

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

# ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE  
DES TEMPS

2 0 1 7

edp sciences

BUREAU DES LONGITUDES

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE  
ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

**ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2017**

CONNAISSANCE DES TEMPS

## AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

### Publications éditées par EDP Sciences

*Annuaire du Bureau des longitudes*. Guide de données astronomiques 2017.

*Agenda astronomique pour 2017*.

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

*Introduction aux éphémérides astronomiques. Supplément explicatif à la Connaissance des Temps* (1997) (réédition en 1998).

*Le Manuel des éclipses*, édition en 2005.

### Publication éditée par Edinautic, Paris

*Éphémérides Nautiques 2017*.

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

*Suppléments à la Connaissance des Temps*.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2013.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2013.

*Le Calendrier Républicain* (réédition en 1994).

*L'astronomie au service de tous* (2009).

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

### Publications éditées par l'Observatoire de Paris

*Promenade dans le système solaire* (CD-ROM).

*Les rendez-vous de Vénus* (CD-ROM).

Rassemblement de 12000 pages fac-similé des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, des récits des voyages d'astronomes à l'occasion des passages de Vénus devant le Soleil.

*Vénus : le 8 juin 2004* (CD-ROM).

Dédié au passage de Vénus sur le disque du Soleil.

© EDP Sciences 2016

ISBN : 978-2-7598-2052-8

Le logiciel ecdt qui accompagne cet ouvrage est téléchargeable à l'adresse suivante :  
[laboutique.edpsciences.fr/produit/951/9782759820528/Ephemerides%20astronomiques%202017](http://laboutique.edpsciences.fr/produit/951/9782759820528/Ephemerides%20astronomiques%202017)

## 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<sup>e</sup> siècle et du siècle suivant sont organisés en Service des calculs au début du XIX<sup>e</sup> 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 théories des mouvements des corps du système solaire sont en développement à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Elles sont introduites progressivement dans nos éphémérides. Ainsi l'édition 2008, avec l'introduction des nouvelles éphémérides de satellites de Mars de Jupiter et d'Uranus, et après celle des nouvelles éphémérides planétaires en 2007, a représenté une étape importante de la rénovation de l'ouvrage que nous avons engagée afin de publier les données les plus précises et de prendre en compte les dernières recommandations des instances internationales.

Rappelons que dans ce but également, des changements ont ainsi été effectués à partir de la *Connaissance des Temps* 2006 :

- Les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2000 et impliquant l'utilisation de la nouvelle théorie de précession-nutation de la Terre, UAI2000, et l'utilisation de l'origine non-tournante sont appliquées. Les valeurs des constantes liées aux nouveaux concepts sont données par les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2009 et 2012.
- La représentation des coordonnées en développements polynomiaux est maintenant abandonnée dans les pages de l'ouvrage, au profit d'une représentation tabulée, mais reste en usage sous forme

de fichiers électroniques accessibles à l'utilisateur.

– Un logiciel d'éphémérides électroniques *eCDT*, téléchargeable à l'adresse  
<http://laboutique.edpsciences.fr/produit/951/9782759820528/Ephemerides%20astronomiques%2017>.

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 339<sup>e</sup> d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.

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

D. Hestroffer

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

V. Lainey, M. Birlan

*Responsables de la publication*

J. Normand

*Responsable du logiciel*

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

## LISTE DES ACRONYMES

AIG	Association internationale de géodésie (voir aussi IAG)
BCRS	Barycentric Celestial Reference System
BEP	Basic Earth Parameters
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie
BRS	Barycentric Reference System
CCDS	Comit consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches godynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRS	Celestial Intermediate Reference System
CNES	Centre national d'études spatiales
DGRS	Dynamical Geocentric Reference System
DORIS	Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite
EOP	Earth Orientation Parameters
ERA	Earth Rotation Angle
ET	Ephemeris Time (voir aussi TE)
FCN	Free Core Nutation
GCRS	Geocentric Celestial Reference System
GMST	Greenwich Mean Sidereal Time
GPS	Global Positioning System
GRS	Geocentric Reference System
GRT	General Relativity Theory
GST	Greenwich Sidereal Time
IAG	International Association of Geodesy (voir aussi AIG)
IAU	International Astronomical Union (voir aussi UAI)
ICRF	International Celestial Reference Frame
ICRS	International Celestial Reference System
IERS	International Earth rotation and Reference systems Service
IGS	International GPS Service
IMCCE	Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides
IRM	International Reference Meridian



ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KGRS	Kinematical Geocentric Reference System
LLR	Lunar Laser Ranging
LOD	Length of Day
MERIT	Monitoring of Earth Rotation and Inter-comparison of Techniques
NRO	Non Rotating Origin (origine non-tournante)
PFCN	Prograde Free Core Nutation
PPN	Paramètres post-newtoniens
PRT	Paramètres de rotation de la Terre
RRT	Repère de référence terrestre
SI	Système international d'unités
SIM	Space Interferometry Mission
SLR	Satellite Laser Ranging
SRT	Système de référence terrestre
TAI	Temps atomique international
TCB	Temps coordonné barycentrique
TCG	Temps coordonné géocentrique
TDB	Temps dynamique barycentrique
TDT	Temps dynamique terrestre
TE	Temps des éphémérides (voir aussi ET)
TEO	Terrestrial Ephemeris Origin
TIO	Terrestrial Intermediate Origin
TIRS	Terrestrial Intermediate Reference System
TT	Temps terrestre
TU	Temps universel (voir aussi UT)
UAI	Union Astronomique Internationale (voir aussi IAU)
UGGI	Union Géodésique et Géophysique Internationale
UT	Universal Time (voir aussi TU)
UTC	Universal Time Coordinated (Temps universel coordonné)
VLBA	Very Long Baseline Array
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

## NOTATIONS

Les notations sont précisées et expliquées dans chacun des chapitres où elles sont introduites. Nous nous sommes efforcés de garder des notations cohérentes sur l'ensemble de l'ouvrage.

Les symboles utilisés suivent en général les recommandations de l'Union Astronomique Internationale, toutefois l'origine des temps J2000.0 est notée J2000.

Pour les unités nous avons utilisé les symboles définis dans la section 2.2 mais aussi les symboles suivants :

cpsd	cycle par jour sidéral
mas	milliseconde de degré ( $10^{-3}''$ )
ms	milliseconde ( $10^{-3}$ s)
$\mu$ as	microseconde de degré ( $10^{-6}''$ )
$\mu$ s	microseconde ( $10^{-6}$ s)
ns	nanoseconde ( $10^{-9}$ s)

D'un point de vue typographique, les vecteurs sont représentés par des caractères gras et les points par des caractères romains.

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

## Les serveurs sur Internet

<http://www.imcce.fr>

<http://www.imcce.eu>

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

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

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

# TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos . . . . .	I. iii
Préface . . . . .	I. v
Liste des acronymes . . . . .	I. vii
Notations . . . . .	I. ix
Les serveurs de l'IMCCE . . . . .	I. x
Table des matières . . . . .	I. xi
<b>PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES . . . . .</b>	<b>I. 1</b>
<b>1. Définitions et données astronomiques . . . . .</b>	<b>I. 3</b>
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
<b>2. Échelles de temps . . . . .</b>	<b>I. 39</b>
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
<b>3. Systèmes de référence . . . . .</b>	<b>I. 63</b>
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

<b>4. Rotation de la Terre</b> . . . . .	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
<b>5. Changements de coordonnées</b> . . . . .	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
<b>6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP</b> . . . . .	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
<b>7. Modèles orbitaux des satellites naturels</b> . . . . .	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
<b>8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i></b> . . . . .	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

<b>DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2017</b> . . . . .	II. 1
<b>Temps sidéral, nutation</b> . . . . .	II. 3
Temps sidéral, nutation en longitude et obliquité . . . . .	II. 4
<b>Angle de rotation de la Terre</b> . . . . .	II. 9
Angle de rotation de la Terre, équation des origines . . . . .	II. 10
<b>Système céleste intermédiaire</b> . . . . .	II. 15
Coordonnées du CIP X et Y, Angle $s$ . . . . .	II. 16
<b>Soleil</b> . . . . .	II. 21
Longitude, latitude, rayon vecteur . . . . .	II. 22
Ascension droite, déclinaison, temps de passage . . . . .	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z) . . . . .	II. 30
<b>Lune</b> . . . . .	II. 35
Ascension droite, déclinaison, distance . . . . .	II. 36
<b>Planètes principales</b> . . . . .	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
<b>Pluton et astéroïdes</b> . . . . .	II. 91
Coordonnées géocentriques . . . . .	II. 92
Pluton . . . . .	II. 92
Cérès . . . . .	II. 93
Pallas . . . . .	II. 94
Junon . . . . .	II. 95

Vesta . . . . .	II. 96
<b>Satellites de Mars</b> . . . . .	II. 97
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations Est . . . . .	II. 98
Phobos . . . . .	II. 98
Déimos . . . . .	II. 106
<b>Satellites de Jupiter</b> . . . . .	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
<b>Satellites de Saturne</b> . . . . .	II. 119
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations . . . . .	II. 120
Mimas . . . . .	II. 120
Encelade . . . . .	II. 126
Téthys . . . . .	II. 130
Dioné . . . . .	II. 133
Rhéa . . . . .	II. 135
Titan . . . . .	II. 136
Hypérion . . . . .	II. 137
Japet . . . . .	II. 137
<b>Satellites d'Uranus</b> . . . . .	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
<b>Calendrier</b> . . . . .	II. 151
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides . . . . .	II. 155
Composition du Bureau des longitudes . . . . .	II. 158

# PREMIÈRE PARTIE

## INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES

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





## CHAPITRE 1

# DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

---

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

### 1.1. INTRODUCTION

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

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

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

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

## 1.2. SYSTÈMES D'UNITÉS

### 1.2.1. Système fondamental

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

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

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

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

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

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

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

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

*Unité de masse : le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme (1<sup>er</sup> CGPM, 1889 et 3<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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  $2 \times 10^{-7}$  newton par mètre de longueur (CIPM, 1946 et 9<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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  $540 \times 10^{12}$  hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est  $1/683$  watt par stéradian (16<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 <sup>(1)</sup>.

