018	-22	31	1.02	4.305 797 36		
16	17	35	18.685	-22	40	46.48	4.725 206 63	Juin	1	17	19	41.161	-22	30	36.25	4.302 341 62	
17	17	35	13.981	-22	40	43.76	4.711 382 56		2	17	19	9.078	-22	30	11.01	4.299 179 53	
18	17	35	8.472	-22	40	40.60	4.697 706 26		3	17	18	36.792	-22	29	45.31	4.296 312 44	
19	17	35	2.163	-22	40	37.02	4.684 181 65		4	17	18	4.327	-22	29	19.17	4.293 741 50	
20	17	34	55.058	-22	40	33.00	4.670 812 68		5	17	17	31.707	-22	28	52.64	4.291 467 65	
21	17	34	47.161	-22	40	28.57	4.657 603 37		6	17	16	58.953	-22	28	25.73	4.289 491 60	
22	17	34	38.475	-22	40	23.73	4.644 557 79		7	17	16	26.088	-22	27	58.45	4.287 813 79	
23	17	34	29.002	-22	40	18.48	4.631 680 12		8	17	15	53.135	-22	27	30.83	4.286 434 45	
24	17	34	18.743	-22	40	12.83	4.618 974 60		9	17	15	20.117	-22	27	2.86	4.285 353 58	
25	17	34	7.702	-22	40	6.76	4.606 445 52		10	17	14	47.059	-22	26	34.57	4.284 570 97	
26	17	33	55.882	-22	40	0.27	4.594 097 22		11	17	14	13.985	-22	26	5.98	4.284 086 28	
27	17	33	43.287	-22	39	53.35	4.581 934 05	12	17	13	40.921	-22	25	37.09	4.283 899 02		
28	17	33	29.923	-22	39	45.98	4.569 960 39	13	17	13	7.890	-22	25	7.94	4.284 008 60		
29	17	33	15.796	-22	39	38.16	4.558 180 59	14	17	12	34.918	-22	24	38.56	4.284 414 39		
30	17	33	0.914	-22	39	29.87	4.546 599 00	15	17	12	2.027	-22	24	8.99	4.285 115 67		
Mai	1	17	32	45.284	-22	39	21.10	4.535 219 95	16	17	11	29.237	-22	23	39.27	4.286 111 70	
	2	17	32	28.916	-22	39	11.84	4.524 047 75	17	17	10	56.571	-22	23	9.41	4.287 401 73	
	3	17	32	11.821	-22	39	2.09	4.513 086 66	18	17	10	24.048	-22	22	39.47	4.288 984 93	
	4	17	31	54.009	-22	38	51.83	4.502 340 88	19	17	9	51.688	-22	22	9.45	4.290 860 47	
	5	17	31	35.492	-22	38	41.08	4.491 814 57	20	17	9	19.511	-22	21	39.39	4.293 027 46	
	6	17	31	16.282	-22	38	29.82	4.481 511 78	21	17	8	47.539	-22	21	9.31	4.295 484 92	
	7	17	30	56.393	-22	38	18.07	4.471 436 44	22	17	8	15.791	-22	20	39.24	4.298 231 82	
	8	17	30	35.835	-22	38	5.83	4.461 592 37	23	17	7	44.289	-22	20	9.19	4.301 267 02	
	9	17	30	14.621	-22	37	53.11	4.451 983 22	24	17	7	13.056	-22	19	39.21	4.304 589 28	
	10	17	29	52.764	-22	37	39.89	4.442 612 46	25	17	6	42.111	-22	19	9.31	4.308 197 27	
	11	17	29	30.276	-22	37	26.19	4.433 483 39	26	17	6	11.479	-22	18	39.52	4.312 089 53	
12	17	29	7.171	-22	37	11.97	4.424 599 15	27	17	5	41.180	-22	18	9.90	4.316 264 50		
13	17	28	43.464	-22	36	57.24	4.415 962 69	28	17	5	11.236	-22	17	40.47	4.320 720 49		
14	17	28	19.170	-22	36	41.98	4.407 576 83	29	17	4	41.669	-22	17	11.28	4.325 455 68		
15	17	27	54.307	-22	36	26.17	4.399 444 25	30	17	4	12.501	-22	16	42.36	4.330 468 12		
16	17	27	28.892	-22	36	9.82	4.391 567 55	Juill.	1	17	3	43.751	-22	16	13.78	4.335 755 68	
17	17	27	2.943	-22	35	52.93	4.383 949 25		2	17	3	15.438	-22	15	45.58	4.341 316 06	

JUPITER 2019 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	17	2	47.582	-22	15	17.81	4.347 146 74	Août	18	16	53	12.797	-22	9	44.01	4.846 837 37
	4	17	2	20.199	-22	14	50.49	4.353 245 01		19	16	53	18.177	-22	10	3.81	4.861 241 24
	5	17	1	53.306	-22	14	23.67	4.359 607 91		20	16	53	24.341	-22	10	24.78	4.875 729 16
	6	17	1	26.919	-22	13	57.38	4.366 232 30		21	16	53	31.289	-22	10	46.93	4.890 297 21
	7	17	1	1.055	-22	13	31.62	4.373 114 87		22	16	53	39.021	-22	11	10.24	4.904 941 43
	8	17	0	35.734	-22	13	6.45	4.380 252 18		23	16	53	47.534	-22	11	34.71	4.919 657 86
	9	17	0	10.970	-22	12	41.87	4.387 640 73		24	16	53	56.828	-22	12	0.33	4.934 442 51
	10	16	59	46.782	-22	12	17.94	4.395 276 96		25	16	54	6.900	-22	12	27.10	4.949 291 35
	11	16	59	23.184	-22	11	54.70	4.403 157 32		26	16	54	17.747	-22	12	55.01	4.964 200 32
	12	16	59	0.190	-22	11	32.18	4.411 278 26		27	16	54	29.365	-22	13	24.05	4.979 165 27
	13	16	58	37.812	-22	11	10.42	4.419 636 23		28	16	54	41.749	-22	13	54.22	4.994 181 97
	14	16	58	16.061	-22	10	49.47	4.428 227 74		29	16	54	54.896	-22	14	25.47	5.009 246 10
	15	16	57	54.949	-22	10	29.34	4.437 049 28		30	16	55	8.799	-22	14	57.79	5.024 353 25
	16	16	57	34.483	-22	10	10.08	4.446 097 39		31	16	55	23.457	-22	15	31.15	5.039 498 92
	17	16	57	14.674	-22	9	51.70	4.455 368 58		Sept. 1	16	55	38.864	-22	16	5.50	5.054 678 61
	18	16	56	55.531	-22	9	34.23	4.464 859 40		2	16	55	55.020	-22	16	40.83	5.069 887 84
	19	16	56	37.063	-22	9	17.68	4.474 566 36		3	16	56	11.922	-22	17	17.12	5.085 122 22
20	16	56	19.280	-22	9	2.08	4.484 485 96	4	16	56	29.564	-22	17	54.36	5.100 377 46		
21	16	56	2.191	-22	8	47.43	4.494 614 66	5	16	56	47.942	-22	18	32.53	5.115 649 42		
22	16	55	45.806	-22	8	33.77	4.504 948 89	6	16	57	7.048	-22	19	11.62	5.130 934 11		
23	16	55	30.134	-22	8	21.11	4.515 485 04	7	16	57	26.875	-22	19	51.60	5.146 227 62		
24	16	55	15.186	-22	8	9.48	4.526 219 44	8	16	57	47.415	-22	20	32.45	5.161 526 19		
25	16	55	0.970	-22	7	58.90	4.537 148 39	9	16	58	8.661	-22	21	14.12	5.176 826 14		
26	16	54	47.494	-22	7	49.40	4.548 268 10	10	16	58	30.606	-22	21	56.60	5.192 123 86		
27	16	54	34.767	-22	7	41.00	4.559 574 74	11	16	58	53.242	-22	22	39.85	5.207 415 83		
28	16	54	22.798	-22	7	33.74	4.571 064 40	12	16	59	16.564	-22	23	23.83	5.222 698 56		
29	16	54	11.591	-22	7	27.64	4.582 733 07	13	16	59	40.565	-22	24	8.51	5.237 968 66		
30	16	54	1.154	-22	7	22.72	4.594 576 63	14	17	0	5.240	-22	24	53.85	5.253 222 73		
31	16	53	51.489	-22	7	19.02	4.606 590 83	15	17	0	30.585	-22	25	39.83	5.268 457 45		
Août 1	16	53	42.601	-22	7	16.53	4.618 771 27	16	17	0	56.593	-22	26	26.41	5.283 669 50		
2	16	53	34.493	-22	7	15.26	4.631 113 41	17	17	1	23.260	-22	27	13.56	5.298 855 61		
3	16	53	27.169	-22	7	15.22	4.643 612 59	18	17	1	50.582	-22	28	1.26	5.314 012 48		
4	16	53	20.632	-22	7	16.40	4.656 264 08	19	17	2	18.554	-22	28	49.49	5.329 136 85		
5	16	53	14.888	-22	7	18.80	4.669 063 13	20	17	2	47.171	-22	29	38.22	5.344 225 44		
6	16	53	9.941	-22	7	22.43	4.682 005 02	21	17	3	16.428	-22	30	27.43	5.359 274 93		
7	16	53	5.793	-22	7	27.30	4.695 085 07	22	17	3	46.318	-22	31	17.10	5.374 282 01		
8	16	53	2.447	-22	7	33.43	4.708 298 72	23	17	4	16.835	-22	32	7.22	5.389 243 30		
9	16	52	59.902	-22	7	40.83	4.721 641 50	24	17	4	47.972	-22	32	57.74	5.404 155 38		
10	16	52	58.158	-22	7	49.49	4.735 109 02	25	17	5	19.722	-22	33	48.63	5.419 014 76		
11	16	52	57.212	-22	7	59.43	4.748 696 97	26	17	5	52.078	-22	34	39.87	5.433 817 88		
12	16	52	57.064	-22	8	10.64	4.762 401 14	27	17	6	25.034	-22	35	31.40	5.448 561 09		
13	16	52	57.710	-22	8	23.12	4.776 217 36	28	17	6	58.583	-22	36	23.18	5.463 240 73		
14	16	52	59.149	-22	8	36.84	4.790 141 54	29	17	7	32.722	-22	37	15.17	5.477 853 10		
15	16	53	1.379	-22	8	51.81	4.804 169 63	30	17	8	7.446	-22	38	7.35	5.492 394 57		
16	16	53	4.398	-22	9	8.00	4.818 297 62	Oct. 1	17	8	42.750	-22	38	59.68	5.506 861 58		
17	16	53	8.204	-22	9	25.41	4.832 521 52	2	17	9	18.628	-22	39	52.14	5.521 250 74		

JUPITER 2019 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	17	9	55.071	-22	40	44.72	5.535 558 76	Nov.	18	17	46	1.347	-23	14	8.51	6.061 380 26
	4	17	10	32.070	-22	41	37.39	5.549 782 55		19	17	46	56.630	-23	14	32.90	6.069 094 06
	5	17	11	9.617	-22	42	30.11	5.563 919 10		20	17	47	52.158	-23	14	56.11	6.076 621 03
	6	17	11	47.703	-22	43	22.85	5.577 965 54		21	17	48	47.925	-23	15	18.12	6.083 959 43
	7	17	12	26.319	-22	44	15.58	5.591 919 09		22	17	49	43.925	-23	15	38.91	6.091 107 51
	8	17	13	5.456	-22	45	8.25	5.605 777 05		23	17	50	40.155	-23	15	58.45	6.098 063 49
	9	17	13	45.109	-22	46	0.82	5.619 536 76		24	17	51	36.609	-23	16	16.73	6.104 825 63
	10	17	14	25.268	-22	46	53.26	5.633 195 65		25	17	52	33.282	-23	16	33.72	6.111 392 25
	11	17	15	5.929	-22	47	45.53	5.646 751 19		26	17	53	30.170	-23	16	49.45	6.117 761 76
	12	17	15	47.085	-22	48	37.59	5.660 200 88		27	17	54	27.264	-23	17	3.88	6.123 932 70
	13	17	16	28.731	-22	49	29.41	5.673 542 28		28	17	55	24.557	-23	17	17.03	6.129 903 74
	14	17	17	10.860	-22	50	20.97	5.686 772 97		29	17	56	22.038	-23	17	28.88	6.135 673 70
15	17	17	53.469	-22	51	12.22	5.699 890 54	30	17	57	19.699	-23	17	39.42	6.141 241 52		
16	17	18	36.551	-22	52	3.16	5.712 892 61	Déc.	1	17	58	17.532	-23	17	48.63	6.146 606 27	
17	17	19	20.101	-22	52	53.74	5.725 776 78		2	17	59	15.529	-23	17	56.50	6.151 767 09	
18	17	20	4.113	-22	53	43.97	5.738 540 66	3	18	0	13.683	-23	18	2.99	6.156 723 22		
19	17	20	48.581	-22	54	33.80	5.751 181 82	4	18	1	11.986	-23	18	8.11	6.161 473 94		
20	17	21	33.499	-22	55	23.23	5.763 697 80	5	18	2	10.434	-23	18	11.82	6.166 018 62		
21	17	22	18.858	-22	56	12.22	5.776 086 09	6	18	3	9.021	-23	18	14.12	6.170 356 66		
22	17	23	4.652	-22	57	0.74	5.788 344 13	7	18	4	7.741	-23	18	15.00	6.174 487 48		
23	17	23	50.873	-22	57	48.77	5.800 469 32	8	18	5	6.589	-23	18	14.45	6.178 410 59		
24	17	24	37.515	-22	58	36.25	5.812 458 98	9	18	6	5.560	-23	18	12.46	6.182 125 49		
25	17	25	24.571	-22	59	23.16	5.824 310 39	10	18	7	4.649	-23	18	9.03	6.185 631 75		
26	17	26	12.037	-23	0	9.46	5.836 020 79	11	18	8	3.851	-23	18	4.17	6.188 928 91		
27	17	26	59.908	-23	0	55.11	5.847 587 46	12	18	9	3.160	-23	17	57.87	6.192 016 55		
28	17	27	48.179	-23	1	40.09	5.859 007 70	13	18	10	2.569	-23	17	50.14	6.194 894 20		
29	17	28	36.846	-23	2	24.37	5.870 278 91	14	18	11	2.073	-23	17	40.98	6.197 561 38		
30	17	29	25.900	-23	3	7.96	5.881 398 63	15	18	12	1.663	-23	17	30.39	6.200 017 52		
31	17	30	15.334	-23	3	50.82	5.892 364 54	16	18	13	1.333	-23	17	18.37	6.202 262 03		
Nov.	1	17	31	5.138	-23	4	32.94	5.903 174 47	17	18	14	1.076	-23	17	4.90	6.204 294 24	
2	17	31	55.303	-23	5	14.29	5.913 826 37	18	18	15	0.886	-23	16	49.96	6.206 113 43		
3	17	32	45.821	-23	5	54.84	5.924 318 33	19	18	16	0.758	-23	16	33.56	6.207 718 87		
4	17	33	36.683	-23	6	34.56	5.934 648 50	20	18	17	0.688	-23	16	15.67	6.209 109 79		
5	17	34	27.881	-23	7	13.42	5.944 815 11	21	18	18	0.672	-23	15	56.29	6.210 285 47		
6	17	35	19.409	-23	7	51.38	5.954 816 48	22	18	19	0.704	-23	15	35.43	6.211 245 22		
7	17	36	11.260	-23	8	28.42	5.964 650 95	23	18	20	0.780	-23	15	13.10	6.211 988 44		
8	17	37	3.428	-23	9	4.50	5.974 316 93	24	18	21	0.894	-23	14	49.30	6.212 514 63		
9	17	37	55.908	-23	9	39.61	5.983 812 87	25	18	22	1.036	-23	14	24.05	6.212 823 39		
10	17	38	48.693	-23	10	13.71	5.993 137 26	26	18	23	1.199	-23	13	57.36	6.212 914 47		
11	17	39	41.780	-23	10	46.79	6.002 288 61	27	18	24	1.375	-23	13	29.23	6.212 787 73		
12	17	40	35.162	-23	11	18.83	6.011 265 47	28	18	25	1.553	-23	12	59.66	6.212 443 16		
13	17	41	28.835	-23	11	49.82	6.020 066 39	29	18	26	1.727	-23	12	28.66	6.211 880 88		
14	17	42	22.793	-23	12	19.74	6.028 689 92	30	18	27	1.888	-23	11	56.21	6.211 101 08		
15	17	43	17.030	-23	12	48.58	6.037 134 59	31	18	28	2.031	-23	11	22.33	6.210 104 03		
16	17	44	11.539	-23	13	16.34	6.045 398 90	32	18	29	2.148	-23	10	47.00	6.208 890 10		
17	17	45	6.314	-23	13	42.99	6.053 481 32	33	18	30	2.235	-23	10	10.24	6.207 459 68		

SATURNE 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	18 48 47.300	-22 28 33.00	11.042 912 65	Févr.	15	19 11 2.161	-21 59 18.42	10.799 765 31
	1	18 49 17.907	-22 28 1.29	11.043 325 92		16	19 11 27.756	-21 58 37.53	10.789 000 51
	2	18 49 48.521	-22 27 29.16	11.043 476 41		17	19 11 53.129	-21 57 56.77	10.778 036 09
	3	18 50 19.138	-22 26 56.62	11.043 363 82		18	19 12 18.276	-21 57 16.14	10.766 874 79
	4	18 50 49.750	-22 26 23.68	11.042 987 97		19	19 12 43.189	-21 56 35.66	10.755 519 26
	5	18 51 20.351	-22 25 50.36	11.042 348 80		20	19 13 7.865	-21 55 55.33	10.743 972 07
	6	18 51 50.935	-22 25 16.66	11.041 446 39		21	19 13 32.299	-21 55 15.15	10.732 235 70
	7	18 52 21.496	-22 24 42.59	11.040 280 93		22	19 13 56.490	-21 54 35.12	10.720 312 62
	8	18 52 52.027	-22 24 8.17	11.038 852 73		23	19 14 20.435	-21 53 55.25	10.708 205 28
	9	18 53 22.522	-22 23 33.38	11.037 162 24		24	19 14 44.133	-21 53 15.56	10.695 916 20
	10	18 53 52.975	-22 22 58.24	11.035 210 00		25	19 15 7.579	-21 52 36.07	10.683 447 99
	11	18 54 23.382	-22 22 22.75	11.032 996 66		26	19 15 30.769	-21 51 56.81	10.670 803 40
	12	18 54 53.738	-22 21 46.90	11.030 522 96		27	19 15 53.699	-21 51 17.80	10.657 985 28
	13	18 55 24.038	-22 21 10.71	11.027 789 75		28	19 16 16.362	-21 50 39.07	10.644 996 60
14	18 55 54.278	-22 20 34.18	11.024 797 96	Mars	1	19 16 38.753	-21 50 0.62	10.631 840 47	
15	18 56 24.455	-22 19 57.32	11.021 548 60		2	19 17 0.866	-21 49 22.49	10.618 520 09	
16	18 56 54.565	-22 19 20.14	11.018 042 77		3	19 17 22.697	-21 48 44.68	10.605 038 76	
17	18 57 24.603	-22 18 42.65	11.014 281 62		4	19 17 44.239	-21 48 7.21	10.591 399 91	
18	18 57 54.566	-22 18 4.87	11.010 266 37		5	19 18 5.488	-21 47 30.09	10.577 607 04	
19	18 58 24.448	-22 17 26.83	11.005 998 25		6	19 18 26.439	-21 46 53.33	10.563 663 75	
20	18 58 54.243	-22 16 48.54	11.001 478 47		7	19 18 47.089	-21 46 16.94	10.549 573 73	
21	18 59 23.945	-22 16 10.02	10.996 708 22		8	19 19 7.434	-21 45 40.93	10.535 340 75	
22	18 59 53.548	-22 15 31.28	10.991 688 58		9	19 19 27.471	-21 45 5.31	10.520 968 67	
23	19 0 23.044	-22 14 52.32	10.986 420 58		10	19 19 47.198	-21 44 30.09	10.506 461 41	
24	19 0 52.430	-22 14 13.14	10.980 905 15		11	19 20 6.610	-21 43 55.29	10.491 822 94	
25	19 1 21.702	-22 13 33.72	10.975 143 21		12	19 20 25.706	-21 43 20.93	10.477 057 29	
26	19 1 50.859	-22 12 54.09	10.969 135 69	13	19 20 44.482	-21 42 47.03	10.462 168 52		
27	19 2 19.896	-22 12 14.25	10.962 883 59	14	19 21 2.936	-21 42 13.60	10.447 160 70		
28	19 2 48.810	-22 11 34.21	10.956 388 00	15	19 21 21.063	-21 41 40.68	10.432 037 91		
29	19 3 17.598	-22 10 53.99	10.949 650 11	16	19 21 38.858	-21 41 8.29	10.416 804 20		
30	19 3 46.253	-22 10 13.63	10.942 671 24	17	19 21 56.317	-21 40 36.44	10.401 463 59		
31	19 4 14.770	-22 9 33.12	10.935 452 83	18	19 22 13.436	-21 40 5.15	10.386 020 01		
Févr.	1	19 4 43.144	-22 8 52.51	10.927 996 47	19	19 22 30.209	-21 39 34.43	10.370 477 32	
	2	19 5 11.367	-22 8 11.79	10.920 303 82	20	19 22 46.634	-21 39 4.27	10.354 839 27	
	3	19 5 39.433	-22 7 30.98	10.912 376 71	21	19 23 2.709	-21 38 34.68	10.339 109 53	
4	19 6 7.337	-22 6 50.11	10.904 217 05	22	19 23 18.433	-21 38 5.65	10.323 291 75		
5	19 6 35.072	-22 6 9.16	10.895 826 89	23	19 23 33.806	-21 37 37.20	10.307 389 54		
6	19 7 2.634	-22 5 28.17	10.887 208 36	24	19 23 48.825	-21 37 9.36	10.291 406 59		
7	19 7 30.017	-22 4 47.13	10.878 363 72	25	19 24 3.489	-21 36 42.13	10.275 346 65		
8	19 7 57.217	-22 4 6.04	10.869 295 32	26	19 24 17.793	-21 36 15.54	10.259 213 60		
9	19 8 24.230	-22 3 24.93	10.860 005 58	27	19 24 31.732	-21 35 49.63	10.243 011 41		
10	19 8 51.051	-22 2 43.81	10.850 497 03	28	19 24 45.304	-21 35 24.39	10.226 744 19		
11	19 9 17.677	-22 2 2.67	10.840 772 27	29	19 24 58.502	-21 34 59.86	10.210 416 14		
12	19 9 44.105	-22 1 21.54	10.830 833 97	30	19 25 11.323	-21 34 36.03	10.194 031 53		
13	19 10 10.331	-22 0 40.45	10.820 684 85	31	19 25 23.763	-21 34 12.93	10.177 594 76		
14	19 10 36.351	-21 59 59.40	10.810 327 70	Avril	1	19 25 35.819	-21 33 50.56	10.161 110 26	

SATURNE 2019 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	19 25 47.487	-21 33 28.92	10.144 582 57	Mai	18	19 27 25.122	-21 32 2.45	9.418 053 78
	3	19 25 58.766	-21 33 8.02	10.128 016 30		19	19 27 17.729	-21 32 20.93	9.404 722 38
	4	19 26 9.652	-21 32 47.87	10.111 416 09		20	19 27 9.963	-21 32 40.21	9.391 565 71
	5	19 26 20.144	-21 32 28.48	10.094 786 69		21	19 27 1.827	-21 33 0.29	9.378 587 66
	6	19 26 30.242	-21 32 9.84	10.078 132 86		22	19 26 53.322	-21 33 21.16	9.365 792 16
	7	19 26 39.944	-21 31 51.97	10.061 459 44		23	19 26 44.449	-21 33 42.81	9.353 183 17
	8	19 26 49.248	-21 31 34.88	10.044 771 27		24	19 26 35.213	-21 34 5.24	9.340 764 69
	9	19 26 58.154	-21 31 18.58	10.028 073 23		25	19 26 25.615	-21 34 28.43	9.328 540 73
	10	19 27 6.660	-21 31 3.10	10.011 370 19		26	19 26 15.659	-21 34 52.35	9.316 515 31
	11	19 27 14.765	-21 30 48.44	9.994 666 98		27	19 26 5.350	-21 35 17.00	9.304 692 44
	12	19 27 22.465	-21 30 34.63	9.977 968 41		28	19 25 54.692	-21 35 42.35	9.293 076 15
13	19 27 29.758	-21 30 21.68	9.961 279 20	29	19 25 43.692	-21 36 8.38	9.281 670 41		
14	19 27 36.642	-21 30 9.59	9.944 604 01	30	19 25 32.353	-21 36 35.07	9.270 479 19		
15	19 27 43.114	-21 29 58.36	9.927 947 40	31	19 25 20.684	-21 37 2.42	9.259 506 45		
16	19 27 49.173	-21 29 48.00	9.911 313 81	Juin	1	19 25 8.690	-21 37 30.39	9.248 756 08	
17	19 27 54.819	-21 29 38.49	9.894 707 60		2	19 24 56.378	-21 37 58.98	9.238 231 94	
18	19 28 0.052	-21 29 29.83	9.878 133 03		3	19 24 43.754	-21 38 28.18	9.227 937 84	
19	19 28 4.875	-21 29 22.02	9.861 594 32		4	19 24 30.826	-21 38 57.99	9.217 877 47	
20	19 28 9.287	-21 29 15.06	9.845 095 67		5	19 24 17.597	-21 39 28.39	9.208 054 41	
21	19 28 13.291	-21 29 8.96	9.828 641 31		6	19 24 4.074	-21 39 59.38	9.198 472 08	
22	19 28 16.884	-21 29 3.74	9.812 235 53		7	19 23 50.261	-21 40 30.94	9.189 133 74	
23	19 28 20.065	-21 28 59.41	9.795 882 70		8	19 23 36.164	-21 41 3.05	9.180 042 45	
24	19 28 22.833	-21 28 55.99	9.779 587 28		9	19 23 21.789	-21 41 35.68	9.171 201 08	
25	19 28 25.184	-21 28 53.48	9.763 353 83		10	19 23 7.144	-21 42 8.81	9.162 612 31	
26	19 28 27.117	-21 28 51.89	9.747 186 95		11	19 22 52.238	-21 42 42.40	9.154 278 69	
27	19 28 28.631	-21 28 51.20	9.731 091 34	12	19 22 37.079	-21 43 16.42	9.146 202 59		
28	19 28 29.726	-21 28 51.44	9.715 071 74	13	19 22 21.678	-21 43 50.86	9.138 386 32		
29	19 28 30.399	-21 28 52.58	9.699 132 93	14	19 22 6.042	-21 44 25.69	9.130 832 08		
30	19 28 30.653	-21 28 54.62	9.683 279 72	15	19 21 50.181	-21 45 0.92	9.123 542 03		
Mai	1	19 28 30.487	-21 28 57.56	9.667 516 99	16	19 21 34.100	-21 45 36.52	9.116 518 29	
	2	19 28 29.902	-21 29 1.39	9.651 849 62	17	19 21 17.808	-21 46 12.48	9.109 762 98	
	3	19 28 28.901	-21 29 6.11	9.636 282 51	18	19 21 1.310	-21 46 48.80	9.103 278 19	
	4	19 28 27.485	-21 29 11.71	9.620 820 61	19	19 20 44.613	-21 47 25.46	9.097 066 04	
	5	19 28 25.657	-21 29 18.19	9.605 468 84	20	19 20 27.722	-21 48 2.45	9.091 128 61	
	6	19 28 23.418	-21 29 25.56	9.590 232 14	21	19 20 10.645	-21 48 39.72	9.085 467 96	
	7	19 28 20.771	-21 29 33.81	9.575 115 38	22	19 19 53.389	-21 49 17.28	9.080 086 15	
	8	19 28 17.716	-21 29 42.96	9.560 123 42	23	19 19 35.963	-21 49 55.07	9.074 985 16	
	9	19 28 14.256	-21 29 53.01	9.545 260 99	24	19 19 18.374	-21 50 33.10	9.070 166 97	
	10	19 28 10.390	-21 30 3.95	9.530 532 76	25	19 19 0.632	-21 51 11.31	9.065 633 45	
	11	19 28 6.120	-21 30 15.79	9.515 943 23	26	19 18 42.746	-21 51 49.70	9.061 386 43	
12	19 28 1.446	-21 30 28.51	9.501 496 82	27	19 18 24.727	-21 52 28.24	9.057 427 69		
13	19 27 56.371	-21 30 42.10	9.487 197 76	28	19 18 6.584	-21 53 6.91	9.053 758 91		
14	19 27 50.898	-21 30 56.54	9.473 050 20	29	19 17 48.327	-21 53 45.68	9.050 381 69		
15	19 27 45.032	-21 31 11.80	9.459 058 13	30	19 17 29.967	-21 54 24.56	9.047 297 55		
16	19 27 38.778	-21 31 27.88	9.445 225 48	Juill.	1	19 17 11.513	-21 55 3.52	9.044 507 87	
17	19 27 32.139	-21 31 44.77	9.431 556 09		2	19 16 52.975	-21 55 42.55	9.042 013 92	

SATURNE 2019 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	19	16	34.362	-21	56	21.65	9.039 816 77	Août	18	19	3	37.021	-22	22	28.61	9.251 083 65	
	4	19	16	15.680	-21	57	0.80	9.037 917 32		19	19	3	25.082	-22	22	52.97	9.261 858 61	
	5	19	15	56.938	-21	57	39.98	9.036 316 20		20	19	3	13.469	-22	23	16.78	9.272 853 83	
	6	19	15	38.144	-21	58	19.16	9.035 013 83		21	19	3	2.189	-22	23	40.02	9.284 066 00	
	7	19	15	19.310	-21	58	58.32	9.034 010 42		22	19	2	51.249	-22	24	2.69	9.295 491 78	
	8	19	15	0.446	-21	59	37.41	9.033 305 94		23	19	2	40.655	-22	24	24.78	9.307 127 75	
	9	19	14	41.563	-22	0	16.42	9.032 900 22		24	19	2	30.413	-22	24	46.31	9.318 970 42	
	10	19	14	22.674	-22	0	55.32	9.032 792 97		25	19	2	20.528	-22	25	7.27	9.331 016 25	
	11	19	14	3.789	-22	1	34.09	9.032 983 80		26	19	2	11.005	-22	25	27.68	9.343 261 58	
	12	19	13	44.920	-22	2	12.73	9.033 472 23		27	19	2	1.847	-22	25	47.52	9.355 702 65	
	13	19	13	26.074	-22	2	51.22	9.034 257 77		28	19	1	53.059	-22	26	6.81	9.368 335 55	
	14	19	13	7.262	-22	3	29.56	9.035 339 86		29	19	1	44.641	-22	26	25.54	9.381 156 21	
	15	19	12	48.490	-22	4	7.75	9.036 717 93		30	19	1	36.599	-22	26	43.70	9.394 160 39	
	16	19	12	29.766	-22	4	45.76	9.038 391 39		31	19	1	28.935	-22	27	1.27	9.407 343 64	
	17	19	12	11.099	-22	5	23.59	9.040 359 60		Sept.	1	19	1	21.657	-22	27	18.23	9.420 701 39
	18	19	11	52.496	-22	6	1.21	9.042 621 92		2	19	1	14.768	-22	27	34.57	9.434 228 93	
	19	19	11	33.966	-22	6	38.61	9.045 177 65		3	19	1	8.277	-22	27	50.29	9.447 921 51	
20	19	11	15.518	-22	7	15.77	9.048 026 05	4	19	1	2.186	-22	28	5.39	9.461 774 38			
21	19	10	57.159	-22	7	52.66	9.051 166 33	5	19	0	56.500	-22	28	19.88	9.475 782 83			
22	19	10	38.901	-22	8	29.27	9.054 597 63	6	19	0	51.220	-22	28	33.77	9.489 942 18			
23	19	10	20.754	-22	9	5.57	9.058 319 02	7	19	0	46.348	-22	28	47.06	9.504 247 82			
24	19	10	2.726	-22	9	41.55	9.062 329 51	8	19	0	41.883	-22	28	59.77	9.518 695 21			
25	19	9	44.828	-22	10	17.20	9.066 628 01	9	19	0	37.828	-22	29	11.88	9.533 279 85			
26	19	9	27.071	-22	10	52.50	9.071 213 35	10	19	0	34.181	-22	29	23.40	9.547 997 27			
27	19	9	9.465	-22	11	27.45	9.076 084 28	11	19	0	30.945	-22	29	34.32	9.562 843 04			
28	19	8	52.018	-22	12	2.03	9.081 239 43	12	19	0	28.119	-22	29	44.64	9.577 812 78			
29	19	8	34.741	-22	12	36.26	9.086 677 31	13	19	0	25.707	-22	29	54.34	9.592 902 11			
30	19	8	17.641	-22	13	10.11	9.092 396 29	14	19	0	23.708	-22	30	3.42	9.608 106 68			
31	19	8	0.726	-22	13	43.60	9.098 394 57	15	19	0	22.126	-22	30	11.87	9.623 422 16			
Août	1	19	7	44.002	-22	14	16.71	9.104 670 12	16	19	0	20.961	-22	30	19.69	9.638 844 21		
2	19	7	27.477	-22	14	49.42	9.111 220 70	17	19	0	20.217	-22	30	26.87	9.654 368 51			
3	19	7	11.160	-22	15	21.72	9.118 043 86	18	19	0	19.895	-22	30	33.42	9.669 990 72			
4	19	6	55.059	-22	15	53.57	9.125 136 90	19	19	0	19.996	-22	30	39.33	9.685 706 49			
5	19	6	39.184	-22	16	24.96	9.132 496 98	20	19	0	20.523	-22	30	44.61	9.701 511 45			
6	19	6	23.546	-22	16	55.88	9.140 121 13	21	19	0	21.476	-22	30	49.26	9.717 401 20			
7	19	6	8.154	-22	17	26.30	9.148 006 30	22	19	0	22.856	-22	30	53.30	9.733 371 27			
8	19	5	53.018	-22	17	56.24	9.156 149 41	23	19	0	24.662	-22	30	56.72	9.749 417 16			
9	19	5	38.144	-22	18	25.70	9.164 547 35	24	19	0	26.892	-22	30	59.54	9.765 534 27			
10	19	5	23.538	-22	18	54.68	9.173 197 02	25	19	0	29.547	-22	31	1.74	9.781 717 93			
11	19	5	9.207	-22	19	23.17	9.182 095 32	26	19	0	32.624	-22	31	3.33	9.797 963 31			
12	19	4	55.156	-22	19	51.18	9.191 239 14	27	19	0	36.123	-22	31	4.29	9.814 265 51			
13	19	4	41.390	-22	20	18.70	9.200 625 38	28	19	0	40.045	-22	31	4.60	9.830 619 45			
14	19	4	27.913	-22	20	45.72	9.210 250 93	29	19	0	44.390	-22	31	4.25	9.847 020 00			
15	19	4	14.732	-22	21	12.23	9.220 112 68	30	19	0	49.162	-22	31	3.23	9.863 461 97			
16	19	4	1.853	-22	21	38.23	9.230 207 49	Oct.	1	19	0	54.360	-22	31	1.55	9.879 940 14		
17	19	3	49.280	-22	22	3.69	9.240 532 20	2	19	0	59.985	-22	30	59.22	9.896 449 40			

SATURNE 2019 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	19	1	6.036	-22	30	56.23	9.912 984 69	Nov.	18	19	12	37.156	-22	16	41.53	10.625 235 86
	4	19	1	12.509	-22	30	52.61	9.929 541 07		19	19	12	59.922	-22	16	6.94	10.638 121 64
	5	19	1	19.402	-22	30	48.36	9.946 113 72		20	19	13	22.952	-22	15	31.68	10.650 838 96
	6	19	1	26.710	-22	30	43.48	9.962 697 90		21	19	13	46.241	-22	14	55.74	10.663 384 42
	7	19	1	34.430	-22	30	37.97	9.979 288 99		22	19	14	9.785	-22	14	19.09	10.675 754 59
	8	19	1	42.560	-22	30	31.82	9.995 882 42		23	19	14	33.582	-22	13	41.74	10.687 945 99
	9	19	1	51.096	-22	30	25.03	10.012 473 69		24	19	14	57.630	-22	13	3.69	10.699 955 17
	10	19	2	0.037	-22	30	17.59	10.029 058 37		25	19	15	21.926	-22	12	24.92	10.711 778 70
	11	19	2	9.381	-22	30	9.49	10.045 632 08		26	19	15	46.465	-22	11	45.46	10.723 413 25
	12	19	2	19.125	-22	30	0.72	10.062 190 49		27	19	16	11.244	-22	11	5.32	10.734 855 56
	13	19	2	29.269	-22	29	51.28	10.078 729 33		28	19	16	36.256	-22	10	24.50	10.746 102 53
	14	19	2	39.811	-22	29	41.17	10.095 244 36		29	19	17	1.494	-22	9	43.03	10.757 151 22
15	19	2	50.749	-22	29	30.38	10.111 731 35	30	19	17	26.950	-22	9	0.91	10.767 998 83		
16	19	3	2.083	-22	29	18.92	10.128 186 14	Déc.	1	19	17	52.619	-22	8	18.14	10.778 642 70	
17	19	3	13.810	-22	29	6.79	10.144 604 55		2	19	18	18.494	-22	7	34.72	10.789 080 29	
18	19	3	25.929	-22	28	53.99	10.160 982 40	3	19	18	44.570	-22	6	50.64	10.799 309 20		
19	19	3	38.436	-22	28	40.53	10.177 315 50	4	19	19	10.842	-22	6	5.90	10.809 327 10		
20	19	3	51.328	-22	28	26.42	10.193 599 65	5	19	19	37.305	-22	5	20.50	10.819 131 78		
21	19	4	4.601	-22	28	11.66	10.209 830 59	6	19	20	3.956	-22	4	34.43	10.828 721 09		
22	19	4	18.252	-22	27	56.25	10.226 004 01	7	19	20	30.789	-22	3	47.71	10.838 092 96		
23	19	4	32.276	-22	27	40.18	10.242 115 53	8	19	20	57.801	-22	3	0.32	10.847 245 41		
24	19	4	46.669	-22	27	23.45	10.258 160 71	9	19	21	24.989	-22	2	12.28	10.856 176 53		
25	19	5	1.430	-22	27	6.04	10.274 135 01	10	19	21	52.348	-22	1	23.59	10.864 884 47		
26	19	5	16.555	-22	26	47.94	10.290 033 83	11	19	22	19.874	-22	0	34.26	10.873 367 43		
27	19	5	32.045	-22	26	29.13	10.305 852 54	12	19	22	47.562	-21	59	44.30	10.881 623 66		
28	19	5	47.898	-22	26	9.62	10.321 586 48	13	19	23	15.408	-21	58	53.73	10.889 651 41		
29	19	6	4.112	-22	25	49.40	10.337 231 05	14	19	23	43.405	-21	58	2.56	10.897 448 94		
30	19	6	20.684	-22	25	28.49	10.352 781 75	15	19	24	11.548	-21	57	10.80	10.905 014 49		
31	19	6	37.610	-22	25	6.91	10.368 234 19	16	19	24	39.829	-21	56	18.46	10.912 346 25		
Nov.	1	19	6	54.883	-22	24	44.65	10.383 584 11	17	19	25	8.243	-21	55	25.53	10.919 442 37	
2	19	7	12.497	-22	24	21.72	10.398 827 41	18	19	25	36.786	-21	54	32.00	10.926 300 97		
3	19	7	30.448	-22	23	58.13	10.413 960 11	19	19	26	5.454	-21	53	37.88	10.932 920 11		
4	19	7	48.729	-22	23	33.87	10.428 978 34	20	19	26	34.243	-21	52	43.15	10.939 297 87		
5	19	8	7.336	-22	23	8.93	10.443 878 34	21	19	27	3.150	-21	51	47.83	10.945 432 31		
6	19	8	26.264	-22	22	43.31	10.458 656 41	22	19	27	32.173	-21	50	51.91	10.951 321 57		
7	19	8	45.509	-22	22	17.00	10.473 308 97	23	19	28	1.307	-21	49	55.40	10.956 963 82		
8	19	9	5.068	-22	21	49.99	10.487 832 49	24	19	28	30.548	-21	48	58.33	10.962 357 37		
9	19	9	24.938	-22	21	22.28	10.502 223 51	25	19	28	59.890	-21	48	0.71	10.967 500 62		
10	19	9	45.114	-22	20	53.86	10.516 478 64	26	19	29	29.326	-21	47	2.56	10.972 392 12		
11	19	10	5.594	-22	20	24.74	10.530 594 55	27	19	29	58.849	-21	46	3.90	10.977 030 58		
12	19	10	26.375	-22	19	54.92	10.544 567 97	28	19	30	28.452	-21	45	4.73	10.981 414 86		
13	19	10	47.453	-22	19	24.39	10.558 395 65	29	19	30	58.128	-21	44	5.06	10.985 543 94		
14	19	11	8.825	-22	18	53.18	10.572 074 38	30	19	31	27.872	-21	43	4.90	10.989 416 96		
15	19	11	30.486	-22	18	21.27	10.585 600 99	31	19	31	57.677	-21	42	4.24	10.993 033 17		
16	19	11	52.432	-22	17	48.69	10.598 972 25	32	19	32	27.539	-21	41	3.09	10.996 391 92		
17	19	12	14.657	-22	17	15.45	10.612 184 96	33	19	32	57.454	-21	40	1.45	10.999 492 66		