### 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

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

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

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

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

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

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

### 1.2.3. Tables de correspondance

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

**Table 1.4.** Correspondance entre les unités de temps.

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

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

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

### 1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

#### 1.3.1. Origine des temps

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

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

#### 1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

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

#### 1.3.3. Système des masses planétaires et données à utiliser pour le calcul des éphémérides

##### *Masses des planètes et des principaux satellites*

La table 1.7 donne les rapports de la masse du Soleil aux masses des planètes principales et de leurs satellites pour le système UAI 2009 et UAI 2012, et les éphémérides DE405/LE405 (Standish, 1998).

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



*Masses des astéroïdes*

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

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

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

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

*Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil*

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

*Champ de gravitation des planètes et de la Lune*

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

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

où  $G$  désigne la constante de la gravitation universelle,  $m$  la masse du corps et  $a$  son rayon équatorial ;  $\lambda$ ,  $\varphi$  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
<b>Constante naturelle</b>		
Vitesse de la lumière, $c$	299 792 458 m s <sup>-1</sup>	
<b>Constantes auxiliaires</b>		
Unité astronomique, ua	149 597 870 700 m	
1-d(TT)/d(TCG), $L_G$	$6.969\,290\,134 \times 10^{-10}$	
1-d(TDB)/d(TCB), $L_B$	$1.550\,519\,768 \times 10^{-8}$	
TDB-TCB à T <sub>0</sub> , TDB <sub>0</sub>	$-6.55 \times 10^{-5}$	
ERA à J2000, $\theta_0$	0.779 057 273 2640 rev.	
Taux de variation ERA, $d\theta/dt$	1.002 737 811 911 354 48 rev. (jour UT1) <sup>-1</sup>	
<b>Constante mesurable</b>		
Constante de la gravitation, $G$	$6.674\,28 \times 10^{-11} \pm 67 \times 10^{-16}$ m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>	
<b>Autres constantes</b>		
Valeur moyenne de 1-d(TCG)/d(TCB), $L_C$	$1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}$	
Constante héliocentrique de la gravitation, GS	$1.327\,124\,420\,99 \times 10^{20} \pm 1 \times 10^{10}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> (TCB) $1.327\,124\,400\,41 \times 10^{20} \pm 1 \times 10^{10}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> (TDB)	
Rayon équatorial de la Terre, $R$		6 378 136.6 ± 0.1 m
Facteur d'ellipticité géopotentiel de la Terre, J <sub>2</sub>		0.001 082 6359 ± 1 × 10 <sup>-10</sup>
Vitesse de changement du facteur d'ellipticité de la Terre, $\dot{J}_2$	$-3.0 \times 10^{-9} \pm 6 \times 10^{-10}$ cycles <sup>-1</sup>	
Constante géocentrique de la gravitation, $GM$	$3.986\,004\,418 \times 10^{14}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> ± 8 × 10 <sup>5</sup> (TCB) $3.986\,004\,415 \times 10^{14}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> ± 8 × 10 <sup>5</sup> (TT) $3.986\,004\,356 \times 10^{14}$ m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> ± 8 × 10 <sup>5</sup> (TDB)	
Potentiel de gravité à la surface du géoïde, $W$		62 636 856.0 ± 0.5 m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
Vitesse angulaire moyenne de rotation de la Terre, $\omega$		7.292 115 × 10 <sup>-5</sup> rad s <sup>-1</sup> (TT)
Obliquité de l'écliptique pour J2000, $\varepsilon_0$	23° 26' 21".406 ± 0".001	23° 26' 21".4059 ± 0".003
Temps de lumière pour l'unité de distance, $\tau_A$	499.004 782 s	499.004 783 8061 ± 2 × 10 <sup>-8</sup> s

**Table 1.6.** (fin).

	UAI 2009/2012	IERS 2003/2010
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, $\mu$	$0.012\,300\,0371 \pm 4 \times 10^{-10}$	$0.012\,300\,0383 \pm 5 \times 10^{-10}$
Masse du Soleil, $GS/G = S$	$1.9884 \times 10^{30}$ 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, $\kappa$	$20''.495\,52$	

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

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

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

		UAI 1976	Jacobson 2001 (a) Jacobson et al. 2006 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	$4.70 \times 10^{-5}$	$4.703 \times 10^{-5}$ (a)
	Europe	$2.56 \times 10^{-5}$	$2.527 \times 10^{-5}$ (a)
	Ganymède	$7.84 \times 10^{-5}$	$7.803 \times 10^{-5}$ (a)
	Callisto	$5.6 \times 10^{-5}$	$5.666 \times 10^{-5}$ (a)
Saturne	Titan	$2.41 \times 10^{-4}$	$2.367 \times 10^{-4}$ (b)
	Titan	$2.41 \times 10^{-4}$	$2.367 \times 10^{-4}$ (b)
Neptune	Triton	$2 \times 10^{-3}$	$2.09 \times 10^{-4}$ (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 <sup>(1)</sup>
Saturne	60 000	60 268 ± 4 <sup>(1)</sup>
Uranus	25 400	25 559 ± 4 <sup>(1)</sup>
Neptune	24 300	24 764 ± 15 <sup>(1)</sup>
Pluton	2 500	1 195 ± 5
Lune	1 738	1 737.4 ± 1
Soleil	696 000	696 000

<sup>(1)</sup> 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) ;	
<b>Vénus</b>			
J <sub>2</sub>		+ 0.000 006	(a)
<b>Terre</b>			
J <sub>2</sub>	+ 0.001 082 63	+ 0.001 082 6355	(b)
J <sub>3</sub>	- 0.000 002 54	- 0.000 002 5324	(b)
J <sub>4</sub>	- 0.000 001 61	- 0.000 001 6199	(b)
<b>Mars</b>			
J <sub>2</sub>	+ 0.001 964	+ 0.001 9566	(c)
J <sub>3</sub>	+ 0.000 036	+ 0.000 0315	(c)
J <sub>4</sub>		- 0.000 0154	(c)
C <sub>22</sub>	- 0.000 055	- 0.000 0546	(c)
S <sub>22</sub>	+ 0.000 031	+ 0.000 0316	(c)
S <sub>31</sub>	+ 0.000 026	+ 0.000 0272	(c)
<b>Jupiter</b>			
J <sub>2</sub>	+ 0.014 75	+ 0.014 7350	(d)
J <sub>3</sub>		+ 0.000 0002	(d)
J <sub>4</sub>	- 0.000 58	- 0.000 5888	(d)
J <sub>6</sub>		+ 0.000 0278	(d)
<b>Saturne</b>			
J <sub>2</sub>	+ 0.016 45	+ 0.016 290.71	(e)
J <sub>4</sub>	- 0.001 0	- 0.000 935.83	(e)
J <sub>6</sub>		+ 0.000 086.14	(e)
<b>Uranus</b>			
J <sub>2</sub>	+ 0.012	+ 0.003 339	(a)
J <sub>4</sub>		- 0.000 032	(a)
<b>Neptune</b>			
J <sub>2</sub>	+ 0.004	+ 0.003 41	(f)
J <sub>4</sub>		- 0.000 03	(f)

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

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

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

## 1.4. DONNÉES CONCERNANT LES CORPS DU SYSTÈME SOLAIRE

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

Nous donnons dans la table 1.12 les éléments orbitaux des planètes principales et de Pluton<sup>(1)</sup> pour les variables  $a$  (demi-grand axe de l'orbite),  $\lambda$  (longitude moyenne),  $k$  ( $e \cos \varpi$ , où  $e$  est l'excentricité de l'orbite et  $\varpi$ , 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  $\Omega$  la longitude du nœud de l'orbite sur l'écliptique) et  $p$  ( $\sin \frac{I}{2} \sin \Omega$ ). Ces éléments sont rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques inertiels (*cf.* 3.3.2) J2000. Ce sont les parties constantes des éléments moyens donnés par Simon et al. (1994) pour les planètes principales et par Simon et al. (2013) pour Pluton ; on peut les considérer comme des valeurs moyennes sur l'intervalle de temps [J2000–6000, J2000+6000] pour les planètes principales et sur [J2000–1000, J2000+1000] pour Pluton.

**Table 1.12.** Éléments orbitaux des planètes et de Pluton rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques J2000.

Planète	$a$ (ua)	$\lambda$ (degrés)	$k$	$h$	$q$	$p$
Mercure	0.387 098 31	252.250 905 52	0.044 660 60	0.200 723 31	0.040 615 63	0.045 635 50
Vénus	0.723 329 82	181.979 800 85	−0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 10	0.028 822 86
Terre	1.000 001 02	100.466 456 83	−0.003 740 82	0.016 284 48	0	0
Mars	1.523 679 34	355.432 999 58	0.085 365 60	−0.037 899 73	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	34.351 518 74	0.046 985 75	0.012 003 88	−0.002 065 60	0.011 183 75
Saturne	9.554 909 19	50.077 444 30	−0.002 959 99	0.055 429 61	−0.008 717 47	0.019 891 48
Uranus	19.218 446 06	314.055 005 11	−0.045 951 32	0.005 637 91	0.001 859 15	0.006 486 17
Neptune	30.110 386 87	304.348 665 48	0.005 999 78	0.006 692 42	−0.010 291 48	0.011 516 84
Pluton	39.544 617 14	238.663 915 15	−0.178 738 96	−0.173 404 72	−0.051 702 31	0.139 779 92

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

**Table 1.14.** Éléments orbitaux des satellites découverts avant 1990.

Nom	N°	$a$ ( $10^3$ km)	$e$	$I$ (degrés)	$P$ (jours)	Découverte	
<b>Terre</b>							
Lune		383.398	0.055 546	5.156 69	( $E$ )	27.3217	
<b>Mars</b>							
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
<b>Jupiter</b>							
Anneaux		122/129					Voyager 1 1979
Métis	XVI	128.0	$\leq 0.005$	0.06	( $e$ )	0.294 779	Voyager 1/2 1979–1980
Adrastéia	XV	129.0	$\leq 0.005$	$\leq 0.1$	( $e$ )	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
<b>Saturne</b>							
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		
<b>Saturne</b>								
Anneau G		170/175			( <sup>1</sup> )	Pioneer 11	1980	
Anneau E		181/483			( <sup>1</sup> )	Feibelman	1967	
Pan	XVIII	133.584	0.0	0.0	( $e$ )	0.5765	Showalter ( <sup>2</sup> )	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
Rhéa	V	527.228	0.0003/0.0016	0.30/0.38	( $e$ )	4.520 275	Cassini	1672
Titan	VI	1 221.936	0.0286/0.0290	0.31/0.49	( $e$ )	15.947 382	Huygens	1655
Hypériorion	VII	1 482.322	0.0736/0.1321	0.36/1.11	( $e$ )	21.309 641	Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.697	0.0270/0.0300	14.70/16.19	( $e$ )	79.369 244	Cassini	1671
Phébé	IX	12 925	0.14/0.19 18	150.0/152.6	( $e^9$ )	548.57	Pickering	1898
<b>Uranus</b>								
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
<b>Neptune</b>								
Anneaux		42/62.9			( <sup>1</sup> )		Hubbard et al.	1986
Naïade	III	48.233	0.000 33	4.75	( $e$ )	0.294 65	Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.069	0.000 16	0.54	( $e$ )	0.311 64	Voyager 2	1989
Despina	V	52.531	0.000 14	0.52	( $e$ )	0.334 90	Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.945	0.000 12	0.53	( $e$ )	0.428 85	Voyager 2	1989

**Table 1.14.** (fin).

Nom	N°	$a$ ( $10^3$ km)	$e$	$I$ (degrés)	$P$ (jours)	Découverte	
<b>Neptune</b>							
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
<b>Pluton</b>							
Charon I		19.57045(44)	0.003484(36)	96.1680(28) ( $e$ )	6.387 206(7)	Christy/Harrington	1978

( $e$ ) Équateur de la planète.

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

(<sup>2</sup>) Analyse d’observations de 1981 de Voyager 2.

(<sup>3</sup>) Équateur céleste J2000.

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

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

(<sup>6</sup>) Équateur céleste J2000. Éléments moyens sur 50 ans.

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

(<sup>8</sup>) 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),  $\omega$  (l’argument de la latitude du périhélie),  $\Omega$  (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)	$\omega$ (degrés)	$\Omega$ (degrés)	$P$ (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
<b>Jupiter</b>										
Thémisto	XVIII	7 398	0.206	45.38	238.86	202.12	130.00	2000	1/04/01	M2000-Y16
Carpo	XLVI	17 056	0.295	55.15	83.28	45.26	455.07	2003	10/06/03	M2003-G67
Euporia	XXXIV	19 456	0.128	145.70	87.45	67.56	554.43	2001	22/11/02	M2003-C53
Jocaste	XXIV	20 424	0.389	150.37	80.01	271.32	596.29	2000	18/10/01	M2001-W07
Thyoné	XXIX	20 770	0.283	148.29	86.28	244.59	611.52	2001	22/11/02	M2002-V06
Mnémé	XL	20 823	0.223	148.51	62.18	19.66	613.88	2003	27/12/03	M2004-B42
Harpalycé	XXII	20 836	0.165	147.31	129.87	39.97	614.45	2000	18/10/01	M2001-U21
Hélicé	XLV	20 923	0.157	156.12	285.54	100.93	618.28	2003	10/06/03	M2003-E29
Euanthé	XXXIII	20 983	0.143	146.03	314.60	268.85	620.96	2001	22/11/02	M2003-A23
Hermippé	XXX	21 048	0.248	149.78	304.58	347.22	623.84	2001	22/11/02	M2002-V06
Orthosia	XXXV	21 263	0.240	141.95	223.56	222.85	633.44	2001	10/06/03	M2003-D36
Praxidicé	XXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Thelxinoé	XLII	21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
Aetna	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Calé	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Callichoré	XLIV	22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	2003	10/06/03	M2003-E29
Taygète	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldéné	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Calycé	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Hersé	L	23 035	0.199	164.16	355.68	329.01	714.23	2003	10/06/03	M2009-S76
Mégaclyté	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
Callirrhé	XVII	23 498	0.206	143.49	56.96	282.84	767.94	1999	1/04/01	M2001-Y16
Cylléné	XLVIII	23 545	0.412	141.01	208.38	258.94	738.07	2003	10/06/03	M2003-G09
Arché	XLIII	23 712	0.149	164.59	190.35	353.53	745.94	2002	14/07/04	M2004-D43
Pasithée	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isoné	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)	$\omega$ (degrés)	$\Omega$ (degrés)	$P$ (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
<b>Jupiter</b>										
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
S/2010 J 1		23 252	0.320	163.22	225.37	322.11	724.34	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2010 J 2		20 253	0.308	150.36	70.76	35.04	588.82	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2011 J 1		22 290	0.250	163.58	111.14	303.17	679.93	2011	14/03/12	CBET3002
S/2011 J 2		23 267	0.387	151.85	322.20	88.66	725.06	2011	14/03/12	CBET3002
<b>Saturne</b>										
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
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Fornjot	XLII	24 484	0.166	167.88	331.86	271.23	1 430.37	2004	14/02/06	M2006-C74

**Table 1.15.** (fin).

Nom	N°	$a$ (10 <sup>3</sup> km)	$e$	$I$ (degrés)	$\omega$ (degrés)	$\Omega$ (degrés)	$P$ (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
<b>Saturne</b>										
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
<b>Uranus</b>										
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
<b>Neptune</b>										
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
<b>Pluton</b>										
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	$m$		$Gm$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-2}$ )	$\rho$ ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ )	$T$ (K)	Albédo	
	(masse solaire)	( $10^{24} \text{ kg}$ )				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	$7.3964 \times 10^{-9}$	0.014 71	$9.816 \times 10^{11}$			0.145	0.3
Pluton	$6.663 \times 10^{-9}$	0.013 25	$8.843 \times 10^{11}$	1.9			

### 1.4.3. Paramètres physiques

On donne dans la table 1.16, les masses au repos  $m$  du Soleil, des planètes et des systèmes formés par les planètes et leurs principaux satellites, ainsi que les quantités  $Gm$ , produits de la constante héliocentrique de la gravitation  $GS$ , par le rapport des masses des planètes ou des systèmes planète-satellites à la masse du Soleil  $m/S$ . Le système de Jupiter est composé de Jupiter et des quatre satellites galiléens ; celui de Saturne, de Saturne et de ses huit principaux satellites ; celui d'Uranus, d'Uranus et de cinq premiers satellites. Les masses des planètes sont évaluées en enlevant à la masse du système planète-satellites, la somme des masses connues des satellites du système (Table 1.18). Les masses sont données dans deux systèmes d'unités : le système astronomique (unité = masse solaire) et le système SI (unité = kg). Ces quantités sont calculées à partir des données des paragraphes 1.3.2 et 1.3.3 et de la table 1.18.

On donne également, pour le Soleil et les planètes principales, une estimation de la masse volumique  $\rho$  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 <sup>(1)</sup>	66 854					69 911	1.409 577	197.166
Saturne <sup>(1)</sup>	54 364					58 232	0.422 04	70.027
Uranus <sup>(1)</sup>	24 973					25 362	0.064 4663	25.223
Neptune <sup>(1)</sup>	24 341					24 622	0.076 05	30.71
Pluton	1 195					1 195		

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

Table 1.18. (fin).