URANUS 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	1	47	9.319	10	29	0.26	19.514 229 4	Févr.	15	1	49	31.281	10	43	50.34	20.281 745 9
	1	1	47	8.005	10	28	55.03	19.530 494 6		16	1	49	38.704	10	44	33.54	20.297 028 3
	2	1	47	6.889	10	28	50.92	19.546 857 2		17	1	49	46.289	10	45	17.62	20.312 174 9
	3	1	47	5.974	10	28	47.93	19.563 311 8		18	1	49	54.033	10	46	2.57	20.327 181 9
	4	1	47	5.258	10	28	46.07	19.579 852 8		19	1	50	1.931	10	46	48.35	20.342 045 7
	5	1	47	4.741	10	28	45.34	19.596 474 7		20	1	50	9.981	10	47	34.94	20.356 762 6
	6	1	47	4.423	10	28	45.74	19.613 171 9		21	1	50	18.182	10	48	22.33	20.371 329 1
	7	1	47	4.304	10	28	47.26	19.629 938 9		22	1	50	26.534	10	49	10.50	20.385 741 5
	8	1	47	4.383	10	28	49.90	19.646 770 0		23	1	50	35.037	10	49	59.46	20.399 996 2
	9	1	47	4.660	10	28	53.65	19.663 659 5		24	1	50	43.691	10	50	49.21	20.414 089 4
	10	1	47	5.135	10	28	58.52	19.680 601 8		25	1	50	52.496	10	51	39.74	20.428 017 1
	11	1	47	5.808	10	29	4.50	19.697 591 4		26	1	51	1.449	10	52	31.06	20.441 775 6
	12	1	47	6.680	10	29	11.59	19.714 622 6		27	1	51	10.547	10	53	23.14	20.455 361 0
	13	1	47	7.751	10	29	19.79	19.731 690 0		28	1	51	19.789	10	54	15.98	20.468 769 5
14	1	47	9.023	10	29	29.10	19.748 788 0	Mars	1	1	51	29.170	10	55	9.55	20.481 997 1	
15	1	47	10.495	10	29	39.53	19.765 911 1		2	1	51	38.687	10	56	3.85	20.495 040 1	
16	1	47	12.168	10	29	51.08	19.783 054 1		3	1	51	48.339	10	56	58.84	20.507 894 8	
17	1	47	14.043	10	30	3.75	19.800 211 7		4	1	51	58.122	10	57	54.52	20.520 557 6	
18	1	47	16.119	10	30	17.55	19.817 378 5		5	1	52	8.033	10	58	50.87	20.533 024 7	
19	1	47	18.395	10	30	32.48	19.834 549 7		6	1	52	18.070	10	59	47.86	20.545 292 8	
20	1	47	20.868	10	30	48.52	19.851 720 1		7	1	52	28.232	11	0	45.49	20.557 358 4	
21	1	47	23.536	10	31	5.65	19.868 885 1		8	1	52	38.516	11	1	43.73	20.569 218 2	
22	1	47	26.396	10	31	23.87	19.886 039 8		9	1	52	48.922	11	2	42.59	20.580 869 0	
23	1	47	29.446	10	31	43.15	19.903 179 5		10	1	52	59.446	11	3	42.05	20.592 307 6	
24	1	47	32.687	10	32	3.48	19.920 299 5		11	1	53	10.089	11	4	42.09	20.603 531 1	
25	1	47	36.118	10	32	24.85	19.937 395 0		12	1	53	20.847	11	5	42.72	20.614 536 6	
26	1	47	39.741	10	32	47.28	19.954 461 0		13	1	53	31.718	11	6	43.92	20.625 321 5	
27	1	47	43.557	10	33	10.76	19.971 492 6		14	1	53	42.701	11	7	45.67	20.635 883 2	
28	1	47	47.567	10	33	35.30	19.988 484 8	15	1	53	53.791	11	8	47.97	20.646 219 2		
29	1	47	51.770	10	34	0.91	20.005 432 4	16	1	54	4.984	11	9	50.80	20.656 327 3		
30	1	47	56.165	10	34	27.58	20.022 330 1	17	1	54	16.277	11	10	54.12	20.666 205 4		
Févr.	31	1	48	0.751	10	34	55.30	20.039 172 9	18	1	54	27.665	11	11	57.92	20.675 851 5	
	1	1	48	5.526	10	35	24.07	20.055 955 4	19	1	54	39.144	11	13	2.16	20.685 263 8	
	2	1	48	10.488	10	35	53.87	20.072 672 4	20	1	54	50.713	11	14	6.82	20.694 440 3	
	3	1	48	15.635	10	36	24.70	20.089 318 9	21	1	55	2.369	11	15	11.90	20.703 379 2	
	4	1	48	20.965	10	36	56.54	20.105 889 5	22	1	55	14.113	11	16	17.38	20.712 078 9	
	5	1	48	26.476	10	37	29.37	20.122 379 2	23	1	55	25.944	11	17	23.26	20.720 537 2	
	6	1	48	32.167	10	38	3.19	20.138 782 9	24	1	55	37.862	11	18	29.53	20.728 752 3	
	7	1	48	38.035	10	38	37.97	20.155 095 5	25	1	55	49.864	11	19	36.20	20.736 722 2	
	8	1	48	44.081	10	39	13.72	20.171 312 3	26	1	56	1.948	11	20	43.26	20.744 444 7	
	9	1	48	50.303	10	39	50.42	20.187 428 1	27	1	56	14.111	11	21	50.68	20.751 918 0	
	10	1	48	56.700	10	40	28.07	20.203 438 4	28	1	56	26.348	11	22	58.45	20.759 139 9	
	11	1	49	3.272	10	41	6.66	20.219 338 4	29	1	56	38.656	11	24	6.55	20.766 108 6	
	12	1	49	10.017	10	41	46.19	20.235 123 5	30	1	56	51.031	11	25	14.97	20.772 822 1	
	13	1	49	16.935	10	42	26.65	20.250 789 4	31	1	57	3.472	11	26	23.67	20.779 278 6	
14	1	49	24.024	10	43	8.04	20.266 331 5	Avril	1	1	57	15.974	11	27	32.64	20.785 476 4	

URANUS 2019 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	57	28.536	11	28	41.86	20.791 413 9	Mai	18	2	7	26.415	12	22	15.65	20.774 086 0
	3	1	57	41.154	11	29	51.32	20.797 089 4		19	2	7	38.867	12	23	20.90	20.767 508 5
	4	1	57	53.827	11	31	1.01	20.802 501 5		20	2	7	51.259	12	24	25.77	20.760 685 4
	5	1	58	6.553	11	32	10.90	20.807 648 8		21	2	8	3.587	12	25	30.24	20.753 618 1
	6	1	58	19.329	11	33	20.99	20.812 530 1		22	2	8	15.847	12	26	34.31	20.746 308 1
	7	1	58	32.155	11	34	31.27	20.817 144 3		23	2	8	28.037	12	27	37.94	20.738 757 2
	8	1	58	45.028	11	35	41.73	20.821 490 3		24	2	8	40.152	12	28	41.13	20.730 966 9
	9	1	58	57.946	11	36	52.35	20.825 567 3		25	2	8	52.190	12	29	43.85	20.722 938 9
	10	1	59	10.906	11	38	3.14	20.829 374 6		26	2	9	4.148	12	30	46.09	20.714 674 9
	11	1	59	23.904	11	39	14.07	20.832 911 6		27	2	9	16.024	12	31	47.85	20.706 176 8
	12	1	59	36.936	11	40	25.12	20.836 178 0		28	2	9	27.816	12	32	49.09	20.697 446 6
13	1	59	49.998	11	41	36.27	20.839 173 4	29	2	9	39.523	12	33	49.82	20.688 486 1		
14	2	0	3.085	11	42	47.50	20.841 897 8	30	2	9	51.143	12	34	50.03	20.679 297 5		
15	2	0	16.195	11	43	58.78	20.844 351 0	31	2	10	2.674	12	35	49.70	20.669 882 9		
16	2	0	29.324	11	45	10.09	20.846 533 2	Juin	1	2	10	14.114	12	36	48.84	20.660 244 7	
17	2	0	42.470	11	46	21.40	20.848 444 3		2	2	10	25.463	12	37	47.43	20.650 385 2	
18	2	0	55.632	11	47	32.71	20.850 084 4		3	2	10	36.718	12	38	45.48	20.640 306 9	
19	2	1	8.810	11	48	44.02	20.851 453 5		4	2	10	47.876	12	39	42.98	20.630 012 6	
20	2	1	22.004	11	49	55.33	20.852 551 7		5	2	10	58.934	12	40	39.91	20.619 505 1	
21	2	1	35.212	11	51	6.62	20.853 378 8	6	2	11	9.887	12	41	36.25	20.608 787 3		
22	2	1	48.430	11	52	17.90	20.853 934 8	7	2	11	20.731	12	42	31.99	20.597 862 2		
23	2	2	1.657	11	53	29.16	20.854 219 4	8	2	11	31.463	12	43	27.10	20.586 733 2		
24	2	2	14.888	11	54	40.37	20.854 232 6	9	2	11	42.080	12	44	21.56	20.575 403 4		
25	2	2	28.120	11	55	51.52	20.853 974 1	10	2	11	52.580	12	45	15.36	20.563 876 0		
26	2	2	41.349	11	57	2.58	20.853 444 1	11	2	12	2.962	12	46	8.49	20.552 154 3		
27	2	2	54.571	11	58	13.55	20.852 642 4	12	2	12	13.227	12	47	0.94	20.540 241 6		
28	2	3	7.785	11	59	24.39	20.851 569 1	13	2	12	23.373	12	47	52.71	20.528 141 0		
29	2	3	20.986	12	0	35.10	20.850 224 5	14	2	12	33.401	12	48	43.81	20.515 855 6		
30	2	3	34.174	12	1	45.65	20.848 608 7	15	2	12	43.309	12	49	34.24	20.503 388 5		
Mai	1	2	3	47.345	12	2	56.04	20.846 722 1	16	2	12	53.094	12	50	23.99	20.490 742 7	
	2	2	4	0.497	12	4	6.24	20.844 565 0	17	2	13	2.755	12	51	13.06	20.477 921 3	
	3	2	4	13.630	12	5	16.26	20.842 138 1	18	2	13	12.289	12	52	1.44	20.464 927 0	
	4	2	4	26.741	12	6	26.08	20.839 441 9	19	2	13	21.691	12	52	49.11	20.451 763 1	
	5	2	4	39.829	12	7	35.70	20.836 477 2	20	2	13	30.959	12	53	36.06	20.438 432 3	
	6	2	4	52.890	12	8	45.11	20.833 244 9	21	2	13	40.092	12	54	22.26	20.424 937 8	
7	2	5	5.924	12	9	54.29	20.829 746 1	22	2	13	49.085	12	55	7.72	20.411 282 6		
8	2	5	18.925	12	11	3.24	20.825 981 9	23	2	13	57.938	12	55	52.42	20.397 469 9		
9	2	5	31.890	12	12	11.94	20.821 953 7	24	2	14	6.648	12	56	36.34	20.383 503 0		
10	2	5	44.816	12	13	20.36	20.817 662 9	25	2	14	15.216	12	57	19.48	20.369 385 0		
11	2	5	57.697	12	14	28.49	20.813 111 1	26	2	14	23.639	12	58	1.84	20.355 119 3		
12	2	6	10.530	12	15	36.31	20.808 300 0	27	2	14	31.916	12	58	43.41	20.340 709 4		
13	2	6	23.312	12	16	43.78	20.803 231 3	28	2	14	40.047	12	59	24.18	20.326 158 8		
14	2	6	36.041	12	17	50.89	20.797 906 8	29	2	14	48.031	13	0	4.16	20.311 471 1		
15	2	6	48.717	12	18	57.64	20.792 328 3	30	2	14	55.865	13	0	43.34	20.296 650 1		
16	2	7	1.338	12	20	4.01	20.786 497 5	Juill.	1	2	15	3.549	13	1	21.73	20.281 699 6	
17	2	7	13.904	12	21	10.02	20.780 416 2		2	2	15	11.079	13	1	59.31	20.266 623 5	

URANUS 2019 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	2	15	18.453	13	2	36.07	20.251 426 1	Août	18	2	17	46.274	13	14	17.17	19.495 744 5	
	4	2	15	25.665	13	3	11.99	20.236 111 6		19	2	17	45.071	13	14	9.95	19.479 778 9	
	5	2	15	32.714	13	3	47.06	20.220 684 3		20	2	17	43.679	13	14	1.78	19.463 906 3	
	6	2	15	39.596	13	4	21.26	20.205 148 6		21	2	17	42.100	13	13	52.65	19.448 131 2	
	7	2	15	46.309	13	4	54.57	20.189 509 1		22	2	17	40.335	13	13	42.58	19.432 458 2	
	8	2	15	52.855	13	5	26.98	20.173 770 1		23	2	17	38.386	13	13	31.58	19.416 892 0	
	9	2	15	59.232	13	5	58.49	20.157 936 0		24	2	17	36.252	13	13	19.65	19.401 437 1	
	10	2	16	5.443	13	6	29.11	20.142 011 1		25	2	17	33.935	13	13	6.81	19.386 098 4	
	11	2	16	11.486	13	6	58.85	20.125 999 7		26	2	17	31.434	13	12	53.05	19.370 880 7	
	12	2	16	17.362	13	7	27.71	20.109 905 8		27	2	17	28.749	13	12	38.39	19.355 788 7	
	13	2	16	23.069	13	7	55.69	20.093 733 7		28	2	17	25.880	13	12	22.81	19.340 827 5	
	14	2	16	28.606	13	8	22.78	20.077 487 4		29	2	17	22.824	13	12	6.31	19.326 002 0	
	15	2	16	33.970	13	8	48.99	20.061 170 9		30	2	17	19.583	13	11	48.87	19.311 317 3	
	16	2	16	39.159	13	9	14.30	20.044 788 1		31	2	17	16.158	13	11	30.51	19.296 778 4	
	17	2	16	44.171	13	9	38.71	20.028 343 2		Sept.	1	2	17	12.551	13	11	11.21	19.282 390 1
	18	2	16	49.005	13	10	2.20	20.011 840 1		2	2	17	8.766	13	10	51.01	19.268 157 3	
	19	2	16	53.658	13	10	24.76	19.995 282 9		3	2	17	4.808	13	10	29.91	19.254 084 6	
20	2	16	58.129	13	10	46.38	19.978 675 6	4	2	17	0.679	13	10	7.95	19.240 176 5			
21	2	17	2.418	13	11	7.06	19.962 022 5	5	2	16	56.381	13	9	45.13	19.226 437 3			
22	2	17	6.524	13	11	26.80	19.945 327 6	6	2	16	51.917	13	9	21.48	19.212 871 2			
23	2	17	10.447	13	11	45.59	19.928 595 2	7	2	16	47.285	13	8	56.99	19.199 482 2			
24	2	17	14.187	13	12	3.43	19.911 829 6	8	2	16	42.488	13	8	31.69	19.186 274 4			
25	2	17	17.744	13	12	20.33	19.895 035 2	9	2	16	37.526	13	8	5.56	19.173 251 6			
26	2	17	21.117	13	12	36.28	19.878 216 5	10	2	16	32.401	13	7	38.62	19.160 417 7			
27	2	17	24.307	13	12	51.29	19.861 377 8	11	2	16	27.113	13	7	10.87	19.147 776 5			
28	2	17	27.312	13	13	5.35	19.844 524 0	12	2	16	21.665	13	6	42.32	19.135 331 8			
29	2	17	30.132	13	13	18.48	19.827 659 6	13	2	16	16.058	13	6	12.96	19.123 087 3			
30	2	17	32.764	13	13	30.67	19.810 789 5	14	2	16	10.296	13	5	42.82	19.111 046 8			
31	2	17	35.206	13	13	41.90	19.793 918 6	15	2	16	4.381	13	5	11.90	19.099 213 9			
Août	1	2	17	37.455	13	13	52.17	19.777 052 1	16	2	15	58.316	13	4	40.22	19.087 592 4		
2	2	17	39.510	13	14	1.45	19.760 194 9	17	2	15	52.105	13	4	7.80	19.076 185 9			
3	2	17	41.368	13	14	9.74	19.743 352 3	18	2	15	45.750	13	3	34.64	19.064 998 1			
4	2	17	43.032	13	14	17.03	19.726 529 4	19	2	15	39.255	13	3	0.77	19.054 032 6			
5	2	17	44.501	13	14	23.31	19.709 731 2	20	2	15	32.622	13	2	26.21	19.043 293 2			
6	2	17	45.779	13	14	28.61	19.692 962 8	21	2	15	25.854	13	1	50.96	19.032 783 5			
7	2	17	46.868	13	14	32.93	19.676 228 9	22	2	15	18.952	13	1	15.06	19.022 507 3			
8	2	17	47.767	13	14	36.29	19.659 534 2	23	2	15	11.918	13	0	38.49	19.012 468 2			
9	2	17	48.477	13	14	38.69	19.642 883 6	24	2	15	4.754	13	0	1.29	19.002 669 9			
10	2	17	48.999	13	14	40.14	19.626 281 4	25	2	14	57.460	12	59	23.43	18.993 116 3			
11	2	17	49.330	13	14	40.63	19.609 732 2	26	2	14	50.038	12	58	44.94	18.983 811 0			
12	2	17	49.470	13	14	40.17	19.593 240 5	27	2	14	42.490	12	58	5.81	18.974 757 7			
13	2	17	49.418	13	14	38.75	19.576 810 6	28	2	14	34.820	12	57	26.06	18.965 960 0			
14	2	17	49.174	13	14	36.37	19.560 447 1	29	2	14	27.034	12	56	45.69	18.957 421 3			
15	2	17	48.737	13	14	33.03	19.544 154 3	30	2	14	19.138	12	56	4.75	18.949 145 0			
16	2	17	48.108	13	14	28.71	19.527 936 7	Oct.	1	2	14	11.135	12	55	23.25	18.941 134 1		
17	2	17	47.286	13	14	23.42	19.511 798 6	2	2	14	3.032	12	54	41.24	18.933 391 3			

URANUS 2019 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	2	13	54.831	12	53	58.73	18.925 919 5	Nov.	18	2	6	53.642	12	17	44.62	18.901 211 9
	4	2	13	46.535	12	53	15.75	18.918 720 9		19	2	6	45.038	12	17	0.44	18.907 748 4
	5	2	13	38.146	12	52	32.31	18.911 797 9		20	2	6	36.517	12	16	16.72	18.914 572 0
	6	2	13	29.667	12	51	48.41	18.905 152 8		21	2	6	28.083	12	15	33.45	18.921 680 9
	7	2	13	21.099	12	51	4.08	18.898 787 5		22	2	6	19.740	12	14	50.66	18.929 073 1
	8	2	13	12.446	12	50	19.33	18.892 704 2		23	2	6	11.494	12	14	8.38	18.936 746 5
	9	2	13	3.712	12	49	34.16	18.886 904 7		24	2	6	3.352	12	13	26.63	18.944 698 8
	10	2	12	54.899	12	48	48.60	18.881 390 8		25	2	5	55.317	12	12	45.45	18.952 927 5
	11	2	12	46.013	12	48	2.66	18.876 164 5		26	2	5	47.396	12	12	4.87	18.961 430 0
	12	2	12	37.056	12	47	16.36	18.871 227 3		27	2	5	39.591	12	11	24.92	18.970 203 2
	13	2	12	28.035	12	46	29.72	18.866 581 1		28	2	5	31.905	12	10	45.61	18.979 244 0
	14	2	12	18.953	12	45	42.76	18.862 227 3		29	2	5	24.340	12	10	6.97	18.988 549 1
15	2	12	9.816	12	44	55.52	18.858 167 5	30	2	5	16.898	12	9	28.99	18.998 115 2		
16	2	12	0.626	12	44	8.00	18.854 403 3	Déc.	1	2	5	9.581	12	8	51.70	19.007 938 5	
17	2	11	51.390	12	43	20.25	18.850 936 2		2	2	5	2.392	12	8	15.10	19.018 015 6	
18	2	11	42.109	12	42	32.28	18.847 767 7	3	2	4	55.333	12	7	39.20	19.028 342 7		
19	2	11	32.788	12	41	44.11	18.844 899 2	4	2	4	48.408	12	7	4.03	19.038 916 2		
20	2	11	23.430	12	40	55.76	18.842 332 1	5	2	4	41.621	12	6	29.58	19.049 732 1		
21	2	11	14.036	12	40	7.25	18.840 067 8	6	2	4	34.975	12	5	55.89	19.060 786 7		
22	2	11	4.610	12	39	18.59	18.838 107 6	7	2	4	28.473	12	5	22.97	19.072 076 1		
23	2	10	55.153	12	38	29.78	18.836 452 9	8	2	4	22.120	12	4	50.85	19.083 596 4		
24	2	10	45.671	12	37	40.84	18.835 104 8	9	2	4	15.919	12	4	19.53	19.095 343 6		
25	2	10	36.166	12	36	51.79	18.834 064 5	10	2	4	9.873	12	3	49.04	19.107 313 8		
26	2	10	26.644	12	36	2.64	18.833 332 9	11	2	4	3.984	12	3	19.41	19.119 503 1		
27	2	10	17.112	12	35	13.42	18.832 910 8	12	2	3	58.256	12	2	50.64	19.131 907 5		
28	2	10	7.577	12	34	24.17	18.832 798 7	13	2	3	52.689	12	2	22.75	19.144 523 0		
29	2	9	58.043	12	33	34.93	18.832 997 1	14	2	3	47.285	12	1	55.74	19.157 345 7		
30	2	9	48.517	12	32	45.72	18.833 505 9	15	2	3	42.043	12	1	29.63	19.170 371 8		
31	2	9	39.001	12	31	56.58	18.834 325 0	16	2	3	36.965	12	1	4.41	19.183 597 2		
Nov.	1	2	9	29.498	12	31	7.52	18.835 454 1	17	2	3	32.052	12	0	40.08	19.197 018 0	
2	2	9	20.011	12	30	18.57	18.836 892 7	18	2	3	27.307	12	0	16.65	19.210 630 1		
3	2	9	10.544	12	29	29.73	18.838 640 1	19	2	3	22.731	11	59	54.12	19.224 429 4		
4	2	9	1.099	12	28	41.02	18.840 695 5	20	2	3	18.329	11	59	32.52	19.238 411 7		
5	2	8	51.680	12	27	52.46	18.843 058 2	21	2	3	14.105	11	59	11.86	19.252 572 4		
6	2	8	42.292	12	27	4.07	18.845 727 1	22	2	3	10.063	11	58	52.17	19.266 907 1		
7	2	8	32.938	12	26	15.86	18.848 701 4	23	2	3	6.205	11	58	33.46	19.281 410 9		
8	2	8	23.624	12	25	27.85	18.851 979 8	24	2	3	2.534	11	58	15.76	19.296 079 1		
9	2	8	14.354	12	24	40.08	18.855 561 3	25	2	2	59.051	11	57	59.08	19.310 906 6		
10	2	8	5.133	12	23	52.56	18.859 444 6	26	2	2	55.756	11	57	43.42	19.325 888 2		
11	2	7	55.966	12	23	5.33	18.863 628 4	27	2	2	52.650	11	57	28.78	19.341 018 8		
12	2	7	46.857	12	22	18.40	18.868 111 4	28	2	2	49.732	11	57	15.18	19.356 292 8		
13	2	7	37.811	12	21	31.81	18.872 892 1	29	2	2	47.003	11	57	2.59	19.371 705 1		
14	2	7	28.832	12	20	45.57	18.877 969 2	30	2	2	44.464	11	56	51.04	19.387 250 2		
15	2	7	19.923	12	19	59.72	18.883 341 2	31	2	2	42.116	11	56	40.51	19.402 922 7		
16	2	7	11.087	12	19	14.27	18.889 006 7	32	2	2	39.961	11	56	31.02	19.418 717 3		
17	2	7	2.326	12	18	29.23	18.894 964 1	33	2	2	38.000	11	56	22.57	19.434 628 5		

NEPTUNE 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	23	2	46.211	- 7	9	57.83	30.343 714 3	Févr.	15	23	7	46.682	- 6	38	5.53	30.867 433 6
	1	23	2	50.692	- 7	9	28.61	30.359 364 5		16	23	7	54.772	- 6	37	14.73	30.873 210 8
	2	23	2	55.287	- 7	8	58.68	30.374 884 1		17	23	8	2.899	- 6	36	23.73	30.878 713 1
	3	23	2	59.996	- 7	8	28.07	30.390 268 3		18	23	8	11.060	- 6	35	32.55	30.883 939 6
	4	23	3	4.816	- 7	7	56.79	30.405 512 0		19	23	8	19.251	- 6	34	41.21	30.888 889 3
	5	23	3	9.746	- 7	7	24.84	30.420 610 7		20	23	8	27.469	- 6	33	49.73	30.893 561 3
	6	23	3	14.783	- 7	6	52.25	30.435 559 4		21	23	8	35.712	- 6	32	58.10	30.897 954 7
	7	23	3	19.926	- 7	6	19.02	30.450 353 6		22	23	8	43.982	- 6	32	6.33	30.902 068 5
	8	23	3	25.172	- 7	5	45.17	30.464 988 6		23	23	8	52.278	- 6	31	14.41	30.905 901 5
	9	23	3	30.519	- 7	5	10.71	30.479 460 1		24	23	9	0.599	- 6	30	22.35	30.909 452 7
	10	23	3	35.965	- 7	4	35.64	30.493 763 6		25	23	9	8.945	- 6	29	30.16	30.912 720 8
	11	23	3	41.511	- 7	3	59.98	30.507 894 9		26	23	9	17.315	- 6	28	37.85	30.915 705 0
	12	23	3	47.153	- 7	3	23.72	30.521 849 9		27	23	9	25.706	- 6	27	45.43	30.918 404 1
	13	23	3	52.892	- 7	2	46.88	30.535 624 6		28	23	9	34.114	- 6	26	52.93	30.920 817 3
14	23	3	58.727	- 7	2	9.46	30.549 215 0	Mars	1	23	9	42.539	- 6	26	0.36	30.922 943 9	
15	23	4	4.657	- 7	1	31.45	30.562 617 3		2	23	9	50.975	- 6	25	7.75	30.924 783 1	
16	23	4	10.682	- 7	0	52.87	30.575 828 0		3	23	9	59.421	- 6	24	15.10	30.926 334 4	
17	23	4	16.801	- 7	0	13.72	30.588 843 5		4	23	10	7.874	- 6	23	22.43	30.927 597 3	
18	23	4	23.013	- 6	59	34.01	30.601 660 5		5	23	10	16.332	- 6	22	29.76	30.928 571 6	
19	23	4	29.315	- 6	58	53.76	30.614 275 6		6	23	10	24.793	- 6	21	37.09	30.929 257 1	
20	23	4	35.705	- 6	58	12.98	30.626 685 8		7	23	10	33.254	- 6	20	44.44	30.929 653 7	
21	23	4	42.180	- 6	57	31.71	30.638 888 1		8	23	10	41.715	- 6	19	51.82	30.929 761 6	
22	23	4	48.735	- 6	56	49.96	30.650 879 2		9	23	10	50.174	- 6	18	59.23	30.929 580 8	
23	23	4	55.369	- 6	56	7.75	30.662 656 3		10	23	10	58.630	- 6	18	6.67	30.929 111 9	
24	23	5	2.078	- 6	55	25.08	30.674 216 2		11	23	11	7.082	- 6	17	14.16	30.928 355 4	
25	23	5	8.864	- 6	54	41.95	30.685 555 7		12	23	11	15.530	- 6	16	21.71	30.927 311 8	
26	23	5	15.726	- 6	53	58.36	30.696 671 6		13	23	11	23.970	- 6	15	29.32	30.925 982 0	
27	23	5	22.665	- 6	53	14.31	30.707 560 6		14	23	11	32.402	- 6	14	37.01	30.924 366 8	
28	23	5	29.679	- 6	52	29.80	30.718 219 4	15	23	11	40.822	- 6	13	44.80	30.922 467 4		
29	23	5	36.769	- 6	51	44.84	30.728 644 7	16	23	11	49.229	- 6	12	52.71	30.920 284 8		
30	23	5	43.933	- 6	50	59.45	30.738 833 3	17	23	11	57.617	- 6	12	0.76	30.917 820 3		
Févr.	31	23	5	51.167	- 6	50	13.63	30.748 782 1	18	23	12	5.985	- 6	11	8.98	30.915 075 2	
	1	23	5	58.471	- 6	49	27.42	30.758 488 0	19	23	12	14.328	- 6	10	17.37	30.912 050 6	
	2	23	6	5.840	- 6	48	40.81	30.767 948 2	20	23	12	22.646	- 6	9	25.95	30.908 748 0	
	3	23	6	13.273	- 6	47	53.84	30.777 159 6	21	23	12	30.937	- 6	8	34.71	30.905 168 6	
	4	23	6	20.767	- 6	47	6.52	30.786 119 7	22	23	12	39.201	- 6	7	43.67	30.901 313 3	
	5	23	6	28.318	- 6	46	18.85	30.794 825 8	23	23	12	47.439	- 6	6	52.81	30.897 183 4	
	6	23	6	35.926	- 6	45	30.86	30.803 275 3	24	23	12	55.650	- 6	6	2.14	30.892 779 9	
	7	23	6	43.589	- 6	44	42.55	30.811 466 0	25	23	13	3.834	- 6	5	11.66	30.888 103 8	
	8	23	6	51.304	- 6	43	53.93	30.819 395 5	26	23	13	11.988	- 6	4	21.41	30.883 156 3	
	9	23	6	59.070	- 6	43	5.00	30.827 061 9	27	23	13	20.110	- 6	3	31.38	30.877 938 5	
	10	23	7	6.886	- 6	42	15.78	30.834 463 1	28	23	13	28.196	- 6	2	41.61	30.872 451 7	
	11	23	7	14.752	- 6	41	26.28	30.841 597 4	29	23	13	36.245	- 6	1	52.10	30.866 697 2	
	12	23	7	22.666	- 6	40	36.49	30.848 463 0	30	23	13	44.252	- 6	1	2.88	30.860 676 7	
	13	23	7	30.626	- 6	39	46.42	30.855 058 5	31	23	13	52.217	- 6	0	13.96	30.854 391 6	
14	23	7	38.632	- 6	38	56.10	30.861 382 4	Avril	1	23	14	0.136	- 5	59	25.35	30.847 843 7	

NEPTUNE 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua		
Avril	2	23	14	8.008	- 5	58	37.06	30.841 034 8	Mai	18	23	18	54.183	- 5	29	59.91	30.294 080 9
	3	23	14	15.831	- 5	57	49.11	30.833 966 9		19	23	18	58.251	- 5	29	36.66	30.278 387 3
	4	23	14	23.604	- 5	57	1.49	30.826 642 1		20	23	19	2.214	- 5	29	14.10	30.262 594 8
	5	23	14	31.326	- 5	56	14.21	30.819 062 4		21	23	19	6.069	- 5	28	52.24	30.246 707 4
	6	23	14	38.996	- 5	55	27.28	30.811 230 3		22	23	19	9.815	- 5	28	31.10	30.230 729 0
	7	23	14	46.613	- 5	54	40.71	30.803 148 3		23	23	19	13.450	- 5	28	10.67	30.214 663 8
	8	23	14	54.176	- 5	53	54.49	30.794 818 8		24	23	19	16.972	- 5	27	50.98	30.198 515 8
	9	23	15	1.684	- 5	53	8.65	30.786 244 6		25	23	19	20.379	- 5	27	32.03	30.182 289 3
	10	23	15	9.136	- 5	52	23.19	30.777 428 5		26	23	19	23.671	- 5	27	13.83	30.165 988 6
	11	23	15	16.528	- 5	51	38.12	30.768 373 4		27	23	19	26.848	- 5	26	56.37	30.149 618 1
	12	23	15	23.860	- 5	50	53.47	30.759 082 4		28	23	19	29.907	- 5	26	39.65	30.133 182 1
13	23	15	31.126	- 5	50	9.26	30.749 558 4	29	23	19	32.851	- 5	26	23.69	30.116 685 3		
14	23	15	38.326	- 5	49	25.50	30.739 804 7	30	23	19	35.678	- 5	26	8.46	30.100 132 1		
15	23	15	45.455	- 5	48	42.21	30.729 824 3	31	23	19	38.389	- 5	25	53.98	30.083 527 3		
16	23	15	52.512	- 5	47	59.40	30.719 620 4	Juin	1	23	19	40.984	- 5	25	40.24	30.066 875 5	
17	23	15	59.497	- 5	47	17.07	30.709 195 9		2	23	19	43.464	- 5	25	27.24	30.050 181 7	
18	23	16	6.408	- 5	46	35.22	30.698 553 9		3	23	19	45.829	- 5	25	14.98	30.033 450 8	
19	23	16	13.247	- 5	45	53.85	30.687 697 3		4	23	19	48.078	- 5	25	3.46	30.016 687 7	
20	23	16	20.015	- 5	45	12.95	30.676 628 9		5	23	19	50.210	- 5	24	52.70	29.999 897 6	
21	23	16	26.710	- 5	44	32.52	30.665 351 6		6	23	19	52.222	- 5	24	42.70	29.983 085 3	
22	23	16	33.331	- 5	43	52.59	30.653 868 1		7	23	19	54.114	- 5	24	33.49	29.966 256 2	
23	23	16	39.878	- 5	43	13.15	30.642 181 4		8	23	19	55.882	- 5	24	25.06	29.949 415 1	
24	23	16	46.346	- 5	42	34.24	30.630 294 3		9	23	19	57.526	- 5	24	17.43	29.932 567 1	
25	23	16	52.733	- 5	41	55.86	30.618 209 7		10	23	19	59.047	- 5	24	10.59	29.915 717 1	
26	23	16	59.038	- 5	41	18.04	30.605 930 9		11	23	20	0.445	- 5	24	4.52	29.898 869 7	
27	23	17	5.258	- 5	40	40.77	30.593 461 0	12	23	20	1.722	- 5	23	59.22	29.882 029 6		
28	23	17	11.390	- 5	40	4.08	30.580 803 2	13	23	20	2.880	- 5	23	54.69	29.865 201 5		
29	23	17	17.434	- 5	39	27.97	30.567 960 9	14	23	20	3.919	- 5	23	50.90	29.848 389 7		
30	23	17	23.388	- 5	38	52.45	30.554 937 6	15	23	20	4.842	- 5	23	47.86	29.831 598 7		
Mai	1	23	17	29.252	- 5	38	17.52	30.541 736 9	16	23	20	5.646	- 5	23	45.57	29.814 832 8	
	2	23	17	35.024	- 5	37	43.19	30.528 362 4	17	23	20	6.333	- 5	23	44.03	29.798 096 4	
	3	23	17	40.705	- 5	37	9.45	30.514 818 0	18	23	20	6.900	- 5	23	43.25	29.781 393 8	
	4	23	17	46.293	- 5	36	36.31	30.501 107 4	19	23	20	7.347	- 5	23	43.24	29.764 729 3	
	5	23	17	51.789	- 5	36	3.77	30.487 234 7	20	23	20	7.673	- 5	23	44.00	29.748 107 3	
	6	23	17	57.192	- 5	35	31.84	30.473 204 0	21	23	20	7.877	- 5	23	45.53	29.731 532 2	
	7	23	18	2.502	- 5	35	0.52	30.459 019 4	22	23	20	7.959	- 5	23	47.84	29.715 008 6	
	8	23	18	7.715	- 5	34	29.83	30.444 685 4	23	23	20	7.918	- 5	23	50.92	29.698 540 9	
	9	23	18	12.831	- 5	33	59.78	30.430 206 1	24	23	20	7.756	- 5	23	54.77	29.682 133 7	
	10	23	18	17.846	- 5	33	30.39	30.415 586 1	25	23	20	7.472	- 5	23	59.38	29.665 791 6	
	11	23	18	22.759	- 5	33	1.68	30.400 829 8	26	23	20	7.068	- 5	24	4.75	29.649 519 3	
12	23	18	27.567	- 5	32	33.64	30.385 941 6	27	23	20	6.545	- 5	24	10.86	29.633 321 5		
13	23	18	32.268	- 5	32	6.31	30.370 925 7	28	23	20	5.905	- 5	24	17.71	29.617 202 9		
14	23	18	36.863	- 5	31	39.66	30.355 786 6	29	23	20	5.147	- 5	24	25.29	29.601 168 3		
15	23	18	41.350	- 5	31	13.70	30.340 528 5	30	23	20	4.274	- 5	24	33.59	29.585 222 6		
16	23	18	45.732	- 5	30	48.43	30.325 155 4	Juill.	1	23	20	3.286	- 5	24	42.62	29.569 370 6	
17	23	18	50.010	- 5	30	23.83	30.309 671 6		2	23	20	2.182	- 5	24	52.37	29.553 617 4	