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

**Table 1.19.** Demi-diamètres  $a_s, a_1, a_2, a_3$  ; masse ; masse volumique,  $\rho$  ; 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)	$\rho$ ( $10^3$ kg/m <sup>3</sup> )	$m_v$	Albédo géométrique
<b>Terre</b>							
Lune		1737.4±1	1737.4 - 1737.4 - 1737.4	73.476	3.34	-12.7	0.12
<b>Mars</b>							
Phobos	I	11.1±0.15	13.4 - 11.2 - 9.2	$1.02 \times 10^{-5}$	2.22	11.6	0.06
Déimos	II	6.2±0.18	7.5 - 6.1 - 5.2	$2.25 \times 10^{-6}$	1.8	12.7	0.06
<b>Jupiter</b>							
Métis	XVI	21.5±4	30 - - 20	$9.5 \times 10^{-5}$	2.3	17.5	0.05
Adrastéia	XV	8.2±4	10 - 8 - 7	$1.9 \times 10^{-5}$	8.2	18.9	0.05
Amalthée	V	83.5±3	125 - 73 - 64	$7.2 \times 10^{-3}$	3.0	14.1	0.05
Thébé	XIV	49.3±4	58 - 49 - 42	$7.6 \times 10^{-4}$	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		$5.7 \times 10^{-6}$	11	20	
Himalia	VI	85±10		$9.5 \times 10^{-3}$	3.7	14.8	0.03
Lysithéa	X	12		$7.6 \times 10^{-5}$	10.5	18.4	
Elara	VII	40±10		$7.6 \times 10^{-4}$	2.8	16.8	0.03
Ananké	XII	10		$3.8 \times 10^{-5}$	9.1	18.9	
Carmé	XI	15		$9.5 \times 10^{-5}$	6.7	18.0	
Pasiphaé	VIII	18		$1.9 \times 10^{-4}$	7.8	17.0	
Sinopé	IX	14		$7.6 \times 10^{-5}$	6.6	18.3	
<b>Saturne</b>							
Anneau C				$9.7 \times 10^{-4}$			
Anneau B				$2.4 \times 10^{-2}$			
Anneau A				$6.3 \times 10^{-3}$			
Pan	XVIII	10±3					0.4-0.7
Atlas	XV	16±4	18.5 - 17.2 - 13.5			18	0.4
Prométhée	XVI	50.1±3	74.0 - 50.0 - 34.0			15	0.6
Pandore	XVII	41.9±2	55.0 - 44.0 - 31.0			15.5	0.6
Épiméthée	XI	59.5±3	69.0 - 55.0 - 55.0			15	0.4
Janus	X	88.8±4	97.0 - 95.0 - 77.0			14	0.4
Mimas	I	198.6±0.6	209.1 - 196.2 - 191.4	0.0455	1.4	12.9	0.77
Encelade	II	249.4±0.3	256.3 - 247.3 - 244.6	0.074	1.1	11.7	1.04
Téthys	III	529.8±1.5	535.6 - 528.2 - 525.8	0.674	1.1	10.3	0.8
Télesto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6
Calypso	XIV	9.5±4	15.0 - 8.0 - 8.0			18.5	0.8
Dioné	IV	560±5	560 - 560 - 560	1.052	1.4	10.4	0.55
Hélène	XII	16	17.5 - - -			17	0.5

Table 1.19. (fin).

Nom	N°	$a_s$ (km)	$a_1$ $a_2$ $a_3$ (km)	Masse ( $10^{21}$ kg)	$\rho$ ( $10^3$ kg/m <sup>3</sup> )	$m_v$	Albédo géométrique
<b>Saturne</b>							
Rhée	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
Hypérior	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 <sup>(1)</sup>
Phœbé	IX	110±10	115 - 110 - 105	0.0004	0.07	16.5	0.06
<b>Uranus</b>							
Cordélia	VI	13±2		$1.4 \times 10^{-5}$	1.5	24.2 <sup>(2)</sup>	
Ophélie	VII	15±2		$2.5 \times 10^{-5}$	1.5	23.9 <sup>(2)</sup>	
Bianca	VIII	21±3				23.1 <sup>(2)</sup>	
Cressida	IX	31±4				22.3 <sup>(2)</sup>	
Desdémone	X	27±3				22.5 <sup>(2)</sup>	
Juliette	XI	42±5				21.7 <sup>(2)</sup>	
Portia	XII	54±6				21.1 <sup>(2)</sup>	
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
<b>Neptune</b>							
Naiade	III	29±6		$0.99 \times 10^{-4}$	1.0	24.7	
Thalassa	IV	40±8		$3.2 \times 10^{-4}$	1.2	23.8	
Despina	V	74±10		$2.1 \times 10^{-3}$	1.2	22.6	0.06
Galatée	VI	79±12		$3.7 \times 10^{-3}$	1.8	22.3	0.06
Larissa	VII	96±7	104 - - 89	$4.3 \times 10^{-3}$	1.2	22.0	0.06
Protée	VIII	208±8	218 - 208 - 201	$4.0 \times 10^{-2}$	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
<b>Pluton</b>							
Charon	I	593±13		1.46	1.7	16.8	0.4

<sup>(1)</sup> Côté brillant 0.5 ; côté non brillant 0.07.

<sup>(2)</sup> 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 ( $\theta_0$ ) 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 ( $\theta_0$ ),

$$\begin{aligned}R_0 &= 8.5 \text{ kpc}, \\ \theta_0 &= 220 \text{ km s}^{-1}.\end{aligned}$$

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  $\theta_0$  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  $\alpha$  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  $\beta$  et  $\gamma$  caractérisent la plupart des effets relativistes en astrométrie ;  $1 + \gamma$  caractérise le *retard* et la déflexion de la lumière,  $2 + 2\gamma - \beta$  caractérise le *décalage du péricentre*.

Pour la relativité générale d'Einstein, on a :

$$\begin{cases} \alpha = 0 \\ \beta = \gamma = 1 \end{cases}$$

### 1.5.5. Autres unités

On donne dans ce dernier paragraphe les définitions de quelques unités ne faisant pas partie du Système international mais rencontrées dans la littérature et encore tolérées (Cohen et Taylor, 1986 ; Bureau des longitudes, 1981, 1986).

#### *L'électronvolt*

L'électronvolt (eV) est une unité en usage avec le Système international (en physique atomique) ; sa valeur en unité SI est obtenue expérimentalement. Un électronvolt est l'énergie cinétique acquise par un électron en subissant une différence de potentiel de 1 V dans le vide :

$$1 \text{ eV} = 1.602 177 33 \times 10^{-19} \text{ J approximativement.}$$

*L'angström*

L'angström (Å) est encore utilisé en spectroscopie et en microscopie. On a :

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

*Le gauss*

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

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

*Le gamma*

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

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

*L'atmosphère*

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

*L'inch*

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

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

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

*Le jansky*

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

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



## 1.6. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

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

- Tyler, G.L., Eshleman, V.R., et al. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- Tyler, G.L., Balmino, G., et al. : 2003, USA\_NASA\_JPL\_MORS\_1021, (<http://pds-geosciences.wustl.edu/geodata/mgsmr55sdpv1/mors.1021>).
- UAI : 1966, Proceedings of the XIIth general assembly, Hambourg 1964, *Trans. IAU XII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1977, Proceedings of the XVIth general assembly, Grenoble 1976, *Trans. IAU XVI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1982, Proceedings of the XVIIIth general assembly, Patras 1982, *Trans. IAU XVIII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1985, Proceedings of the XIXth general assembly, Delhi 1985, *Trans. IAU XIX B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1992, Proceedings of the XXIst general assembly, Buenos Aires 1991, *Trans. IAU XXI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 2000, Proceedings of the XXIVst general assembly, Manchester 2000, *Trans. IAU XXIV B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.*, **297**, 588.
- Will, C. M. : 2006, The Confrontation between General Relativity and Experiment, (<http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2006-3/>).
- Young, L.A., Olkin, C.B., et al. : 1994, The Charon-Pluto mass ratio from MKO astrometry, *Icarus* **108**, 186.
- Yuan, D-N., Sjongren, W.L. et al. 2001, Gravity Field of Mars : A 75<sup>th</sup> 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  $\gamma$ ) 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  $\tau$  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  $\tau$ . Or  $\tau$  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  $1 \times 10^{-14}$ , atteignant même avec les horloges à fontaine à atomes froids (Allemagne, États-Unis, France) des valeurs de  $1 \times 10^{-15}$ . Ces nouvelles

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

#### 2.4.2. Réalisation du Temps atomique international

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

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

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

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

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

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

### 2.4.3. Uniformité du TAI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.5.1. Définition et propriétés

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

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

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

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

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

$$|\text{UT1} - \text{UTC}| \leq 0.9 \text{ seconde.}$$

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

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

### 2.5.2. Le futur de l'UTC

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

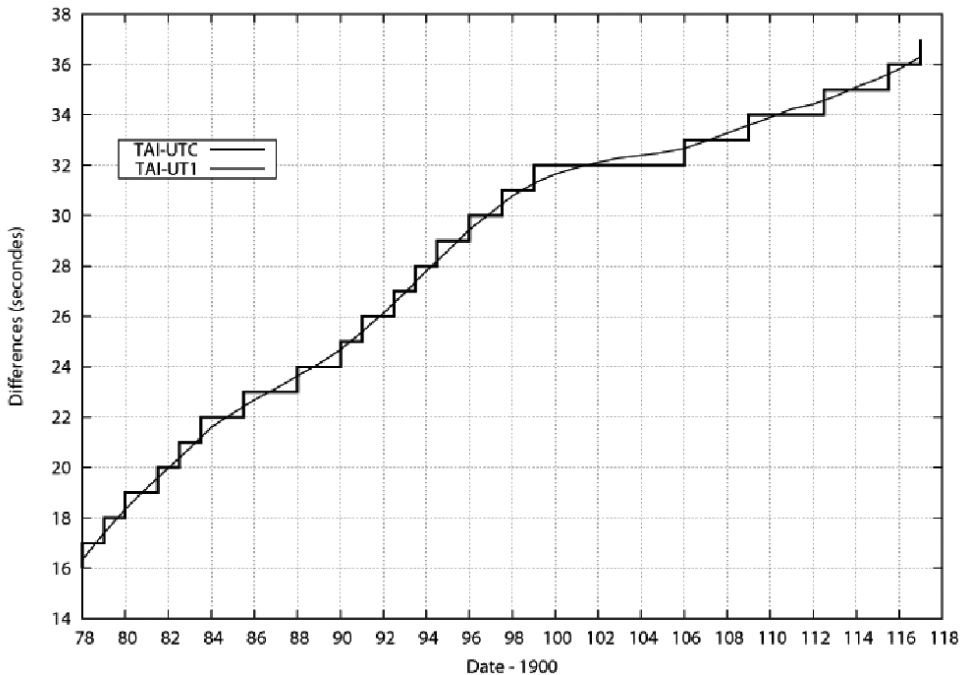
Cependant l'idée de remplacer l'UTC actuel par une échelle continue sans relation à long terme avec le temps solaire moyen ne fait pas l'unanimité, bien que la tendance soit vers une suppression des sauts de seconde avec un décalage de plusieurs années entre la décision et sa mise en œuvre. En France,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