NEPTUNE 2019 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	23	20	0.963	- 5	25	2.86	29.537 967 7	Août	18	23	17	15.050	- 5	44	19.10	29.001 566 1	
	4	23	19	59.627	- 5	25	14.08	29.522 426 7		19	23	17	9.572	- 5	44	55.35	28.995 228 5	
	5	23	19	58.172	- 5	25	26.04	29.506 999 2		20	23	17	4.042	- 5	45	31.88	28.989 162 0	
	6	23	19	56.598	- 5	25	38.75	29.491 689 9		21	23	16	58.463	- 5	46	8.68	28.983 369 0	
	7	23	19	54.906	- 5	25	52.20	29.476 503 6		22	23	16	52.837	- 5	46	45.72	28.977 851 4	
	8	23	19	53.098	- 5	26	6.36	29.461 444 7		23	23	16	47.168	- 5	47	22.99	28.972 611 3	
	9	23	19	51.176	- 5	26	21.24	29.446 517 6		24	23	16	41.458	- 5	48	0.48	28.967 650 9	
	10	23	19	49.143	- 5	26	36.79	29.431 726 5		25	23	16	35.709	- 5	48	38.18	28.962 972 2	
	11	23	19	47.001	- 5	26	53.02	29.417 075 5		26	23	16	29.922	- 5	49	16.07	28.958 577 1	
	12	23	19	44.752	- 5	27	9.91	29.402 568 6		27	23	16	24.100	- 5	49	54.15	28.954 467 7	
	13	23	19	42.398	- 5	27	27.46	29.388 209 7		28	23	16	18.241	- 5	50	32.41	28.950 645 7	
	14	23	19	39.938	- 5	27	45.66	29.374 002 7		29	23	16	12.347	- 5	51	10.86	28.947 113 1	
	15	23	19	37.372	- 5	28	4.52	29.359 951 3		30	23	16	6.419	- 5	51	49.48	28.943 871 3	
	16	23	19	34.701	- 5	28	24.03	29.346 059 5		31	23	16	0.459	- 5	52	28.26	28.940 922 0	
	17	23	19	31.924	- 5	28	44.19	29.332 330 9		Sept.	1	23	15	54.471	- 5	53	7.17	28.938 266 2
	18	23	19	29.042	- 5	29	5.01	29.318 769 4			2	23	15	48.459	- 5	53	46.17	28.935 904 9
	19	23	19	26.054	- 5	29	26.47	29.305 378 8			3	23	15	42.427	- 5	54	25.25	28.933 839 0
20	23	19	22.963	- 5	29	48.58	29.292 163 0	4	23		15	36.380	- 5	55	4.38	28.932 068 9		
21	23	19	19.768	- 5	30	11.31	29.279 125 7	5	23		15	30.320	- 5	55	43.54	28.930 595 1		
22	23	19	16.472	- 5	30	34.65	29.266 270 8	6	23		15	24.250	- 5	56	22.72	28.929 417 7		
23	23	19	13.077	- 5	30	58.60	29.253 602 2	7	23		15	18.170	- 5	57	1.92	28.928 537 2		
24	23	19	9.584	- 5	31	23.14	29.241 123 7	8	23		15	12.083	- 5	57	41.12	28.927 953 5		
25	23	19	5.996	- 5	31	48.26	29.228 839 3	9	23		15	5.988	- 5	58	20.33	28.927 666 7		
26	23	19	2.314	- 5	32	13.94	29.216 752 7	10	23		14	59.888	- 5	58	59.52	28.927 677 0		
27	23	18	58.541	- 5	32	40.17	29.204 868 0	11	23		14	53.785	- 5	59	38.69	28.927 984 2		
28	23	18	54.678	- 5	33	6.93	29.193 188 9	12	23	14	47.680	- 6	0	17.83	28.928 588 3			
29	23	18	50.727	- 5	33	34.24	29.181 719 5	13	23	14	41.575	- 6	0	56.91	28.929 489 3			
30	23	18	46.688	- 5	34	2.07	29.170 463 7	14	23	14	35.473	- 6	1	35.93	28.930 686 9			
31	23	18	42.561	- 5	34	30.43	29.159 425 3	15	23	14	29.378	- 6	2	14.85	28.932 181 0			
Août	1	23	18	38.346	- 5	34	59.34	29.148 608 2	16	23	14	23.291	- 6	2	53.67	28.933 971 5		
	2	23	18	34.042	- 5	35	28.77	29.138 016 1	17	23	14	17.217	- 6	3	32.36	28.936 058 0		
	3	23	18	29.651	- 5	35	58.72	29.127 652 5	18	23	14	11.157	- 6	4	10.90	28.938 440 3		
	4	23	18	25.175	- 5	36	29.18	29.117 520 9	19	23	14	5.116	- 6	4	49.27	28.941 118 1		
	5	23	18	20.618	- 5	37	0.12	29.107 624 5	20	23	13	59.097	- 6	5	27.47	28.944 091 0		
	6	23	18	15.983	- 5	37	31.51	29.097 966 1	21	23	13	53.100	- 6	6	5.46	28.947 358 6		
	7	23	18	11.273	- 5	38	3.34	29.088 548 7	22	23	13	47.129	- 6	6	43.26	28.950 920 5		
	8	23	18	6.492	- 5	38	35.58	29.079 374 9	23	23	13	41.185	- 6	7	20.84	28.954 776 1		
	9	23	18	1.642	- 5	39	8.23	29.070 447 2	24	23	13	35.269	- 6	7	58.20	28.958 924 8		
	10	23	17	56.724	- 5	39	41.27	29.061 768 1	25	23	13	29.382	- 6	8	35.34	28.963 366 0		
	11	23	17	51.739	- 5	40	14.71	29.053 340 1	26	23	13	23.524	- 6	9	12.25	28.968 098 7		
12	23	17	46.687	- 5	40	48.53	29.045 165 4	27	23	13	17.697	- 6	9	48.92	28.973 122 1			
13	23	17	41.570	- 5	41	22.73	29.037 246 5	28	23	13	11.905	- 6	10	25.32	28.978 434 8			
14	23	17	36.389	- 5	41	57.31	29.029 585 5	29	23	13	6.152	- 6	11	1.42	28.984 035 5			
15	23	17	31.145	- 5	42	32.24	29.022 184 7	30	23	13	0.441	- 6	11	37.21	28.989 922 5			
16	23	17	25.839	- 5	43	7.53	29.015 046 5	Oct.	1	23	12	54.778	- 6	12	12.65	28.996 093 8		
17	23	17	20.473	- 5	43	43.16	29.008 172 9		2	23	12	49.166	- 6	12	47.72	29.002 547 3		

NEPTUNE 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Oct.	3	23	12	43.607	− 6	13	22.41	29.009 280 9	Nov.	18	23	9	54.866	− 6	30	13.12	29.571 274 3
	4	23	12	38.102	− 6	13	56.72	29.016 292 2		19	23	9	53.683	− 6	30	18.90	29.587 565 5
	5	23	12	32.653	− 6	14	30.64	29.023 578 8		20	23	9	52.620	− 6	30	23.92	29.603 959 7
	6	23	12	27.260	− 6	15	4.17	29.031 138 2		21	23	9	51.678	− 6	30	28.16	29.620 451 9
	7	23	12	21.924	− 6	15	37.30	29.038 967 9		22	23	9	50.859	− 6	30	31.63	29.637 037 2
	8	23	12	16.647	− 6	16	10.02	29.047 065 5		23	23	9	50.164	− 6	30	34.29	29.653 710 5
	9	23	12	11.430	− 6	16	42.32	29.055 428 4		24	23	9	49.597	− 6	30	36.14	29.670 466 4
	10	23	12	6.276	− 6	17	14.19	29.064 053 9		25	23	9	49.158	− 6	30	37.17	29.687 299 5
	11	23	12	1.187	− 6	17	45.60	29.072 939 5		26	23	9	48.851	− 6	30	37.36	29.704 204 3
	12	23	11	56.164	− 6	18	16.55	29.082 082 5		27	23	9	48.675	− 6	30	36.72	29.721 175 2
	13	23	11	51.212	− 6	18	47.02	29.091 480 2		28	23	9	48.630	− 6	30	35.26	29.738 206 5
	14	23	11	46.332	− 6	19	16.98	29.101 130 0		29	23	9	48.715	− 6	30	32.99	29.755 292 6
15	23	11	41.527	− 6	19	46.43	29.111 029 0	30	23	9	48.928	− 6	30	29.91	29.772 427 7		
16	23	11	36.801	− 6	20	15.34	29.121 174 5	Déc.	1	23	9	49.269	− 6	30	26.03	29.789 606 4	
17	23	11	32.155	− 6	20	43.71	29.131 563 8		2	23	9	49.736	− 6	30	21.35	29.806 823 2	
18	23	11	27.591	− 6	21	11.52	29.142 194 1	3	23	9	50.330	− 6	30	15.88	29.824 072 4		
19	23	11	23.112	− 6	21	38.77	29.153 062 3	4	23	9	51.050	− 6	30	9.60	29.841 348 8		
20	23	11	18.717	− 6	22	5.45	29.164 165 8	5	23	9	51.898	− 6	30	2.53	29.858 646 9		
21	23	11	14.408	− 6	22	31.57	29.175 501 4	6	23	9	52.873	− 6	29	54.65	29.875 961 5		
22	23	11	10.186	− 6	22	57.11	29.187 066 1	7	23	9	53.976	− 6	29	45.96	29.893 287 2		
23	23	11	6.049	− 6	23	22.08	29.198 856 7	8	23	9	55.208	− 6	29	36.46	29.910 618 9		
24	23	11	2.001	− 6	23	46.47	29.210 870 0	9	23	9	56.569	− 6	29	26.14	29.927 951 5		
25	23	10	58.042	− 6	24	10.26	29.223 102 4	10	23	9	58.061	− 6	29	15.00	29.945 279 8		
26	23	10	54.175	− 6	24	33.44	29.235 550 3	11	23	9	59.684	− 6	29	3.04	29.962 598 9		
27	23	10	50.404	− 6	24	55.97	29.248 209 9	12	23	10	1.436	− 6	28	50.27	29.979 903 7		
28	23	10	46.732	− 6	25	17.84	29.261 077 0	13	23	10	3.317	− 6	28	36.70	29.997 189 4		
29	23	10	43.164	− 6	25	39.04	29.274 147 5	14	23	10	5.326	− 6	28	22.34	30.014 451 0		
30	23	10	39.701	− 6	25	59.54	29.287 417 0	15	23	10	7.461	− 6	28	7.20	30.031 683 8		
31	23	10	36.344	− 6	26	19.35	29.300 880 9	16	23	10	9.720	− 6	27	51.29	30.048 882 8		
Nov.	1	23	10	33.093	− 6	26	38.47	29.314 534 7	17	23	10	12.100	− 6	27	34.62	30.066 043 1	
2	23	10	29.949	− 6	26	56.91	29.328 373 8	18	23	10	14.603	− 6	27	17.19	30.083 159 7		
3	23	10	26.910	− 6	27	14.65	29.342 393 7	19	23	10	17.228	− 6	26	59.00	30.100 227 5		
4	23	10	23.979	− 6	27	31.70	29.356 589 8	20	23	10	19.976	− 6	26	40.05	30.117 241 4		
5	23	10	21.155	− 6	27	48.06	29.370 957 4	21	23	10	22.848	− 6	26	20.31	30.134 196 1		
6	23	10	18.439	− 6	28	3.71	29.385 492 0	22	23	10	25.845	− 6	25	59.79	30.151 086 2		
7	23	10	15.833	− 6	28	18.64	29.400 189 0	23	23	10	28.969	− 6	25	38.49	30.167 906 3		
8	23	10	13.338	− 6	28	32.85	29.415 043 9	24	23	10	32.218	− 6	25	16.41	30.184 651 1		
9	23	10	10.956	− 6	28	46.33	29.430 052 1	25	23	10	35.591	− 6	24	53.56	30.201 315 2		
10	23	10	8.690	− 6	28	59.05	29.445 209 1	26	23	10	39.087	− 6	24	29.96	30.217 893 0		
11	23	10	6.540	− 6	29	11.02	29.460 510 2	27	23	10	42.704	− 6	24	5.62	30.234 379 3		
12	23	10	4.508	− 6	29	22.22	29.475 950 9	28	23	10	46.438	− 6	23	40.55	30.250 768 8		
13	23	10	2.597	− 6	29	32.65	29.491 526 7	29	23	10	50.288	− 6	23	14.78	30.267 056 4		
14	23	10	0.808	− 6	29	42.30	29.507 233 2	30	23	10	54.253	− 6	22	48.29	30.283 236 9		
15	23	9	59.140	− 6	29	51.16	29.523 065 7	31	23	10	58.331	− 6	22	21.11	30.299 305 4		
16	23	9	57.594	− 6	29	59.25	29.539 019 8	32	23	11	2.522	− 6	21	53.23	30.315 257 0		
17	23	9	56.169	− 6	30	6.57	29.555 090 9	33	23	11	6.826	− 6	21	24.65	30.331 087 1		

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 2019 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	27	54.948	-22	0	12.63	34.675 031 94	Juill.	3	19	34	54.933	-22	3	13.87	32.834 033 45
	4	19	28	29.415	-21	59	22.16	34.688 929 07		7	19	34	30.702	-22	4	32.09	32.825 663 23
	8	19	29	4.123	-21	58	30.77	34.698 138 64		11	19	34	6.196	-22	5	50.50	32.821 939 05
	12	19	29	38.932	-21	57	38.74	34.702 629 94		15	19	33	41.564	-22	7	8.75	32.822 868 86
	16	19	30	13.704	-21	56	46.36	34.702 407 58		19	19	33	16.945	-22	8	26.51	32.828 447 79
Févr.	20	19	30	48.305	-21	55	53.94	34.697 507 95	23	19	32	52.475	-22	9	43.45	32.838 666 01	
	24	19	31	22.611	-21	55	1.76	34.687 983 79	27	19	32	28.297	-22	10	59.26	32.853 504 83	
	28	19	31	56.503	-21	54	10.12	34.673 886 26	31	19	32	4.556	-22	12	13.63	32.872 929 39	
	1	19	32	29.855	-21	53	19.33	34.655 272 37	Août	4	19	31	41.403	-22	13	26.23	32.896 875 51
	5	19	33	2.534	-21	52	29.70	34.632 231 48		8	19	31	18.988	-22	14	36.78	32.925 232 64
Mars	9	19	33	34.409	-21	51	41.55	34.604 888 16	12	19	30	57.446	-22	15	44.99	32.957 858 17	
	13	19	34	5.357	-21	50	55.18	34.573 399 64	16	19	30	36.899	-22	16	50.62	32.994 601 95	
	17	19	34	35.263	-21	50	10.88	34.537 949 08	20	19	30	17.467	-22	17	53.43	33.035 311 37	
	21	19	35	4.024	-21	49	28.95	34.498 730 84	24	19	29	59.263	-22	18	53.20	33.079 825 81	
	25	19	35	31.544	-21	48	49.65	34.455 931 33	28	19	29	42.403	-22	19	49.70	33.127 970 11	
Avril	1	19	35	57.723	-21	48	13.26	34.409 740 95	Sept.	1	19	29	27.004	-22	20	42.75	33.179 541 44
	5	19	36	22.459	-21	47	40.05	34.360 379 08		5	19	29	13.173	-22	21	32.16	33.234 295 21
	9	19	36	45.654	-21	47	10.28	34.308 094 59		9	19	29	0.998	-22	22	17.78	33.291 963 80
	13	19	37	7.223	-21	46	44.17	34.253 160 89		13	19	28	50.553	-22	22	59.47	33.352 281 96
	17	19	37	27.090	-21	46	21.95	34.195 868 72		17	19	28	41.902	-22	23	37.12	33.414 987 97
Mai	21	19	37	45.198	-21	46	3.80	34.136 507 80	21	19	28	35.106	-22	24	10.64	33.479 817 78	
	25	19	38	1.495	-21	45	49.89	34.075 353 15	25	19	28	30.224	-22	24	39.93	33.546 498 49	
	29	19	38	15.925	-21	45	40.38	34.012 678 26	29	19	28	27.309	-22	25	4.92	33.614 734 28	
	2	19	38	28.437	-21	45	35.40	33.948 777 94	Oct.	3	19	28	26.404	-22	25	25.56	33.684 198 51
	6	19	38	38.986	-21	45	35.07	33.883 968 08		7	19	28	27.530	-22	25	41.81	33.754 552 92
Juin	10	19	38	47.541	-21	45	39.48	33.818 579 72	11	19	28	30.693	-22	25	53.66	33.825 474 23	
	14	19	38	54.085	-21	45	48.69	33.752 947 92	15	19	28	35.892	-22	26	1.13	33.896 651 21	
	18	19	38	58.619	-21	46	2.70	33.687 395 14	19	19	28	43.118	-22	26	4.24	33.967 779 20	
	22	19	39	1.148	-21	46	21.53	33.622 219 78	23	19	28	52.365	-22	26	3.00	34.038 551 88	
	26	19	39	1.680	-21	46	45.14	33.557 712 64	27	19	29	3.616	-22	25	57.47	34.108 648 66	
Juillet	30	19	39	0.221	-21	47	13.49	33.494 177 92	Nov.	31	19	29	16.846	-22	25	47.71	34.177 729 89
	4	19	38	56.793	-21	47	46.52	33.431 930 48		4	19	29	32.007	-22	25	33.79	34.245 459 16
	8	19	38	51.426	-21	48	24.12	33.371 289 53		8	19	29	49.038	-22	25	15.82	34.311 526 52
	12	19	38	44.173	-21	49	6.15	33.312 566 74		12	19	30	7.874	-22	24	53.92	34.375 644 03
	16	19	38	35.098	-21	49	52.45	33.256 047 59		16	19	30	28.447	-22	24	28.21	34.437 539 34
Sept.	20	19	38	24.270	-21	50	42.82	33.201 985 89	20	19	30	50.688	-22	23	58.84	34.496 947 06	
	24	19	38	11.757	-21	51	37.06	33.150 623 86	24	19	31	14.525	-22	23	25.94	34.553 594 71	
	28	19	37	57.631	-21	52	34.96	33.102 207 53	28	19	31	39.872	-22	22	49.69	34.607 204 12	
	1	19	37	41.974	-21	53	36.26	33.056 985 25	Déc.	2	19	32	6.627	-22	22	10.28	34.657 514 29
	5	19	37	24.880	-21	54	40.72	33.015 199 27		6	19	32	34.680	-22	21	27.90	34.704 299 54
Oct.	9	19	37	6.461	-21	55	48.02	32.977 073 87	10	19	33	3.918	-22	20	42.78	34.747 364 80	
	13	19	36	46.839	-21	56	57.86	32.942 795 56	14	19	33	34.230	-22	19	55.15	34.786 538 18	
	17	19	36	26.136	-21	58	9.92	32.912 514 83	18	19	34	5.507	-22	19	5.23	34.821 660 47	
	21	19	36	4.470	-21	59	23.88	32.886 367 72	22	19	34	37.638	-22	18	13.28	34.852 571 02	
	25	19	35	41.961	-22	0	39.42	32.864 488 28	26	19	35	10.503	-22	17	19.54	34.879 113 92	
29	19	35	18.736	-22	1	56.19	32.847 005 03	30	19	35	43.968	-22	16	24.30	34.901 160 73		

CÉRÈS 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	15	18	35.337	-11	40	14.53	3.191 536 12	Juill.	3	15	56	29.710	-18	46	21.29	1.932 119 01
	4	15	24	38.317	-12	4	37.25	3.153 170 89		7	15	54	58.476	-18	56	58.01	1.970 349 28
	8	15	30	35.994	-12	27	46.23	3.113 312 16		11	15	53	52.060	-19	8	19.59	2.011 373 26
	12	15	36	27.743	-12	49	41.28	3.072 038 85		15	15	53	10.610	-19	20	25.52	2.054 919 94
	16	15	42	12.954	-13	10	22.74	3.029 437 68		19	15	52	53.943	-19	33	14.32	2.100 741 51
Févr.	20	15	47	51.039	-13	29	51.45	2.985 596 47	23	15	53	1.709	-19	46	44.03	2.148 608 35	
	24	15	53	21.409	-13	48	8.65	2.940 590 75	27	15	53	33.459	-20	0	52.42	2.198 299 48	
	28	15	58	43.376	-14	5	15.58	2.894 484 12	31	15	54	28.671	-20	15	37.03	2.249 594 53	
	1	16	3	56.098	-14	21	13.34	2.847 353 59	Août	4	15	55	46.730	-20	30	55.10	2.302 263 69
	5	16	8	58.676	-14	36	3.37	2.799 301 51		8	15	57	26.824	-20	46	43.14	2.356 069 42
9	16	13	50.201	-14	49	47.62	2.750 448 55	12		15	59	27.960	-21	2	56.74	2.410 794 37	
13	16	18	29.780	-15	2	28.55	2.700 925 57	16		16	1	49.120	-21	19	31.16	2.466 251 85	
17	16	22	56.552	-15	14	9.17	2.650 866 29	20		16	4	29.361	-21	36	21.72	2.522 275 29	
Mars	21	16	27	9.658	-15	24	52.85	2.600 394 23	24	16	7	27.820	-21	53	23.93	2.578 707 91	
	25	16	31	8.133	-15	34	42.93	2.549 623 10	28	16	10	43.716	-22	10	33.50	2.635 393 36	
	1	16	34	50.847	-15	43	42.60	2.498 681 54	Sept.	1	16	14	16.298	-22	27	46.22	2.692 165 51
	5	16	38	16.615	-15	51	55.31	2.447 728 31		5	16	18	4.741	-22	44	57.63	2.748 849 81
	9	16	41	24.268	-15	59	24.94	2.396 942 72		9	16	22	8.136	-23	2	2.82	2.805 290 70
13	16	44	12.695	-16	6	15.77	2.346 517 32	13		16	26	25.620	-23	18	56.89	2.861 359 91	
17	16	46	40.865	-16	12	32.45	2.296 649 89	17		16	30	56.429	-23	35	35.26	2.916 944 78	
Avril	21	16	48	47.807	-16	18	19.73	2.247 529 68	21	16	35	39.894	-23	51	53.63	2.971 938 07	
	25	16	50	32.492	-16	23	42.03	2.199 339 67	25	16	40	35.428	-24	7	48.02	3.026 230 13	
	29	16	51	53.798	-16	28	43.38	2.152 281 31	29	16	45	42.476	-24	23	14.68	3.079 698 05	
	2	16	52	50.662	-16	33	27.71	2.106 588 02	Oct.	3	16	51	0.421	-24	38	9.77	3.132 209 25
	6	16	53	22.202	-16	37	58.99	2.062 514 51		7	16	56	28.564	-24	52	29.27	3.183 646 56
10	16	53	27.799	-16	42	21.22	2.020 327 59	11		17	2	6.242	-25	6	9.30	3.233 917 78	
14	16	53	7.146	-16	46	38.27	1.980 293 58	15		17	7	52.868	-25	19	6.28	3.282 943 51	
18	16	52	20.241	-16	50	53.62	1.942 663 58	19		17	13	47.929	-25	31	16.98	3.330 648 29	
Mai	22	16	51	7.270	-16	55	9.91	1.907 677 12	23	17	19	50.976	-25	42	38.47	3.376 952 11	
	26	16	49	28.633	-16	59	28.94	1.875 583 32	27	17	26	1.574	-25	53	8.08	3.421 760 67	
	30	16	47	25.140	-17	3	52.12	1.846 648 45	Nov.	31	17	32	19.219	-26	2	43.21	3.464 969 93
	4	16	44	58.159	-17	8	20.76	1.821 139 19		4	17	38	43.328	-26	11	21.28	3.506 488 98
	8	16	42	9.671	-17	12	56.20	1.799 308 06		8	17	45	13.331	-26	18	59.89	3.546 251 24
12	16	39	2.272	-17	17	39.89	1.781 374 18	12		17	51	48.717	-26	25	36.94	3.584 202 34	
16	16	35	39.025	-17	22	33.24	1.767 507 52	16		17	58	29.036	-26	31	10.68	3.620 292 30	
Juin	20	16	32	3.239	-17	27	37.27	1.757 836 00	20	18	5	13.895	-26	35	39.68	3.654 466 57	
	24	16	28	18.431	-17	32	52.94	1.752 465 91	24	18	12	2.908	-26	39	2.78	3.686 655 66	
	28	16	24	28.393	-17	38	21.72	1.751 482 57	28	18	18	55.620	-26	41	19.03	3.716 781 51	
	1	16	20	37.179	-17	44	5.94	1.754 935 77	Déc.	2	18	25	51.505	-26	42	27.61	3.744 778 83
	5	16	16	48.968	-17	50	8.83	1.762 827 70		6	18	32	50.039	-26	42	27.97	3.770 605 44
9	16	13	7.904	-17	56	34.39	1.775 100 28	10		18	39	50.751	-26	41	19.85	3.794 232 61	
13	16	9	37.798	-18	3	26.70	1.791 632 07	14		18	46	53.231	-26	39	3.29	3.815 637 58	
17	16	6	21.909	-18	10	49.26	1.812 262 77	18		18	53	57.125	-26	35	38.60	3.834 793 54	
	21	16	3	22.986	-18	18	45.13	1.836 819 02	22	19	1	2.097	-26	31	6.38	3.851 658 25	
	25	16	0	43.380	-18	27	17.23	1.865 117 54	26	19	8	7.744	-26	25	27.49	3.866 182 21	
	29	15	58	25.082	-18	36	28.41	1.896 958 24	30	19	15	13.601	-26	18	43.07	3.878 328 79	

PALLAS 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Janv.	0	13	20	58.277	- 6	3	35.78	2.306 628 87	Juill.	3	13	36	57.184	21	14	10.14	2.497 280 43
	4	13	26	23.496	- 5	47	31.78	2.261 786 96		7	13	39	27.232	20	44	18.10	2.553 268 72
	8	13	31	35.685	- 5	27	59.49	2.216 627 75		11	13	42	12.218	20	13	12.35	2.609 162 21
	12	13	36	33.827	- 5	4	47.97	2.171 333 67		15	13	45	11.164	19	41	4.97	2.664 845 67
	16	13	41	16.911	- 4	37	46.99	2.126 096 28		19	13	48	23.176	19	8	6.26	2.720 227 01
Févr.	20	13	45	43.938	- 4	6	47.21	2.081 109 33	23	13	51	47.485	18	34	25.09	2.775 222 46	
	24	13	49	53.845	- 3	31	39.87	2.036 560 65	27	13	55	23.423	18	0	9.53	2.829 746 92	
	28	13	53	45.399	- 2	52	16.33	1.992 643 89	31	13	59	10.391	17	25	27.25	2.883 708 45	
	1	13	57	17.226	- 2	8	28.69	1.949 586 02	Août	4	14	3	7.805	16	50	25.95	2.937 004 63
	5	14	0	27.986	- 1	20	11.36	1.907 645 54		8	14	7	15.017	16	15	13.47	2.989 535 44
Mars	9	14	3	16.429	- 0	27	21.87	1.867 099 56	12	14	11	31.360	15	39	56.90	3.041 224 72	
	13	14	5	41.434	0	29	58.45	1.828 232 34	16	14	15	56.252	15	4	42.20	3.092 015 22	
	17	14	7	42.024	1	31	44.05	1.791 325 72	20	14	20	29.214	14	29	34.58	3.141 853 80	
	21	14	9	17.318	2	37	45.15	1.756 648 98	24	14	25	9.846	13	54	38.89	3.190 683 97	
	25	14	10	26.426	3	47	47.78	1.724 470 21	28	14	29	57.799	13	19	59.93	3.238 439 88	
Avril	1	14	11	8.542	5	1	32.28	1.695 077 84	Sept.	1	14	34	52.730	12	45	42.80	3.285 043 27
	5	14	11	23.190	6	18	31.34	1.668 774 39		5	14	39	54.227	12	11	53.00	3.330 415 41
	9	14	11	10.332	7	38	9.67	1.645 853 53		9	14	45	1.843	11	38	35.56	3.374 500 19
	13	14	10	30.430	8	59	44.34	1.626 584 09		13	14	50	15.194	11	5	54.72	3.417 258 35
	17	14	9	24.465	10	22	25.87	1.611 195 06		17	14	55	33.970	10	33	54.24	3.458 653 58
Mai	21	14	7	53.855	11	45	20.38	1.599 864 69	21	15	0	57.916	10	2	37.69	3.498 645 03	
	25	14	6	0.338	13	7	31.44	1.592 732 37	25	15	6	26.812	9	32	8.70	3.537 182 14	
	29	14	3	46.060	14	28	0.34	1.589 916 39	29	15	12	0.423	9	2	31.27	3.574 200 94	
	2	14	1	13.770	15	45	47.12	1.591 503 25	Oct.	3	15	17	38.445	8	33	49.79	3.609 636 15
	6	13	58	26.812	16	59	53.62	1.597 527 52		7	15	23	20.521	8	6	8.33	3.643 443 64
Juin	10	13	55	29.017	18	9	26.51	1.607 962 84	11	15	29	6.337	7	39	30.29	3.675 596 16	
	14	13	52	24.513	19	13	40.37	1.622 718 41	15	15	34	55.632	7	13	58.65	3.706 069 65	
	18	13	49	17.448	20	12	0.15	1.641 644 40	19	15	40	48.187	6	49	36.24	3.734 835 97	
	22	13	46	11.749	21	4	1.28	1.664 560 45	23	15	46	43.804	6	26	25.95	3.761 857 07	
	26	13	43	11.137	21	49	28.02	1.691 276 55	27	15	52	42.264	6	4	31.01	3.787 081 79	
Juillet	30	13	40	19.203	22	28	12.49	1.721 589 17	Nov.	31	15	58	43.270	5	43	54.98	3.810 458 22
	4	13	37	39.303	23	0	14.88	1.755 270 50		4	16	4	46.467	5	24	41.09	3.831 953 68
	8	13	35	14.430	23	25	43.06	1.792 069 40		8	16	10	51.526	5	6	51.90	3.851 554 12
	12	13	33	7.078	23	44	51.91	1.831 712 26		12	16	16	58.161	4	50	29.57	3.869 249 34
	16	13	31	19.090	23	58	2.19	1.873 916 78		16	16	23	6.119	4	35	36.07	3.885 026 53
Août	20	13	29	51.653	24	5	37.92	1.918 417 69	20	16	29	15.170	4	22	13.38	3.898 863 39	
	24	13	28	45.508	24	8	3.73	1.964 977 13	24	16	35	25.052	4	10	23.82	3.910 724 93	
	28	13	28	1.120	24	5	44.00	2.013 373 02	28	16	41	35.426	4	0	9.86	3.920 576 49	
	1	13	27	38.711	23	59	2.96	2.063 386 28	Déc.	2	16	47	45.894	3	51	33.61	3.928 402 18
	5	13	27	38.250	23	48	24.67	2.114 797 46		6	16	53	56.073	3	44	36.49	3.934 205 03
Sept.	9	13	27	59.439	23	34	13.16	2.167 383 06	10	17	0	5.619	3	39	19.48	3.937 993 97	
	13	13	28	41.650	23	16	52.10	2.220 928 15	14	17	6	14.225	3	35	43.32	3.939 777 07	
	17	13	29	44.014	22	56	43.46	2.275 246 57	18	17	12	21.604	3	33	48.77	3.939 553 54	
	21	13	31	5.606	22	34	6.60	2.330 181 89	22	17	18	27.443	3	33	36.88	3.937 309 73	
	25	13	32	45.549	22	9	18.59	2.385 592 31	26	17	24	31.345	3	35	8.75	3.933 034 09	
29	13	34	43.011	21	42	34.95	2.441 339 02	30	17	30	32.861	3	38	25.01	3.926 733 44		

JUNON 2019 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	3	33	27.776	-	2	36	19.38	1.235 033 80	Juill.	3	8	25	59.099	13	43	45.81	3.237 314 36
	4	3	34	8.672	-	2	3	15.81	1.268 723 37		7	8	33	46.835	13	26	12.48	3.267 847 94
	8	3	35	19.891	-	1	27	17.69	1.304 292 53		11	8	41	31.352	13	7	18.38	3.296 976 34
	12	3	37	0.825	-	0	48	54.32	1.341 566 05		15	8	49	12.475	12	47	7.82	3.324 672 33
	16	3	39	10.475	-	0	8	33.78	1.380 375 25		19	8	56	50.127	12	25	44.91	3.350 906 70
Févr.	20	3	41	47.526	0	33	17.59	1.420 566 11	23	9	4	24.272	12	3	13.60	3.375 638 26		
	24	3	44	50.505	1	16	16.04	1.462 012 24	27	9	11	54.878	11	39	37.76	3.398 814 31		
	28	3	48	18.030	2	0	0.98	1.504 612 38	31	9	19	21.884	11	15	1.33	3.420 373 81		
	1	3	52	8.908	2	44	14.12	1.548 264 15	Août	4	9	26	45.175	10	49	28.47	3.440 255 69	
	5	3	56	21.942	3	28	38.26	1.592 853 98		8	9	34	4.598	10	23	3.73	3.458 418 70	
Mars	9	4	0	55.869	4	12	57.20	1.638 265 01	12	9	41	20.069	9	55	51.62	3.474 841 35		
	13	4	5	49.361	4	56	55.86	1.684 385 19	16	9	48	31.584	9	27	56.35	3.489 501 57		
	17	4	11	1.037	5	40	20.46	1.731 114 15	20	9	55	39.174	8	59	21.90	3.502 366 44		
	21	4	16	29.536	6	22	58.83	1.778 374 65	24	10	2	42.865	8	30	12.16	3.513 393 03		
	25	4	22	13.680	7	4	40.79	1.826 110 12	28	10	9	42.651	8	0	31.06	3.522 529 85		
Avril	1	4	28	12.516	7	45	17.48	1.874 260 22	Sept.	1	10	16	38.463	7	30	22.80	3.529 725 23	
	5	4	34	25.145	8	24	40.51	1.922 748 28		5	10	23	30.181	6	59	51.98	3.534 946 97	
	9	4	40	50.647	9	2	41.92	1.971 491 42		9	10	30	17.733	6	29	3.15	3.538 185 94	
	13	4	47	28.058	9	39	14.29	2.020 407 23		13	10	37	1.115	5	58	0.50	3.539 433 62	
	17	4	54	16.379	10	14	10.86	2.069 420 85		17	10	43	40.347	5	26	47.94	3.538 672 70	
Mai	21	5	1	14.622	10	47	25.87	2.118 477 09	21	10	50	15.438	4	55	29.34	3.535 877 03		
	25	5	8	21.935	11	18	54.74	2.167 538 66	25	10	56	46.358	4	24	8.60	3.531 012 54		
	29	5	15	37.644	11	48	33.69	2.216 563 42	29	11	3	13.003	3	52	49.96	3.524 045 91		
	2	5	23	1.120	12	16	19.22	2.265 491 47	Oct.	3	11	9	35.207	3	21	38.13	3.514 963 31	
	6	5	30	31.703	12	42	8.06	2.314 253 88		7	11	15	52.827	2	50	37.77	3.503 776 99	
Juin	10	5	38	8.683	13	5	57.28	2.362 778 84	11	11	22	5.781	2	19	53.16	3.490 502 12		
	14	5	45	51.303	13	27	44.46	2.411 000 58	15	11	28	14.000	1	49	28.31	3.475 147 55		
	18	5	53	38.796	13	47	27.89	2.458 871 10	19	11	34	17.397	1	19	27.17	3.457 714 49		
	22	6	1	30.508	14	5	6.67	2.506 359 01	23	11	40	15.835	0	49	53.80	3.438 197 54		
	26	6	9	25.925	14	20	40.44	2.553 429 07	27	11	46	9.090	0	20	52.69	3.416 593 47		
Juillet	30	6	17	24.580	14	34	8.99	2.600 028 44	Nov.	31	11	51	56.861	-	0	7	31.21	3.392 920 62
	4	6	25	25.979	14	45	32.32	2.646 093 49		4	11	57	38.850	-	0	35	12.90	3.367 224 44
	8	6	33	29.589	14	54	50.70	2.691 555 64		8	12	3	14.809	-	1	2	7.80	3.339 557 93
	12	6	41	34.820	15	2	4.82	2.736 350 83		12	12	8	44.493	-	1	28	11.58	3.309 969 71
	16	6	49	41.080	15	7	15.94	2.780 432 60		16	12	14	7.631	-	1	53	19.97	3.278 502 78
Sept.	20	6	57	47.873	15	10	25.88	2.823 771 03	20	12	19	23.889	-	2	17	28.54	3.245 194 62	
	24	7	5	54.827	15	11	36.68	2.866 332 73	24	12	24	32.824	-	2	40	32.34	3.210 087 94	
	28	7	14	1.625	15	10	50.47	2.908 068 91	28	12	29	33.901	-	3	2	25.88	3.173 249 65	
	1	7	22	7.937	15	8	9.51	2.948 918 39	Déc.	2	12	34	26.577	-	3	23	3.65	3.134 775 68
	5	7	30	13.405	15	3	36.21	2.988 813 86		6	12	39	10.339	-	3	42	20.55	3.094 773 33
Oct.	9	7	38	17.618	14	57	13.36	3.027 690 62	10	12	43	44.678	-	4	0	11.72	3.053 348 82	
	13	7	46	20.158	14	49	4.17	3.065 502 62	14	12	48	9.050	-	4	16	32.39	3.010 604 96	
	17	7	54	20.699	14	39	12.16	3.102 220 35	18	12	52	22.837	-	4	31	17.59	2.966 641 01	
	21	8	2	19.028	14	27	40.86	3.137 811 85	22	12	56	25.291	-	4	44	21.74	2.921 564 81	
	25	8	10	14.983	14	14	33.71	3.172 231 26	26	13	0	15.566	-	4	55	38.73	2.875 513 58	
29	8	18	8.402	13	59	54.17	3.205 420 62	30	13	3	52.809	-	5	5	2.52	2.828 655 51		

VESTA 2019 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Janv.	0	21	9	20.384	-20	18	59.80	3.021 634 23	Juill.	3	2	34	24.307	8	28	52.58	2.773 313 99
	4	21	17	20.339	-19	46	34.95	3.053 041 52		7	2	40	5.172	8	50	15.87	2.732 312 13
	8	21	25	18.894	-19	12	56.55	3.083 008 84		11	2	45	38.579	9	10	13.94	2.690 306 01
	12	21	33	15.756	-18	38	8.67	3.111 490 76		15	2	51	3.999	9	28	45.84	2.647 370 60
	16	21	41	10.660	-18	2	15.54	3.138 455 39		19	2	56	20.854	9	45	50.71	2.603 566 18
Févr.	20	21	49	3.397	-17	25	21.40	3.163 885 62	23	3	1	28.449	10	1	27.45	2.558 949 69	
	24	21	56	53.859	-16	47	30.31	3.187 771 69	27	3	6	25.969	10	15	34.79	2.513 585 88	
	28	22	4	42.033	-16	8	46.12	3.210 091 26	31	3	11	12.483	10	28	11.35	2.467 555 34	
	1	22	12	27.886	-15	29	12.88	3.230 801 64	Août	4	3	15	46.981	10	39	15.94	2.420 963 84
	5	22	20	11.326	-14	48	54.99	3.249 861 52		8	3	20	8.497	10	48	48.16	2.373 937 61
Mars	9	22	27	52.238	-14	7	57.05	3.267 239 72	12	3	24	16.111	10	56	48.28	2.326 597 18	
	13	22	35	30.513	-13	26	23.73	3.282 918 85	16	3	28	8.842	11	3	16.65	2.279 052 28	
	17	22	43	6.078	-12	44	19.62	3.296 896 13	20	3	31	45.580	11	8	13.43	2.231 414 67	
	21	22	50	38.939	-12	1	49.01	3.309 178 32	24	3	35	5.084	11	11	38.70	2.183 808 46	
	25	22	58	9.186	-11	18	55.78	3.319 760 50	28	3	38	5.998	11	13	32.51	2.136 379 50	
Avril	1	23	5	36.892	-10	35	43.90	3.328 617 50	Sept.	1	3	40	46.911	11	13	55.36	2.089 304 61
	5	23	13	2.061	-9	52	17.68	3.335 722 64		5	3	43	6.512	11	12	48.74	2.042 786 84
	9	23	20	24.660	-9	8	41.58	3.341 059 12		9	3	45	3.627	11	10	15.08	1.997 027 40
	13	23	27	44.649	-8	25	0.13	3.344 623 38		13	3	46	37.089	11	6	17.04	1.952 221 40
	17	23	35	2.001	-7	41	17.74	3.346 426 71		17	3	47	45.698	11	0	57.35	1.908 571 40
Mai	21	23	42	16.757	-6	57	38.39	3.346 490 25	21	3	48	28.262	10	54	19.03	1.866 297 64	
	25	23	49	29.026	-6	14	5.64	3.344 825 18	25	3	48	43.649	10	46	25.57	1.825 645 69	
	29	23	56	38.903	-5	30	43.00	3.341 422 09	29	3	48	30.935	10	37	21.62	1.786 894 06	
	2	0	3	46.409	-4	47	34.32	3.336 267 37	Oct.	3	3	47	49.624	10	27	13.69	1.750 342 90
	6	0	10	51.515	-4	4	43.66	3.329 356 22		7	3	46	39.728	10	16	10.00	1.716 283 11
Juin	10	0	17	54.164	-3	22	15.12	3.320 696 95	11	3	45	1.636	10	4	19.67	1.684 989 53	
	14	0	24	54.304	-2	40	12.69	3.310 312 60	15	3	42	56.119	9	51	52.69	1.656 731 78	
	18	0	31	51.937	-1	58	39.91	3.298 237 07	19	3	40	24.393	9	39	0.13	1.631 779 12	
	22	0	38	47.123	-1	17	39.80	3.284 494 22	23	3	37	28.206	9	25	54.41	1.610 402 82	
	26	0	45	39.907	-0	37	15.35	3.269 088 52	27	3	34	9.992	9	12	49.86	1.592 873 95	
Juillet	30	0	52	30.256	0	2	30.16	3.252 017 72	Nov.	31	3	30	33.012	9	0	3.04	1.579 440 16
	4	0	59	18.074	0	41	33.21	3.233 287 58		4	3	26	41.246	8	47	51.80	1.570 292 41
	8	1	6	3.221	1	19	50.18	3.212 915 61		8	3	22	39.067	8	36	33.76	1.565 558 13
	12	1	12	45.545	1	57	17.59	3.190 936 39		12	3	18	31.050	8	26	25.67	1.565 314 84
	16	1	19	24.940	2	33	52.41	3.167 395 08		16	3	14	21.853	8	17	43.11	1.569 595 96
Sept.	20	1	26	1.354	3	9	32.20	3.142 327 62	20	3	10	16.108	8	10	40.26	1.578 397 79	
	24	1	32	34.714	3	44	14.55	3.115 751 24	24	3	6	18.410	8	5	30.15	1.591 679 70	
	28	1	39	4.861	4	17	56.77	3.087 676 05	28	3	2	33.234	8	2	24.35	1.609 346 32	
	1	1	45	31.559	4	50	35.94	3.058 118 71	Déc.	2	2	59	4.665	8	1	31.86	1.631 232 37
	5	1	51	54.508	5	22	9.01	3.027 107 64		6	2	55	56.102	8	2	58.02	1.657 116 95
Oct.	9	1	58	13.376	5	52	33.06	2.994 690 40	10	2	53	10.191	8	6	44.78	1.686 749 66	
	13	2	4	27.875	6	21	45.70	2.960 926 63	14	2	50	48.878	8	12	51.15	1.719 866 93	
	17	2	10	37.765	6	49	45.13	2.925 866 89	18	2	48	53.512	8	21	14.04	1.756 206 06	
	21	2	16	42.770	7	16	29.63	2.889 544 66	22	2	47	25.035	8	31	49.25	1.795 506 83	
	25	2	22	42.523	7	41	57.19	2.851 987 37	26	2	46	24.048	8	44	31.69	1.837 493 38	
29	2	28	36.553	8	6	5.62	2.813 228 29	30	2	45	50.729	8	59	14.90	1.881 868 03		

SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2019

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

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	4	9.003	4.974	Janv.	16	12	6.636	5.854	Janv.	31	19	7.141	4.464
	1	12	7.859	5.830		16	19	8.155	4.261		Févr.	1	3	6.602
	1	19	9.371	3.852		17	3	7.609	5.273	1		11	5.559	5.681
	2	3	8.865	5.062		17	11	6.482	5.873	1	18	7.067	4.532	
	2	11	7.682	5.876		17	18	8.069	4.353	2	2	6.497	5.311	
	2	18	9.278	3.969		18	2	7.485	5.329	2	9	7.059	3.496	
	3	2	8.724	5.144		18	10	6.329	5.888	2	17	6.991	4.597	
	3	10	7.504	5.918		18	17	7.981	4.441	3	1	6.391	5.339	
	3	17	9.182	4.083		19	1	7.360	5.380	3	8	7.017	3.589	
	4	1	8.582	5.223		19	8	7.950	3.271	3	16	6.914	4.658	
	4	8	9.038	2.763		19	16	7.892	4.525	4	0	6.284	5.364	
	4	16	9.083	4.193		20	0	7.234	5.427	4	7	6.974	3.678	
	5	0	8.438	5.297		20	7	7.901	3.382	4	15	6.835	4.715	
	5	7	8.989	2.898		20	15	7.801	4.605	4	23	6.177	5.384	
	5	15	8.982	4.299		20	23	7.107	5.471	5	6	6.928	3.765	
	5	23	8.293	5.367		21	6	7.849	3.490	5	14	6.756	4.769	
6	6	8.935	3.029	21	14	7.708	4.682	5	22	6.070	5.401			
6	14	8.878	4.402	21	22	6.980	5.510	6	5	6.881	3.848			
6	22	8.146	5.433	22	5	7.795	3.595	6	13	6.676	4.819			
7	5	8.879	3.157	22	13	7.613	4.755	6	21	5.962	5.414			
7	13	8.772	4.501	22	21	6.852	5.545	7	4	6.832	3.928			
7	21	7.998	5.494	23	4	7.738	3.697	7	12	6.595	4.866			
8	4	8.819	3.282	23	12	7.517	4.825	7	20	5.855	5.424			
8	12	8.664	4.596	23	20	6.724	5.576	8	3	6.782	4.005			
8	20	7.850	5.551	24	3	7.679	3.796	8	11	6.513	4.909			
9	3	8.756	3.404	24	11	7.420	4.890	8	19	5.747	5.429			
9	11	8.553	4.687	24	19	6.595	5.604	9	2	6.731	4.078			
9	19	7.700	5.604	25	2	7.619	3.891	9	10	6.430	4.949			
10	2	8.690	3.523	25	10	7.321	4.952	9	18	5.640	5.432			
10	10	8.441	4.774	25	18	6.466	5.627	10	1	6.677	4.149			
10	18	7.549	5.653	26	1	7.556	3.983	10	9	6.347	4.985			
11	1	8.621	3.639	26	9	7.221	5.010	10	17	5.532	5.430			
11	9	8.327	4.857	26	17	6.336	5.646	11	0	6.623	4.216			
11	17	7.398	5.697	27	0	7.491	4.072	11	8	6.263	5.017			
12	0	8.550	3.751	27	8	7.120	5.065	11	16	5.424	5.426			
12	8	8.211	4.936	27	16	6.207	5.662	11	23	6.567	4.280			
12	16	7.246	5.737	27	23	7.424	4.157	12	7	6.178	5.046			
12	23	8.476	3.860	28	7	7.018	5.115	12	15	5.316	5.417			
13	7	8.093	5.012	28	15	6.077	5.673	12	22	6.511	4.340			
13	15	7.094	5.773	28	22	7.356	4.239	13	6	6.093	5.072			
13	22	8.399	3.965	29	6	6.915	5.162	13	14	5.209	5.406			
14	6	7.974	5.083	29	14	5.947	5.681	13	21	6.453	4.397			
14	14	6.941	5.804	29	21	7.286	4.318	14	5	6.007	5.094			
14	21	8.320	4.068	30	5	6.812	5.205	14	13	5.102	5.390			
15	5	7.854	5.151	30	13	5.818	5.685	14	20	6.394	4.451			
15	13	6.789	5.831	30	20	7.214	4.393	15	4	5.921	5.112			
15	20	8.238	4.166	31	4	6.707	5.244	15	12	4.995	5.372			
16	4	7.732	5.214	31	12	5.689	5.685	15	19	6.334	4.501			

PHOBOS 2019

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	3	5.835	5.127	Mars	3	10	5.718	3.673	Mars	18	18	5.283	4.205
	16	10	6.322	3.602		3	18	5.685	4.432		19	2	4.876	4.449
	16	18	6.273	4.548		4	2	5.217	4.844		19	9	5.277	3.669
	17	2	5.748	5.139		4	9	5.697	3.729		19	17	5.250	4.212
	17	9	6.290	3.678		4	17	5.638	4.457		20	1	4.822	4.424
	17	17	6.212	4.592		5	1	5.148	4.835		20	8	5.266	3.704
	18	1	5.661	5.147		5	8	5.675	3.783		20	16	5.217	4.216
	18	8	6.257	3.750		5	16	5.590	4.478		21	0	4.767	4.396
	18	16	6.149	4.632		6	0	5.079	4.822		21	7	5.255	3.736
	19	0	5.574	5.151		6	7	5.652	3.833		21	15	5.183	4.217
	19	7	6.223	3.820		6	15	5.542	4.497		21	23	4.712	4.366
	19	15	6.086	4.669		6	23	5.009	4.807		22	6	5.243	3.765
	19	23	5.486	5.153		7	6	5.628	3.880		22	14	5.148	4.215
	20	6	6.187	3.886		7	14	5.494	4.512		22	22	4.657	4.333
	20	14	6.022	4.702		7	22	4.939	4.788		23	5	5.231	3.791
20	22	5.399	5.150	8	5	5.603	3.924	23	13	5.112	4.210			
21	5	6.150	3.949	8	13	5.445	4.523	23	21	4.601	4.297			
21	13	5.958	4.732	8	21	4.869	4.766	24	4	5.217	3.814			
21	21	5.311	5.145	9	4	5.578	3.966	24	12	5.076	4.202			
22	4	6.112	4.009	9	12	5.395	4.532	24	20	4.545	4.258			
22	12	5.893	4.759	9	20	4.799	4.742	25	3	5.203	3.834			
22	20	5.223	5.136	10	3	5.551	4.003	25	11	5.040	4.191			
23	3	6.074	4.066	10	11	5.345	4.537	25	19	4.489	4.217			
23	11	5.827	4.783	10	19	4.729	4.714	26	2	5.188	3.851			
23	19	5.136	5.124	11	2	5.524	4.038	26	10	5.003	4.177			
24	2	6.034	4.119	11	10	5.294	4.540	26	18	4.432	4.173			
24	10	5.761	4.803	11	18	4.659	4.684	27	1	5.173	3.865			
24	18	5.048	5.109	12	1	5.496	4.070	27	9	4.965	4.160			
25	1	5.993	4.170	12	9	5.244	4.539	27	17	4.374	4.126			
25	9	5.694	4.819	12	17	4.588	4.650	28	0	5.156	3.876			
25	17	4.960	5.090	13	0	5.468	4.099	28	8	4.927	4.141			
26	0	5.951	4.217	13	8	5.192	4.535	28	15	4.997	3.343			
26	8	5.627	4.833	13	16	4.518	4.614	28	23	5.139	3.883			
26	16	4.873	5.068	13	23	5.439	4.124	29	7	4.888	4.118			
26	23	5.909	4.261	14	7	5.140	4.528	29	14	5.002	3.378			
27	7	5.560	4.843	14	15	4.447	4.575	29	22	5.121	3.888			
27	15	4.785	5.043	14	22	5.409	4.147	30	6	4.848	4.093			
27	22	5.865	4.302	15	6	5.088	4.518	30	13	5.006	3.409			
28	6	5.492	4.849	15	13	5.311	3.499	30	21	5.103	3.890			
28	14	4.698	5.015	15	21	5.378	4.166	31	5	4.808	4.065			
Mars	28	21	5.821	4.339	16	5	5.036	4.505	31	12	5.010	3.438		
	1	5	5.424	4.853	16	12	5.303	3.546	31	20	5.084	3.890		
	1	13	4.610	4.984	16	20	5.347	4.182	Avril	1	4	4.767	4.034	
	1	20	5.776	4.373	17	4	4.983	4.489	1	11	5.013	3.464		
	2	4	5.355	4.853	17	11	5.295	3.590	1	19	5.064	3.886		
	2	11	5.738	3.614	17	19	5.316	4.195	2	3	4.726	4.000		
	2	19	5.731	4.404	18	3	4.930	4.470	2	10	5.014	3.487		
	3	3	5.286	4.850	18	10	5.286	3.631	2	18	5.043	3.879		

PHOBOS 2019

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	2	4.684	3.964	Avril	18	9	4.888	3.245	Mai	3	17	4.885	2.910
	3	9	5.015	3.507		18	17	4.914	3.433		4	1	4.529	2.700
	3	17	5.021	3.869		19	1	4.560	3.347		4	8	4.872	2.870
	4	1	4.641	3.925		19	8	4.896	3.245		4	16	4.873	2.868
	4	8	5.016	3.524		19	16	4.900	3.405		4	23	4.531	2.649
	4	16	4.999	3.857		20	0	4.523	3.294		5	7	4.884	2.850
	5	0	4.597	3.884		20	7	4.904	3.241		5	15	4.860	2.823
	5	7	5.015	3.538		20	15	4.884	3.374		5	22	4.565	2.651
	5	15	4.976	3.841		20	23	4.484	3.238		6	6	4.895	2.827
	5	23	4.553	3.840		21	6	4.910	3.235		6	14	4.846	2.777
	6	6	5.014	3.549		21	14	4.867	3.341		6	21	4.599	2.650
	6	14	4.952	3.823		21	22	4.445	3.181		7	5	4.904	2.801
	6	22	4.508	3.794		22	5	4.916	3.226		7	13	4.829	2.728
	7	5	5.011	3.557		22	13	4.849	3.305		7	20	4.631	2.647
	7	13	4.928	3.802		22	20	4.632	2.905		8	4	4.912	2.773
	7	21	4.462	3.745		23	4	4.920	3.214		8	12	4.812	2.677
	8	4	5.008	3.562		23	12	4.829	3.267		8	19	4.661	2.641
	8	12	4.902	3.778		23	19	4.658	2.918		9	3	4.918	2.742
8	20	4.416	3.694	24	3	4.923	3.199	9	11	4.792	2.624			
9	3	5.005	3.564	24	11	4.809	3.226	9	18	4.691	2.633			
9	11	4.876	3.752	24	18	4.683	2.927	10	2	4.922	2.709			
9	18	4.768	3.123	25	2	4.925	3.182	10	10	4.771	2.569			
10	2	5.000	3.564	25	10	4.787	3.183	10	17	4.719	2.622			
10	10	4.848	3.723	25	17	4.707	2.934	11	1	4.925	2.674			
10	17	4.785	3.148	26	1	4.926	3.162	11	9	4.748	2.512			
11	1	4.994	3.561	26	9	4.764	3.138	11	16	4.745	2.608			
11	9	4.820	3.691	26	16	4.730	2.938	12	0	4.927	2.636			
11	16	4.801	3.171	27	0	4.925	3.139	12	8	4.724	2.454			
12	0	4.988	3.554	27	8	4.739	3.091	12	15	4.771	2.591			
12	8	4.791	3.657	27	15	4.752	2.939	12	23	4.926	2.596			
12	15	4.816	3.190	27	23	4.924	3.114	13	7	4.697	2.393			
12	23	4.980	3.545	28	7	4.714	3.041	13	14	4.794	2.572			
13	7	4.761	3.620	28	14	4.773	2.937	13	22	4.924	2.554			
13	14	4.830	3.206	28	22	4.921	3.086	14	6	4.669	2.331			
13	22	4.972	3.533	29	6	4.686	2.989	14	13	4.817	2.550			
14	6	4.730	3.580	29	13	4.793	2.933	14	21	4.921	2.510			
14	13	4.843	3.220	29	21	4.916	3.056	15	5	4.640	2.267			
14	21	4.962	3.519	30	5	4.658	2.935	15	12	4.837	2.526			
15	5	4.698	3.538	30	12	4.811	2.926	15	20	4.915	2.463			
15	12	4.856	3.231	30	20	4.910	3.023	16	4	4.608	2.202			
15	20	4.952	3.501	Mai	1	4	4.628	2.879	16	11	4.856	2.500		
16	4	4.665	3.494		1	11	4.828	2.916	16	19	4.908	2.415		
16	11	4.867	3.238		1	19	4.903	2.988	17	2	4.471	2.379		
16	19	4.940	3.481		2	3	4.596	2.821	17	10	4.874	2.471		
17	3	4.631	3.447		2	10	4.844	2.903	17	18	4.899	2.364		
17	10	4.878	3.243		2	18	4.895	2.950	18	1	4.511	2.371		
17	18	4.928	3.458	3	2	4.563	2.761	18	9	4.889	2.439			
18	2	4.596	3.399	3	9	4.859	2.888	18	17	4.888	2.312			

PHOBOS 2019

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 0	4.551	2.361	Juin	3 8	4.949	1.863	Juin	18 16	4.808	0.895
	19 8	4.903	2.406		3 16	4.863	1.591		18 23	4.778	1.480
	19 16	4.875	2.257		3 23	4.682	1.954		19 7	4.975	1.202
	19 23	4.589	2.348		4 7	4.957	1.814		19 15	4.779	0.826
	20 7	4.916	2.370		4 15	4.843	1.527		19 22	4.806	1.434
	20 15	4.860	2.201		4 22	4.717	1.922		20 6	4.973	1.141
	20 22	4.625	2.332		5 6	4.963	1.762		20 14	4.747	0.755
	21 6	4.926	2.331		5 14	4.820	1.461		20 21	4.833	1.385
	21 14	4.843	2.143		5 21	4.749	1.887		21 5	4.969	1.079
	21 21	4.660	2.314		6 5	4.967	1.710		21 13	4.713	0.684
	22 5	4.935	2.291		6 13	4.795	1.394		21 20	4.857	1.335
	22 13	4.825	2.084		6 20	4.779	1.850		22 4	4.963	1.016
	22 20	4.693	2.293		7 4	4.969	1.655		22 12	4.676	0.613
	23 4	4.941	2.248		7 12	4.768	1.326		22 19	4.878	1.284
	23 12	4.804	2.022		7 19	4.807	1.812		23 3	4.954	0.952
	23 19	4.724	2.270		8 3	4.968	1.599		23 10	4.468	1.474
	24 3	4.946	2.203		8 11	4.738	1.256		23 18	4.897	1.230
	24 11	4.781	1.960		8 18	4.834	1.771		24 2	4.943	0.886
	24 18	4.754	2.244		9 2	4.966	1.541		24 9	4.513	1.435
	25 2	4.949	2.157		9 10	4.706	1.186		24 17	4.914	1.176
	25 10	4.756	1.896		9 17	4.858	1.728		25 1	4.929	0.820
	25 17	4.782	2.216		10 1	4.961	1.482		25 8	4.557	1.394
	26 1	4.950	2.108		10 9	4.672	1.116		25 16	4.929	1.119
	26 9	4.729	1.830		10 16	4.880	1.683		26 0	4.913	0.753
	26 16	4.808	2.185		11 0	4.953	1.421		26 7	4.598	1.351
	27 0	4.949	2.057		11 7	4.472	1.780		26 15	4.940	1.062
	27 8	4.700	1.763		11 15	4.899	1.636		26 23	4.894	0.685
	27 15	4.832	2.153		11 23	4.943	1.359		27 6	4.637	1.306
	27 23	4.945	2.005		12 6	4.517	1.750		27 14	4.950	1.003
	28 7	4.669	1.695		12 14	4.917	1.588		27 22	4.872	0.617
	28 14	4.855	2.118		12 22	4.931	1.296		28 5	4.674	1.259
28 22	4.940	1.951	13 5	4.561	1.718	28 13	4.957	0.943			
29 6	4.636	1.626	13 13	4.932	1.537	28 21	4.848	0.548			
29 13	4.876	2.080	13 21	4.917	1.232	29 4	4.709	1.211			
29 21	4.933	1.895	14 4	4.602	1.683	29 12	4.961	0.881			
30 4	4.484	2.081	14 12	4.945	1.485	29 20	4.822	0.478			
30 12	4.894	2.041	14 20	4.900	1.166	30 3	4.741	1.161			
30 20	4.923	1.837	15 3	4.642	1.647	30 11	4.963	0.819			
31 3	4.527	2.060	15 11	4.956	1.432	30 19	4.792	0.409			
31 11	4.911	2.000	15 19	4.881	1.100	Juill. 1 2	4.771	1.109			
Juin	31 19	4.911	1.778	16 2	4.679	1.608	1 10	4.962	0.755		
	1 2	4.569	2.037	16 10	4.964	1.376	1 18	4.761	0.338		
	1 10	4.926	1.956	16 18	4.859	1.033	2 1	4.798	1.056		
	1 18	4.898	1.717	17 1	4.714	1.567	2 9	4.959	0.690		
	2 1	4.608	2.012	17 9	4.970	1.320	2 17	4.726	0.268		
	2 9	4.938	1.910	17 17	4.835	0.964	3 0	4.823	1.001		
	2 17	4.882	1.655	18 0	4.747	1.525	3 8	4.953	0.625		
	3 0	4.646	1.984	18 8	4.974	1.262	3 16	4.690	0.197		

PHOBOS 2019

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

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.	3	23	4.846	0.945	Juill.	19	7	4.854	-0.090	Août	3	14	4.611	0.234
	4	7	4.944	0.559		19	14	4.537	0.744		3	22	4.832	-0.287
	4	15	4.650	0.126		19	22	4.877	0.306		4	6	4.669	-0.787
	4	22	4.866	0.887		20	6	4.832	-0.159		4	13	4.638	0.168
	5	6	4.933	0.492		20	13	4.575	0.687		4	21	4.828	-0.356
	5	13	4.463	1.164		20	21	4.884	0.240		5	5	4.633	-0.855
	5	21	4.883	0.828		21	5	4.807	-0.228		5	12	4.663	0.102
	6	5	4.919	0.424		21	12	4.610	0.628		5	20	4.821	-0.426
	6	12	4.508	1.116		21	20	4.889	0.173		6	4	4.596	-0.922
	6	20	4.898	0.768		22	4	4.780	-0.297		6	11	4.685	0.035
	7	4	4.903	0.356		22	11	4.643	0.568		6	19	4.812	-0.496
	7	11	4.550	1.068		22	19	4.890	0.106		7	3	4.555	-0.988
	7	19	4.911	0.707		23	3	4.750	-0.367		7	10	4.705	-0.033
	8	3	4.884	0.288		23	10	4.673	0.508		7	18	4.800	-0.565
	8	10	4.590	1.017		23	18	4.889	0.039		8	2	4.512	-1.054
	8	18	4.920	0.645		24	2	4.718	-0.436		8	9	4.721	-0.101
9	2	4.862	0.218	24	9	4.701	0.446	8	17	4.785	-0.635			
9	9	4.628	0.965	24	17	4.886	-0.030	9	1	4.467	-1.119			
9	17	4.928	0.582	25	1	4.682	-0.505	9	8	4.736	-0.170			
10	1	4.838	0.149	25	8	4.726	0.383	9	16	4.768	-0.704			
10	8	4.663	0.911	25	16	4.879	-0.098	10	0	4.419	-1.183			
10	16	4.932	0.517	26	0	4.645	-0.573	10	7	4.747	-0.239			
11	0	4.811	0.080	26	7	4.748	0.319	10	15	4.748	-0.773			
11	7	4.696	0.856	26	15	4.870	-0.167	10	23	4.368	-1.246			
11	15	4.934	0.452	26	23	4.604	-0.641	11	6	4.756	-0.309			
11	23	4.782	0.010	27	6	4.768	0.254	11	14	4.725	-0.842			
12	6	4.726	0.800	27	14	4.858	-0.236	11	22	4.316	-1.309			
12	14	4.934	0.386	27	22	4.561	-0.709	12	5	4.762	-0.379			
12	22	4.750	-0.060	28	5	4.785	0.189	12	13	4.700	-0.910			
13	5	4.754	0.742	28	13	4.844	-0.305	12	20	4.481	0.114			
13	13	4.930	0.320	28	21	4.516	-0.776	13	4	4.766	-0.449			
13	21	4.715	-0.130	29	4	4.800	0.122	13	12	4.672	-0.978			
14	4	4.780	0.683	29	12	4.827	-0.374	13	19	4.513	0.047			
14	12	4.924	0.253	29	20	4.468	-0.843	14	3	4.767	-0.519			
14	20	4.678	-0.200	30	3	4.812	0.055	14	11	4.642	-1.046			
15	3	4.802	0.623	30	11	4.807	-0.444	14	18	4.542	-0.021			
15	11	4.916	0.185	30	19	4.418	-0.909	15	2	4.765	-0.589			
15	19	4.638	-0.269	31	2	4.821	-0.012	15	10	4.609	-1.113			
16	2	4.823	0.561	31	10	4.785	-0.513	15	17	4.569	-0.090			
16	10	4.904	0.117	31	17	4.514	0.425	16	1	4.761	-0.660			
16	18	4.595	-0.339	Août	1	1	4.828	-0.080	16	9	4.573	-1.179		
17	1	4.840	0.499		1	9	4.760	-0.582	16	16	4.593	-0.159		
17	9	4.890	0.048		1	16	4.549	0.362	17	0	4.754	-0.730		
17	17	4.550	-0.408		2	0	4.832	-0.149	17	8	4.535	-1.244		
18	0	4.855	0.435	2	8	4.732	-0.651	17	15	4.615	-0.229			
18	8	4.874	-0.021	2	15	4.581	0.299	17	23	4.744	-0.800			
18	15	4.497	0.799	2	23	4.833	-0.218	18	7	4.495	-1.309			
18	23	4.867	0.371	3	7	4.702	-0.719	18	14	4.633	-0.299			

PHOBOS 2019

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

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	"	"
Août	18 22	4.732	-0.870	Sept.	3 6	4.196	-1.899	Sept.	18 13	4.532	-1.428
	19 6	4.452	-1.372		3 13	4.611	-0.907		18 21	4.371	-1.995
	19 13	4.650	-0.369		3 21	4.559	-1.490		19 5	3.859	-2.402
	19 21	4.717	-0.939		4 5	4.142	-1.955		19 12	4.526	-1.499
	20 5	4.407	-1.435		4 12	4.614	-0.979		19 20	4.337	-2.055
	20 12	4.663	-0.440		4 20	4.533	-1.556	20 4	3.798	-2.447	
	20 20	4.699	-1.008		5 4	4.087	-2.009	20 11	4.518	-1.569	
	21 4	4.359	-1.497		5 11	4.615	-1.051	20 19	4.300	-2.114	
	21 11	4.674	-0.511		5 19	4.503	-1.621	21 2	4.395	-0.975	
	21 19	4.679	-1.077		6 3	4.030	-2.061	21 10	4.508	-1.638	
	22 3	4.310	-1.558		6 10	4.613	-1.123	21 18	4.261	-2.172	
	22 10	4.683	-0.583		6 18	4.471	-1.685	22 1	4.411	-1.050	
	22 18	4.657	-1.145	7 2	3.970	-2.112	22 9	4.495	-1.707		
	23 2	4.257	-1.617	7 9	4.609	-1.194	22 17	4.219	-2.228		
	23 9	4.689	-0.654	7 17	4.437	-1.748	23 0	4.425	-1.125		
	23 17	4.631	-1.213	8 0	4.437	-0.621	23 8	4.480	-1.775		
	24 1	4.203	-1.675	8 8	4.602	-1.265	23 16	4.176	-2.283		
	24 8	4.692	-0.725	8 16	4.401	-1.810	23 23	4.437	-1.200		
	24 16	4.604	-1.280	8 23	4.458	-0.695	24 7	4.462	-1.841		
	25 0	4.146	-1.732	9 7	4.593	-1.336	24 15	4.131	-2.336		
	25 7	4.693	-0.797	9 15	4.362	-1.871	24 22	4.446	-1.275		
	25 15	4.574	-1.346	9 22	4.476	-0.769	25 6	4.443	-1.907		
	25 22	4.467	-0.257	10 6	4.582	-1.406	25 14	4.084	-2.387		
26 6	4.691	-0.868	10 14	4.321	-1.931	25 21	4.453	-1.349			
26 14	4.541	-1.412	10 21	4.492	-0.843	26 5	4.421	-1.972			
26 21	4.494	-0.328	11 5	4.568	-1.475	26 13	4.035	-2.437			
27 5	4.686	-0.939	11 13	4.278	-1.989	26 20	4.458	-1.422			
27 13	4.506	-1.476	11 20	4.506	-0.917	27 4	4.397	-2.035			
27 20	4.517	-0.400	12 4	4.551	-1.543	27 12	3.984	-2.485			
28 4	4.679	-1.009	12 12	4.233	-2.046	27 19	4.460	-1.495			
28 12	4.469	-1.540	12 19	4.517	-0.991	28 3	4.371	-2.098			
28 19	4.538	-0.472	13 3	4.533	-1.611	28 11	3.931	-2.532			
29 3	4.670	-1.080	13 11	4.186	-2.101	28 18	4.460	-1.568			
29 11	4.429	-1.603	13 18	4.525	-1.065	29 2	4.343	-2.159			
29 18	4.557	-0.544	14 2	4.512	-1.677	29 10	3.876	-2.577			
30 2	4.658	-1.150	14 10	4.136	-2.156	29 17	4.458	-1.639			
30 10	4.387	-1.664	14 17	4.531	-1.138	30 1	4.312	-2.219			
30 17	4.572	-0.617	15 1	4.488	-1.743	30 9	3.820	-2.619			
31 1	4.643	-1.219	15 9	4.085	-2.208	30 16	4.454	-1.710			
31 9	4.342	-1.725	15 16	4.535	-1.211	Oct. 1 0	4.280	-2.277			
Sept.	31 16	4.586	-0.689	16 0	4.462	-1.808	1 8	3.762	-2.660		
	1 0	4.626	-1.288	16 8	4.031	-2.259	1 15	4.447	-1.780		
	1 8	4.296	-1.784	16 15	4.537	-1.284	1 23	4.246	-2.334		
	1 15	4.597	-0.762	16 23	4.434	-1.871	2 7	3.702	-2.700		
	1 23	4.606	-1.356	17 7	3.976	-2.309	2 14	4.439	-1.849		
	2 7	4.247	-1.842	17 14	4.535	-1.356	2 22	4.209	-2.390		
	2 14	4.605	-0.835	17 22	4.404	-1.934	3 6	3.641	-2.737		
	2 22	4.584	-1.424	18 6	3.918	-2.356	3 13	4.428	-1.917		

PHOBOS 2019

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

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.	3 21	4.171	-2.444	Oct.	19 4	4.319	-1.785	Nov.	3 12	4.206	-2.811
	4 4	4.346	-1.314		19 12	4.300	-2.425		3 20	3.778	-3.169
	4 12	4.415	-1.984		19 20	3.936	-2.869		4 3	4.299	-2.293
	4 20	4.130	-2.496		20 3	4.326	-1.858		4 11	4.184	-2.862
	5 3	4.359	-1.389		20 11	4.280	-2.484		4 19	3.732	-3.199
	5 11	4.400	-2.050		20 19	3.891	-2.910		5 2	4.301	-2.360
	5 19	4.088	-2.547		21 2	4.331	-1.930		5 10	4.160	-2.911
	6 2	4.370	-1.464		21 10	4.259	-2.542		5 18	3.685	-3.226
	6 10	4.382	-2.115		21 18	3.845	-2.949		6 1	4.301	-2.426
	6 18	4.044	-2.596		22 1	4.334	-2.001		6 9	4.135	-2.959
	7 1	4.378	-1.539		22 9	4.235	-2.599		6 17	3.636	-3.252
	7 9	4.363	-2.178		22 17	3.796	-2.986		7 0	4.300	-2.490
	7 17	3.998	-2.643		23 0	4.335	-2.072		7 8	4.109	-3.005
	8 0	4.385	-1.613		23 8	4.210	-2.654		7 16	3.587	-3.275
	8 8	4.342	-2.241		23 16	3.746	-3.021		7 23	4.296	-2.553
	8 16	3.951	-2.688		23 23	4.334	-2.141		8 7	4.080	-3.048
	8 23	4.389	-1.686		24 7	4.183	-2.707		8 15	3.536	-3.295
	9 7	4.318	-2.302		24 15	3.695	-3.054		8 22	4.291	-2.614
	9 15	3.901	-2.732		24 22	4.332	-2.209		9 6	4.051	-3.090
	9 22	4.391	-1.758		25 6	4.154	-2.758		9 14	3.483	-3.314
	10 6	4.293	-2.361		25 14	3.642	-3.085		9 21	4.285	-2.674
	10 14	3.850	-2.774		25 21	4.327	-2.275		10 5	4.020	-3.129
	10 21	4.391	-1.830		26 5	4.124	-2.808		10 13	3.430	-3.330
	11 5	4.266	-2.420		26 13	3.588	-3.113		10 20	4.277	-2.732
	11 13	3.797	-2.814		26 20	4.321	-2.341		11 4	3.987	-3.167
	11 20	4.389	-1.901		27 4	4.091	-2.856		11 11	4.240	-2.149
	12 4	4.236	-2.476		27 12	3.532	-3.139		11 19	4.267	-2.788
	12 12	3.743	-2.852		27 19	4.312	-2.405		12 3	3.953	-3.202
	12 19	4.385	-1.970		28 3	4.058	-2.902		12 10	4.253	-2.221
	13 3	4.205	-2.531		28 11	3.476	-3.164		12 18	4.256	-2.843
	13 11	3.687	-2.888		28 18	4.302	-2.467		13 2	3.918	-3.236
13 18	4.379	-2.039	29 2	4.022	-2.946	13 9	4.265	-2.291			
14 2	4.172	-2.585	29 10	3.418	-3.185	13 17	4.243	-2.896			
14 10	3.629	-2.921	29 17	4.291	-2.528	14 1	3.881	-3.267			
14 17	4.371	-2.106	30 1	3.985	-2.989	14 8	4.275	-2.360			
15 1	4.137	-2.637	30 8	4.265	-1.939	14 16	4.229	-2.947			
15 9	3.570	-2.953	30 16	4.277	-2.588	15 0	3.843	-3.295			
15 16	4.361	-2.172	31 0	3.947	-3.029	15 7	4.284	-2.427			
16 0	4.101	-2.687	31 7	4.275	-2.012	15 15	4.213	-2.996			
16 8	3.510	-2.983	31 15	4.262	-2.646	15 23	3.803	-3.322			
16 15	4.348	-2.237	31 23	3.907	-3.067	16 6	4.292	-2.493			
16 23	4.062	-2.735	Nov.	1 6	4.284	-2.084	16 14	4.196	-3.043		
17 6	4.300	-1.636		1 14	4.245	-2.703	16 22	3.763	-3.346		
17 14	4.334	-2.301		1 22	3.865	-3.103	17 5	4.297	-2.558		
17 22	4.022	-2.782		2 5	4.291	-2.155	17 13	4.177	-3.088		
18 5	4.311	-1.711		2 13	4.226	-2.757	17 21	3.721	-3.368		
18 13	4.318	-2.364	2 21	3.822	-3.137	18 4	4.302	-2.621			
18 21	3.980	-2.827	3 4	4.296	-2.224	18 12	4.157	-3.132			

PHOBOS 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	18	20	3.678	-3.388	Déc.	4	3	4.369	-3.013	Déc.	19	11	4.280	-3.538
	19	3	4.304	-2.682		4	11	4.160	-3.404		19	18	4.431	-2.786
	19	11	4.135	-3.173		4	19	3.615	-3.517		20	2	4.529	-3.303
	19	19	3.633	-3.405		5	2	4.373	-3.063		20	10	4.264	-3.550
	20	2	4.306	-2.742		5	10	4.140	-3.431		20	17	4.462	-2.844
	20	10	4.113	-3.212		5	18	3.573	-3.518		21	1	4.536	-3.338
	20	18	3.588	-3.419		6	1	4.375	-3.110		21	9	4.246	-3.559
	21	1	4.306	-2.800		6	9	4.119	-3.455		21	16	4.491	-2.900
	21	9	4.088	-3.248		6	16	4.306	-2.580		22	0	4.542	-3.371
	21	17	3.541	-3.432		7	0	4.377	-3.156		22	8	4.228	-3.565
22	0	4.304	-2.856	7	8	4.096	-3.476	22	15	4.520	-2.954			
22	8	4.063	-3.283	7	15	4.330	-2.644	22	23	4.547	-3.401			
22	16	3.493	-3.441	7	23	4.377	-3.200	23	7	4.208	-3.569			
22	23	4.301	-2.911	8	7	4.072	-3.495	23	14	4.548	-3.006			
23	7	4.036	-3.315	8	14	4.352	-2.707	23	22	4.551	-3.428			
23	15	3.444	-3.449	8	22	4.375	-3.241	24	6	4.187	-3.570			
23	22	4.297	-2.963	9	6	4.047	-3.512	24	13	4.575	-3.055			
24	6	4.007	-3.345	9	13	4.373	-2.768	24	21	4.553	-3.453			
24	13	4.260	-2.410	9	21	4.373	-3.280	25	5	4.165	-3.568			
24	21	4.291	-3.014	10	5	4.021	-3.526	25	12	4.600	-3.103			
25	5	3.978	-3.373	10	12	4.393	-2.827	25	20	4.554	-3.475			
25	12	4.277	-2.478	10	20	4.369	-3.317	26	4	4.141	-3.563			
25	20	4.284	-3.063	11	4	3.993	-3.537	26	11	4.625	-3.148			
26	4	3.947	-3.398	11	11	4.412	-2.884	26	19	4.554	-3.495			
26	11	4.293	-2.544	11	19	4.364	-3.352	27	3	4.116	-3.555			
26	19	4.275	-3.109	12	3	3.965	-3.546	27	10	4.648	-3.190			
27	3	3.915	-3.422	12	10	4.430	-2.939	27	18	4.553	-3.512			
27	10	4.307	-2.609	12	18	4.358	-3.384	28	2	4.090	-3.545			
27	18	4.266	-3.154	13	2	3.935	-3.552	28	9	4.671	-3.230			
28	2	3.882	-3.442	13	9	4.446	-2.992	28	17	4.551	-3.526			
28	9	4.320	-2.672	13	17	4.350	-3.414	29	1	4.063	-3.532			
28	17	4.254	-3.196	14	1	3.904	-3.556	29	8	4.692	-3.268			
29	1	3.847	-3.460	14	8	4.461	-3.043	29	16	4.547	-3.537			
29	8	4.331	-2.733	14	16	4.342	-3.441	30	0	4.034	-3.516			
29	16	4.242	-3.236	15	0	3.871	-3.556	30	7	4.712	-3.303			
30	0	3.811	-3.476	15	7	4.476	-3.092	30	15	4.542	-3.546			
30	7	4.341	-2.793	15	15	4.332	-3.465	30	22	4.548	-2.846			
30	15	4.228	-3.275	15	23	3.838	-3.555	31	6	4.731	-3.335			
30	23	3.775	-3.489	16	6	4.489	-3.139	31	14	4.536	-3.552			
Déc.	1	6	4.350	-2.851	16	14	4.321	-3.488	31	21	4.590	-2.900		
1	14	4.213	-3.310	16	22	3.803	-3.550	Janv.	1	5	4.749	-3.365		
1	22	3.737	-3.500	17	5	4.500	-3.183	1	13	4.528	-3.555			
2	5	4.358	-2.906	17	13	4.308	-3.507	1	20	4.631	-2.952			
2	13	4.197	-3.344	17	21	3.767	-3.543	2	4	4.766	-3.393			
2	21	3.697	-3.508	18	4	4.511	-3.226	2	12	4.519	-3.555			
3	4	4.364	-2.961	18	12	4.295	-3.524	2	19	4.671	-3.001			
3	12	4.179	-3.375	18	19	4.399	-2.726	3	3	4.782	-3.417			
3	20	3.657	-3.514	19	3	4.521	-3.266	3	11	4.508	-3.552			

DÉIMOS 2019

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	16	22.547	11.958	Mars	3	10	14.243	11.149	Mai	3	4	12.547	6.921
	2	23	21.531	13.125		4	17	13.712	11.523		4	10	12.563	6.827
	4	5	21.763	12.511		5	23	13.925	11.218		5	16	12.506	6.707
	5	11	21.871	11.830		7	5	14.047	10.855		6	23	12.557	6.594
	6	18	20.941	12.991		8	12	13.593	11.230		8	5	12.551	6.509
	8	0	21.143	12.368		9	18	13.771	10.920		9	12	12.521	6.322
	9	6	21.212	11.687		11	0	13.860	10.562		10	18	12.565	6.270
	10	13	20.379	12.835		12	7	13.482	10.931		12	0	12.532	6.192
	11	19	20.539	12.208		13	13	13.623	10.623		13	7	12.547	5.992
	13	2	19.584	13.230		14	19	13.681	10.265		14	13	12.566	5.947
	14	8	19.832	12.660		16	2	13.373	10.630		15	19	12.510	5.879
	15	14	19.960	12.035		17	8	13.485	10.323		17	2	12.566	5.665
	16	21	19.096	13.042		18	15	13.108	10.584		18	8	12.561	5.628
	18	3	19.306	12.474		19	21	13.273	10.327		19	14	12.483	5.571
	19	9	19.402	11.840		21	3	13.349	10.020		20	21	12.578	5.340
	20	16	18.623	12.845		22	10	13.045	10.279		22	3	12.552	5.313
	21	22	18.801	12.268		23	16	13.174	10.020		23	10	12.558	5.018
	23	5	17.916	13.147		24	22	13.220	9.719		24	16	12.585	5.019
	24	11	18.172	12.630		26	5	12.984	9.969		25	22	12.534	5.001
25	17	18.310	12.054	27	11	13.081	9.715	27	5	12.580	4.692			
27	0	17.519	12.924	28	18	12.777	9.867	28	11	12.582	4.701			
28	6	17.733	12.404	30	0	12.924	9.659	29	17	12.513	4.694			
29	12	17.841	11.828	31	6	12.991	9.406	31	0	12.591	4.369			
30	19	17.134	12.689	Avril	1	13	12.750	9.553	Juin	1	6	12.574	4.387	
Févr.	1	1	17.313		2	19	12.869	9.347		2	12	12.484	4.392	
	2	8	16.516	12.908	4	1	12.902	9.097	3	19	12.596	4.050		
	3	14	16.764	12.448	5	8	12.728	9.238	5	1	12.559	4.080		
	4	20	16.909	11.922	6	14	12.812	9.033	6	8	12.578	3.685		
	6	3	16.196	12.661	7	20	12.819	8.790	7	14	12.594	3.738		
	7	9	16.411	12.193	9	3	12.703	8.920	8	20	12.536	3.777		
	8	15	16.518	11.671	10	9	12.759	8.721	10	3	12.587	3.369		
	9	22	15.893	12.402	11	16	12.573	8.760	11	9	12.583	3.430		
	11	4	16.067	11.934	12	22	12.679	8.603	12	15	12.509	3.481		
	12	11	15.360	12.548	14	4	12.706	8.407	13	22	12.587	3.057		
	13	17	15.599	12.136	15	11	12.578	8.438	15	4	12.566	3.128		
	14	23	15.742	11.669	16	17	12.656	8.285	16	10	12.473	3.192		
	16	6	15.115	12.277	17	23	12.652	8.094	17	17	12.580	2.750		
	17	12	15.320	11.867	19	6	12.582	8.116	18	23	12.541	2.834		
	18	18	15.426	11.395	20	12	12.629	7.966	20	5	12.433	2.909		
	20	1	14.882	12.004	21	18	12.600	7.784	21	12	12.565	2.452		
	21	7	15.052	11.588	23	1	12.581	7.792	22	18	12.509	2.545		
	22	14	14.431	12.082	24	7	12.603	7.649	24	1	12.545	2.049		
	23	20	14.661	11.722	25	14	12.508	7.575	25	7	12.541	2.159		
25	2	14.792	11.309	26	20	12.580	7.470	26	13	12.472	2.265			
26	9	14.256	11.797	28	2	12.572	7.333	27	20	12.529	1.753			
27	15	14.446	11.437	29	9	12.529	7.247	29	2	12.513	1.874			
28	21	14.547	11.024	30	15	12.574	7.148	30	8	12.425	1.993			
Mars	2	4	14.085	11.508	Mai	1	21	12.540	7.018	Juill.	1	15	12.509	1.464