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

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

**Table 2.2.** Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2016 (selon l'IERS).

Date début	Date fin	TAI – UTC	Date début	Date fin	TAI – UTC
1/01/1972	1/07/1972	10 s	1/01/1988	1/01/1990	24 s
1/07/1972	1/01/1973	11 s	1/01/1990	1/01/1991	25 s
1/01/1973	1/01/1974	12 s	1/01/1991	1/07/1992	26 s
1/01/1974	1/01/1975	13 s	1/07/1992	1/07/1993	27 s
1/01/1975	1/01/1976	14 s	1/07/1993	1/07/1994	28 s
1/01/1976	1/01/1977	15 s	1/07/1994	1/01/1996	29 s
1/01/1977	1/01/1978	16 s	1/01/1996	1/07/1997	30 s
1/01/1978	1/01/1979	17 s	1/07/1997	1/01/1999	31 s
1/01/1979	1/01/1980	18 s	1/01/1999	1/01/2006	32 s
1/01/1980	1/07/1981	19 s	1/01/2006	1/01/2009	33 s
1/07/1981	1/07/1982	20 s	1/01/2009	1/07/2012	34 s
1/07/1982	1/07/1983	21 s	1/07/2012	1/07/2015	35 s
1/07/1983	1/07/1985	22 s	1/07/2015	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 2016.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



solution unique. Avec une précision typique de  $0''.5$  sur la détermination de la longitude du Soleil, on obtiendrait une incertitude de 12s 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  $\delta_{ki}$  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  $x^\alpha$  ; 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  $\tau$  de l'horloge sur sa ligne d'Univers. Le TAI d'un autre côté est construit pour être une coordonnée de repérage temporel mais ne coïncide pas avec le  $x^0/c$  de la métrique ci-dessus. Le raccordement entre les échelles TCB, TCG et le TAI est examiné dans la section suivante.

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

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

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

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

où

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

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

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

qui conduit par intégration à l'équation suivante :

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

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

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

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

$$\left\langle \frac{dT_{CG}}{dT_{CB}} \right\rangle = 1 - L_C,$$

avec

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

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

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

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

### 2.7.2. Les échelles TT et TDB

L'échelle de *Temps terrestre* (TT) est l'échelle de temps utilisée pour les éphémérides géocentriques apparentes. Le TCG est une échelle de temps-coordonnée rattachée au géocentre, sans lien ni théorique ni pratique avec le TAI. Pour pallier ce défaut, on a souhaité définir une échelle idéale très proche du temps propre sur le géoïde et donc réalisable par des horloges locales. Son unité devait être la seconde SI sur le géoïde et l'échelle devait être en continuité avec le TE. À la date du 1 janvier 1977 à 0 h TAI, TT a pour valeur 1 janvier 1977, 0 h 0 min 32.184 s. L'échelle TT est une échelle de temps idéale dont la réalisation pratique est liée au TAI. On peut donc écrire :

$$\text{TT} = \text{TE} = \text{TAI} + 32.184 \text{ s.}$$

Entre 1976 et 1991, l'échelle TT avait été introduite sous le nom de *Temps dynamique terrestre* (TDT). Le mot *dynamique* n'était pas heureux, car cette échelle, tout en étant idéalement identique au Temps des éphémérides, n'est en aucun cas associée à la théorie du mouvement d'un corps du système solaire. Ce n'est donc pas un temps dynamique. Par ailleurs on avait tendance à confondre le TDT avec le temps propre au centre de masse de la Terre, alors qu'il est beaucoup plus proche d'un temps propre à la surface de la Terre. En revanche le temps-coordonnée TCG, peut être considéré comme étant le temps propre d'une horloge idéale placée au centre de masse de la Terre.

La différence entre les deux échelles est pour l'essentiel due au potentiel terrestre à sa surface (potentiel pris nul au centre de masse de la Terre). On peut écrire,

$$\frac{d\text{TT}}{d\text{TCG}} = 1 - L_G \approx 1 - \frac{W_0}{c^2}$$

où  $W_0$  est le potentiel gravitationnel de la Terre à sa surface. Avec  $L_G \sim W_0/c^2 \sim GM_{\oplus}/R_{\oplus}c^2 = 6.95 \times 10^{-10}$ . Pour exprimer la relation complète entre TT et TCG il faut prendre également

en compte le potentiel du géoïde tournant, ainsi que les potentiels de marées des autres corps du système solaire. La valeur du potentiel terrestre à sa surface est une quantité qui dépend des modèles de géoïde et est sujette à révision. Pour éviter des changements possibles provenant de nouvelles réalisations du géoïde, l'UAI a introduit en 2000 (UAI, 2001),

$$L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10}$$

comme nouvelle constante de définition. L'échelle TT ainsi définie n'a pas de dérive par rapport au TAI qui en est une réalisation pratique.

Comme on l'a vu dans le paragraphe 2.7.1, le TCB varie par rapport au TCG, et également par rapport au TT puisque les constantes  $L_C$  et  $L_G$  ne se compensent pas. On définit alors l'échelle TDB, proche du TCB, qui ne diffère du TT que par des termes périodiques, ces termes étant précisément ceux trouvés dans la relation TCB-TCG. C'est l'échelle de temps employée à l'heure actuelle pour les éphémérides du système solaire de l'IMCCE/Bureau des Longitudes (Moisson et Bretagnon, 2001; Fienga et Simon, 2004). Pour les éphémérides numériques du JPL, on se reportera à Standish (1998). Vis à vis du TCB cette échelle se comporte en moyenne comme TT. On a,

$$dTDB/dTCB = 1 - L_B$$

où  $L_B$  a, depuis la résolution B3 de l'UAI en 2006, le statut de constante de définition (UAI, 2006)

$$L_B = 1.550\,519\,768 \times 10^{-8}$$

et

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

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

Avec cette définition on conserve,

$$TDB = TT + P$$

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

### 2.7.3. Relations entre les échelles de temps

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

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

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

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

## 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.

$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (rad)	Période (années)	$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (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).

$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (rad)	Période (années)	$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (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	0.843 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).

$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (rad)	Période (années)	$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (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).

$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (rad)	Période (années)	$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (rad)	Période (années)
289	0	0.000 432	2 042.657 1092	6.003 8292	0.31	337	0	0.000 268	-22 685.823 8553	0.069 4338	0.03
290	0	0.000 430	1 351.787 0106	0.685 8275	0.46	338	0	0.000 268	614.801 0770	5.152 6663	1.02
291	0	0.000 426	605.554 9661	4.274 4765	1.04	339	0	0.000 267	1 044.027 4293	4.730 1085	0.60
292	0	0.000 416	-747.752 2860	1.082 3563	0.84	340	0	0.000 265	16 728.376 1587	4.369 3024	0.04
293	0	0.000 399	1.497 7854	2.094 4419	419.50	341	0	0.000 264	6 656.748 5864	4.601 1012	0.09
294	0	0.000 389	1.725 2277	1.395 7532	364.19	342	0	0.000 264	1 887.552 5870	1.417 2634	0.33
295	0	0.000 387	1 045.450 1387	2.541 1826	0.60	343	0	0.000 262	83.896 9288	1.327 7203	7.49
296	0	0.000 384	1 193.336 7961	5.827 7815	0.53	344	0	0.000 260	81.355 0284	2.389 4389	7.72
297	0	0.000 383	2 195.415 7609	3.747 3764	0.29	345	0	0.000 256	-364.635 0377	0.506 3648	1.72
298	0	0.000 374	1 799.603 1168	3.388 7165	0.35	346	0	0.000 250	1 649.636 1396	0.898 7698	0.38
299	0	0.000 368	-575.690 8003	0.731 3743	1.09	347	0	0.000 240	1 248.988 5629	5.684 5490	0.50
300	0	0.000 363	-64.087 7607	5.071 8210	9.80	348	0	0.000 236	211.876 3860	1.733 5788	2.97
301	0	0.000 362	2 908.881 1416	3.215 9770	0.22	349	0	0.000 234	586.752 3359	5.575 2091	1.07
302	0	0.000 362	-453.505 9437	1.583 8496	1.39	350	0	0.000 234	511.348 7599	1.716 0907	1.23
303	0	0.000 352	574.986 1767	3.020 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).

$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (rad)	Période (années)	$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (rad/siècle)	$\psi_i^\alpha$ (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).