DÉIMOS 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	2 21	12.476	1.598	Sept.	1 15	11.494	-3.749	Nov.	1 9	10.279	-7.511
	4 4	12.459	1.040		2 21	11.571	-3.485		2 15	10.488	-7.289
	5 10	12.480	1.185		4 4	11.321	-4.170		3 21	10.633	-7.031
	6 16	12.433	1.327		5 10	11.448	-3.922		5 4	10.336	-7.593
	7 23	12.439	0.759		6 16	11.512	-3.647		6 10	10.527	-7.365
	9 5	12.445	0.911		7 23	11.284	-4.345		7 17	10.160	-7.864
	10 11	12.385	1.068		9 5	11.400	-4.084		8 23	10.395	-7.668
	11 18	12.410	0.483		10 11	11.453	-3.804		10 5	10.572	-7.435
	13 0	12.405	0.648		11 18	11.247	-4.507		11 12	10.241	-7.938
	14 6	12.329	0.816		13 0	11.350	-4.242		12 18	10.461	-7.738
	15 13	12.377	0.217		14 7	11.056	-4.913		14 0	10.620	-7.494
	16 19	12.356	0.393		15 13	11.207	-4.664		15 7	10.328	-8.008
	18 2	12.303	-0.222		16 19	11.301	-4.388		16 13	10.532	-7.798
	19 8	12.336	-0.040		18 2	11.026	-5.069		17 20	10.173	-8.242
20 14	12.304	0.146	19 8	11.169	-4.812	19 2	10.422	-8.069			
21 21	12.270	-0.480	20 14	11.249	-4.526	20 8	10.606	-7.854			
23 3	12.291	-0.291	21 21	10.999	-5.218	21 15	10.290	-8.303			
24 9	12.246	-0.090	23 3	11.129	-4.951	22 21	10.520	-8.123			
25 16	12.230	-0.732	24 10	10.793	-5.601	24 3	10.689	-7.901			
26 22	12.240	-0.530	25 16	10.972	-5.356	25 10	10.412	-8.355			
28 4	12.182	-0.319	26 22	11.089	-5.084	26 16	10.626	-8.170			
29 11	12.187	-0.974	28 5	10.780	-5.740	27 22	10.775	-7.940			
30 17	12.183	-0.761	29 11	10.944	-5.490	29 5	10.543	-8.402			
Août	1 0	12.088	-1.419	30 17	11.050	-5.206	30 11	10.738	-8.208		
	2 6	12.137	-1.206	Oct.	2 0	10.764	-5.873	Déc.	1 18	10.441	-8.596
	3 12	12.123	-0.984		3 6	10.919	-5.614		3 0	10.682	-8.439
	4 19	12.045	-1.652		4 13	10.552	-6.232		4 6	10.856	-8.241
	6 1	12.084	-1.431		5 19	10.753	-5.998		5 13	10.607	-8.631
	7 7	12.058	-1.194		7 1	10.892	-5.730		6 19	10.825	-8.470
	8 14	11.999	-1.878		8 8	10.554	-6.358		8 1	10.982	-8.265
	9 20	12.027	-1.644		9 14	10.741	-6.114		9 8	10.777	-8.659
	11 3	11.869	-2.321		10 20	10.868	-5.841		10 14	10.979	-8.492
	12 9	11.950	-2.093		12 3	10.558	-6.474		11 21	10.711	-8.807
	13 15	11.965	-1.851		13 9	10.731	-6.226		13 3	10.959	-8.679
	14 22	11.828	-2.537		14 16	10.344	-6.807		14 9	11.139	-8.504
	16 4	11.895	-2.300		15 22	10.563	-6.586		15 16	10.920	-8.823
	17 10	11.901	-2.047		17 4	10.724	-6.328		16 22	11.147	-8.687
18 17	11.781	-2.743	18 11		10.364	-6.918	18 4		11.306	-8.510	
19 23	11.839	-2.499	19 17	10.572	-6.689	19 11	11.138	-8.828			
21 6	11.623	-3.179	20 23	10.717	-6.423	20 17	11.344	-8.689			
22 12	11.732	-2.943	22 6	10.391	-7.022	21 23	11.482	-8.505			
23 18	11.779	-2.685	23 12	10.582	-6.784	23 6	11.364	-8.825			
25 1	11.582	-3.379	24 19	10.182	-7.325	24 12	11.551	-8.680			
26 7	11.681	-3.131	26 1	10.419	-7.117	25 19	11.367	-8.916			
27 13	11.715	-2.867	27 7	10.596	-6.875	27 1	11.602	-8.811			
28 20	11.540	-3.567	28 14	10.230	-7.420	28 7	11.763	-8.661			
30 2	11.626	-3.313	29 20	10.451	-7.208	29 14	11.635	-8.896			
31 8	11.652	-3.037	31 2	10.614	-6.955	30 20	11.846	-8.785			

DÉIMOS 2019

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	2	11.987	-8.634	Janv.	3	15	12.101	-8.751					
	2	9	11.911	-8.863		4	21	12.216	-8.594					

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 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	16	92.591	-12.660	Févr.	11	10	101.255	-7.260	Mars	24	3	114.576	-4.128	
	2	14	-93.536	12.158		12	7	-101.892	7.454		25	0	-114.799	4.378	
	3	11	93.056	-12.097		13	4	101.689	-7.436		25	21	115.203	-4.453	
	4	8	-93.825	12.277		14	2	-102.179	6.870		26	19	-115.172	3.864	
	5	5	93.126	-12.192		14	23	102.228	-6.869		27	16	115.849	-3.953	
	6	3	-94.061	11.687		15	20	-102.849	7.066		28	13	-116.081	4.213	
	7	0	93.605	-11.629		16	17	102.711	-7.055		29	10	116.566	-4.299	
	7	21	-94.369	11.809		17	15	-103.121	6.484		30	7	-116.451	4.552	
	8	18	93.698	-11.729		18	12	103.231	-6.489		31	5	117.119	-3.806	
	9	16	-94.619	11.219		19	9	-103.844	6.690		Avril	1	2	-117.356	4.075
	10	13	94.198	-11.165		20	6	103.766	-6.687		1	23	117.926	-4.174	
	11	10	-94.947	11.345		21	4	-104.093	6.110		2	20	-117.821	4.438	
	12	7	94.314	-11.270		22	1	104.269	-6.122		3	18	118.372	-3.688	
	13	5	-95.216	10.756		22	22	-104.869	6.327		4	15	-118.623	3.966	
14	2	94.827	-10.706	23	19	104.860	-6.332	5	12	119.278	-4.078				
14	23	-95.567	10.886	24	16	-105.119	6.520	6	9	-119.180	4.352				
15	20	94.968	-10.816	25	14	105.334	-5.768	7	6	119.639	-4.464				
16	18	-95.847	10.297	26	11	-105.930	5.979	8	4	-119.865	3.888				
17	15	95.497	-10.252	27	8	105.985	-5.991	9	1	120.608	-4.013				
18	12	-96.222	10.432	28	5	-106.236	6.185	9	22	-120.526	4.298				
19	9	95.667	-10.368	Mars	1	3	106.431	-5.430	10	19	121.066	-4.423			
20	7	-96.516	9.844		2	0	-107.016	5.645	11	17	-121.081	3.840			
21	4	96.203	-9.803		2	21	107.146	-5.666	12	14	121.911	-3.981			
22	1	-96.919	9.984		3	18	-107.384	5.867	13	11	-121.841	4.275			
22	22	96.402	-9.926		4	16	107.551	-5.108	14	8	122.470	-4.415			
23	20	-97.219	9.396		5	13	-108.133	5.329	15	6	-122.253	3.825			
24	17	96.951	-9.361	6	10	108.332	-5.359	16	3	123.172	-3.980				
25	14	-97.650	9.542	7	7	-108.565	5.567	17	0	-123.123	4.285				
26	11	97.183	-9.491	8	5	108.696	-4.804	17	21	123.833	-4.440				
27	9	-97.959	8.955	9	2	-109.271	5.031	18	18	-123.424	4.739				
28	6	97.735	-8.924	9	23	109.548	-5.070	19	16	124.385	-4.013				
29	3	-98.424	9.108	10	20	-109.772	5.286	20	13	-124.353	4.327				
30	0	98.001	-9.063	11	17	109.859	-5.318	21	10	125.154	-4.499				
30	22	-98.733	8.521	12	15	-110.432	4.753	22	7	-124.761	4.808				
31	19	98.561	-8.496	13	12	110.782	-4.801	23	5	125.536	-4.079				
Févr.	1	16	-99.232	8.680	14	9	-111.006	5.025	24	2	-125.526	4.403			
	2	13	98.864	-8.642	15	6	111.169	-5.068	24	23	126.411	-4.591			
	3	11	-99.544	8.094	16	4	-111.605	4.496	25	20	-126.046	4.909			
	4	8	99.421	-8.074	17	1	112.037	-4.553	26	17	126.722	-5.094			
	5	5	-100.083	8.262	17	22	-112.257	4.786	27	15	-126.624	4.511			
	6	2	99.765	-8.230	18	19	112.498	-4.838	28	12	127.601	-4.717			
	7	0	-100.389	7.676	19	17	-112.792	4.261	29	9	-127.257	5.044			
	7	21	100.322	-7.663	20	14	113.301	-4.328	30	6	128.019	-5.246			
	8	18	-100.967	7.852	21	11	-113.525	4.569	Mai	1	4	-127.642	4.653		
	9	15	100.709	-7.828	22	8	113.846	-4.633	2	1	128.702	-4.875			
	10	13	-101.268	7.268	23	6	-113.980	4.049	2	22	-128.389	5.211			

IO 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	3	19	129.232	-5.431	Juin	13	11	135.738	-10.587	Juill.	24	3	127.990	-14.305	
	4	16	-128.573	5.759		14	8	-134.449	10.871		25	1	-126.681	13.517	
	5	14	129.711	-5.066		15	6	135.660	-10.277		25	22	127.615	-13.872	
	6	11	-129.421	5.409		16	3	-134.741	10.582		26	19	-126.321	13.972	
	7	8	130.351	-5.646		17	0	135.688	-10.945		27	16	126.949	-14.286	
	8	5	-129.723	5.983		17	21	-134.442	11.222		28	13	-125.386	14.350	
	9	3	130.605	-5.285		18	19	135.330	-10.611		29	11	126.414	-13.824	
	10	0	-130.348	5.636		19	16	-134.455	10.909		30	8	-125.174	13.913	
	10	21	131.359	-5.892		20	13	135.463	-11.282		31	5	125.846	-14.226	
	11	18	-130.761	6.234		21	10	-134.272	11.551		Août	1	2	-124.342	14.280
	12	15	131.546	-6.485		22	7	135.013	-11.899			2	0	125.156	-13.735
	13	13	-131.148	5.889		23	5	-134.002	11.210			2	21	-123.977	13.814
	14	10	132.246	-6.163		24	2	135.079	-11.595			3	18	124.681	-14.125
	15	7	-131.682	6.511		24	23	-133.933	11.854			4	15	-123.243	14.169
	16	4	132.542	-6.780		25	20	134.738	-12.210			5	13	123.860	-13.608
	17	2	-131.821	6.165		26	18	-133.394	11.485			6	10	-122.733	13.676
17	23	132.999	-6.458	27	15	134.534	-11.877	7	7	123.475		-13.986			
18	20	-132.468	6.810	28	12	-133.440	12.127	8	4	-122.098		14.021			
19	17	133.410	-7.097	29	9	134.300	-12.491	9	1	122.519		-14.286			
20	14	-132.529	7.435	30	6	-132.902	12.709	9	23	-121.463		13.503			
21	12	133.610	-6.772	Juill.	1	4	133.844	-12.128	10	20		122.232	-13.809		
22	9	-133.114	7.128		2	1	-132.793	12.367	11	17		-120.919	13.835		
23	6	134.131	-7.432		2	22	133.716	-12.738	12	14		121.368	-14.098		
24	3	-133.294	7.772		3	19	-132.371	12.945	13	12		-120.167	13.294		
25	0	134.074	-8.065	4	16	133.006	-13.284	14	9	120.969		-13.598			
25	22	-133.605	7.459	5	14	-132.012	12.570	15	6	-119.715	13.616				
26	19	134.705	-7.781	6	11	132.989	-12.947	16	3	120.187	-13.875				
27	16	-133.900	8.123	7	8	-131.700	13.142	17	1	-118.865	13.055				
28	13	134.758	-8.432	8	5	132.389	-13.487	17	22	119.688	-13.354				
29	11	-133.938	7.802	9	3	-131.099	12.734	18	19	-118.497	13.365				
30	8	135.113	-8.140	10	0	132.137	-13.116	19	16	118.990	-13.619				
Juin	31	5	-134.351	8.482	10	21	-130.901	13.300	20	13	-117.553	13.597			
	1	2	135.278	-8.807	11	18	131.639	-13.648	21	11	118.404	-13.079			
	1	23	-134.185	9.130	12	15	-130.110	13.794	22	8	-117.270	13.084			
	2	21	135.358	-8.504	13	13	131.167	-13.245	23	5	117.780	-13.333			
	3	18	-134.631	8.844	14	10	-129.986	13.416	24	2	-116.411	13.305			
	4	15	135.633	-9.185	15	7	130.779	-13.768	25	0	117.116	-12.776			
	5	12	-134.584	9.505	16	4	-129.304	13.902	25	21	-116.046	12.774			
	6	10	135.427	-8.866	17	2	130.100	-13.332	26	18	116.570	-13.019			
	7	7	-134.743	9.204	17	23	-128.969	13.492	27	15	-115.262	12.986			
	8	4	135.813	-9.559	18	20	129.809	-13.844	28	13	115.839	-12.447			
	9	1	-134.808	9.875	19	17	-128.398	13.967	29	10	-114.825	12.439			
	9	22	135.621	-10.214	20	14	128.944	-14.281	30	7	115.359	-12.678			
	10	20	-134.678	9.556	21	12	-127.863	13.525	31	4	-114.119	12.641			
	11	17	135.824	-9.925	22	9	128.754	-13.880	Sept.	1	2	114.572	-12.093		
	12	14	-134.862	10.237	23	6	-127.397	13.991		1	23	-113.620	12.080		

IO 2019

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	20	114.162	-12.313	Oct.	13	13	102.207	-7.222	Nov.	23	7	95.205	-0.363	
	3	17	-112.982	12.271		14	10	-101.511	7.152		24	4	-95.343	0.297	
	4	15	113.328	-11.716		15	8	101.839	-6.631		25	1	94.932	-0.349	
	5	12	-112.431	11.699		16	5	-101.382	6.575		25	23	-94.946	-0.280	
	6	9	112.976	-11.924		17	2	101.400	-6.679		26	20	94.831	0.230	
	7	6	-111.862	11.880		17	23	-100.760	6.609		27	17	-95.018	-0.298	
	8	3	112.073	-12.062		18	21	101.041	-6.088		28	14	94.567	0.248	
	9	1	-111.267	11.298		19	18	-100.643	6.031		29	12	-94.651	-0.873	
	9	22	111.813	-11.516		20	15	100.625	-6.128		30	9	94.496	0.826	
	10	19	-110.758	11.469		21	12	-100.048	6.060		Déc.	1	6	-94.730	-0.896
	11	16	110.970	-11.645		22	10	100.283	-5.538			2	3	94.237	0.847
	12	14	-110.129	10.878		23	7	-99.940	5.481			3	1	-94.396	-1.468
	13	11	110.671	-11.089		24	4	99.891	-5.571			3	22	94.196	1.424
	14	8	-109.681	11.040		25	1	-99.368	5.504			4	19	-94.478	-1.498
	15	5	109.882	-11.209		25	23	99.564	-4.981			5	16	93.946	1.449
16	3	-109.022	10.442	26	20	-99.278	4.924	6	14	-94.175		-2.067			
17	0	109.557	-10.645	27	17	99.189	-5.008	7	11	93.937		2.025			
17	21	-108.626	10.593	28	14	-98.728	4.941	8	8	-94.261		-2.101			
18	18	108.822	-10.756	29	12	98.883	-4.419	9	5	93.690		2.052			
19	16	-107.946	9.991	30	9	-98.652	4.361	10	3	-93.993		-2.668			
20	13	108.471	-10.185	Nov.	31	6	98.529	-4.440	11	0		93.711	2.628		
21	10	-107.603	10.132		1	3	-98.121	4.373	11	21		-94.081	-2.707		
22	7	107.783	-10.288		2	1	98.242	-3.852	12	18		93.473	2.657		
23	5	-106.906	9.525		2	22	-98.068	3.794	13	16		-93.843	-3.272		
24	2	107.418	-9.711		3	19	97.902	-3.867	14	13	93.526	3.232			
24	23	-106.606	9.657		4	16	-97.553	3.801	15	10	-93.935	-3.315			
25	20	106.775	-9.805		5	14	97.639	-3.280	16	7	93.290	3.264			
26	18	-105.901	9.047		6	11	-97.519	3.221	17	5	-93.732	-3.878			
27	15	106.396	-9.224		7	8	97.316	-3.289	18	2	93.374	3.839			
28	12	-105.647	9.169		8	5	-97.019	3.223	18	23	-93.825	-3.925			
29	9	105.793	-9.310		9	3	97.077	-2.704	19	20	93.146	3.872			
30	7	-104.936	8.557		10	0	-97.011	2.644	20	18	-93.653	-4.486			
Oct.	1	4	105.410		-8.725	10	21	96.764	-2.708	21	15	93.262	4.448		
	2	1	-104.719		8.669	11	18	-96.524	2.642	22	12	-93.750	-4.537		
	2	22	104.847		-8.803	12	16	96.551	-2.124	23	9	93.037	4.482		
	3	19	-103.964	8.730	13	13	-96.537	2.063	24	7	-93.613	-5.097			
	4	17	104.460	-8.215	14	10	96.253	-2.123	25	4	93.184	5.058			
	5	14	-103.830	8.159	15	7	-96.062	2.057	26	1	-93.711	-5.152			
	6	11	103.931	-8.285	16	5	96.066	-1.540	26	22	92.968	5.094			
	7	8	-103.113	8.213	17	2	-96.103	1.478	27	20	-93.605	-5.710			
	8	6	103.548	-7.696	17	23	95.774	-1.535	28	17	93.147	5.670			
	9	3	-102.975	7.639	18	20	-95.639	1.468	29	14	-93.707	-5.768			
	10	0	103.053	-7.758	19	18	95.615	-0.953	30	11	92.934	5.707			
	10	21	-102.293	7.687	20	15	-95.704	0.889	31	9	-93.635	-6.325			
	11	19	102.674	-7.167	21	12	95.336	-0.943	Janv.	1	6	93.144	6.284		
	12	16	-102.161	7.111	22	10	-95.275	0.309		2	3	-93.739	-6.385		

IO 2019

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	0	92.941	6.321	Janv.	4	19	93.183	6.899	Janv.	6	13	92.983	6.937
	3	22	-93.698	-6.942		5	16	-93.806	-7.004		7	11	-93.799	-7.560

EUROPE 2019

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	20	149.461	-19.189	Mars	22	20	-181.800	5.723	Juin	10	16	213.470	-14.987	
	3	14	-147.503	18.795		24	15	182.209	-5.682		12	11	-217.342	15.070	
	5	9	150.292	-18.667		26	9	-184.000	5.707		14	6	213.402	-14.994	
	7	4	-148.414	17.638		28	4	184.219	-5.680		16	0	-217.192	15.963	
	8	22	151.024	-18.142		29	22	-186.095	5.731		17	19	213.166	-15.855	
	10	17	-149.411	17.141		Avril	31	17	186.228		-5.727	19	13	-216.873	16.844
	12	12	152.085	-17.006			2	12	-188.239		5.057	21	8	212.724	-16.685
	14	6	-150.362	16.640			4	6	188.138		-5.825	23	2	-216.312	17.675
	16	1	152.997	-16.505			6	1	-190.473		5.184	24	21	212.094	-17.479
	17	20	-151.533	15.511			7	20	190.203		-5.209	26	15	-215.576	18.478
19	15	154.068	-15.369	9	14	-192.704	5.373	Juill.	28	10	211.277	-18.228			
21	9	-152.697	15.037	11	9	192.235	-5.414		30	4	-214.618	19.217			
23	4	155.165	-14.894	13	3	-194.809	5.612		1	23	210.276	-18.926			
24	23	-153.862	13.910	14	22	194.245	-5.676		3	18	-213.726	19.098			
26	17	156.245	-14.418	16	16	-196.899	5.916		5	12	209.102	-19.566			
28	12	-155.240	13.465	18	11	196.131	-5.996		7	7	-212.569	19.741			
30	7	157.524	-13.318	20	6	-198.999	5.485		9	1	207.761	-20.145			
Févr.	1	1	-156.541	13.021	22	0	197.985	-6.375	10	20	-211.257	20.332			
	2	20	158.802	-12.874	23	19	-201.133	5.909	12	15	206.456	-19.838			
	4	15	-157.979	11.931	25	14	199.889	-6.007	14	9	-209.778	20.842			
	6	10	160.057	-11.783	27	8	-203.097	6.385	16	4	205.002	-20.307			
	8	4	-159.498	11.524	29	3	201.749	-6.503	17	22	-208.155	21.292			
9	23	161.536	-11.377	30	21	-205.017	6.930	19	17	203.417	-20.708				
11	17	-161.006	11.131	Mai	2	16	203.459	-7.055	21	11	-206.396	21.659			
13	12	162.920	-10.987		4	10	-206.752	7.524	23	6	201.714	-21.038			
15	7	-162.628	10.081		6	5	205.080	-7.666	25	1	-204.757	21.195			
17	2	164.428	-9.939	8	0	-208.456	7.360	26	19	199.897	-21.297				
18	20	-164.356	9.732	9	18	206.539	-8.328	28	14	-202.957	21.443				
20	15	166.016	-9.595	11	13	-210.085	8.063	30	8	197.982	-21.485				
22	9	-166.008	9.399	13	7	207.882	-9.040	Août	1	3	-201.048	21.630			
24	4	167.613	-9.269	15	2	-211.617	8.827		2	22	196.239	-20.844			
25	23	-167.851	8.406	16	21	209.176	-8.949		4	16	-199.047	21.732			
27	18	169.229	-8.280	18	15	-212.926	9.623	6	11	194.367	-20.924				
Mars	1	12	-169.718	8.127	20	10	210.357	-9.747	8	6	-197.034	21.027			
	3	7	171.038	-8.012	22	4	-214.107	10.469	10	0	192.422	-20.937			
5	1	-171.596	7.878	23	23	211.344	-10.578	11	19	-195.103	21.024				
6	20	172.748	-7.773	25	17	-215.054	11.335	13	13	190.408	-20.884				
8	15	-173.513	6.952	27	12	212.171	-11.438	15	8	-193.083	20.964				
10	10	174.527	-6.855	29	6	-215.849	12.237	17	3	188.487	-20.039				
12	4	-175.608	6.773	31	1	212.784	-12.316	18	21	-191.014	20.831				
13	23	176.439	-6.688	Juin	1	19	-216.403	13.144	20	16	186.610	-19.900			
15	17	-177.604	6.624		3	14	213.222	-13.207	22	11	-188.937	19.936			
17	12	178.364	-6.557		5	9	-216.962	13.225	24	5	184.677	-19.702			
19	6	-179.619	6.519		7	3	213.437	-14.099	26	0	-187.011	19.719			
21	1	180.196	-6.466		8	22	-217.237	14.145	27	18	182.697	-19.448			

EUROPE 2019

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	29	13	-184.993	19.452	Oct.	13	0	161.995	-10.043	Nov.	26	11	-150.793	-0.910
	31	8	180.856	-18.456		14	18	-162.671	10.365		28	6	151.279	1.782
Sept.	2	2	-182.956	19.124	16	13	160.889	-9.418	30	1	-150.149	-2.172		
	3	21	179.069	-18.136	18	8	-161.411	9.139	Déc.	1	19	150.859	2.553	
	5	16	-181.045	18.095	20	2	159.681	-8.765		3	14	-149.678	-2.943	
	7	10	177.221	-17.766	21	21	-160.147	8.469	5	9	150.464	3.814		
	9	5	-179.189	17.705	23	16	158.654	-7.536	7	4	-149.079	-4.201		
	11	0	175.417	-16.685	25	11	-158.879	7.225	8	22	150.212	4.599		
	12	18	-177.242	17.273	27	5	157.647	-6.861	10	17	-148.784	-4.984		
	14	13	173.774	-16.263	29	0	-157.810	6.536	12	11	149.925	5.386		
	16	8	-175.448	16.159	30	18	156.621	-6.169	14	6	-148.378	-5.768		
	18	2	172.113	-15.802	Nov.	1	13	-156.622	5.829	16	1	149.775	6.656	
	19	21	-173.698	15.679		3	8	155.809	-4.924	17	20	-148.108	-7.030	
	21	15	170.384	-15.299		5	3	-155.681	4.576	19	14	149.649	7.456	
	23	10	-171.936	15.155		6	21	154.977	-4.215	21	9	-147.887	-7.825	
	25	5	168.959	-14.156	8	16	-154.687	3.854	23	4	149.541	8.723		
	27	0	-170.246	13.990	10	11	154.184	-2.962	24	23	-147.658	-9.081		
	28	18	167.441	-13.615	12	6	-153.763	2.595	26	17	149.574	9.536		
	30	13	-168.692	13.429	14	0	153.539	-2.236	28	12	-147.620	-9.888		
Oct.	2	7	165.901	-13.044	15	19	-152.958	1.860	30	7	149.516	10.798		
	4	2	-167.030	12.838	17	13	152.769	-1.493	Janv.	1	1	-147.521	-10.693	
	5	21	164.633	-11.858	19	8	-152.125	1.112		2	20	149.709	11.625	
	7	16	-165.590	11.633	21	3	152.303	-0.236		4	15	-147.578	-11.955	
	9	10	163.312	-11.258	22	22	-151.445	-0.150		6	9	149.784	12.449	
	11	5	-164.131	11.013	24	16	151.711	0.521		8	4	-147.663	-12.770	

GANYMÈDE 2019

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	21	236.643	-31.123	Mai	9	7	-331.844	14.942	Sept.	11	8	281.282	-29.309		
	7	11	-239.068	30.185		12	21	333.263	-15.585		14	22	-279.083	28.344		
	11	2	239.554	-28.447		16	10	-336.289	17.184		18	12	275.626	-27.180		
	14	16	-242.243	27.528		20	0	337.384	-17.954		22	2	-273.634	26.121		
	18	6	242.870	-26.287		23	14	-339.864	19.063		25	17	270.360	-24.431		
	21	20	-245.801	25.398		27	3	340.482	-20.549		29	7	-268.632	23.313		
	25	10	246.526	-24.183		30	17	-342.345	21.724	Oct.	2	21	265.389	-22.008		
Févr.	29	0	-249.682	23.328	Juin	3	7	342.443	-22.651		6	11	-263.916	20.831		
	1	15	250.681	-21.681		6	20	-343.676	24.461		10	1	260.846	-19.475		
	5	5	-254.018	20.870		10	10	343.163	-25.397	13	15	-259.534	18.247			
		8	19	255.253		-19.752		13	23	-343.760	27.163		17	5	256.681	-16.847
		12	9	-258.711		18.985		17	13	342.621	-28.041		20	19	-255.524	15.569
	15	23	260.226	-17.942		21	3	-342.786	29.127		24	10	252.968	-13.733		
	19	13	-263.759	17.221		24	16	340.819	-30.486		28	0	-251.964	12.411		
	23	3	265.528	-16.259		28	6	-340.526	31.456		31	14	249.614	-10.973		
Mars	26	17	-269.225	15.604	Juill.	1	20	338.077	-32.055	Nov.	4	4	-248.820	9.610		
	2	7	271.155	-14.737		5	9	-337.105	33.458		7	18	246.581	-8.156		
	5	21	-275.056	14.162		8	23	334.288	-33.874		11	9	-246.065	6.365		
	9	11	277.126	-13.396		12	13	-332.859	34.482		14	23	244.006	-4.901		
	13	1	-281.242	12.932		16	2	329.623	-35.287		18	13	-243.778	3.483		
	16	15	283.376	-12.272		19	16	-327.771	35.670		22	3	241.770	-2.002		
	20	5	-287.651	11.930		23	6	324.395	-35.702		25	17	-241.773	0.558		
	23	19	289.930	-11.397		26	20	-322.190	35.860		29	8	239.991	1.308		
	27	9	-294.221	11.197	Août	30	10	318.525	-35.694	Déc.	2	22	-240.186	-2.768		
	30	23	296.655	-10.802		2	23	-316.168	36.196		6	12	238.611	4.267		
Avril	3	13	-300.919	10.754		6	13	312.347	-35.830		10	2	-238.936	-5.749		
	7	3	303.465	-10.527		10	3	-309.995	35.590		13	17	237.619	7.611		
	10	17	-307.590	10.636		13	17	305.975	-35.025		17	7	-238.109	-9.115		
	14	7	310.138	-10.586		17	7	-303.624	34.614		20	21	236.992	10.613		
	17	20	-314.157	11.440		20	21	299.602	-33.885		24	11	-237.665	-12.141		
	21	10	316.601	-11.585		24	10	-297.167	33.828		28	2	236.687	13.982		
	25	0	-320.562	12.047		28	0	293.255	-32.951		31	16	-237.652	-15.536		
	28	14	322.733	-12.370		31	14	-290.926	32.236	Janv.	4	6	236.809	17.021		
Mai	2	4	-326.494	13.022	Sept.	4	4	287.181	-31.247		7	20	-238.002	-18.594		
	5	17	328.300	-14.107		7	18	-284.848	30.392		11	11	237.279	20.415		

CALLISTO 2019

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	1	-422.993	51.892	Mai	21	23	-600.039	32.401	Oct.	2	7	-471.441	38.963
	16	12	423.836	-46.343		30	6	597.087	-37.133		10	17	455.716	-33.167
	24	21	-437.146	42.457	Juin	7	13	-608.285	42.711		19	2	-453.579	28.072
Févr.	2	8	439.749	-37.331		15	20	599.600	-47.416	27	13	439.817	-21.722	
	10	17	-455.332	33.765		24	3	-604.816	52.588	Nov.	4	22	-439.566	16.186
Mars	19	3	459.339	-29.552	Juill.	2	11	590.968	-55.784		13	9	427.824	-9.733
	27	12	-477.233	26.546		10	17	-590.854	59.916	21	19	-429.298	3.582	
	7	22	482.624	-23.165		19	1	572.871	-61.214	30	6	419.612	2.871	
	16	7	-502.347	21.018	Août	27	8	-569.253	63.031	Déc.	8	16	-422.930	-9.308
	24	16	508.692	-19.148		4	17	549.212	-61.928		17	3	415.039	15.702
Avril	2	0	-529.710	18.605	13	1	-543.635	61.438	25	13	-420.274	-22.392		
	10	9	535.962	-18.221	21	10	523.437	-58.612	Janv.	2	23	414.313	28.466	
	18	17	-557.271	19.310	29	18	-517.509	56.511		11	10	-421.301	-35.617	
	27	1	562.171	-21.001	Sept.	7	3	498.065		-52.374	19	20	417.257	41.587
Mai	5	8	-581.860	24.264		15	12	-493.045	48.752					
	13	16	583.820	-27.591	23	22	475.236	-43.447						

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 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	10	-23.282	3.415	Janv.	22	15	22.623	-3.175	Févr.	12	20	-23.616	3.864
	1	21	22.601	-2.332		23	2	-23.525	2.741		13	7	23.178	-2.336
	2	8	-23.492	1.655		23	13	22.716	-1.348		13	18	-23.750	2.129
	2	20	22.356	-3.428		24	1	-23.319	3.803		14	6	23.070	-3.425
	3	7	-23.442	2.744		24	12	22.768	-2.466		14	17	-23.775	3.214
	3	18	22.623	-1.594		24	23	-23.545	2.066		15	4	23.171	-1.632
	4	6	-23.153	3.803		25	11	22.562	-3.554		15	16	-23.549	4.265
	4	17	22.553	-2.709		25	22	-23.500	3.148		16	3	23.238	-2.740
	5	4	-23.497	2.062		26	9	22.797	-1.747		16	14	-23.828	2.550
	5	16	22.228	-3.793		26	21	-23.212	4.197		17	2	23.043	-3.816
6	3	-23.369	3.141	27	8	22.766	-2.855	17	13	-23.766	3.624			
6	14	22.633	-1.979	27	19	-23.578	2.480	18	0	23.293	-2.045			
7	1	-23.446	1.372	28	7	22.477	-3.930	18	12	-23.453	4.659			
7	13	22.483	-3.084	28	18	-23.450	3.552	18	23	23.272	-3.142			
8	0	-23.479	2.466	29	5	22.856	-2.145	19	10	-23.880	2.968			
8	11	22.596	-1.240	29	16	-23.550	1.803	19	22	22.988	-4.202			
8	23	-23.272	3.535	30	4	22.741	-3.242	20	9	-23.730	4.029			
9	10	22.622	-2.362	30	15	-23.585	2.892	20	20	23.389	-2.455			
9	21	-23.484	1.783	31	2	22.831	-1.427	21	7	-23.888	2.300			
10	9	22.393	-3.456	31	14	-23.375	3.951	21	19	23.279	-3.540			
10	20	-23.438	2.869	Févr.	1	1	22.891	-2.541	22	6	-23.903	3.383		
11	7	22.645	-1.630		1	12	-23.614	2.221	22	17	23.394	-1.760		
11	19	-23.151	3.925		2	0	22.693	-3.626	23	5	-23.664	4.430		
12	6	22.591	-2.743		2	11	-23.566	3.300	23	16	23.459	-2.864		
12	17	-23.499	2.192		2	22	22.927	-1.830	24	3	-23.971	2.723		
13	5	22.280	-3.824		3	10	-23.273	4.344	24	15	23.258	-3.934		
13	16	-23.373	3.269	3	21	22.903	-2.935	25	2	-23.897	3.794			
14	3	22.672	-2.018	4	8	-23.654	2.637	25	13	23.526	-2.176			
14	14	-23.455	1.507	4	20	22.620	-4.006	26	1	-23.569	4.824			
15	2	22.537	-3.122	5	7	-23.523	3.704	26	12	23.501	-3.268			
15	13	-23.490	2.600	5	18	23.000	-2.232	26	23	-24.026	3.142			
16	0	22.638	-1.286	6	5	-23.637	1.962	27	11	23.209	-4.323			
16	12	-23.284	3.665	6	17	22.891	-3.326	27	22	-23.862	4.199			
16	23	22.678	-2.406	7	4	-23.668	3.049	28	9	23.632	-2.590			
17	10	-23.502	1.920	7	15	22.982	-1.521	28	20	-24.050	2.477			
17	22	22.462	-3.498	8	3	-23.452	4.104	Mars	1	8	23.515	-3.670		
18	9	-23.457	3.004	8	14	23.048	-2.633		1	19	-24.052	3.557		
18	20	22.704	-1.681	9	1	-23.709	2.382		2	6	23.652	-1.902		
19	8	-23.171	4.057	9	13	22.853	-3.713		2	18	-23.795	4.599		
19	19	22.662	-2.791	10	0	-23.656	3.459		3	5	23.709	-3.002		
20	6	-23.526	2.332	10	11	23.092	-1.929		3	16	-24.137	2.900		
20	18	22.364	-3.870	10	23	-23.355	4.499	4	4	23.499	-4.066			
21	5	-23.400	3.406	11	10	23.072	-3.030	4	15	-24.047	3.968			
21	16	22.747	-2.074	11	21	-23.755	2.800	5	2	23.793	-2.323			
22	3	-23.489	1.650	12	9	22.790	-4.096	5	13	-24.116	2.230			

MIMAS 2019

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	6	1	23.757	-3.410	Mars	27	6	-24.580	4.503	Avril	17	11	25.626	-4.111
	6	12	-24.194	3.319		27	17	24.753	-2.846		17	22	-25.449	3.995
	7	0	23.453	-4.458		28	4	-24.785	2.781		18	9	25.787	-2.385
	7	11	-24.010	4.373		28	16	24.654	-3.917		18	21	-25.161	5.044
	7	22	23.904	-2.740		29	3	-24.793	3.864		19	8	25.854	-3.477
	8	9	-24.235	2.657		29	14	24.790	-2.180		19	19	-25.568	3.332
	8	21	23.775	-3.814		30	2	-24.525	4.905		20	7	25.633	-4.531
	9	8	-24.219	3.734		30	13	24.866	-3.272		20	18	-25.458	4.411
	9	19	23.941	-2.060		31	0	-24.899	3.207		21	5	25.974	-2.829
	10	7	-23.942	4.772		31	12	24.664	-4.327		21	16	-25.576	2.652
10	18	23.986	-3.155	Avril	31	23	-24.803	4.277	22	4	25.929	-3.908		
11	5	-24.323	3.080		1	10	24.970	-2.614	22	15	-25.647	3.756		
11	17	23.761	-4.213		1	21	-24.896	2.535	23	2	25.988	-2.169		
12	4	-24.213	4.144		2	9	24.942	-3.694	23	14	-25.423	4.820		
12	15	24.088	-2.483		2	20	-24.975	3.630	24	1	26.119	-3.269		
13	2	-24.320	2.412		3	8	24.635	-4.732	24	12	-25.726	3.084		
13	14	24.037	-3.566		3	19	-24.774	4.684	25	0	25.959	-4.334		
14	1	-24.379	3.500		4	6	25.113	-3.046	25	11	-25.682	4.176		
14	13	23.715	-4.607		4	17	-25.039	2.965	25	22	26.202	-2.618		
15	0	-24.173	4.549		5	5	24.980	-4.111	26	10	-25.341	5.222		
15	11	24.204	-2.904	5	16	-25.013	4.047	26	21	26.218	-3.706			
15	22	-24.440	2.839	6	3	25.176	-2.386	27	8	-25.831	3.513			
16	10	24.056	-3.972	6	15	-24.706	5.084	27	20	25.942	-4.754			
16	21	-24.402	3.914	7	2	25.218	-3.474	28	7	-25.671	4.590			
17	8	24.261	-2.232	7	13	-25.145	3.391	28	18	26.370	-3.063			
17	20	-24.098	4.947	8	1	24.979	-4.523	29	5	-25.868	2.831			
18	7	24.288	-3.322	8	12	-25.012	4.459	29	17	26.270	-4.138			
18	18	-24.527	3.262	8	23	25.348	-2.823	30	4	-25.891	3.937			
19	6	24.041	-4.374	9	10	-25.168	2.719	30	15	26.416	-2.408			
19	17	-24.391	4.324	9	22	25.284	-3.897	Mai	1	3	-25.612	4.998		
20	4	24.410	-2.659	10	9	-25.212	3.813	1	14	26.492	-3.506			
20	15	-24.544	2.596	10	20	25.371	-2.161	2	1	-26.000	3.263			
21	3	24.338	-3.735	11	8	-24.970	4.864	2	13	26.274	-4.565			
21	14	-24.580	3.681	11	19	25.482	-3.256	3	0	-25.904	4.355			
22	1	24.423	-1.985	12	6	-25.302	3.149	3	11	26.607	-2.858			
22	13	-24.345	4.727	12	18	25.309	-4.316	3	22	-25.996	2.573			
23	0	24.526	-3.082	13	5	-25.237	4.229	4	10	26.565	-3.944			
23	11	-24.662	3.023	13	16	25.573	-2.602	4	21	-26.085	3.691			
23	23	24.354	-4.144	14	4	-24.885	5.263	5	8	26.616	-2.199			
24	10	-24.598	4.095	14	15	25.575	-3.686	5	20	-25.868	4.768			
24	21	24.605	-2.417	15	2	-25.396	3.575	6	7	26.750	-3.306			
25	9	-24.262	5.123	15	14	25.292	-4.729	6	18	-26.153	3.008			
25	20	24.608	-3.502	16	1	-25.221	4.640	7	6	26.588	-4.376			
26	7	-24.746	3.446	16	12	25.735	-3.041	7	17	-26.121	4.114			
26	19	24.334	-4.547	16	23	-25.446	2.903	8	4	26.829	-2.654			

MIMAS 2019

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	16	-25.782	5.174	Mai	29	20	27.767	-2.294	Juin	20	1	-27.415	2.829
	9	3	26.843	-3.749		30	8	-26.658	4.626		20	13	28.079	-4.822
	9	14	-26.262	3.440		30	19	27.864	-3.417		21	0	-27.292	3.982
	10	2	26.559	-4.803		31	6	-26.939	2.811		21	11	28.525	-3.062
	10	13	-26.108	4.531		31	18	27.654	-4.504		21	22	-27.372	2.090
	11	0	26.992	-3.105	Juin	1	5	-26.903	3.947		22	10	28.363	-4.181
	11	11	-26.290	2.747		1	16	27.938	-2.758		22	21	-27.446	3.265
	11	23	26.884	-4.187		2	4	-26.543	5.039		23	8	28.521	-2.380
	12	10	-26.322	3.867		2	15	27.905	-3.870		23	20	-27.186	4.404
	12	21	27.034	-2.449		3	2	-27.031	3.247		24	7	28.538	-3.521
	13	9	-26.043	4.943	3	14	27.565	-4.941	24		18	-27.480	2.531	
	13	20	27.103	-3.553	4	1	-26.863	4.370	25		6	28.241	-4.626	
	14	7	-26.423	3.182	4	12	28.051	-3.219	25		17	-27.417	3.697	
	14	19	26.872	-4.620	4	23	-27.041	2.529	26		4	28.605	-2.845	
	15	6	-26.330	4.289	5	11	27.887	-4.318	26		15	-27.393	1.783	
15	17	27.215	-2.905	5	22	-27.067	3.679	27	3	28.487	-3.975			
16	4	-26.408	2.480	6	9	28.088	-2.553	27	14	-27.528	2.969			
16	16	27.161	-3.997	6	21	-26.765	4.787	28	1	28.563	-2.156			
17	3	-26.505	3.613	7	8	28.103	-3.675	28	13	-27.329	4.122			
17	14	27.222	-2.244	7	19	-27.153	2.969	29	0	28.625	-3.306			
18	2	-26.286	4.705	8	7	27.807	-4.759	29	11	-27.518	2.226			
18	13	27.344	-3.358	8	18	-27.045	4.106	29	23	28.372	-4.423			
19	0	-26.565	2.918	9	5	28.211	-3.016	30	10	-27.517	3.403			
19	12	27.165	-4.436	9	16	-27.120	2.241	30	21	28.653	-2.622			
19	23	-26.535	4.039	10	4	28.093	-4.126	Juill.	1	9	-27.180	4.540		
20	10	27.420	-2.703	10	15	-27.207	3.404		1	20	28.580	-3.762		
20	22	-26.189	5.114	11	2	28.212	-2.344		2	7	-27.583	2.665		
21	9	27.417	-3.806	11	14	-26.965	4.528		2	18	28.573	-1.926		
21	20	-26.670	3.352	12	1	28.272	-3.476		3	6	-27.444	3.830		
22	8	27.112	-4.869	12	12	-27.251	2.683	3	17	28.679	-3.085			
22	19	-26.512	4.460	13	0	28.022	-4.572	4	4	-27.528	1.914			
23	6	27.564	-3.160	13	11	-27.203	3.834	4	16	28.470	-4.212			
23	17	-26.688	2.648	13	22	28.344	-2.809	5	3	-27.588	3.100			
24	5	27.435	-4.250	14	10	-26.825	4.942	5	14	28.668	-2.393			
24	16	-26.721	3.782	14	21	28.271	-3.930	6	2	-27.313	4.251			
25	3	27.604	-2.500	15	8	-27.324	3.121	6	13	28.640	-3.542			
25	15	-26.434	4.874	15	19	28.308	-2.130	7	0	-27.610	2.354			
26	2	27.652	-3.613	16	7	-27.140	4.259	7	12	28.297	-4.654			
26	13	-26.815	3.085	16	18	28.414	-3.271	7	23	-27.533	3.530			
27	1	27.395	-4.688	17	5	-27.324	2.390	8	10	28.699	-2.855			
27	12	-26.718	4.207	17	17	28.207	-4.379	8	21	-27.510	1.595			
27	23	27.763	-2.960	18	4	-27.337	3.554	9	9	28.536	-3.992			
28	10	-26.791	2.371	18	15	28.448	-2.598	9	20	-27.631	2.791			
28	22	27.682	-4.061	19	3	-27.018	4.678	10	7	28.649	-2.154			
29	9	-26.887	3.518	19	14	28.420	-3.729	10	19	-27.418	3.954			

MIMAS 2019

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.	11	6	28.667	-3.312	Août	1	11	-27.452	3.106	Août	22	16	27.381	-3.882
	11	17	-27.607	2.037		1	22	28.376	-2.747		23	3	-27.122	2.161
	12	5	28.370	-4.435		2	9	-27.403	1.147		23	14	27.607	-1.999
	12	16	-27.593	3.222		2	21	28.148	-3.894		24	2	-26.871	3.325
	13	3	28.687	-2.616		3	8	-27.513	2.348		24	13	27.493	-3.161
	13	15	-27.244	4.370		3	19	28.300	-2.022		25	0	-27.058	1.394
	14	2	28.570	-3.762		4	7	-27.295	3.522		25	11	27.420	-1.249
	14	13	-27.645	2.474		4	18	28.254	-3.188		25	23	-27.000	2.574
	15	0	28.596	-1.907		5	5	-27.452	1.580		26	10	27.491	-2.425
	15	12	-27.495	3.648		5	17	27.898	-4.320		26	22	-26.631	3.723
	15	23	28.660	-3.073		6	4	-27.431	2.772		27	9	27.259	-3.574
	16	10	-27.575	1.713		6	15	28.247	-2.467		27	20	-27.007	1.812
	16	22	28.410	-4.207		7	3	-27.086	3.930		28	7	27.373	-1.678
	17	9	-27.624	2.906		7	14	28.074	-3.622		28	19	-26.831	2.980
	17	20	28.640	-2.369		8	1	-27.444	2.009		29	6	27.326	-2.844
	18	8	-27.339	4.066		8	12	28.126	-1.734		29	17	-26.893	1.043
	18	19	28.571	-3.524		9	0	-27.295	3.189		30	5	26.978	-3.980
	19	6	-27.630	2.150		9	11	28.136	-2.906		30	16	-26.909	2.225
	19	18	28.188	-4.642		9	22	-27.334	1.238		31	3	27.277	-2.101
	20	5	-27.544	3.333		10	10	27.838	-4.047		31	15	-26.616	3.379
	20	16	28.620	-2.825		10	21	-27.381	2.433	Sept.	1	2	27.113	-3.257
	21	3	-27.513	1.383		11	8	28.086	-2.177		1	13	-26.865	1.461
	21	15	28.419	-3.968		11	20	-27.106	3.599		2	0	27.111	-1.348
	22	2	-27.626	2.583		12	7	27.970	-3.338		2	12	-26.764	2.632
	22	13	28.558	-2.112		12	18	-27.344	1.666		2	23	27.132	-2.519
	23	1	-27.406	3.754		13	5	27.921	-1.437		3	10	-26.701	0.693
	23	12	28.538	-3.275		13	17	-27.266	2.851		3	22	26.854	-3.661
	23	23	-27.585	1.821		14	4	27.990	-2.614		4	9	-26.791	1.874
	24	11	28.205	-4.404		14	15	-27.186	0.892		4	20	27.035	-1.769
	24	22	-27.563	3.011		15	3	27.750	-3.763		5	8	-26.575	3.033
	25	9	28.547	-2.567		15	14	-27.302	2.089		5	19	26.942	-2.929
	25	21	-27.210	4.167		16	1	27.894	-1.877		6	6	-26.696	1.110
	26	8	28.395	-3.718		16	13	-27.099	3.262		6	18	26.553	-4.057
	26	19	-27.598	2.254		17	0	27.839	-3.044		7	5	-26.671	2.283
	27	6	28.443	-1.846		17	11	-27.216	1.319		7	16	26.914	-2.183
	27	18	-27.443	3.433		17	23	27.478	-4.179		8	4	-26.344	3.427
	28	5	28.474	-3.016		18	10	-27.208	2.507		8	15	26.708	-3.332
	28	16	-27.509	1.486		18	21	27.813	-2.312		9	2	-26.646	1.524
	29	4	28.192	-4.154		19	9	-26.883	3.666		9	13	26.768	-1.427
	29	15	-27.553	2.683		19	20	27.635	-3.467		10	1	-26.508	2.685
	30	2	28.440	-2.299		20	7	-27.195	1.742		10	12	26.748	-2.592
	30	14	-27.267	3.848		20	18	27.672	-1.568		10	23	-26.500	0.760
	31	1	28.340	-3.459		21	6	-27.064	2.920		11	11	26.433	-3.727
	31	12	-27.539	1.920		21	17	27.678	-2.740		11	22	-26.551	1.932
	31	23	28.293	-1.571		22	4	-27.059	0.971		12	9	26.671	-1.840

MIMAS 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Sept.	12	21	-26.303	3.081	Oct.	4	2	25.165	-3.829	Oct.	25	7	-24.868	2.970	
	13	8	26.540	-2.994		4	13	-25.760	2.091		25	18	24.435	-2.736	
	13	19	-26.474	1.173		5	0	25.516	-1.961		26	5	-25.044	1.151	
	14	6	26.476	-1.079		5	12	-25.450	3.208		26	16	24.369	-0.850	
	14	18	-26.414	2.335		5	23	25.318	-3.096		27	4	-24.976	2.262	
	15	5	26.531	-2.247		6	10	-25.726	1.352		27	15	24.433	-1.988	
	15	17	-26.059	3.469		6	21	25.366	-1.200		28	3	-24.644	3.347	
	16	4	26.292	-3.389		7	9	-25.596	2.483		28	14	24.223	-3.102	
	16	15	-26.405	1.582		7	20	25.353	-2.348		29	1	-24.970	1.546	
	17	2	26.403	-1.490		8	7	-25.575	0.610		29	12	24.312	-1.232	
	17	14	-26.237	2.733		8	19	25.057	-3.470		30	0	-24.812	2.647	
	18	1	26.350	-2.648		9	6	-25.626	1.751		30	11	24.285	-2.362	
	18	12	-26.277	0.824		9	17	25.269	-1.591		30	22	-24.852	0.828	
	19	0	26.005	-3.776		10	5	-25.400	2.870		31	10	23.986	-3.463	
	19	11	-26.295	1.986		10	16	25.158	-2.730		31	21	-24.867	1.939	
	19	22	26.290	-1.895		11	3	-25.539	1.013		Nov.	1	8	24.226	-1.611
	20	10	-26.021	3.124		11	14	25.065	-0.827			1	20	-24.621	3.027
20	21	26.130	-3.042	12	2	-25.492	2.145	2	7	24.110		-2.731			
21	8	-26.234	1.233	12	13	25.139	-1.978	2	18	-24.809		1.226			
21	19	26.112	-1.133	13	1	-25.171	3.251	3	5	24.048		-0.855			
22	7	-26.146	2.386	13	12	24.931	-3.105	3	17	-24.735	2.327				
22	18	26.137	-2.294	13	23	-25.468	1.413	4	4	24.114	-1.987				
23	5	-26.056	0.477	14	10	25.000	-1.217	4	15	-24.639	0.511				
23	17	25.872	-3.429	14	22	-25.326	2.534	5	3	23.909	-3.094				
24	4	-26.151	1.638	15	9	24.977	-2.359	5	14	-24.737	1.621				
24	15	26.026	-1.536	15	20	-25.330	0.678	6	1	23.998	-1.235				
25	3	-25.959	2.779	16	8	24.676	-3.474	6	13	-24.576	2.711				
25	14	25.946	-2.688	16	19	-25.365	1.809	7	0	23.976	-2.357				
26	1	-26.039	0.887	17	6	24.903	-1.604	7	11	-24.627	0.911				
26	13	25.580	-3.809	17	18	-25.129	2.918	7	23	23.684	-3.452				
27	0	-26.030	2.039	18	5	24.786	-2.736	8	10	-24.637	2.012				
27	11	25.902	-1.934	18	16	-25.289	1.080	8	21	23.923	-1.611				
27	23	-25.735	3.166	19	3	24.710	-0.841	9	9	-24.390	3.090				
28	10	25.720	-3.075	19	15	-25.229	2.201	9	20	23.812	-2.723				
28	21	-25.983	1.292	20	2	24.776	-1.986	10	7	-24.586	1.307				
29	8	25.739	-1.172	20	14	-24.902	3.297	10	18	23.750	-0.858				
29	20	-25.871	2.434	21	1	24.565	-3.107	11	6	-24.510	2.399				
30	7	25.742	-2.327	21	12	-25.215	1.478	11	17	23.822	-1.984				
30	18	-25.819	0.543	21	23	24.647	-1.227	12	4	-24.425	0.600				
Oct.	1	6	25.459	-3.455	22	11	-25.063	2.589	12	16	23.625	-3.084			
	1	17	-25.889	1.694	22	22	24.620	-2.363	13	3	-24.518	1.701			
	2	4	25.645	-1.569	23	9	-25.087	0.751	13	14	23.710	-1.236			
	2	16	-25.678	2.824	23	21	24.317	-3.471	14	2	-24.357	2.781			
	3	3	25.546	-2.715	24	8	-25.111	1.872	14	13	23.695	-2.352			
	3	14	-25.790	0.949	24	19	24.555	-1.610	15	0	-24.416	0.999			

MIMAS 2019

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.	15	12	23.414	-3.440	Déc.	2	11	23.107	-2.706	Déc.	19	10	22.820	-2.002
	15	23	-24.423	2.090		2	22	-24.020	1.588		19	22	-23.369	3.858
	16	10	23.646	-1.610		3	10	22.771	-3.764		20	9	22.695	-3.065
	16	22	-24.178	3.158		3	21	-23.946	2.650		20	20	-23.714	2.193
	17	9	23.545	-2.716		4	8	23.123	-1.982		21	7	22.719	-1.286
	17	20	-24.380	1.394		4	20	-23.627	3.682		21	19	-23.567	3.222
	18	7	23.477	-0.862		5	7	22.966	-3.061		22	6	22.772	-2.364
	18	19	-24.303	2.476		5	18	-23.971	1.978		22	17	-23.642	1.533
	19	6	23.557	-1.981		6	5	23.019	-1.251		23	5	22.567	-3.413
	19	17	-24.226	0.696		6	17	-23.817	3.028		23	16	-23.658	2.576
20	5	23.372	-3.075	7	4	23.041	-2.346	24	3	22.730	-1.656			
20	16	-24.317	1.787	7	15	-23.889	1.301	24	15	-23.432	3.591			
21	3	23.450	-1.238	8	3	22.803	-3.412	25	2	22.703	-2.723			
21	15	-24.156	2.857	8	14	-23.898	2.365	25	13	-23.643	1.922			
22	2	23.445	-2.347	9	1	22.998	-1.622	26	1	22.418	-3.756			
22	13	-24.221	1.094	9	13	-23.663	3.401	26	12	-23.579	2.954			
23	1	23.176	-3.428	10	0	22.938	-2.706	26	23	22.721	-2.022			
23	12	-24.228	2.176	10	11	-23.872	1.694	27	11	-23.275	3.953			
23	23	23.399	-1.610	10	23	22.619	-3.756	27	22	22.612	-3.076			
24	11	-23.985	3.233	11	10	-23.801	2.746	28	9	-23.620	2.308			
24	22	23.310	-2.709	11	21	22.955	-1.989	28	20	22.620	-1.314			
25	9	-24.190	1.488	12	9	-23.486	3.767	29	8	-23.477	3.326			
25	21	22.958	-3.775	12	20	22.814	-3.060	29	19	22.689	-2.384			
26	8	-24.114	2.560	13	7	-23.831	2.083	30	6	-23.555	1.655			
26	19	23.324	-1.980	13	18	22.852	-1.266	30	18	22.501	-3.423			
27	7	-23.790	3.602	14	6	-23.680	3.122	31	5	-23.574	2.689			
27	18	23.152	-3.066	14	17	22.890	-2.352	31	16	22.649	-1.683			
28	5	-24.133	1.879	15	4	-23.754	1.414	Janv.	1	4	-23.352	3.692		
28	16	23.219	-1.243	15	16	22.668	-3.410		1	15	22.637	-2.741		
29	4	-23.975	2.939	16	3	-23.766	2.467		2	2	-23.565	2.043		
29	15	23.227	-2.345	16	14	22.847	-1.636	2	14	22.368	-3.765			
30	2	-24.044	1.194	17	2	-23.536	3.493	3	1	-23.504	3.065			
30	14	22.972	-3.418	17	13	22.803	-2.711	3	12	22.655	-2.049			
Déc.	1	1	-24.052	2.267	18	0	-23.746	1.805	4	0	-23.205	4.052		
	1	12	23.182	-1.614	18	12	22.501	-3.753	4	11	22.563	-3.093		
2	0	-23.813	3.313	18	23	-23.678	2.847	4	22	-23.551	2.427			

ENCELADE 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	6	-29.490	2.213	Févr.	1	3	29.815	-3.944	Mars	3	23	-30.639	3.914
	1	23	29.584	-3.344		1	19	-29.809	3.074		4	15	30.926	-2.668
	2	15	-29.504	2.463		2	12	29.784	-4.189		5	8	-30.640	4.174
	3	8	29.548	-3.587		3	4	-29.820	3.323		6	0	30.989	-2.935
	4	0	-29.511	2.708		3	21	29.742	-4.432		6	17	-30.630	4.436
	4	17	29.501	-3.828		4	13	-29.823	3.573		7	9	31.041	-3.202
	5	9	-29.507	2.955		5	5	30.023	-2.307		8	2	-30.608	4.696
	6	2	29.447	-4.067		5	22	-29.815	3.822		8	18	31.080	-3.470
	6	18	-29.495	3.201		6	14	30.071	-2.562		9	10	-30.917	2.556
	7	11	29.382	-4.305		7	7	-29.796	4.071		10	3	31.108	-3.734
	8	3	-29.472	3.445		7	23	30.111	-2.814		10	19	-30.993	2.828
	8	19	29.628	-2.143		8	16	-29.766	4.318		11	12	31.123	-4.001
	9	12	-29.440	3.687		9	8	30.140	-3.069		12	4	-31.056	3.100
	10	4	-29.651	-2.392		10	1	-29.727	4.564		12	21	31.126	-4.267
10	21	-29.399	3.929	10	17	30.159	-3.322	13	13	-31.107	3.371			
11	13	29.666	-2.641	11	9	-30.018	2.432	14	6	31.116	-4.532			
12	6	-29.349	4.169	12	2	30.167	-3.575	14	22	-31.147	3.640			
12	22	29.671	-2.888	12	18	-30.073	2.688	15	14	31.373	-2.392			
13	15	-29.290	4.407	13	11	30.163	-3.826	16	7	-31.173	3.912			
14	7	29.666	-3.132	14	3	-30.116	2.946	16	23	31.461	-2.668			
14	23	-29.534	2.247	14	20	30.150	-4.076	17	16	-31.186	4.182			
15	16	29.652	-3.377	15	12	-30.147	3.202	18	8	31.537	-2.944			
16	8	-29.563	2.497	16	5	30.126	-4.326	19	1	-31.185	4.453			
17	1	29.629	-3.621	16	21	-30.168	3.459	19	17	31.601	-3.219			
17	17	-29.583	2.747	17	14	30.092	-4.575	20	10	-31.170	4.721			
18	10	29.597	-3.864	18	6	-30.178	3.712	21	2	31.652	-3.495			
19	2	-29.594	2.993	18	22	30.415	-2.459	21	18	-31.464	2.563			
19	19	29.555	-4.105	19	15	-30.177	3.967	22	11	31.689	-3.771			
20	11	-29.595	3.241	20	7	30.473	-2.719	23	3	-31.551	2.843			
21	4	29.503	-4.345	21	0	-30.165	4.221	23	20	31.712	-4.047			
21	20	-29.585	3.487	21	16	30.521	-2.979	24	12	-31.626	3.124			
22	12	29.758	-2.206	22	9	-30.142	4.475	25	5	31.722	-4.320			
23	5	-29.567	3.733	23	1	30.557	-3.236	25	21	-31.686	3.406			
23	21	29.796	-2.455	23	18	-30.107	4.727	26	14	31.719	-4.595			
24	14	-29.537	3.976	24	10	30.582	-3.496	27	6	-31.733	3.687			
25	6	29.824	-2.706	25	2	-30.450	2.599	27	23	31.701	-4.869			
25	23	-29.499	4.219	25	19	30.596	-3.755	28	15	-31.765	3.968			
26	15	29.842	-2.955	26	11	-30.510	2.863	29	7	32.071	-2.721			
27	8	-29.451	4.460	27	4	30.599	-4.013	30	0	-31.785	4.245			
28	0	29.851	-3.205	27	20	-30.561	3.125	30	16	32.154	-3.007			
28	16	-29.712	2.317	28	13	30.589	-4.270	31	9	-31.790	4.526			
29	9	29.848	-3.451	Mars	1	5	-30.599	3.389	Avril	1	1	32.224	-3.292	
30	1	-29.754	2.570		1	22	30.568	-4.527		1	18	-31.780	4.805	
30	18	29.836	-3.698		2	14	-30.625	3.652		2	10	32.280	-3.578	
31	10	-29.786	2.822		3	6	30.849	-2.401		3	2	-32.080	2.623	

ENCELADE 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	3	19	32.324	-3.862	Mai	4	15	-33.696	4.475	Juin	4	11	35.318	-5.168
	4	11	-32.172	2.913		5	7	34.123	-3.221		5	3	-35.253	4.070
	5	4	32.351	-4.148		6	0	-33.696	4.788		5	19	35.593	-2.793
	5	20	-32.252	3.205		6	16	34.195	-3.539		6	12	-35.257	4.412
	6	13	32.363	-4.434		7	9	-33.677	5.101		7	4	35.672	-3.140
	7	5	-32.316	3.496		8	1	34.249	-3.858		7	21	-35.241	4.750
	7	22	32.361	-4.719		8	17	-34.001	2.813		8	13	35.728	-3.486
	8	14	-32.368	3.787		9	10	34.283	-4.175		9	6	-35.202	5.091
	9	6	32.633	-2.534		10	2	-34.096	3.137		9	22	35.763	-3.832
	9	23	-32.403	4.079		10	19	34.300	-4.494		10	15	-35.140	5.429
	10	15	32.735	-2.830		11	11	-34.172	3.461		11	7	35.777	-4.177
	11	8	-32.422	4.370		12	4	34.298	-4.812		11	23	-35.501	3.019
12	0	32.822	-3.126	12	20	-34.229	3.785	12	16	35.771	-4.520			
12	17	-32.426	4.661	13	13	34.279	-5.129	13	8	-35.556	3.368			
13	9	32.894	-3.423	14	5	-34.266	4.107	14	1	35.740	-4.865			
14	2	-32.414	4.948	14	21	34.611	-2.843	14	17	-35.592	3.718			
14	18	32.950	-3.719	15	14	-34.285	4.431	15	10	35.688	-5.207			
15	10	-32.742	2.738	16	6	34.702	-3.171	16	2	-35.604	4.067			
16	3	32.990	-4.016	16	23	-34.284	4.754	16	18	35.947	-2.793			
16	19	-32.837	3.039	17	15	34.775	-3.500	17	11	-35.596	4.415			
17	12	33.015	-4.312	18	8	-34.264	5.077	18	3	36.011	-3.143			
18	4	-32.916	3.342	19	0	34.828	-3.826	18	20	-35.564	4.762			
18	21	33.025	-4.606	19	16	-34.540	2.745	19	12	36.054	-3.495			
19	13	-32.978	3.644	20	9	34.861	-4.155	20	5	-35.510	5.107			
20	6	33.017	-4.903	21	1	-34.635	3.078	20	21	36.074	-3.847			
20	22	-33.025	3.946	21	18	34.874	-4.483	21	14	-35.432	5.451			
21	14	33.331	-2.691	22	10	-34.709	3.413	22	6	36.073	-4.198			
22	7	-33.055	4.248	23	3	34.867	-4.812	22	22	-35.777	2.999			
22	23	33.430	-2.998	23	19	-34.766	3.745	23	15	36.047	-4.547			
23	16	-33.071	4.550	24	12	34.839	-5.139	24	7	-35.820	3.354			
24	8	33.512	-3.303	25	4	-34.800	4.079	25	0	36.000	-4.895			
25	1	-33.067	4.852	25	20	35.138	-2.807	25	16	-35.840	3.708			
25	17	33.579	-3.611	26	13	-34.814	4.413	26	9	35.930	-5.241			
26	10	-33.046	5.153	27	5	35.225	-3.145	27	1	-35.837	4.062			
27	2	33.629	-3.918	27	22	-34.807	4.746	27	17	36.179	-2.789			
27	18	-33.425	2.912	28	14	35.295	-3.483	28	10	-35.810	4.413			
28	11	33.662	-4.226	29	7	-34.778	5.076	29	2	36.227	-3.147			
29	3	-33.514	3.222	29	23	35.341	-3.822	29	19	-35.761	4.763			
29	20	33.677	-4.534	30	16	-34.729	5.408	30	11	36.253	-3.503			
30	12	-33.586	3.535	31	8	35.367	-4.160	Juill.	1	4	-35.690	5.111		
Mai	1	5	33.675	-4.841	Juin	1	0	-35.111	3.040	1	20	36.255	-3.857	
	1	21	-33.641	3.848		1	17	35.372	-4.497	2	13	-35.597	5.456	
	2	14	33.654	-5.148		2	9	-35.181	3.384	3	5	36.234	-4.208	
	3	6	-33.678	4.162		3	2	35.355	-4.832	3	21	-35.924	2.974	
	3	22	34.033	-2.902		3	18	-35.228	3.727	4	14	36.192	-4.560	

ENCELADE 2019

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	6	-35.950	3.332	Août	5	2	35.880	-4.057	Sept.	4	22	-34.203	4.271
	5	23	36.126	-4.909		5	18	-35.530	2.730		5	14	34.589	-3.130
	6	15	-35.953	3.688		6	11	35.793	-4.397		6	7	-34.065	4.578
	7	8	36.039	-5.256		7	3	-35.509	3.075		6	23	34.513	-3.447
	8	0	-35.933	4.039		7	20	35.684	-4.734		7	16	-33.913	4.882
	8	16	36.271	-2.778		8	12	-35.470	3.420		8	8	34.421	-3.759
	9	9	-35.890	4.392		9	5	35.554	-5.067		9	1	-33.743	5.182
	10	1	36.301	-3.135		9	21	-35.408	3.762		9	17	34.311	-4.068
	10	18	-35.824	4.742		10	14	35.404	-5.396		10	9	-34.011	2.709
	11	10	36.308	-3.492		11	6	-35.327	4.101		11	2	34.184	-4.369
	12	3	-35.736	5.091		11	22	35.680	-2.894		11	18	-33.950	3.023
	12	19	36.294	-3.845		12	15	-35.224	4.436		12	11	34.042	-4.670
	13	12	-35.623	5.435		13	7	35.645	-3.236		13	3	-33.874	3.333
	14	4	36.256	-4.198		14	0	-35.102	4.768		13	20	33.885	-4.965
14	20	-35.930	2.927	14	16	35.589	-3.574	14	12	-33.780	3.640			
15	13	36.195	-4.548	15	9	-34.960	5.095	15	4	34.044	-2.520			
16	5	-35.939	3.284	16	1	35.513	-3.910	15	21	-33.672	3.940			
16	22	36.112	-4.896	16	17	-35.141	2.561	16	13	33.992	-2.829			
17	14	-35.927	3.639	17	10	35.416	-4.241	17	6	-33.547	4.239			
18	7	36.005	-5.239	18	2	-35.115	2.901	17	22	33.924	-3.135			
18	23	-35.890	3.992	18	19	35.301	-4.569	18	15	-33.406	4.533			
19	15	36.218	-2.740	19	11	-35.068	3.237	19	7	33.841	-3.437			
20	8	-35.831	4.342	20	4	35.167	-4.893	20	0	-33.251	4.823			
21	0	36.230	-3.095	20	20	-35.002	3.571	20	16	33.745	-3.734			
21	17	-35.749	4.690	21	13	35.016	-5.213	21	8	-33.397	2.371			
22	9	36.221	-3.450	22	5	-34.915	3.898	22	1	33.631	-4.029			
23	2	-35.645	5.031	22	21	35.229	-2.719	22	17	-33.348	2.674			
23	18	36.189	-3.802	23	14	-34.810	4.225	23	10	33.503	-4.319			
24	11	-35.520	5.373	24	6	35.188	-3.052	24	2	-33.284	2.975			
25	3	36.134	-4.152	24	23	-34.686	4.547	24	19	33.360	-4.606			
25	19	-35.797	2.848	25	15	35.128	-3.382	25	11	-33.206	3.271			
26	12	36.057	-4.498	26	8	-34.545	4.866	26	4	33.201	-4.886			
27	4	-35.791	3.202	27	0	35.049	-3.705	26	20	-33.111	3.565			
27	21	35.960	-4.839	27	17	-34.384	5.180	27	12	33.359	-2.481			
28	13	-35.761	3.553	28	9	34.952	-4.027	28	5	-33.002	3.854			
29	6	35.841	-5.179	29	1	-34.621	2.673	28	21	33.304	-2.777			
29	22	-35.710	3.902	29	18	34.837	-4.346	29	14	-32.878	4.139			
30	15	35.700	-5.516	30	10	-34.573	3.000	30	6	33.237	-3.069			
31	7	-35.638	4.248	31	3	34.704	-4.661	30	23	-32.741	4.418			
31	23	36.021	-3.020	31	19	-34.509	3.322	Oct.	1	15	33.153	-3.358		
Août	1	16	-35.545	4.589	Sept.	1	12	34.553	-4.971	2	8	-32.591	4.695	
	2	8	35.994	-3.367		2	4	-34.425	3.642	3	0	33.057	-3.643	
	3	1	-35.430	4.928		2	21	34.385	-5.276	3	17	-32.426	4.968	
	3	17	35.948	-3.713		3	13	-34.323	3.958	4	9	32.947	-3.925	
	4	10	-35.294	5.263		4	5	34.646	-2.812	5	1	-32.673	2.578	

ENCELADE 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	5	18	32.824	-4.200	Nov.	4	22	31.082	-4.809	Déc.	5	1	30.274	-2.834
	6	10	-32.610	2.865		5	14	-31.072	3.539		5	18	-29.921	3.959
	7	3	32.687	-4.475		6	6	31.314	-2.571		6	10	30.236	-3.072
	7	19	-32.534	3.149		6	23	-30.976	3.789		7	3	-29.829	4.187
	8	12	32.538	-4.744		7	15	31.266	-2.828		7	19	30.189	-3.306
	9	4	-32.445	3.429		8	8	-30.869	4.037		8	12	-29.727	4.412
	9	21	32.375	-5.011		9	0	31.207	-3.083		9	4	30.133	-3.539
	10	13	-32.345	3.706		9	17	-30.754	4.279		9	20	-29.909	2.282
	11	5	32.618	-2.665		10	9	31.136	-3.333		10	13	30.066	-3.769
	11	22	-32.230	3.979		11	2	-30.627	4.521		11	5	-29.897	2.521
	12	14	32.555	-2.945		11	18	31.056	-3.581		11	22	29.991	-3.997
	13	7	-32.102	4.249		12	10	-30.795	2.282		12	14	-29.876	2.758
	13	23	32.479	-3.221		13	3	30.965	-3.827		13	7	29.907	-4.222
	14	16	-31.961	4.514		13	19	-30.761	2.537		13	23	-29.846	2.993
	15	8	32.392	-3.495		14	12	30.866	-4.069		14	16	29.815	-4.443
16	1	-31.808	4.774	15	4	-30.715	2.787	15	8	-29.804	3.225			
16	17	32.290	-3.765	15	21	30.755	-4.308	16	1	29.713	-4.663			
17	9	-32.012	2.429	16	13	-30.660	3.036	16	17	-29.755	3.456			
18	2	32.177	-4.031	17	6	30.634	-4.544	17	9	29.970	-2.588			
18	18	-31.958	2.704	17	22	-30.594	3.283	18	2	-29.696	3.684			
19	11	32.052	-4.294	18	15	30.504	-4.777	18	18	29.955	-2.822			
20	3	-31.893	2.977	19	7	-30.519	3.527	19	11	-29.630	3.909			
20	20	31.916	-4.551	19	23	30.754	-2.595	20	3	29.930	-3.052			
21	12	-31.813	3.246	20	16	-30.433	3.768	20	20	-29.552	4.133			
22	5	31.768	-4.806	21	8	30.715	-2.842	21	12	29.897	-3.282			
22	21	-31.723	3.512	22	1	-30.337	4.006	22	5	-29.466	4.353			
23	13	31.962	-2.507	22	17	30.665	-3.086	22	21	29.855	-3.510			
24	6	-31.621	3.775	23	10	-30.231	4.241	23	13	-29.643	2.276			
24	22	31.910	-2.776	24	2	30.606	-3.329	24	6	29.804	-3.735			
25	15	-31.509	4.033	24	19	-30.117	4.471	24	22	-29.645	2.507			
26	7	31.844	-3.041	25	11	30.535	-3.568	25	15	29.743	-3.959			
27	0	-31.384	4.289	26	3	-30.296	2.290	26	7	-29.639	2.740			
27	16	31.768	-3.303	26	20	30.456	-3.804	27	0	29.674	-4.180			
28	9	-31.247	4.541	27	12	-30.272	2.536	27	16	-29.622	2.970			
29	1	31.681	-3.563	28	5	30.366	-4.038	28	9	29.595	-4.399			
29	17	-31.388	2.242	28	21	-30.238	2.779	29	1	-29.597	3.199			
30	10	31.584	-3.819	29	14	30.270	-4.268	29	18	29.509	-4.614			
31	2	-31.347	2.505	30	6	-30.193	3.019	30	10	-29.561	3.425			
31	19	31.474	-4.073	30	23	30.162	-4.497	31	2	29.764	-2.585			
Nov.	1	11	-31.295	2.768	Déc.	1	15	-30.139	3.258	31	19	-29.518	3.650	
2	4	31.354	-4.322	2	8	30.045	-4.722	Janv.	1	11	29.764	-2.814		
2	20	-31.232	3.028	3	0	-30.075	3.494	2	4	-29.464	3.872			
3	13	31.223	-4.569	3	16	30.302	-2.597							
4	5	-31.158	3.285	4	9	-30.004	3.727							

TÉTHYS 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	10	36.426	-5.087	Févr.	12	22	-37.177	5.220	Mars	27	10	39.192	-5.986
	2	9	-36.274	5.791		13	21	37.046	-5.924		28	8	-39.453	4.583
	3	7	36.513	-4.364		14	19	-37.323	4.536		29	7	39.441	-5.331
	4	6	-36.442	5.080		15	18	37.273	-5.251		30	6	-39.368	6.064
	5	5	36.269	-5.787		16	17	-37.151	5.948		31	4	39.619	-4.662
	6	3	-36.531	4.361		17	15	37.423	-4.569		Avril	1	3	-39.626
	7	2	36.439	-5.078	18	14	-37.385	5.278	2	2		39.524	-6.147	
	8	1	-36.294	5.783	19	13	37.251	-5.985	3	0		-39.811	4.747	
	8	23	36.531	-4.361	20	11	-37.542	4.598	3	23		39.790	-5.496	
	9	22	-36.467	5.077	21	10	37.489	-5.318	4	22		-39.700	6.237	
	10	21	36.305	-5.780	22	9	-37.372	6.014	5	20	39.985	-4.832		
	11	19	-36.561	4.362	23	7	37.650	-4.639	6	19	-39.975	5.585		
	12	18	36.481	-5.077	24	6	-37.615	5.349	7	18	39.859	-6.328		
	13	17	-36.339	5.781	25	5	37.477	-6.058	8	16	-40.178	4.923		
	14	15	36.580	-4.365	26	3	-37.784	4.673	9	15	40.145	-5.679		
15	14	-36.518	5.080	27	2	37.726	-5.395	10	14	-40.032	6.423			
16	13	36.366	-5.783	28	1	-37.610	6.095	11	12	40.358	-5.020			
17	11	-36.621	4.367	28	23	37.901	-4.717	12	11	-40.328	5.773			
18	10	36.548	-5.085	Mars	1	22	-37.866	5.435	13	9	40.495	-4.349		
19	9	-36.411	5.784		2	21	37.723	-6.142	14	8	-40.550	5.115		
20	7	36.656	-4.378		3	19	-38.049	4.763	15	7	40.499	-5.879		
21	6	-36.597	5.088		4	18	37.985	-5.483	16	5	-40.698	4.445		
22	5	36.452	-5.794		5	16	-38.156	4.084	17	4	40.729	-5.222		
23	3	-36.709	4.382	6	15	38.177	-4.811	18	3	-40.684	5.979			
24	2	36.640	-5.100	7	14	-38.133	5.533	19	1	40.883	-4.552			
25	1	-36.511	5.796	8	12	38.291	-4.133	20	0	-40.926	5.324			
25	23	36.754	-4.399	9	11	-38.329	4.865	20	23	40.845	-6.094			
26	22	-36.706	5.105	10	10	38.268	-5.586	21	21	-41.092	4.655			
27	21	36.560	-5.812	11	8	-38.450	4.189	22	20	41.095	-5.439			
28	19	-36.827	4.406	12	7	38.472	-4.921	23	19	-41.031	6.204			
29	18	36.757	-5.122	13	6	-38.420	5.641	24	17	41.272	-4.767			
30	17	-36.637	5.819	14	4	38.599	-4.246	25	16	-41.291	5.551			
31	15	36.880	-4.426	15	3	-38.630	4.978	26	15	41.188	-6.322			
Févr.	1	14	-36.840	5.134	16	2	38.565	-5.706	27	13	-41.479	4.885		
	2	13	36.695	-5.838	17	0	-38.766	4.304	28	12	41.457	-5.669		
	3	11	-36.967	4.442	17	23	38.782	-5.045	29	11	-41.366	6.446		
	4	10	36.905	-5.152	18	22	-38.725	5.765	30	9	41.656	-5.002		
	5	9	-36.784	5.854	19	20	38.923	-4.372	1	8	-41.644	5.792		
	6	7	37.036	-4.460	20	19	-38.951	5.106	2	7	41.518	-6.568		
	7	6	-36.996	5.174	21	18	38.872	-5.839	3	5	-41.852	5.127		
	8	5	36.858	-5.874	22	16	-39.102	4.435	4	4	41.809	-5.918		
	9	3	-37.133	4.485	23	15	39.105	-5.181	5	2	-41.985	4.452		
	10	2	37.077	-5.196	24	14	-39.044	5.907	6	1	42.028	-5.254		
	11	1	-36.955	5.895	25	12	39.263	-4.509	7	0	-41.983	6.046		
	11	23	37.219	-4.510	26	11	-39.285	5.251	7	22	42.170	-4.579		