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



## CHAPITRE 3

### SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

---

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

#### 3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

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

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

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

### 3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

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

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

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

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



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

### 3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

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

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

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

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

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

$\hat{P}(u)$  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'Einstein<sup>1</sup>. 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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec l'équation du temps relativiste

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

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

Cette transformation a été utilisée par Brumberg et Simon (2003) pour exprimer les arguments des théories lunaires et planétaires du BRS vers le GRS et pour obtenir les termes relativistes principaux dus à la Lune et au Soleil, dans la théorie SMART de la rotation de la Terre. Comme le montre l'équation (3.2.3), la transformation courante ITRS↔GCRS est une rotation triaxiale newtonienne des axes spatiaux de ces systèmes ( $y^i$  et  $w^i$  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).

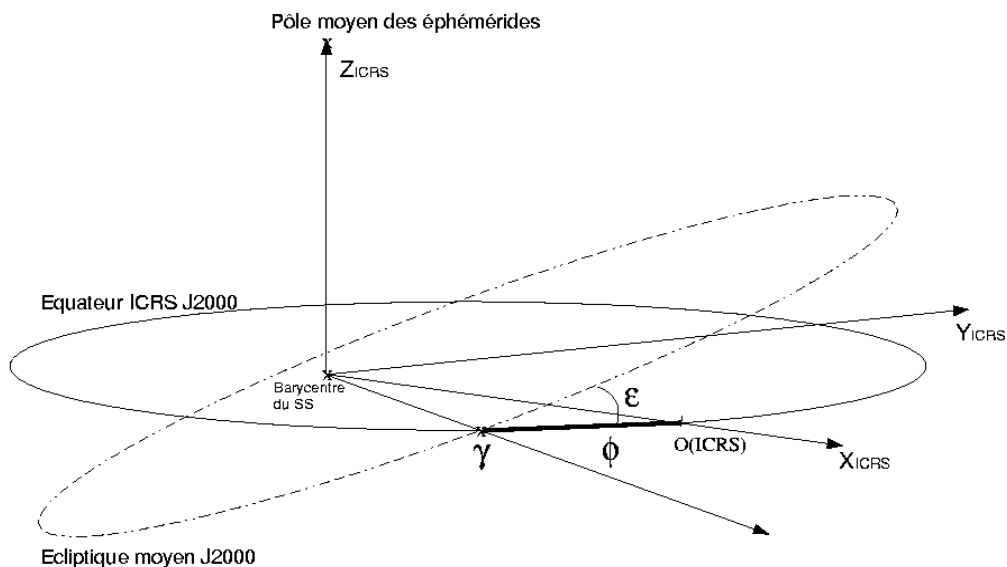
### 3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

#### 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  $\gamma$  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  $\alpha(\text{ICRS})$  sur la figure 3.3.1. Sur cette figure est aussi indiqué l'angle  $\varepsilon$  d'inclinaison entre le plan écliptique moyen J2000 et le plan équatorial de l'ICRS.

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

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

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

### 3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

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

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

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

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

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

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

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

### 3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

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

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

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

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

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

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

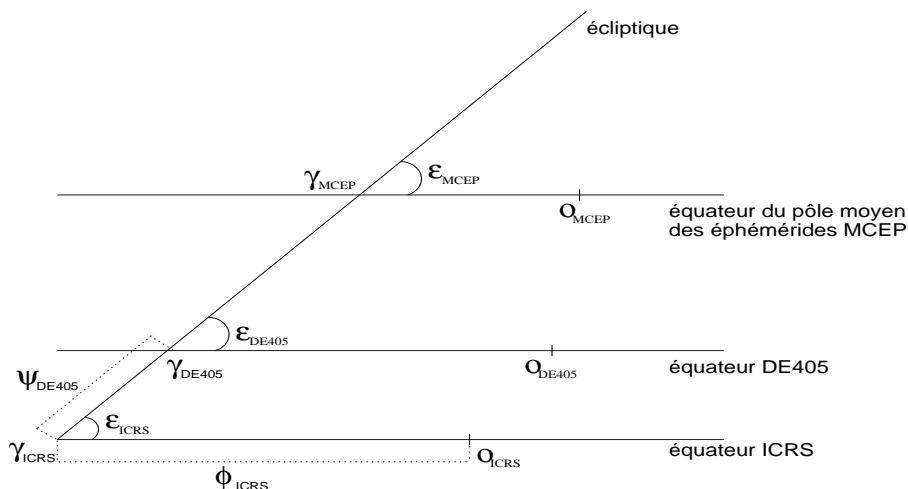
$$(+0.3 - 0.2T, -0.3 + 0.1T, +3.2 - 0.9T) \text{ mas}$$

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

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

### 3.3.3.2. *Éphémérides semi-analytiques de la Lune*

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



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

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

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

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

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

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

En suivant la méthode indiquée et en utilisant les dénominations suivantes illustrées sur la figure 3.3.2 :  $\epsilon$  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),  $\phi$  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  $\psi$  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  $\epsilon$  et  $\phi$  que sur les figures 3.3.1 et 3.3.2. On trouvera les valeurs ainsi déterminées dans la table 3.3.2.

### 3.3.4. Conclusion

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

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

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

#### 3.4.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique

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

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

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

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

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

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

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

### 3.4.2. Les recommandations de l'UAI

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



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

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

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

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

### 3.4.3. Définition de l'ICRS

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

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

Le plan principal de l'ICRS a été défini par le plan de l'équateur donné par les modèles conventionnels UAI (1976) et UAI (1980) de la précession et de la nutation (Lieske et al., 1977 ; Seidelmann, 1982). Des analyses (Souchay et al., 1995 ; Charlot et al., 1995) ont montré que le pôle de l'ICRS est déplacé par rapport au pôle moyen en J2000 de moins de 20 mas. Ceci indique que l'équateur moyen en J2000 et le plan principal de l'ICRS sont en accord. Afin de suivre les recommandations de l'UAI, la direction du pôle céleste de l'ICRS doit être aussi proche que possible de celle du système FK5. On estime que l'incertitude de la direction du pôle moyen J2000 du FK5 est de  $\pm 50$  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  $78 \pm 10$  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  $\pm 1$  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  $\pm 0.35$  mas en ascension droite et  $\pm 0.40$  mas en déclinaison. L'analyse VLBI appliquée au calcul des coordonnées des sources de l'ICRF a donné des positions dans un système très proche de l'ICRS. La partie finale de l'établissement du repère conventionnel est son alignement à l'ICRS. Pour effectuer cet alignement on a utilisé un modèle basé sur celui qui a été développé à l'IERS pour la comparaison de catalogues VLBI (Arias et al., 1988). L'analyse de l'orientation du système quand on considère des ensembles différents de sources radio indique que les axes de l'ICRS sont stables au niveau de 0.020 mas.

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

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

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

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

### 3.4.8. Futur de l'ICRS

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

## 3.5. LE SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE TERRESTRE ITRS

### 3.5.1. Introduction

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

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

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

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

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

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

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

### 3.5.2. Concepts et définitions des systèmes de référence terrestres

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

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

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

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

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

$\lambda$  est l'unité de longueur des vecteurs origine de la base exprimée en mètres (SI) et  $\delta_{ij}$  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,  $\lambda$  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  $10^{-5}$  <sup>(1)</sup>) :

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

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 :

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

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

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

### 3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.5.3.2. Réalisation par combinaison de repères de référence individuels

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

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

La combinaison consiste en l'estimation :

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

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

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

## 3.5.4. Le Système International de Référence Terrestre ITRS

### 3.5.4.1. Historique

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

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

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

#### 3.5.4.2. Définition de l'ITRF

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

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

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

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

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

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

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

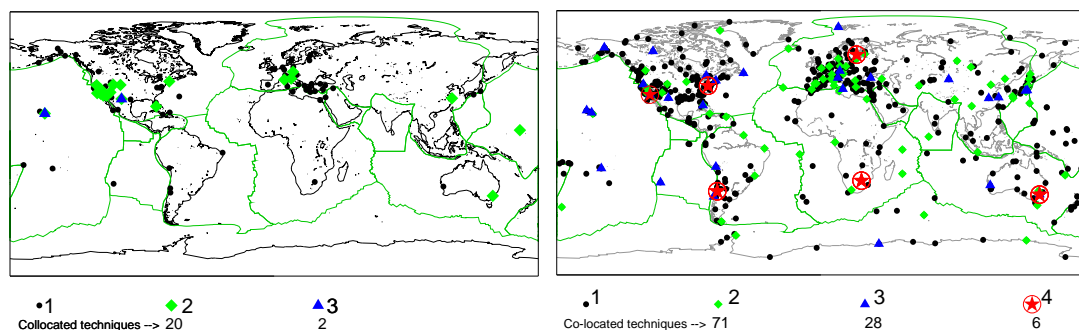


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

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

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

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

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

### 3.5.5. L'ITRF2005

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.6.1. Introduction

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

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

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

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

### 3.6.2. Expression générale de la transformation

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

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

$$[TRS] = W(t) R(t) C(t) [CRS], \quad (3.6.1)$$

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  $\theta$ , et UT1 est celle donnée par Capitaine et al. (2000) :

$$\theta(UT1) = 2\pi (0.779\,057\,273\,2640 + 1.002\,737\,811\,911\,35448 \times (t - 2\,451\,545.0)), \quad (3.6.3)$$

où  $t$  est la date julienne en UT1.