TÉTHYS 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	8	21	-42.211	5.384	Juin	20	8	44.364	-5.294	Août	1	19	-44.298	5.099
	9	20	42.139	-6.182		21	7	-44.297	6.158		2	18	44.156	-5.973
	10	18	-42.365	4.709		22	5	44.422	-4.582		3	16	-44.241	4.346
	11	17	42.377	-5.521		23	4	-44.440	5.461		4	15	44.185	-5.231
	12	16	-42.303	6.315		24	3	44.325	-6.317		5	14	-44.039	6.095
	13	14	42.538	-4.846		25	1	-44.506	4.748		6	12	44.134	-4.476
	14	13	-42.551	5.655		26	0	44.477	-5.618		7	11	-44.078	5.354
	15	12	42.441	-6.462		26	23	-44.356	6.485		8	10	43.889	-6.218
	16	10	-42.725	4.980	27	21	44.554	-4.906	9		8	-44.039	4.601	
	17	9	42.699	-5.801	28	20	-44.519	5.785	10		7	43.934	-5.474	
	18	8	-42.594	6.601	29	19	44.358	-6.645	11		6	-43.753	6.334	
	19	6	42.882	-5.124	30	17	-44.604	5.069	12		4	43.902	-4.717	
	20	5	-42.863	5.942	Juill.	1	16	44.530	-5.945		13	3	-43.807	5.591
	21	4	42.712	-6.751		2	15	-44.355	6.805		14	2	43.579	-6.441
	22	2	-43.058	5.269		3	13	44.625	-5.231		15	0	-43.785	4.837
	23	1	42.989	-6.091	4	12	-44.536	6.104	15		23	43.643	-5.696	
	23	23	-43.179	4.584	5	11	44.328	-6.966	16		22	-43.421	6.550	
24	22	43.196	-5.415	6	9	-44.644	5.387	17	20	43.632	-4.941			
25	21	-43.136	6.242	7	8	44.514	-6.264	18	19	-43.490	5.805			
26	19	43.328	-4.730	8	6	-44.674	4.663	19	18	43.236	-6.642			
27	18	-43.352	5.569	9	5	44.628	-5.549	20	16	-43.485	5.051			
28	17	43.249	-6.393	10	4	-44.496	6.418	21	15	43.315	-5.898			
29	15	-43.492	4.886	11	2	44.665	-4.823	22	13	-43.403	4.289			
30	14	43.477	-5.719	12	1	-44.621	5.702	23	12	43.318	-5.145			
31	13	-43.368	6.549	13	0	44.438	-6.572	24	11	-43.143	5.993			
Juin	1	11	43.627	-5.035	13	22	-44.667	4.977	25	9	43.242	-4.384		
	2	10	-43.605	5.877	14	21	44.570	-5.856	26	8	-43.154	5.239		
	3	9	43.464	-6.707	15	20	-44.392	6.725	27	7	42.953	-6.080		
	4	7	-43.766	5.192	16	18	44.624	-5.128	28	5	-43.086	4.477		
	5	6	43.710	-6.036	17	17	-44.533	6.010	29	4	42.971	-5.327		
	6	5	-43.559	6.862	18	16	44.305	-6.869	30	3	-42.768	6.159		
	7	3	43.879	-5.351	19	14	-44.595	5.281	31	1	42.909	-4.563		
	8	2	-43.814	6.192	20	13	44.455	-6.153	Sept.	1	0	-42.795	5.408	
	9	0	43.975	-4.652	21	11	-44.582	4.541		1	23	42.562	-6.236	
	9	23	-43.995	5.507	22	10	44.526	-5.423	2	21	-42.743	4.646		
	10	22	43.893	-6.357	23	9	-44.383	6.302	3	20	42.595	-5.484		
	11	20	-44.104	4.808	24	7	44.525	-4.682	4	19	-42.370	6.305		
	12	19	44.080	-5.669	25	6	-44.462	5.569	5	17	42.549	-4.720		
	13	18	-43.976	6.516	26	5	44.281	-6.437	6	16	-42.413	5.554		
	14	16	44.194	-4.971	27	3	-44.467	4.828	7	15	42.152	-6.368		
	15	15	-44.176	5.830	28	2	44.370	-5.706	8	13	-42.377	4.794		
	16	14	44.019	-6.682	29	1	-44.176	6.575	9	12	42.202	-5.617		
17	12	-44.301	5.132	29	23	44.383	-4.965	10	10	-42.263	4.029			
18	11	44.230	-5.992	30	22	-44.277	5.840	11	9	42.175	-4.854			
19	10	-44.077	6.843	31	21	44.048	-6.705	12	8	-42.010	5.680			

TÉTHYS 2019

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.	13	6	42.067	-4.088	Oct.	21	1	39.430	-5.261	Nov.	27	19	37.588	-3.685	
	14	5	-41.990	4.921		21	23	-39.495	3.769		28	18	-37.532	4.376	
	15	4	41.797	-5.726		22	22	39.413	-4.521		29	17	37.378	-5.046	
	16	2	-41.891	4.158		23	21	-39.255	5.258		30	15	-37.490	3.672	
	17	1	41.787	-4.969		24	19	39.315	-3.775		Déc.	1	14	37.417	-4.349
	18	0	-41.596	5.779		25	18	-39.244	4.522			2	13	-37.285	5.028
	18	22	41.694	-4.207		26	17	39.072	-5.256			3	11	37.377	-3.648
	19	21	-41.590	5.023		27	15	-39.154	3.781			4	10	-37.328	4.336
	20	20	41.386	-5.819		28	14	39.064	-4.522			5	9	37.184	-4.996
	21	18	-41.506	4.261		29	13	-38.910	5.250			6	7	-37.291	3.636
22	17	41.387	-5.065	30	11	38.976	-3.779	7	6	37.230		-4.307			
23	16	-41.183	5.857	31	10	-38.908	4.520	8	5	-37.099		4.977			
24	14	41.307	-4.304	Nov.	1	9	38.732	-5.238	9	3		37.197	-3.612		
25	13	-41.191	5.105		2	7	-38.827	3.783	10	2		-37.147	4.291		
26	12	40.968	-5.891		3	6	38.734	-4.509	11	1	37.016	-4.946			
27	10	-41.120	4.345		4	5	-38.581	5.232	11	23	-37.118	3.596			
28	9	40.981	-5.141		5	3	38.660	-3.773	12	22	37.067	-4.264			
29	8	-40.769	5.917		6	2	-38.586	4.506	13	21	-36.943	4.924			
30	6	40.915	-4.380		7	1	38.417	-5.212	14	19	37.039	-3.576			
Oct.	1	5	-40.790		5.170	7	23	-38.515	3.775	15	18	-36.998	4.244		
	2	4	40.552		-5.941	8	22	38.427	-4.488	16	17	36.871	-4.898		
	3	2	-40.732		4.414	9	21	-38.272	5.203	17	15	-36.977	3.557		
	4	1	40.579	-5.193	10	19	38.362	-3.761	18	14	36.926	-4.220			
	5	0	-40.357	5.963	11	18	-38.286	4.481	19	13	-36.815	4.873			
	5	22	40.527	-4.435	12	17	38.123	-5.180	20	11	36.907	-3.539			
	6	21	-40.391	5.218	13	15	-38.223	3.757	21	10	-36.875	4.200			
	7	20	40.144	-5.972	14	14	38.142	-4.463	22	9	36.754	-4.848			
	8	18	-40.347	4.465	15	13	-37.986	5.165	23	7	-36.860	3.522			
	9	17	40.184	-5.229	16	11	38.082	-3.743	24	6	36.815	-4.175			
10	16	-39.954	5.989	17	10	-38.011	4.449	25	5	-36.714	4.826				
11	14	40.148	-4.478	18	9	37.850	-5.141	26	3	36.800	-3.500				
12	13	-39.997	5.246	19	7	-37.955	3.732	27	2	-36.781	4.159				
13	11	40.030	-3.724	20	6	37.877	-4.431	28	1	36.664	-4.798				
14	10	-39.964	4.500	21	5	-37.728	5.121	28	23	-36.770	3.489				
15	9	39.802	-5.250	22	3	37.823	-3.717	29	22	36.734	-4.133				
16	7	-39.853	3.749	23	2	-37.760	4.413	30	21	-36.638	4.780				
17	6	39.775	-4.505	24	1	37.599	-5.096	31	19	36.725	-3.466				
18	5	-39.618	5.260	24	23	-37.712	3.703	Janv.	1	18	-36.710	4.121			
19	3	39.668	-3.757	25	22	37.633	-4.393		2	17	36.605	-4.753			
20	2	-39.597	4.517	26	21	-37.495	5.075		3	15	-36.704	3.458			

DIONÉ 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	13	-46.610	5.960	Mars	4	4	48.837	-6.186	Mai	4	18	-53.679	6.231
	2	21	46.985	-4.347		5	13	-48.675	6.398		6	3	53.962	-6.663
	4	6	-46.788	4.528		6	21	49.143	-4.833		7	12	-53.810	6.930
	5	15	46.971	-4.850		8	6	-49.024	5.043		8	21	54.068	-7.353
	7	0	-46.764	5.027		9	15	49.305	-5.395		10	5	-54.188	5.561
	8	9	46.937	-5.346		11	0	-49.170	5.607		11	14	54.507	-5.997
	9	18	-46.724	5.523		12	9	49.435	-5.958		12	23	-54.366	6.274
	11	3	46.886	-5.836		13	18	-49.289	6.174		14	8	54.657	-6.711
	12	12	-46.664	6.018		15	3	49.534	-6.519		15	17	-54.487	6.986
	13	20	47.054	-4.425		16	11	-49.606	4.820		17	2	54.742	-7.424
15	5	-46.875	4.608	17	20	49.901	-5.176	18	10	-54.853	5.606			
16	14	47.071	-4.927	19	5	-49.787	5.403	19	19	55.164	-6.061			
17	23	-46.887	5.109	20	14	50.070	-5.757	21	4	-55.016	6.338			
19	8	47.069	-5.427	21	23	-49.934	5.983	22	13	55.296	-6.791			
20	17	-46.878	5.612	23	8	50.204	-6.340	23	22	-55.110	7.070			
22	2	47.050	-5.925	24	17	-50.050	6.569	25	7	55.360	-7.526			
23	11	-46.844	6.113	26	1	50.543	-4.997	26	15	-55.461	5.679			
24	19	47.258	-4.527	27	10	-50.433	5.224	28	0	55.766	-6.150			
26	4	-47.090	4.717	28	19	50.738	-5.592	29	9	-55.603	6.428			
27	13	47.310	-5.036	30	4	-50.612	5.826	30	18	55.862	-6.897			
28	22	-47.130	5.227	31	13	50.900	-6.196	Juin	1	3	-55.672	7.181		
30	7	47.338	-5.546	Avril	1	22	-50.757		6.431	2	12	55.894	-7.647	
31	16	-47.151	5.733		3	7	51.024		-6.804	3	20	-56.006	5.778	
Févr.	2	1	47.344		-6.051	4	15		-51.114	5.077	5	5	56.287	-6.258
	3	10	-47.150		6.241	6	0		51.430	-5.467	6	14	-56.107	6.543
	4	18	47.590		-4.672	7	9		-51.320	5.701	7	23	56.352	-7.023
	6	3	-47.439		4.863	8	18	51.614	-6.088	9	8	-56.137	7.309	
	7	12	47.671	-5.188	10	3	-51.485	6.329	10	16	56.618	-5.609		
	8	21	-47.502	5.381	11	12	51.760	-6.710	12	1	-56.455	5.896		
10	6	47.726	-5.706	12	21	-51.603	6.963	13	10	56.717	-6.382			
11	15	-47.549	5.900	14	5	52.146	-5.366	14	19	-56.516	6.675			
13	0	47.758	-6.224	15	14	-52.038	5.617	16	4	56.739	-7.158			
14	8	-47.796	4.522	16	23	52.349	-6.011	17	13	-56.500	7.450			
15	17	48.045	-4.857	18	8	-52.218	6.261	18	21	56.991	-5.736			
17	2	-47.910	5.057	19	17	52.504	-6.662	20	6	-56.798	6.016			
18	11	48.147	-5.385	21	2	-52.350	6.913	21	15	57.042	-6.524			
19	20	-47.999	5.590	22	10	52.869	-5.310	23	0	-56.815	6.803			
21	5	48.231	-5.914	23	19	-52.765	5.563	24	9	57.011	-7.308			
22	14	-48.059	6.122	25	4	53.085	-5.972	25	18	-56.755	7.589			
23	23	48.285	-6.447	26	13	-52.951	6.232	27	2	57.240	-5.862			
25	7	-48.350	4.755	27	22	53.248	-6.642	28	11	-57.035	6.149			
26	16	48.627	-5.096	29	7	-53.085	6.904	29	20	57.242	-6.654			
28	1	-48.488	5.300	30	16	53.354	-7.318	Juill.	1	5	-56.997	6.944		
Mars	1	10	48.745	-5.641	Mai	2	0		-53.488	5.540	2	14	57.163	-7.443
	2	19	-48.596	5.849		3	9		53.805	-5.973	3	22	-57.149	5.470

DIONÉ 2019

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	7	57.373	-5.991	Sept.	4	21	-54.355	6.946	Nov.	5	11	49.562	-5.685
	6	16	-57.140	6.269		6	5	54.637	-5.208		6	20	-49.269	5.809
	8	1	57.319	-6.784		7	14	-54.318	5.405		8	5	49.296	-6.200
	9	10	-57.050	7.063		8	23	54.374	-5.892		9	14	-48.995	6.319
	10	19	57.187	-7.565		10	8	-54.038	6.083		10	22	49.242	-4.739
	12	3	-57.179	5.585		11	17	54.054	-6.556		12	7	-48.987	4.858
	13	12	57.378	-6.099		13	2	-53.704	6.745		13	16	49.039	-5.253
	14	21	-57.116	6.379		14	10	53.940	-5.015		15	1	-48.781	5.372
	16	6	57.272	-6.891		15	19	-53.636	5.206		16	10	48.818	-5.756
	17	15	-56.973	7.160		17	4	53.682	-5.676		17	19	-48.550	5.876
	19	0	57.082	-7.674		18	13	-53.353	5.858		19	4	48.579	-6.247
	20	8	-57.085	5.665		19	22	53.371	-6.322		20	13	-48.293	6.367
	21	17	57.249	-6.194		21	7	-53.025	6.495		21	21	48.570	-4.811
	23	2	-56.973	6.455		22	16	53.016	-6.949		23	6	-48.319	4.930
	24	11	57.091	-6.971		24	0	-52.928	4.961		24	15	48.395	-5.309
	25	20	-56.779	7.236		25	9	52.972	-5.419		26	0	-48.141	5.421
	27	4	57.129	-5.468		26	18	-52.657	5.596		27	9	48.196	-5.794
28	13	-56.866	5.731	28	3	52.675	-6.040	28	18	-47.938	5.906			
29	22	57.002	-6.248	29	12	-52.340	6.214	30	3	47.977	-6.272			
31	7	-56.706	6.506	30	21	52.341	-6.648	Déc.	1	12	-47.711	6.380		
Août	1	16	56.796	-7.017	Oct.	2	6	-51.987	6.810	2	20	48.008	-4.858	
	3	1	-56.468	7.270		3	14	52.264	-5.129	4	5	-47.776	4.968	
	4	9	56.811	-5.503		4	23	-51.952	5.287	5	14	47.861	-5.341	
	5	18	-56.531	5.755		6	8	51.985	-5.733	6	23	-47.622	5.448	
	7	3	56.644	-6.267		7	17	-51.662	5.884	8	8	47.692	-5.814	
	8	12	-56.324	6.516		9	2	51.672	-6.316	9	17	-47.450	5.917	
	9	21	56.400	-7.020		10	11	-51.335	6.467	11	2	47.502	-6.273	
	11	6	-56.049	7.262		11	20	51.320	-6.889	12	11	-47.258	6.381	
	12	14	56.390	-5.500		13	4	-51.264	4.953	13	19	47.566	-4.887	
	13	23	-56.094	5.734		14	13	51.303	-5.385	15	4	-47.358	4.999	
	15	8	56.180	-6.245		15	22	-51.001	5.528	16	13	47.451	-5.356	
	16	17	-55.858	6.478		17	7	51.018	-5.954	17	22	-47.230	5.464	
	18	2	55.903	-6.979		18	16	-50.705	6.096	19	7	47.317	-5.818	
	19	11	-55.553	7.206		20	1	50.701	-6.509	20	16	-47.088	5.924	
	20	19	55.874	-5.448		21	10	-50.374	6.648	22	1	47.163	-6.272	
	22	4	-55.567	5.671		22	18	50.645	-5.009	23	10	-46.926	6.378	
	23	13	55.639	-6.176		24	3	-50.356	5.153	24	18	47.258	-4.911	
24	22	-55.306	6.396	25	12	50.397	-5.563	26	3	-47.059	5.019			
26	7	55.339	-6.887	26	21	-50.095	5.703	27	12	47.175	-5.372			
27	16	-54.986	7.101	28	6	50.115	-6.105	28	21	-46.970	5.479			
29	0	55.277	-5.348	29	15	-49.805	6.235	30	6	47.073	-5.829			
30	9	-54.974	5.567	31	0	49.805	-6.633	31	15	-46.860	5.929			
Sept.	31	18	55.028	-6.053	Nov.	1	8	-49.745	4.750	Janv.	2	0	46.950	-6.278
	2	3	-54.694	6.268		2	17	49.800	-5.159		3	9	-46.733	6.376
	3	12	54.721	-6.742		4	2	-49.522	5.287		4	17	47.079	-4.942

RHÉA 2019

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	21	65.305	-7.555	Avril	14	15	-72.668	8.557	Juill.	25	5	79.534	-9.307	
	5	3	-65.480	7.057		16	21	72.915	-8.284		27	11	-79.601	8.910	
	7	9	65.442	-6.635		19	3	-73.323	7.885		29	17	79.424	-8.633	
	9	15	-65.588	6.119		21	9	73.526	-7.610		31	23	-79.449	8.248	
	11	22	65.424	-7.332		23	16	-73.746	8.915		Août	3	5	79.227	-7.959
	14	4	-65.612	6.823		25	22	73.988	-8.648		5	11	-79.215	7.543	
	16	10	65.592	-6.415		28	4	-74.402	8.273		7	18	78.794	-9.194	
	18	17	-65.623	7.520		30	10	74.613	-8.002		10	0	-78.790	8.773	
	20	23	65.660	-7.118	Mai	2	16	-75.013	7.612		12	6	78.535	-8.476	
	23	5	-65.853	6.628			4	23	75.032	-9.099		14	12	-78.507	8.053
	25	12	65.699	-7.825			7	5	-75.453	8.720		16	18	78.233	-7.747
Févr.	27	18	-65.954	7.333		9	11	75.655	-8.468		19	0	-78.139	7.318	
	30	0	65.997	-6.950		11	17	-76.066	8.096		21	7	77.684	-8.912	
	1	6	-66.224	6.458		13	23	76.247	-7.848		23	13	-77.629	8.473	
	3	13	66.119	-7.665		16	6	-76.418	9.239		25	19	77.322	-8.155	
		5	19	-66.395	7.194		18	12	76.636	-9.004		28	1	-77.232	7.706
	8	1	66.461	-6.811		20	18	-77.021	8.638	Sept.	30	7	76.908	-7.366	
	10	8	-66.538	7.920		23	0	77.183	-8.404			1	14	-76.618	8.815
	12	14	66.661	-7.559		25	6	-77.545	8.034			3	20	76.304	-8.470
	14	20	-66.946	7.082		27	12	77.690	-7.788		6	2	-76.204	7.999	
	17	2	67.033	-6.715	Juin	29	19	-77.850	9.251		8	8	75.876	-7.661	
	19	9	-67.163	7.844			1	1	77.998	-9.015		10	14	-75.742	7.188
	21	15	67.303	-7.484			3	7	-78.344	8.649		12	21	75.207	-8.694
	23	21	-67.600	7.028			5	13	78.463	-8.430		15	3	-75.110	8.214
	26	3	67.717	-6.662			7	19	-78.771	8.065		17	9	74.781	-7.850
Mars	28	10	-67.889	7.809		10	1	78.843	-7.826		19	15	-74.631	7.373	
	2	16	68.039	-7.472		12	8	-78.967	9.322		21	21	74.281	-6.993	
	4	22	-68.367	7.014		14	14	79.055	-9.099		24	4	-73.982	8.337	
	7	5	68.330	-8.278		16	20	-79.319	8.737		26	10	73.644	-7.967	
	9	11	-68.711	7.841		19	2	79.386	-8.507		28	16	-73.515	7.467	
	11	17	68.878	-7.506		21	8	-79.631	8.146	Oct.	30	22	73.163	-7.076	
	13	23	-69.219	7.055		23	14	79.634	-7.914			3	5	-72.851	8.391
	16	6	69.225	-8.356		25	21	-79.666	9.436			5	11	72.525	-7.995
	18	12	-69.610	7.918		28	3	79.685	-9.201			7	17	-72.401	7.482
	20	18	69.794	-7.601		30	9	-79.895	8.851			9	23	72.070	-7.099
	23	0	-70.166	7.167	Juill.	2	15	79.865	-8.608		12	6	-71.749	8.354	
	25	7	70.182	-8.483			4	21	-80.041	8.233		14	12	71.436	-7.957
	27	13	-70.579	8.071			7	3	79.980	-8.001		16	18	-71.333	7.443
	29	19	70.787	-7.758			9	10	-79.916	9.535		19	0	71.014	-7.037
Avril	1	1	-71.178	7.332			11	16	79.841	-9.293		21	7	-70.694	8.268
	3	8	71.190	-8.693		13	22	-79.991	8.918		23	13	70.413	-7.855	
	5	14	-71.613	8.280		16	4	79.889	-8.670		25	19	-70.321	7.335	
	7	20	71.829	-7.982		18	10	-79.967	8.288		28	1	70.006	-6.935	
	10	2	-72.242	7.579		20	16	79.840	-8.025		30	8	-69.726	8.121	
	12	8	72.439	-7.289		22	22	-79.897	7.638	Nov.	1	14	69.457	-7.702	

RHÉA 2019

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.	3	20	-69.383	7.192	Nov.	28	17	67.165	-7.063	Déc.	23	14	-65.992	6.690
	6	2	69.088	-6.778		30	23	-67.131	6.538		25	21	65.721	-7.828
	8	9	-68.837	7.926	Déc.	3	6	66.783	-7.727		28	3	-65.811	7.317
	10	15	68.600	-7.522		5	12	-66.804	7.215		30	9	65.712	-6.936
	12	21	-68.530	6.996		7	18	66.615	-6.806		Janv.	1	16	-65.619
15	3	68.256	-6.584	10	1	-66.446	7.862	3	22	65.556		-7.560		
17	10	-68.054	7.711	12	7	66.319	-7.465	6	4	-65.672		7.067		
19	16	67.833	-7.296	14	13	-66.340	6.946	8	10	65.593		-6.685		
21	22	-67.773	6.782	16	19	66.172	-6.546	10	17	-65.547	7.690			
24	5	67.376	-7.989	19	2	-66.072	7.591	12	23	65.527	-7.317			
26	11	-67.373	7.465	21	8	65.958	-7.189	15	5	-65.644	6.825			

TITAN 2019

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	147.764	-18.041	Mai	16	6	173.084	-21.776	Sept.	20	12	168.147	-19.850
	16	10	-155.717	16.791		24	7	-183.309	20.033		28	13	-174.436	17.925
	24	9	148.578	-18.627	Juin	1	4	176.707	-22.162		Oct.	6	11	163.759
Févr.	1	10	-157.011	16.266		9	5	-186.691	20.596	14		12	-169.877	17.184
	9	9	150.390	-18.378		17	2	179.287	-22.800	22		11	159.503	-19.528
	17	11	-159.086	17.014		25	2	-188.982	20.170		30	12	-165.588	17.114
Mars	25	10	152.869	-19.486	Juill.	2	23	180.691	-22.271	Nov.	7	11	155.766	-19.318
	5	11	-162.072	17.093		10	23	-189.785	19.726		15	12	-161.906	16.691
	13	10	156.182	-19.913		18	20	180.604	-21.601	23	11	152.732	-18.831	
	21	11	-165.753	17.577		26	21	-188.901	20.301	Déc.	1	13	-158.881	17.049
	29	10	160.042	-20.774	Août	3	18	178.939	-21.903			9	11	150.498
Avril	6	11	-169.957	18.526		11	18	-186.709	19.288	17	14	-156.721	17.236	
	14	9	164.391	-21.023		19	16	176.055	-21.753	25	12	149.024	-18.492	
	22	10	-174.542	18.922		27	16	-183.255	18.997	Janv.	2	14	-155.588	16.411
	30	8	168.803	-21.746	4	14	172.325	-21.070	10		13	148.456	-18.788	
Mai	8	9	-179.081	19.809		12	14	-179.060	18.152		18	15	-155.295	16.603

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 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	13	1.220	-9.058	Févr.	2	9	-1.791	8.738	Mars	6	4	1.374	-8.594
	2	6	-1.268	9.073		3	2	1.817	-8.699		6	21	-1.414	8.605
	2	23	1.292	-9.043		3	19	-1.857	8.708		7	14	1.442	-8.575
	3	16	-1.337	9.054		4	12	1.880	-8.670		8	7	-1.482	8.587
	4	9	1.363	-9.025		5	5	-1.924	8.675		9	0	1.508	-8.553
	5	2	-1.407	9.035		5	21	0.981	-8.802		9	17	-1.551	8.565
	5	19	1.434	-9.005		6	14	-1.029	8.818		10	10	1.576	-8.531
	6	12	-1.475	9.016		7	7	1.051	-8.791		11	3	-1.620	8.542
	7	5	1.504	-8.983		8	0	-1.095	8.805		11	20	1.642	-8.509
	7	22	-1.544	8.994		8	17	1.120	-8.779		12	13	-1.688	8.516
	8	15	1.573	-8.960		9	10	-1.164	8.791		13	6	1.710	-8.484
9	8	-1.613	8.971	10	3	1.189	-8.764	13	23	-1.756	8.490			
10	1	1.640	-8.934	10	20	-1.230	8.777	14	16	1.779	-8.458			
10	18	-1.682	8.946	11	13	1.258	-8.747	15	8	-0.849	8.616			
11	11	1.708	-8.908	12	6	-1.298	8.760	16	1	0.874	-8.594			
12	4	-1.750	8.919	12	23	1.326	-8.729	16	18	-0.919	8.610			
12	21	1.774	-8.882	13	16	-1.367	8.742	17	11	0.945	-8.587			
13	14	-1.818	8.889	14	9	1.391	-8.709	18	4	-0.988	8.603			
14	7	1.841	-8.853	15	2	-1.435	8.723	18	21	1.015	-8.576			
15	0	-1.885	8.858	15	19	1.459	-8.689	19	14	-1.058	8.594			
15	17	1.908	-8.822	16	12	-1.503	8.701	20	7	1.085	-8.566			
16	10	-1.948	8.826	17	5	1.525	-8.668	21	0	-1.129	8.583			
17	3	1.975	-8.790	17	22	-1.570	8.677	21	17	1.153	-8.554			
17	19	-1.045	8.962	18	15	1.592	-8.645	22	10	-1.200	8.570			
18	12	1.072	-8.936	19	8	-1.636	8.652	23	3	1.223	-8.541			
19	5	-1.114	8.951	20	1	1.660	-8.620	23	20	-1.270	8.556			
19	22	1.142	-8.921	20	18	-1.700	8.627	24	13	1.292	-8.528			
20	15	-1.183	8.937	21	11	1.727	-8.594	25	6	-1.340	8.539			
21	8	1.211	-8.905	22	4	-1.766	8.599	25	23	1.363	-8.512			
22	1	-1.253	8.921	22	21	1.794	-8.565	26	16	-1.410	8.521			
22	18	1.278	-8.889	23	14	-1.832	8.573	27	9	1.434	-8.494			
23	11	-1.323	8.904	24	7	1.859	-8.534	28	2	-1.477	8.503			
24	4	1.346	-8.870	24	23	-0.936	8.705	28	19	1.505	-8.475			
24	21	-1.392	8.884	25	16	0.962	-8.677	29	12	-1.547	8.484			
25	14	1.414	-8.852	26	9	-1.005	8.695	30	5	1.576	-8.453			
26	7	-1.459	8.862	27	2	1.028	-8.667	30	22	-1.617	8.464			
27	0	1.482	-8.831	27	19	-1.075	8.684	31	15	1.645	-8.430			
27	17	-1.526	8.839	28	12	1.097	-8.655	Avril	1	8	-1.687	8.441		
28	10	1.551	-8.808	Mars	1	5	-1.144		8.671	2	1	1.715	-8.406	
29	3	-1.591	8.816		1	22	1.166	-8.644	2	17	-0.772	8.565		
29	20	1.619	-8.783	2	15	-1.211	8.655	3	10	0.794	-8.541			
30	13	-1.658	8.791	3	8	1.235	-8.629	4	3	-0.844	8.561			
31	6	1.686	-8.757	4	1	-1.280	8.640	4	20	0.866	-8.537			
31	23	-1.724	8.766	4	18	1.304	-8.613	5	13	-0.916	8.556			
Févr.	1	16	1.751	-8.728	5	11	-1.346	8.624	6	6	0.939	-8.533		

MIRANDA 2019

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	23	-0.987	8.548	Mai	8	18	0.600	-8.546	Juin	9	14	-1.356	8.600
	7	16	1.012	-8.526		9	11	-0.655	8.568		10	7	1.386	-8.573
	8	9	-1.059	8.539		10	4	0.678	-8.549		11	0	-1.440	8.589
	9	2	1.085	-8.517		10	21	-0.733	8.570		11	17	1.469	-8.561
	9	19	-1.129	8.531		11	14	0.757	-8.551		12	10	-1.524	8.576
	10	12	1.158	-8.505		12	7	-0.808	8.569		13	2	0.464	-8.680
	11	5	-1.201	8.520		13	0	0.836	-8.551		13	19	-0.523	8.705
	11	22	1.231	-8.493		13	17	-0.886	8.568		14	12	0.548	-8.689
	12	15	-1.275	8.508		14	10	0.915	-8.548		15	5	-0.607	8.712
	13	8	1.301	-8.479		15	3	-0.963	8.566		15	22	0.634	-8.696
	14	1	-1.348	8.494		15	20	0.993	-8.543		16	15	-0.689	8.717
	14	18	1.374	-8.464		16	13	-1.041	8.562		17	8	0.720	-8.701
	15	11	-1.421	8.478		17	6	1.072	-8.538		18	1	-0.774	8.720
16	4	1.445	-8.449	17	23	-1.121	8.556	18	18	0.805	-8.703			
16	21	-1.494	8.459	18	16	1.148	-8.530	19	11	-0.858	8.724			
17	14	1.518	-8.432	19	9	-1.201	8.548	20	4	0.890	-8.703			
18	7	-1.567	8.441	20	2	1.227	-8.522	20	21	-0.943	8.725			
19	0	1.592	-8.413	20	19	-1.281	8.538	21	14	0.976	-8.702			
19	17	-1.637	8.420	21	12	1.306	-8.513	22	7	-1.030	8.723			
20	10	1.666	-8.392	22	5	-1.360	8.526	23	0	1.059	-8.700			
21	2	-0.703	8.547	22	22	1.386	-8.502	23	17	-1.117	8.720			
21	19	0.731	-8.528	23	15	-1.439	8.513	24	10	1.145	-8.696			
22	12	-0.777	8.548	24	8	1.467	-8.488	25	3	-1.204	8.714			
23	5	0.805	-8.525	25	1	-1.516	8.499	25	20	1.231	-8.692			
23	22	-0.852	8.546	25	18	1.548	-8.473	26	13	-1.289	8.706			
24	15	0.880	-8.522	26	10	-0.538	8.618	27	6	1.318	-8.684			
25	8	-0.928	8.542	27	3	0.568	-8.602	27	23	-1.375	8.697			
26	1	0.953	-8.517	27	20	-0.619	8.625	28	16	1.406	-8.675			
26	18	-1.004	8.536	28	13	0.648	-8.605	29	9	-1.459	8.687			
27	11	1.028	-8.511	29	6	-0.700	8.629	30	2	1.494	-8.663			
28	4	-1.080	8.529	29	23	0.730	-8.608	Juill.	30	18	-0.433	8.808		
28	21	1.103	-8.505	30	16	-0.783	8.631		1	11	0.466	-8.793		
29	14	-1.154	8.519	31	9	0.808	-8.610		2	4	-0.521	8.819		
30	7	1.179	-8.496	1	2	-0.865	8.631		2	21	0.552	-8.801		
Mai	1	0	-1.229	8.509	Juin	1	19	0.890	-8.610	3	14	-0.610	8.828	
	1	17	1.256	-8.485		2	12	-0.947	8.630	4	7	0.640	-8.808	
	2	10	-1.302	8.498		3	5	0.972	-8.610	5	0	-0.699	8.834	
	3	3	1.333	-8.472		3	22	-1.027	8.626	5	17	0.726	-8.815	
	3	20	-1.378	8.485		4	15	1.056	-8.607	6	10	-0.788	8.837	
	4	13	1.409	-8.458		5	8	-1.109	8.621	7	3	0.814	-8.819	
	5	6	-1.454	8.472		6	1	1.139	-8.601	7	20	-0.877	8.840	
	5	23	1.483	-8.441		6	18	-1.190	8.617	8	13	0.904	-8.822	
	6	16	-1.531	8.456		7	11	1.223	-8.593	9	6	-0.963	8.840	
	7	9	1.559	-8.424		8	4	-1.272	8.609	9	23	0.994	-8.822	
	8	2	-1.608	8.437		8	21	1.306	-8.584	10	16	-1.052	8.839	

MIRANDA 2019

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.	11	9	1.084	-8.820	Août	12	4	-0.857	9.108	Sept.	12	23	0.597	-9.324
	12	2	-1.139	8.837		12	21	0.886	-9.090		13	16	-0.665	9.350
	12	19	1.174	-8.815		13	14	-0.948	9.109		14	9	0.692	-9.331
	13	12	-1.228	8.833		14	7	0.981	-9.091		15	2	-0.761	9.352
	14	5	1.264	-8.809		15	0	-1.041	9.109		15	19	0.788	-9.333
	14	22	-1.319	8.827		15	17	1.076	-9.089		16	12	-0.857	9.353
	15	15	1.350	-8.801		16	10	-1.134	9.108		17	5	0.885	-9.334
	16	8	-1.410	8.818		17	3	1.170	-9.084		17	22	-0.949	9.351
	17	1	1.440	-8.791		17	20	-1.228	9.104		18	15	0.982	-9.332
	17	17	-0.362	8.929		18	13	1.264	-9.079		19	8	-1.044	9.348
	18	10	0.388	-8.914		19	6	-1.324	9.097		20	1	1.078	-9.327
	19	3	-0.452	8.940		19	23	1.355	-9.071		20	18	-1.138	9.345
	19	20	0.479	-8.926		20	16	-1.419	9.088		21	11	1.172	-9.319
	20	13	-0.543	8.950		21	9	1.449	-9.062		22	4	-1.233	9.338
21	6	0.571	-8.935	22	1	-0.334	9.200	22	21	1.267	-9.310			
21	23	-0.630	8.958	22	18	0.361	-9.185	23	14	-1.329	9.328			
22	16	0.664	-8.943	23	11	-0.428	9.210	24	7	1.358	-9.301			
23	9	-0.722	8.964	24	4	0.457	-9.197	25	0	-1.425	9.315			
24	2	0.755	-8.948	24	21	-0.523	9.220	25	17	1.452	-9.288			
24	19	-0.813	8.971	25	14	0.553	-9.206	26	10	-1.518	9.301			
25	12	0.846	-8.950	26	7	-0.615	9.229	27	2	0.351	-9.399			
26	5	-0.905	8.974	27	0	0.650	-9.212	27	19	-0.419	9.422			
26	22	0.938	-8.952	27	17	-0.710	9.235	28	12	0.448	-9.407			
27	15	-0.998	8.974	28	10	0.746	-9.217	29	5	-0.515	9.429			
28	8	1.027	-8.952	29	3	-0.806	9.240	29	22	0.545	-9.413			
29	1	-1.091	8.972	29	20	0.839	-9.218	Oct.	30	15	-0.608	9.434		
29	18	1.119	-8.950	30	13	-0.902	9.242		1	8	0.641	-9.415		
30	11	-1.183	8.969	31	6	0.935	-9.219		2	1	-0.703	9.436		
31	4	1.211	-8.947	31	23	-0.998	9.241		2	18	0.737	-9.416		
31	21	-1.273	8.962	Sept.	1	16	1.027		-9.219	3	11	-0.799	9.438	
Août	1	14	1.304	-8.942	2	9	-1.094	9.238	4	4	0.830	-9.414		
	2	7	-1.365	8.955	3	2	1.122	-9.216	4	21	-0.894	9.436		
	3	0	1.398	-8.933	3	19	-1.190	9.233	5	14	0.924	-9.411		
	3	17	-1.455	8.947	4	12	1.218	-9.211	6	7	-0.990	9.431		
	4	9	0.327	-9.043	5	5	-1.282	9.225	7	0	1.016	-9.407		
	5	2	-0.386	9.070	5	22	1.314	-9.204	7	17	-1.084	9.423		
	5	19	0.420	-9.056	6	15	-1.376	9.216	8	10	1.111	-9.400		
	6	12	-0.480	9.083	7	8	1.410	-9.194	9	3	-1.178	9.414		
	7	5	0.511	-9.065	8	1	-1.469	9.207	9	20	1.205	-9.390		
	7	22	-0.574	9.093	8	17	0.312	-9.299	10	13	-1.268	9.402		
	8	15	0.605	-9.074	9	10	-0.374	9.326	11	6	1.299	-9.379		
	9	8	-0.669	9.100	10	3	0.408	-9.309	11	23	-1.361	9.389		
	10	1	0.696	-9.082	10	20	-0.471	9.337	12	16	1.393	-9.364		
	10	18	-0.763	9.105	11	13	0.501	-9.317	13	9	-1.451	9.376		
11	11	0.791	-9.087	12	6	-0.568	9.345	14	2	1.485	-9.346			

MIRANDA 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	14	19	-1.543	9.358	Nov.	14	4	1.127	-9.406	Déc.	14	13	-0.696	9.319
	15	11	0.388	-9.454		14	21	-1.187	9.415		15	6	0.717	-9.291
	16	4	-0.452	9.479		15	14	1.216	-9.389		15	23	-0.780	9.306
	16	21	0.480	-9.458		16	7	-1.275	9.398		16	16	0.799	-9.280
	17	14	-0.548	9.482		17	0	1.304	-9.370		17	9	-0.862	9.291
	18	7	0.574	-9.460		17	17	-1.360	9.380		18	2	0.882	-9.266
	19	0	-0.642	9.483		18	10	1.390	-9.348		18	19	-0.945	9.275
	19	17	0.667	-9.461	19	3	-1.447	9.358	19	12	0.966	-9.250		
	20	10	-0.735	9.479	19	20	1.476	-9.325	20	5	-1.024	9.258		
	21	3	0.761	-9.459	20	13	-1.533	9.334	20	22	1.049	-9.232		
	21	20	-0.828	9.475	21	6	1.557	-9.301	21	15	-1.105	9.239		
	22	13	0.855	-9.455	21	23	-1.619	9.308	22	8	1.130	-9.211		
	23	6	-0.917	9.470	22	15	0.491	-9.412	23	1	-1.185	9.220		
	23	23	0.949	-9.448	23	8	-0.558	9.431	23	18	1.210	-9.188		
	24	16	-1.009	9.462	24	1	0.580	-9.408	24	11	-1.266	9.198		
	25	9	1.042	-9.438	24	18	-0.645	9.424	25	4	1.290	-9.164		
	26	2	-1.101	9.454	25	11	0.668	-9.402	25	21	-1.346	9.173		
	26	19	1.132	-9.425	26	4	-0.732	9.415	26	14	1.366	-9.140		
	27	12	-1.193	9.442	26	21	0.757	-9.393	27	7	-1.426	9.146		
	28	5	1.223	-9.412	27	14	-0.816	9.406	28	0	1.445	-9.113		
	28	22	-1.285	9.427	28	7	0.844	-9.381	28	17	-1.505	9.117		
29	15	1.310	-9.398	29	0	-0.902	9.394	29	10	1.524	-9.086			
30	8	-1.376	9.409	29	17	0.931	-9.368	30	3	-1.581	9.086			
31	1	1.400	-9.380	30	10	-0.988	9.382	30	19	0.498	-9.186			
31	18	-1.465	9.390	Déc.	1	3	1.014	-9.352	31	12	-0.558	9.198		
Nov.	1	11	1.490	-9.362	1	20	-1.074	9.366	Janv.	1	5	0.580	-9.176	
	2	4	-1.552	9.368	2	13	1.099	-9.335		1	22	-0.636	9.189	
	2	21	1.580	-9.340	3	6	-1.160	9.347		2	15	0.661	-9.164	
	3	13	-0.471	9.481	3	23	1.181	-9.318		3	8	-0.717	9.177	
	4	6	0.499	-9.462	4	16	-1.244	9.326	4	1	0.742	-9.151		
	4	23	-0.560	9.482	5	9	1.265	-9.297	4	18	-0.798	9.164		
	5	16	0.591	-9.460	6	2	-1.327	9.304	5	11	0.819	-9.135		
	6	9	-0.651	9.479	6	19	1.349	-9.275	6	4	-0.879	9.149		
	7	2	0.682	-9.455	7	12	-1.407	9.280	6	21	0.899	-9.119		
	7	19	-0.743	9.475	8	5	1.432	-9.251	7	14	-0.958	9.131		
	8	12	0.770	-9.448	8	22	-1.489	9.254	8	7	0.976	-9.102		
	9	5	-0.835	9.468	9	15	1.515	-9.224	9	0	-1.037	9.110		
	9	22	0.860	-9.440	10	8	-1.568	9.228	9	17	1.055	-9.083		
	10	15	-0.925	9.458	11	1	1.596	-9.194	10	10	-1.116	9.089		
	11	8	0.948	-9.432	11	17	-0.525	9.336	11	3	1.134	-9.062		
	12	1	-1.014	9.445	12	10	0.552	-9.311	11	20	-1.190	9.066		
	12	18	1.037	-9.420	13	3	-0.611	9.328						
13	11	-1.103	9.431	13	20	0.633	-9.302							

ARIEL 2019

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	-3.013	13.117	Févr.	27 16	2.748	-12.563	Avril	25 9	-2.530	12.361
	3 5	2.811	-13.159		28 22	-2.516	12.604		26 15	2.326	-12.407
	4 11	-2.566	13.190		Mars	2 4	2.315		-12.636	27 21	-2.086
	5 17	2.369	-13.216	3 10		-2.073	12.658	29 3	1.878	-12.485	
	7 0	-3.005	13.059	4 17		2.748	-12.523	30 10	-2.537	12.359	
	8 6	2.811	-13.099	5 23		-2.507	12.563	Mai	1 16	2.340	-12.411
	9 12	-2.567	13.133	7 5	2.313	-12.596	2 22		-2.090	12.454	
	10 18	2.362	-13.157	8 11	-2.071	12.622	4 4		1.891	-12.490	
	12 1	-3.005	12.999	9 18	2.739	-12.484	5 10		-1.639	12.519	
	13 7	2.801	-13.042	11 0	-2.508	12.526	6 17		2.346	-12.416	
	14 13	-2.567	13.073	12 6	2.304	-12.561	7 23		-2.107	12.463	
	15 19	2.362	-13.099	13 12	-2.070	12.586	9 5	1.895	-12.500		
	17 2	-2.994	12.941	14 19	2.739	-12.449	10 11	-1.652	12.530		
	18 8	2.801	-12.982	16 1	-2.500	12.494	11 18	2.363	-12.426		
	19 14	-2.558	13.017	17 7	2.306	-12.528	13 0	-2.114	12.474		
	20 20	2.361	-13.039	18 13	-2.062	12.557	14 6	1.913	-12.513		
	22 2	-2.117	13.056	19 20	2.740	-12.416	15 12	-1.658	12.546		
	23 9	2.791	-12.926	21 2	-2.501	12.464	16 19	2.382	-12.438		
	24 15	-2.557	12.956	22 8	2.300	-12.501	18 1	-2.133	12.489		
25 21	2.353	-12.985	23 14	-2.064	12.528	19 7	1.922	-12.531			
27 3	-2.114	12.997	24 21	2.735	-12.392	20 13	-1.676	12.564			
28 10	2.788	-12.869	26 3	-2.503	12.435	21 20	2.395	-12.457			
29 16	-2.547	12.903	27 9	2.302	-12.477	23 2	-2.152	12.507			
30 22	2.350	-12.926	28 15	-2.058	12.508	24 8	1.941	-12.552			
Févr.	1 4	-2.107	12.946	29 21	1.860	-12.529	25 14	-1.686	12.589		
	2 11	2.782	-12.810	Avril	31 4	-2.500	12.416	26 21	2.419	-12.475	
	3 17	-2.544	12.847		1 10	2.303	-12.453	28 3	-2.166	12.531	
	4 23	2.342	-12.875		2 16	-2.062	12.488	29 9	1.961	-12.574	
	6 5	-2.103	12.888		3 22	1.856	-12.514	30 15	-1.707	12.615	
	7 12	2.774	-12.759		5 5	-2.504	12.394	31 22	2.437	-12.501	
	8 18	-2.537	12.791	6 11	2.303	-12.440	Juin	2 4	-2.191	12.554	
	10 0	2.339	-12.822	7 17	-2.063	12.470		3 10	1.978	-12.605	
	11 6	-2.096	12.840	8 23	1.861	-12.500		4 16	-1.727	12.641	
	12 13	2.767	-12.703	10 6	-2.505	12.382		5 23	2.464	-12.527	
	13 19	-2.531	12.744	11 12	2.307	-12.423		7 5	-2.210	12.586	
	15 1	2.331	-12.768	12 18	-2.066	12.463		8 11	2.003	-12.632	
	16 7	-2.093	12.790	14 0	1.862	-12.488	9 17	-1.747	12.678		
	17 14	2.761	-12.657	15 7	-2.514	12.371	10 23	1.533	-12.708		
	18 20	-2.523	12.692	16 13	2.312	-12.417	12 6	-2.239	12.617		
	20 2	2.328	-12.724	17 19	-2.069	12.452	13 12	2.025	-12.669		
	21 8	-2.084	12.741	19 1	1.867	-12.485	14 18	-1.770	12.709		
	22 15	2.758	-12.609	20 8	-2.519	12.361	16 0	1.557	-12.750		
	23 21	-2.519	12.648	21 14	2.321	-12.411	17 7	-2.264	12.649		
25 3	2.318	-12.676	22 20	-2.075	12.451	18 13	2.055	-12.704			
26 9	-2.082	12.700	24 2	1.869	-12.481	19 19	-1.794	12.751			

ARIEL 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juin	21 1	1.579	-12.786	Août	16 18	-1.697	13.380	Oct.	12 11	1.948	-13.816
	22 8	-2.295	12.689		18 0	1.471	-13.414		13 17	-1.668	13.848
	23 14	2.080	-12.741		19 7	-2.237	13.327		15 0	2.486	-13.732
	24 20	-1.825	12.791		20 13	2.012	-13.379		16 6	-2.213	13.787
	26 2	1.607	-12.831		21 19	-1.744	13.430		17 12	1.985	-13.822
Juill.	27 9	-2.323	12.725	23 1	1.514	-13.469	18 18	-1.711	13.857		
	28 15	2.113	-12.784	24 8	-2.280	13.371	20 1	2.522	-13.740		
	29 21	-1.850	12.832	25 14	2.060	-13.430	21 7	-2.249	13.788		
	1 3	1.639	-12.875	26 20	-1.783	13.477	22 13	2.023	-13.830		
	2 10	-2.357	12.769	28 2	1.561	-13.518	23 19	-1.745	13.858		
	3 16	2.141	-12.826	29 9	-2.327	13.420	25 2	2.560	-13.739		
	4 22	-1.886	12.879	30 15	2.099	-13.474	26 8	-2.284	13.790		
	6 4	1.663	-12.921	31 21	-1.832	13.526	27 14	2.054	-13.825		
	7 11	-2.396	12.811	Sept.	2 3	1.599	-13.565	28 20	-1.784	13.859	
	8 17	2.177	-12.872		3 10	-2.376	13.462	30 3	2.587	-13.731	
9 23	-1.914	12.925	4 16	2.147	-13.519	Nov.	31 9	-2.320	13.782		
11 5	1.701	-12.970	5 22	-1.871	13.569		1 15	2.089	-13.820		
12 11	-1.430	13.008	7 4	1.649	-13.611		2 21	-1.812	13.849		
13 18	2.217	-12.917	8 11	-2.416	13.502		4 4	2.621	-13.721		
15 0	-1.952	12.974	9 17	2.196	-13.559		5 10	-2.344	13.769		
16 6	1.728	-13.021	10 23	-1.919	13.612	6 16	2.123	-13.806			
17 12	-1.469	13.059	12 5	1.687	-13.652	7 22	-1.847	13.837			
18 19	2.248	-12.967	13 12	-2.466	13.539	9 5	2.641	-13.704			
20 1	-1.991	13.022	14 18	2.233	-13.598	10 11	-2.377	13.752			
21 7	1.768	-13.072	16 0	-1.967	13.648	11 17	2.145	-13.788			
22 13	-1.498	13.112	17 6	1.735	-13.691	12 23	-1.878	13.816			
23 20	2.292	-13.013	18 13	-2.504	13.574	14 6	2.669	-13.682			
25 2	-2.024	13.075	19 19	2.284	-13.631	15 12	-2.396	13.730			
26 8	1.808	-13.122	21 1	-2.005	13.684	16 18	2.176	-13.764			
27 14	-1.538	13.166	22 7	1.782	-13.723	18 0	-1.899	13.793			
28 21	2.328	-13.065	23 14	-2.552	13.604	19 7	2.693	-13.653			
30 3	-2.068	13.123	24 20	2.322	-13.663	20 13	-2.422	13.702			
31 9	1.843	-13.177	26 2	-2.054	13.711	21 19	2.193	-13.736			
Août	1 15	-1.577	13.217	27 8	1.819	-13.756	23 1	-1.928	13.762		
	2 22	2.373	-13.115	28 14	-1.548	13.786	24 8	2.706	-13.624		
4 4	-2.105	13.177	Oct.	29 21	2.368	-13.688	25 14	-2.444	13.667		
5 10	1.886	-13.226		1 3	-2.091	13.740	26 20	2.216	-13.702		
6 16	-1.614	13.274		2 9	1.866	-13.778	28 2	-1.943	13.729		
7 23	2.417	-13.161		3 15	-1.587	13.814	29 9	2.728	-13.584		
9 5	-2.151	13.227		4 22	2.411	-13.705	30 15	-2.457	13.633		
10 11	1.925	-13.281	6 4	-2.136	13.760	Déc.	1 21	2.236	-13.661		
11 17	-1.656	13.324	7 10	1.904	-13.801		3 3	-1.966	13.690		
12 23	1.431	-13.365	8 16	-1.631	13.830		4 10	2.737	-13.546		
14 6	-2.193	13.274	9 23	2.448	-13.725		5 16	-2.474	13.587		
15 12	1.971	-13.332	11 5	-2.176	13.773		6 22	2.248	-13.623		

ARIEL 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	8	4	-1.982	13.644	Déc.	19	13	2.766	-13.402	Déc.	30	21	-2.509	13.332
	9	11	2.751	-13.501		20	19	-2.502	13.441	Janv.	1	3	2.293	-13.363
	10	17	-2.483	13.545		22	1	2.283	-13.474		2	9	-2.025	13.385
	11	23	2.262	-13.573		23	7	-2.014	13.499		3	16	2.776	-13.233
	13	5	-1.995	13.602		24	14	2.768	-13.345		4	22	-2.512	13.276
	14	12	2.759	-13.449		25	20	-2.509	13.391		6	4	2.290	-13.304
	15	18	-2.496	13.496		27	2	2.285	-13.417		7	10	-2.033	13.329
	17	0	2.272	-13.527		28	8	-2.025	13.444		8	17	2.769	-13.174
	18	6	-2.005	13.548		29	15	2.771	-13.292		9	23	-2.515	13.217

UMBRIEL 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	1 6	-3.808	18.335	Avril	4 12	3.324	-17.359	Juill.	6 17	-2.605	17.913
	3 8	3.916	-18.375		6 13	-2.849	17.334		8 19	2.741	-18.041
	5 9	-3.447	18.338		8 15	2.963	-17.411		10 21	-3.077	17.893
	7 11	3.550	-18.389		10 17	-3.241	17.248		12 22	2.360	-18.153
	9 13	-3.827	18.193		12 19	3.347	-17.333		15 0	-2.698	18.018
	11 15	3.936	-18.238		14 20	-2.877	17.298		17 2	2.826	-18.151
	13 16	-3.460	18.195		16 22	2.984	-17.391		19 3	-2.317	18.128
	15 18	3.568	-18.256		19 0	-3.276	17.223		21 5	2.444	-18.273
	17 20	-3.847	18.045		21 1	2.612	-17.444		23 7	-2.803	18.127
	19 21	3.201	-18.252		23 3	-2.913	17.282		25 9	2.907	-18.267
21 23	-3.482	18.053	25 5	3.011	-17.386	27 10	-2.421	18.246			
24 1	3.578	-18.119	27 7	-3.315	17.209	29 12	2.532	-18.388			
26 3	-3.860	17.906	29 8	2.637	-17.446	31 14	-2.904	18.247			
28 4	3.213	-18.119	Mai	1 10	-2.958	17.285	Août	2 16	3.004	-18.377	
30 6	-3.504	17.914		3 12	3.037	-17.389		4 17	-2.528	18.367	
Févr.	1 8	3.579	-17.988	5 14	-3.365	17.217	6 19	2.623	-18.507		
	3 10	-3.879	17.770	7 15	2.671	-17.458	8 21	-3.014	18.364		
	5 11	3.218	-17.988	9 17	-3.000	17.302	10 22	2.237	-18.613		
	7 13	-3.520	17.791	11 19	3.078	-17.405	13 0	-2.632	18.494		
	9 15	3.584	-17.855	13 20	-2.638	17.379	15 2	2.726	-18.615		
	11 16	-3.158	17.792	15 22	2.705	-17.483	17 4	-3.120	18.482		
	13 18	3.224	-17.866	18 0	-3.054	17.337	19 5	2.343	-18.731		
	15 20	-3.533	17.670	20 2	3.127	-17.430	21 7	-2.736	18.610		
	17 22	3.591	-17.731	22 3	-2.679	17.426	23 9	2.836	-18.723		
	19 23	-3.173	17.685	24 5	2.760	-17.520	25 11	-3.226	18.597		
22 1	3.229	-17.744	26 7	-3.108	17.383	27 12	2.454	-18.836			
24 3	-3.544	17.566	28 8	2.386	-17.600	29 14	-2.838	18.724			
26 5	3.604	-17.617	30 10	-2.731	17.483	31 16	2.957	-18.826			
28 6	-3.179	17.583	Juin	1 12	2.819	-17.568	Sept.	2 17	-2.441	18.835	
Mars 2 8	3.243	-17.639		3 14	-3.157	17.446		4 19	2.572	-18.942	
4 10	-3.553	17.470	5 15	2.450	-17.660	6 21	-2.944	18.824			
6 12	3.615	-17.511	7 17	-2.782	17.549	8 23	3.071	-18.921			
8 13	-3.187	17.497	9 19	2.885	-17.637	11 0	-2.544	18.932			
10 15	3.263	-17.543	11 20	-2.405	17.643	13 2	2.694	-19.035			
12 17	-3.553	17.383	13 22	2.516	-17.737	15 4	-3.042	18.909			
14 18	2.901	-17.565	16 0	-2.839	17.627	17 6	3.192	-19.010			
16 20	-3.195	17.417	18 2	2.959	-17.715	19 7	-2.653	19.010			
18 22	3.278	-17.466	20 3	-2.461	17.726	21 9	2.804	-19.121			
21 0	-3.564	17.308	22 5	2.590	-17.830	23 11	-3.152	18.978			
23 1	2.922	-17.496	24 7	-2.904	17.707	25 12	2.419	-19.214			
25 3	-3.199	17.351	26 9	3.037	-17.808	27 14	-2.758	19.075			
27 5	3.303	-17.405	28 10	-2.531	17.817	29 16	2.918	-19.189			
29 6	-2.832	17.378	30 12	2.661	-17.929	Oct.	1 18	-3.264	19.024		
31 8	2.940	-17.448	Juill.	2 14	-2.982		17.798	3 19	2.521	-19.280	
Avril 2 10	-3.217	17.293		4 15	2.290		-18.038	5 21	-2.875	19.118	

UMBRIEL 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Oct.	7 23	3.021	-19.236	Nov.	12 4	-2.889	19.166	Déc.	17 10	3.259	-18.872	
	10 1	-3.374	19.060		14 6	2.990	-19.246		19 12	-3.567	18.678	
	12 2	2.624	-19.319		16 8	-3.369	19.069		21 13	2.864	-18.880	
	14 4	-2.990	19.143		18 10	3.456	-19.135		23 15	-3.169	18.686	
	16 6	3.117	-19.268		20 11	-2.965	19.111		25 17	3.303	-18.754	
	18 8	-3.485	19.072		22 13	3.073	-19.171		27 19	-3.602	18.539	
	20 9	2.720	-19.336		24 15	-3.426	19.001		29 20	2.902	-18.757	
	22 11	-3.100	19.156		26 17	3.534	-19.053		31 22	-3.214	18.551	
	24 13	3.206	-19.267		28 18	-3.028	19.030		Janv.	3 0	3.328	-18.622
	26 14	-2.709	19.216		30 20	3.142	-19.086			5 2	-3.638	18.400
28 16	2.815	-19.330	Déc.	2 22	-3.481	18.910	7 3	2.935	-18.625			
30 18	-3.197	19.145		4 23	2.755	-19.097	9 5	-3.247	18.409			
Nov.	1 20	3.295		-19.247	7 1	-3.077	18.934	11 7	3.351	-18.487		
	3 21	-2.810		19.202	9 3	3.208	-18.984	13 8	-2.861	18.404		
	5 23	2.899		-19.297	11 5	-3.526	18.800	15 10	2.951	-18.486		
8 1	-3.289	19.119		13 6	2.816	-18.997						
10 3	3.383	-19.201		15 8	-3.125	18.814						

TITANIA 2019

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	4	6	-5.964	30.187	Mai	10	11	4.774	-28.427	Sept.	13	16	-4.583	31.209
	8	14	5.758	-30.002		14	19	-4.407	28.657		18	0	4.307	-31.182
	12	23	-5.958	29.954		19	4	4.776	-28.519		22	9	-4.634	31.357
	17	7	5.702	-29.798		23	12	-4.381	28.722		26	17	4.430	-31.308
	21	16	-5.926	29.707		27	21	4.805	-28.613		Oct.	1	2	-4.742
Févr.	26	0	5.683	-29.575	Juin	1	5	-4.395	28.831	Nov.	5	10	4.531	-31.407
	30	9	-5.890	29.486		5	14	4.827	-28.727		9	19	-4.855	31.558
	3	17	5.654	-29.353		9	22	-4.435	28.957		14	3	4.620	-31.500
	8	2	-5.867	29.280		14	6	4.182	-28.990		18	12	-4.917	31.586
	12	10	5.571	-29.154		18	15	-4.469	29.090		22	20	4.730	-31.531
Mars	16	18	-5.270	29.184	Juill.	22	23	4.226	-29.153	Déc.	27	5	-5.002	31.598
	21	3	5.539	-28.970		27	8	-4.509	29.262		31	13	4.816	-31.518
	25	11	-5.231	29.003		1	16	4.276	-29.326		4	22	-5.098	31.565
	1	20	5.512	-28.796		6	1	-4.576	29.456		9	6	4.845	-31.495
	6	4	-5.193	28.867		10	9	4.275	-29.521		13	15	-5.170	31.477
Avril	10	13	5.446	-28.634	Août	14	18	-4.653	29.651	Janv.	17	23	4.920	-31.414
	14	21	-5.175	28.732		19	2	4.343	-29.730		22	8	-5.224	31.373
	19	6	5.414	-28.514		23	10	-4.052	29.957		26	16	4.978	-31.288
	23	14	-5.145	28.619		27	19	4.427	-29.936		1	1	-5.285	31.246
	27	23	5.402	-28.411		1	3	-4.115	30.197		5	9	4.965	-31.134
Mai	5	12	4.477	-30.133	Sept.	5	12	4.477	-30.133	Janv.	9	18	-5.337	31.074
	9	15	4.792	-28.428		9	20	-4.213	30.415		14	2	4.999	-30.959
	10	0	-5.075	28.507		14	5	4.565	-30.351		18	11	-5.356	30.883
	14	8	4.770	-28.387		18	13	-4.304	30.623		22	19	5.030	-30.751
	18	17	-5.063	28.474		22	22	4.678	-30.556		27	4	-5.354	30.701
Mai	23	1	4.771	-28.379	Sept.	27	6	-4.358	30.850	Janv.	31	12	5.011	-30.514
	27	10	-5.003	28.478		31	15	4.781	-30.733		4	21	-5.367	30.480
	1	18	4.778	-28.387		4	23	-4.471	31.043		9	5	5.008	-30.290
	6	2	-4.399	28.608		9	8	4.881	-30.913		13	14	-5.357	30.246

OBÉRON 2019

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.	5	12	7.570	-40.318	Mai	20	3	6.310	-38.223	Oct.	1	17	6.132	-42.052	
	12	6	-7.677	40.095		26	20	-5.916	38.410		8	11	-6.346	42.101	
	18	23	7.432	-39.835	Juin	2	14	6.186	-38.451		15	4	6.170	-42.194	
	25	17	-7.488	39.671		9	7	-5.794	38.698		21	22	-6.408	42.243	
Févr.	1	11	7.741	-39.301		16	1	6.137	-38.731		28	16	6.778	-42.148	
	8	4	-7.272	39.256		22	18	-5.694	39.062	Nov.	4	9	-6.405	42.249	
	14	22	7.598	-38.897		29	12	6.068	-39.102		11	3	6.826	-42.047	
	21	15	-7.048	38.878	Juill.	6	5	-5.604	39.466		17	20	-6.374	42.135	
	28	9	7.394	-38.561		12	23	6.085	-39.526	24	14	6.792	-41.858		
Mars	7	2	-6.838	38.542			19	16	-5.538	39.906	Déc.	1	8	-6.878	41.799
	13	20	7.223	-38.311		26	10	6.060	-39.991		8	1	6.786	-41.570	
	20	13	-6.625	38.299	Août	2	3	-5.516	40.346		14	19	-6.769	41.457	
	27	7	7.018	-38.131			8	21	6.087	-40.488		21	12	6.681	-41.207
Avril	3	0	-6.466	38.117			15	14	-5.505	40.807		28	6	-6.655	41.024
	9	18	6.822	-38.042			22	8	6.088	-40.965	Janv.	4	0	7.124	-40.715
	16	11	-6.280	38.049		29	1	-5.570	41.227		10	17	-6.498	40.572	
	23	5	6.627	-38.027	Sept.	4	19	6.101	-41.412		17	11	6.941	-40.279	
	29	22	-6.168	38.070			11	12	-5.602	41.623		24	4	-6.372	40.091
Mai	6	16	6.450	-38.093			18	6	6.113	-41.778		30	22	6.735	-39.846
	13	9	-6.015	38.190			25	0	-6.308	41.863	Févr.	6	15	-6.179	39.652

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2019

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	Mar	2458485	1	1	Ven	2458516	32	1	Ven	2458544	60
2	Mer	8486	2	2	Sam	8517	33	2	Sam	8545	61
3	Jeu	8487	3	3	Dim	8518	34	3	Dim	8546	62
4	Ven	8488	4	4	Lun	8519	35	4	Lun	8547	63
5	Sam	8489	5	5	Mar	8520	36	5	Mar	8548	64
6	Dim	8490	6	6	Mer	8521	37	6	Mer	8549	65
7	Lun	8491	7	7	Jeu	8522	38	7	Jeu	8550	66
8	Mar	8492	8	8	Ven	8523	39	8	Ven	8551	67
9	Mer	8493	9	9	Sam	8524	40	9	Sam	8552	68
10	Jeu	8494	10	10	Dim	8525	41	10	Dim	8553	69
11	Ven	8495	11	11	Lun	8526	42	11	Lun	8554	70
12	Sam	8496	12	12	Mar	8527	43	12	Mar	8555	71
13	Dim	8497	13	13	Mer	8528	44	13	Mer	8556	72
14	Lun	8498	14	14	Jeu	8529	45	14	Jeu	8557	73
15	Mar	8499	15	15	Ven	8530	46	15	Ven	8558	74
16	Mer	8500	16	16	Sam	8531	47	16	Sam	8559	75
17	Jeu	8501	17	17	Dim	8532	48	17	Dim	8560	76
18	Ven	8502	18	18	Lun	8533	49	18	Lun	8561	77
19	Sam	8503	19	19	Mar	8534	50	19	Mar	8562	78
20	Dim	8504	20	20	Mer	8535	51	20	Mer	8563	79
21	Lun	8505	21	21	Jeu	8536	52	21	Jeu	8564	80
22	Mar	8506	22	22	Ven	8537	53	22	Ven	8565	81
23	Mer	8507	23	23	Sam	8538	54	23	Sam	8566	82
24	Jeu	8508	24	24	Dim	8539	55	24	Dim	8567	83
25	Ven	8509	25	25	Lun	8540	56	25	Lun	8568	84
26	Sam	8510	26	26	Mar	8541	57	26	Mar	8569	85
27	Dim	8511	27	27	Mer	8542	58	27	Mer	8570	86
28	Lun	8512	28	28	Jeu	8543	59	28	Jeu	8571	87
29	Mar	8513	29					29	Ven	8572	88
30	Mer	8514	30					30	Sam	8573	89
31	Jeu	8515	31					31	Dim	8574	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	Lun	2458575	91	1	Mer	2458605	121	1	Sam	2458636	152
2	Mar	8576	92	2	Jeu	8606	122	2	Dim	8637	153
3	Mer	8577	93	3	Ven	8607	123	3	Lun	8638	154
4	Jeu	8578	94	4	Sam	8608	124	4	Mar	8639	155
5	Ven	8579	95	5	Dim	8609	125	5	Mer	8640	156
6	Sam	8580	96	6	Lun	8610	126	6	Jeu	8641	157
7	Dim	8581	97	7	Mar	8611	127	7	Ven	8642	158
8	Lun	8582	98	8	Mer	8612	128	8	Sam	8643	159
9	Mar	8583	99	9	Jeu	8613	129	9	Dim	8644	160
10	Mer	8584	100	10	Ven	8614	130	10	Lun	8645	161
11	Jeu	8585	101	11	Sam	8615	131	11	Mar	8646	162
12	Ven	8586	102	12	Dim	8616	132	12	Mer	8647	163
13	Sam	8587	103	13	Lun	8617	133	13	Jeu	8648	164
14	Dim	8588	104	14	Mar	8618	134	14	Ven	8649	165
15	Lun	8589	105	15	Mer	8619	135	15	Sam	8650	166
16	Mar	8590	106	16	Jeu	8620	136	16	Dim	8651	167
17	Mer	8591	107	17	Ven	8621	137	17	Lun	8652	168
18	Jeu	8592	108	18	Sam	8622	138	18	Mar	8653	169
19	Ven	8593	109	19	Dim	8623	139	19	Mer	8654	170
20	Sam	8594	110	20	Lun	8624	140	20	Jeu	8655	171
21	Dim	8595	111	21	Mar	8625	141	21	Ven	8656	172
22	Lun	8596	112	22	Mer	8626	142	22	Sam	8657	173
23	Mar	8597	113	23	Jeu	8627	143	23	Dim	8658	174
24	Mer	8598	114	24	Ven	8628	144	24	Lun	8659	175
25	Jeu	8599	115	25	Sam	8629	145	25	Mar	8660	176
26	Ven	8600	116	26	Dim	8630	146	26	Mer	8661	177
27	Sam	8601	117	27	Lun	8631	147	27	Jeu	8662	178
28	Dim	8602	118	28	Mar	8632	148	28	Ven	8663	179
29	Lun	8603	119	29	Mer	8633	149	29	Sam	8664	180
30	Mar	8604	120	30	Jeu	8634	150	30	Dim	8665	181
				31	Ven	8635	151				

CALENDRIER 2019

JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			181	0			212	0			243
1	Lun	2458666	182	1	Jeu	2458697	213	1	Dim	2458728	244
2	Mar	8667	183	2	Ven	8698	214	2	Lun	8729	245
3	Mer	8668	184	3	Sam	8699	215	3	Mar	8730	246
4	Jeu	8669	185	4	Dim	8700	216	4	Mer	8731	247
5	Ven	8670	186	5	Lun	8701	217	5	Jeu	8732	248
6	Sam	8671	187	6	Mar	8702	218	6	Ven	8733	249
7	Dim	8672	188	7	Mer	8703	219	7	Sam	8734	250
8	Lun	8673	189	8	Jeu	8704	220	8	Dim	8735	251
9	Mar	8674	190	9	Ven	8705	221	9	Lun	8736	252
10	Mer	8675	191	10	Sam	8706	222	10	Mar	8737	253
11	Jeu	8676	192	11	Dim	8707	223	11	Mer	8738	254
12	Ven	8677	193	12	Lun	8708	224	12	Jeu	8739	255
13	Sam	8678	194	13	Mar	8709	225	13	Ven	8740	256
14	Dim	8679	195	14	Mer	8710	226	14	Sam	8741	257
15	Lun	8680	196	15	Jeu	8711	227	15	Dim	8742	258
16	Mar	8681	197	16	Ven	8712	228	16	Lun	8743	259
17	Mer	8682	198	17	Sam	8713	229	17	Mar	8744	260
18	Jeu	8683	199	18	Dim	8714	230	18	Mer	8745	261
19	Ven	8684	200	19	Lun	8715	231	19	Jeu	8746	262
20	Sam	8685	201	20	Mar	8716	232	20	Ven	8747	263
21	Dim	8686	202	21	Mer	8717	233	21	Sam	8748	264
22	Lun	8687	203	22	Jeu	8718	234	22	Dim	8749	265
23	Mar	8688	204	23	Ven	8719	235	23	Lun	8750	266
24	Mer	8689	205	24	Sam	8720	236	24	Mar	8751	267
25	Jeu	8690	206	25	Dim	8721	237	25	Mer	8752	268
26	Ven	8691	207	26	Lun	8722	238	26	Jeu	8753	269
27	Sam	8692	208	27	Mar	8723	239	27	Ven	8754	270
28	Dim	8693	209	28	Mer	8724	240	28	Sam	8755	271
29	Lun	8694	210	29	Jeu	8725	241	29	Dim	8756	272
30	Mar	8695	211	30	Ven	8726	242	30	Lun	8757	273
31	Mer	8696	212	31	Sam	8727	243				

OCTOBRE				NOVEMBRE				DÉCEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			273	0			304	0			334
1	Mar	2458758	274	1	Ven	2458789	305	1	Dim	2458819	335
2	Mer	8759	275	2	Sam	8790	306	2	Lun	8820	336
3	Jeu	8760	276	3	Dim	8791	307	3	Mar	8821	337
4	Ven	8761	277	4	Lun	8792	308	4	Mer	8822	338
5	Sam	8762	278	5	Mar	8793	309	5	Jeu	8823	339
6	Dim	8763	279	6	Mer	8794	310	6	Ven	8824	340
7	Lun	8764	280	7	Jeu	8795	311	7	Sam	8825	341
8	Mar	8765	281	8	Ven	8796	312	8	Dim	8826	342
9	Mer	8766	282	9	Sam	8797	313	9	Lun	8827	343
10	Jeu	8767	283	10	Dim	8798	314	10	Mar	8828	344
11	Ven	8768	284	11	Lun	8799	315	11	Mer	8829	345
12	Sam	8769	285	12	Mar	8800	316	12	Jeu	8830	346
13	Dim	8770	286	13	Mer	8801	317	13	Ven	8831	347
14	Lun	8771	287	14	Jeu	8802	318	14	Sam	8832	348
15	Mar	8772	288	15	Ven	8803	319	15	Dim	8833	349
16	Mer	8773	289	16	Sam	8804	320	16	Lun	8834	350
17	Jeu	8774	290	17	Dim	8805	321	17	Mar	8835	351
18	Ven	8775	291	18	Lun	8806	322	18	Mer	8836	352
19	Sam	8776	292	19	Mar	8807	323	19	Jeu	8837	353
20	Dim	8777	293	20	Mer	8808	324	20	Ven	8838	354
21	Lun	8778	294	21	Jeu	8809	325	21	Sam	8839	355
22	Mar	8779	295	22	Ven	8810	326	22	Dim	8840	356
23	Mer	8780	296	23	Sam	8811	327	23	Lun	8841	357
24	Jeu	8781	297	24	Dim	8812	328	24	Mar	8842	358
25	Ven	8782	298	25	Lun	8813	329	25	Mer	8843	359
26	Sam	8783	299	26	Mar	8814	330	26	Jeu	8844	360
27	Dim	8784	300	27	Mer	8815	331	27	Ven	8845	361
28	Lun	8785	301	28	Jeu	8816	332	28	Sam	8846	362
29	Mar	8786	302	29	Ven	8817	333	29	Dim	8847	363
30	Mer	8787	303	30	Lun	8818	334	30	Lun	8848	364
31	Jeu	8788	304					31	Mar	8849	365

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : Jacques LASKAR
Directeur adjoint : Florent DELEFLIE
Directeur adjoint : Philippe ROBUTEL

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : Jean-Eudes ARLOT, (ÉMÉRITE)
Daniel HESTROFFER,
William THUILLOT.

Astronomes adjoints : Florent DELEFLIE,
Pascal DESCAMPS,
Lucie MAQUET,
Jérémie VAUBAILLON.

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : François COLAS,
Jacques LASKAR,
Philippe ROBUTEL.

Chargés de recherche : Alain ALBOUY,
Mirel BIRLAN,
David SAUZIN.

CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

Professeurs : Alain CHENCINER, (ÉMÉRITE)
Jacques FEJOZ,
Alain VIENNE.

Maîtres de conférences : Gwenaél BOUÉ,
Marc FOUCHARD,
Laurent NIEDERMAN,

Nicolas RAMBAUX,
Stéfan RENNER.

Enseignant-chercheur : Vincent ROBERT.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

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

Ingénieurs d'études : Pedro DAVID,
Hervé MANCHE,
Mokhtar SADJI.

Assistants ingénieurs : Rachida AMHIDEZ,
Lusine AMIRKHANYAN (CDD).

Techniciens : Nevada MENDÈS.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DE RECHERCHE ET DE FORMATION

Ingénieurs de recherche : Frédéric DAUVERGNE,

Ingénieurs d'études : Sem BENDJEDDOU (CDD),
Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER,
Jonathan NORMAND,
Nicolas THOUVENIN (CDD).

Techniciens : Maïder BUGNON OLANO,
Yohann GOMINET,
Amélie MUSLEVSKI,
Agnès PATU.

ÉTUDIANTS pour l'année 2018

Thésitifs : Léo BERNUS,
Guy BERTRAND,
Yann DUCHEMIN,
Bogdan DUMITRU,
Simon JEANNE,
Antoine PETIT,
William POLYCARPE,

Delphine THOMASSON,
Xiaojin XI.

Post doctorants :

Kevin BAILLÉ,
Hongru CHEN,
Federico MOGAVERO,
Melanie SAILLENFEST,
Muhammad Ali SAMMUNEH,
Federica SPOTO,
Thimothée VAILLANT,
Vishnu VISWANATHAN,
Gouwei YU,
Christian ZEEEDEN.

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2018

<i>Président :</i>	Claude BOUCHER
<i>Vice-Président :</i>	Noël DIMARCO
<i>Secrétaire :</i>	Marie-Françoise LALANCETTE

MEMBRES TITULAIRES

Nicole CAPITAINE, membre correspondant de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de Paris.

Jean-Louis LE MOUËL(*), membre de l'Académie des sciences, physicien, Institut de physique du globe de Paris.

Suzanne DÉBARBAT, astronome, observatoire de Paris.

Jean-Paul POIRIER(*), membre de l'Académie des sciences, physicien, Institut de physique du globe de Paris.

François BARLIER, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

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

Noël DIMARCO, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Jacques LASKAR, membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS, directeur de l'IMCCE, observatoire de Paris.

Claude BOUCHER, ingénieur des Ponts, Eaux et Forêts, Conseil général de l'environnement et du développement durable.

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.

Françoise COMBES, membre de l'Académie des sciences, Professeur au Collège de France, titulaire de la chaire Galaxies et Cosmologie, astrophysicienne à l'Observatoire de Paris (LERMA)

Luc BLANCHET, directeur de recherche au CNRS, Institut d'astrophysique de Paris

MEMBRES TITULAIRES HONORAIRES

Roger CAYREL, membre correspondant de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de Paris.

(*) Au titre de l'Académie des sciences.

Jean KOVALEVSKY, († le 17 août 2018) membre de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

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

Mioara MANDEA, expert thématique "Terre solide", programme Terre, environnement et climat, Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science au CNES. l'information géographique et forestière.

Anne-Marie MAINGUY, haute conseillère à l'ONERA, présidente de l'Académie de l'Air et de l'Espace.

Hervé ROQUET, directeur adjoint de Météo France.

MEMBRES CORRESPONDANTS

Jean CHAPRONT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Jean-Claude DUPLESSY, membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS, laboratoire des sciences du climat et de l'environnement.

Jean-Eudes ARLOT, astronome émérite de l'observatoire de Paris, ancien directeur de l'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, directeur de recherche, Groupe de recherche de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées, ingénieur émérite CNES.

Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.

Pascal WILLIS, ingénieur général des Ponts eaux et forêts, Institut national de l'information géographique et forestière, IGP.

Sylvio FERRAZ-MELLO, professeur, université de São Paulo.

Elisa Felicitas ARIAS, directrice du Département du Temps, physicien chercheur principal, Bureau international des poids et mesures.

Catherine TURON, astronome, observatoire de Paris.

Christophe SOTIN, professeur, université de Nantes.

José ACHACHE, professeur, ancien directeur du secrétariat du "Group on Earth observation".

Yves DESNOËS, ingénieur général de l'armement, vice-président de l'Académie de marine, 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, géophysicienne, chef de section, observatoire royal de Belgique.

Michel DIAMENT, physicien, Institut de physique du globe de Paris.

Annie SOURIAU-THEVENARD, directrice de recherche émérite au CNRS, observatoire Midi-

Pyrénées.

Alessandro MORBIDELLI, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.

Patrick CHARLOT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Bordeaux .

Terry QUINN, directeur honoraire du BIPM.

Pierre BRIOLE, directeur de recherche au CNRS, École normale supérieure.

Marie-Françoise LAQUENTREC-LALANCETTE, Chef du Bureau géophysique marine au SHOM.

Jean PAILLEUX, ingénieur de la météorologie nationale, Météo-France.

Agnès FIENGA, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

Gilles REVERDIN, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.

Valérie MASSON-DELMOTTE, directeur de recherche au CEA.

Zuheir ALTAMIMI, directeur de recherche á l'IGN.

MEMBRES CORRESPONDANTS HONORAIRES

Gilbert AMAT, professeur honoraire, université de Paris VI.

Jean-Claude PECKER, membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France.

Michel LEFEBVRE, ingénieur honoraire CNES, Groupe de recherches de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées.

Secrétaire administratif : Pascale CHARPENTIER.

CONNAISSANCE DES TEMPS

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, angles) 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.



ISBN 978-2-910015-80-0

imcce



Bureau des Longitudes