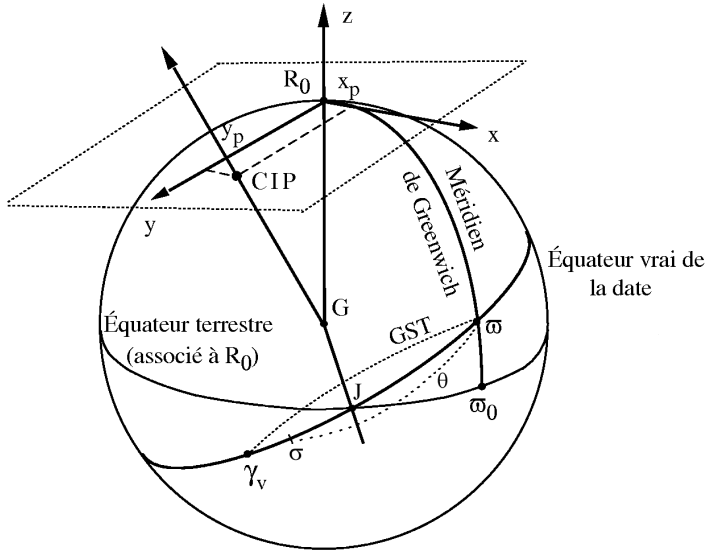
L'IERS est chargé d'implanter cette résolution depuis le 1 janvier 2003 tout en continuant à fournir aux utilisateurs les données et les algorithmes pour la transformation conventionnelle.

### 3.6.4. Les paramètres d'orientation de la Terre

#### 3.6.4.1. Définition des paramètres à utiliser

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





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

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

Le Temps universel UT1, le temps sidéral à Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time) et l'ERA  $\theta$ , 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  $\gamma$  (expression classique) ou l'ERA,  $\theta$ , angle horaire de l'origine non-tournante (expression nouvelle). GST se rapporte à une direction qui subit la précession et la nutation, tandis que  $\theta$  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  $\Delta\text{UT1}$  du paramètre UT1, telles que :  $\Delta\text{UT1} = (1/k) \int_0^t m_3 dt$ ,  $k$  étant le facteur de proportionnalité entre  $\theta$  et UT1. Elles s'obtiennent par la détermination de  $\text{UT1} - \text{TAI}$  à partir d'observations.

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

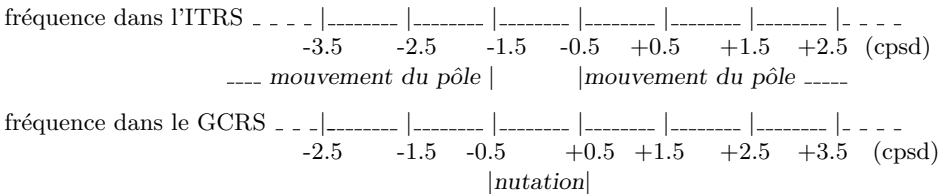
utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en  $R_0$ .  $\varpi_0$  est l'origine des longitudes,  $\varpi$  est l'intersection du méridien origine avec l'équateur vrai de la date,  $\sigma$  est le CIO sur l'équateur de la date,  $\gamma_v$  est l'équinoxe vrai de la date et J, le nœud de l'équateur de la date sur l'équateur terrestre. L'ERA est l'angle  $\theta = \varpi\sigma$  et GST est l'angle  $\varpi\gamma_v$ .

### 3.6.4.2. Définition du CIP

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

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

Cette définition est résumée par le schéma suivant :



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

### 3.6.4.3. Bases de la nouvelle définition du Temps universel UT1

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

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

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

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

- UT1 doit être proportionnel à la rotation sidérale de la Terre.
- Le coefficient de proportionnalité doit être tel que UT1 reste en moyenne en phase avec l'alternance des jours et des nuits.
- La phase de UT1 doit être fixée de telle sorte qu'il soit approximativement 12 h UT1 en moyenne lorsque le Soleil passe par le méridien origine.
- La relation linéaire entre l'ERA  $\theta$  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.

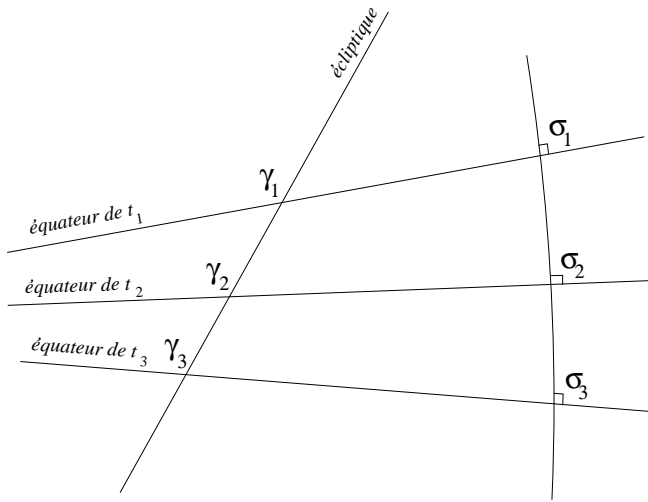
#### 3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

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  $\gamma_0$  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  $\gamma_t$ , un point  $\sigma$  tel que le trièdre  $(GP, G_\sigma)$  n'ait, à aucun moment, de composante de rotation autour de  $GP$  par rapport à  $(P_0)$ . Ce point  $\sigma$  est le CIO, origine non-tournante dans le GCRS (Guinot, 1979).

Une telle définition implique que la rotation instantanée de  $\sigma$  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  $\sigma$  comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date  $\gamma_v$ .

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

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

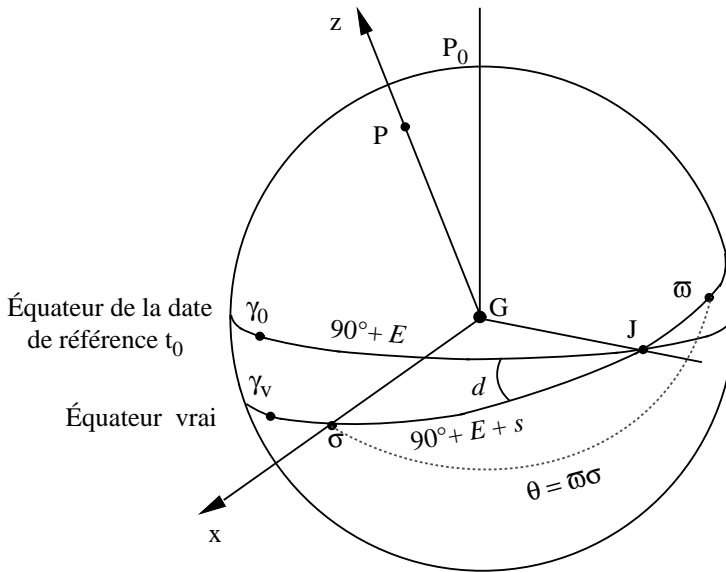
Ou bien, à des termes en  $d^4$  près :

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

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

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

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



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

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

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

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

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

$\omega_3$  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  $\theta$ , au niveau de la microseconde de degré, par la relation suivante (Aoki & Kinoshita, 1983 ; Capitaine & Gontier, 1993) :

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

$\psi_A$ ,  $\omega_A$  et  $\chi_A$  étant les quantités de précession de Lieske et al. (1977) définies en 4.2.1,  $\Delta\psi_1$ ,  $\Delta\epsilon_1$ , les angles de nutation en longitude et obliquité rapportés à l'écliptique de l'époque et  $\Delta\psi$  la nutation en longitude rapportée à l'écliptique de la date.

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

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

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

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

Toute transformation entre les 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  $90^\circ$  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,  $\theta$ , permet d'écrire :

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

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

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

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

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

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

### 3.6.5.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où  $t$  est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay  $l, l', F, D, \Omega$ ), 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 ( $\xi_0, \eta_0$  pour le CIP et  $d\alpha_0$  pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 3.1. Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de  $10^{-4}''$  sur les



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

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

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

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

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

#### 3.6.6.1. Expression des matrices de rotation

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

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

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

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

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

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

Dans (3.6.22)  $\varepsilon_A$ ,  $z_A$ ,  $\theta_A$  et  $\zeta_A$  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	$(a_{s,0})_i$	$(a_{c,0})_i$	$l$	$l'$	$F$	$D$	$\Omega$	$L_{Me}$	$L_{Ve}$	$L_E$	$L_{Ma}$	$L_J$	$L_{Sa}$	$L_U$	$L_{Ne}$	$p_A$
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	$(a_{s,1})_i$	$(a_{c,1})_i$	$l$	$l'$	$F$	$D$	$\Omega$	$L_{Me}$	$L_{Ve}$	$L_E$	$L_{Ma}$	$L_J$	$L_{Sa}$	$L_U$	$L_{Ne}$	$p_A$
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	$(b_{s,0})_i$	$(b_{c,0})_i$	$l$	$l'$	$F$	$D$	$\Omega$	$L_{Me}$	$L_{Ve}$	$L_E$	$L_{Ma}$	$L_J$	$L_{Sa}$	$L_U$	$L_{Ne}$	$p_A$
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	$(b_{s,1})_i$	$(b_{c,1})_i$	$l$	$l'$	$F$	$D$	$\Omega$	$L_{Me}$	$L_{Ve}$	$L_E$	$L_{Ma}$	$L_J$	$L_{Sa}$	$L_U$	$L_{Ne}$	$p_A$
963	153041.82	878.89	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
964	11714.49	-289.32	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
965	2024.68	-50.99	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																

3.6.6.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

Les deux derniers termes de (3.6.23) sont des termes complémentaires à ajouter à l'expression classique de l'équation des équinoxes,  $\Delta\psi \cos \epsilon_A$ , de façon à assurer l'équivalence avec la relation entre GST et  $\theta$  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  $\xi_0$  et  $\eta_0$  et la valeur  $d\alpha_0 = -0.0146''$  obtenue par Chapront et al. (2002) à partir d'observations LLR.

Les valeurs des quantités  $\epsilon_A$ ,  $\psi_A$ ,  $\omega_A$  et  $\chi_A$  sont données dans la table 4.2.1.

### 3.6.6.3. Comparaison avec l'expression 1982 de GMST

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

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

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

Ou bien, de façon équivalente :

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

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

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

**3.7. BIBLIOGRAPHIE**

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

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

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

Paris.

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

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



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

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

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

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

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

## CHAPITRE 4

### ROTATION DE LA TERRE

---

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

#### 4.1. INTRODUCTION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES ET OBSERVATIONS

##### 4.1.1. Introduction

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

L'observation astrométrique des corps célestes (par exemple de la Lune, des étoiles, etc.) depuis le sol s'effectue à partir de stations dont les coordonnées sont mesurées dans un repère de référence

terrestre. Les positions et mouvements des corps observés sont décrits dans un repère de référence céleste. L'orientation relative de ces deux repères au cours du temps varie suivant la rotation de la Terre, sans toutefois donner l'orientation de l'axe instantané de rotation. L'introduction d'un pôle céleste intermédiaire restant voisin de l'axe de rotation instantané et de l'axe de figure, le CIP (Celestial Intermediate Pole) permet la séparation entre variations lentes et rapides des angles d'orientation de la Terre, c'est-à-dire entre les changements d'orientation de l'axe de figure (mouvements dont les périodes s'étalent de quelques jours à plusieurs milliers d'années) et la rotation diurne. Les techniques d'observations astrométriques et géodésiques actuelles comme l'interférométrie radio à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry), les systèmes de navigation globaux par satellites (GNSS, Global Navigation Satellite System), le tir laser sur satellites (SLR, Satellite Laser Ranging) ou sur la Lune (LLR, Lunar Laser Ranging) ou encore les déterminations d'orbites de satellites par décalage Doppler (DORIS) permettent de déterminer la direction de l'axe du pôle intermédiaire à quelques dixièmes de millisecondes de degré près. Si les mouvements périodiques de l'axe du pôle intermédiaire dans le repère céleste, résultant essentiellement des forces de marées exercées par les corps du système solaire et connus sous le nom de *précession-nutation*, sont modélisés avec une précision de quelques dixièmes de millisecondes de degré, les techniques d'observations permettent de déterminer les écarts entre le pôle intermédiaire observé et le pôle intermédiaire modélisé. Elles permettent également de mesurer le vecteur joignant le pôle nord géographique au pôle intermédiaire, vecteur usuellement rapporté au repère terrestre et que l'on nomme *mouvement du pôle*.

Ce chapitre introduit les notions de base concernant la description astrométrique et dynamique de la rotation de la Terre.

#### 4.1.2. Les composantes de la rotation terrestre

##### 4.1.2.1. Précession-nutation

L'orientation de l'axe de figure de la Terre dans l'espace subit des variations sous l'effet du couple gravitationnel externe sur la forme de la Terre et, dans une moindre mesure, sous l'effet des couches fluides à la surface du globe (charge, courants, marées) et de la rotation du noyau liquide. L'axe de figure décrit ainsi dans un repère céleste un cône d'ouverture  $23^{\circ}26'$  en un peu moins de 26 000 ans ; c'est la précession, due à l'action du couple luni-solaire sur le bourrelet équatorial de la Terre. Dès l'antiquité les observations d'Hipparque mirent en évidence ce phénomène. En 1532, Copernic l'impute à une variation d'orientation de l'axe de la Terre. Il faudra attendre Newton pour en avoir une explication physique, en 1687.

Des oscillations plus rapides et de plus faible amplitude, causées par les variations périodiques du couple externe, constituent la nutation. La nutation principale est de période 18.6 ans et d'amplitude 17 secondes de degré. Elle fut observée par Bradley en 1748 et l'année suivante, d'Alembert en donne l'explication avec la première théorie analytique de la précession-nutation pour une Terre rigide.

#### 4.1.2.2. Mouvement du pôle

En 1765, Euler montre que si l'axe d'inertie (ou axe de figure) et l'axe de rotation d'un corps ne sont pas confondus, alors l'axe de rotation décrit un cône autour de l'axe d'inertie. Ce mouvement est appelé mouvement libre. Euler calcule que l'axe de rotation de la Terre, alors considérée comme indéformable, doit présenter un tel mouvement avec une période de 305 jours. En cumulant les observations de latitude apparente des stations d'observation, Küstner annonce, en 1884, l'existence de variations annuelles dans l'orientation de l'axe terrestre. Chandler, en 1891, découvre que ces variations apparemment annuelles se scindent en fait en une oscillation annuelle et une autre oscillation de période quatorze mois. Cette dernière oscillation, dite *oscillation de Chandler* dont l'amplitude est voisine de 150 millisecondes de degré (mas), est bien le mouvement libre prédit par Euler plus d'un siècle auparavant. Sa période est voisine de 433 jours et l'allongement par rapport aux 305 jours prédits par Euler s'explique par l'élasticité du manteau terrestre, la présence d'un noyau fluide et celle des océans (l'effet centrifuge, en élevant le niveau des eaux près de l'équateur, modifie le moment d'inertie global de la Terre). Ce mouvement libre est normalement amorti en quelques dizaines d'années par friction. Le mécanisme d'entretien de ce mouvement, toujours observé de nos jours, mobilise encore la communauté géophysique. Il a été montré récemment que l'excitation du mouvement Chandler est d'origine atmosphérique et océanique.

Outre cette oscillation libre, le mouvement du pôle comprend d'autres termes. Un terme annuel d'environ 100 mas est dû principalement à l'excitation atmosphérique. Pour concrétiser les idées, 100 mas correspondent à 3 mètres sur l'équateur terrestre. Une dérive du pôle de rotation est aussi observée (4 mas par an) dans la direction du Canada ; elle est imputée au rebond postglaciaire (déformation lente de la croûte terrestre due à la fonte des calottes glaciaires polaires).

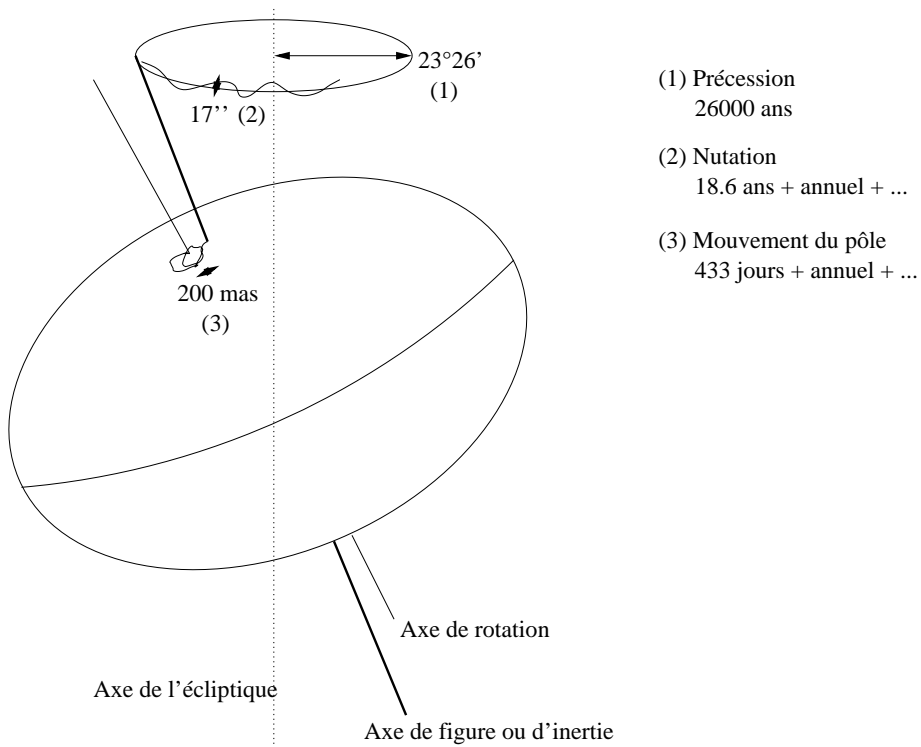
La figure 4.1 illustre la précession-nutation et le mouvement du pôle.

#### 4.1.2.3. Vitesse de rotation et longueur du jour

La vitesse de rotation de la Terre autour de son axe n'est pas constante. Elle fluctue, avec des écarts atteignant  $10^{-8}$  en valeur relative, autour d'une valeur moyenne conventionnelle  $\Omega_0 = 7.292\,115 \times 10^{-5}$  rad/s.

Associée à cette vitesse de rotation, la durée du jour (LOD, Length of Day) fluctue également par rapport à sa valeur nominale de 86 400 s. Ces variations sont principalement attribuées :

- 1) à un couplage électromagnétique entre le noyau et le manteau qui produit un effet décennal dont l'amplitude est de l'ordre de 5 ms ;
- 2) aux marées zonales, variations de l'ellipticité de la Terre, qui produisent des effets dont l'amplitude maximale est de 0.4 ms pour le terme en 13.66 jours ;
- 3) aux déplacements des masses atmosphériques qui produisent des effets d'amplitude 0.3 ms sur une période annuelle et 0.2 ms sur une période semi-annuelle.



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

### 4.1.3. Dynamique de la rotation de la Terre

#### 4.1.3.1. Les équations

La dynamique d'un corps en rotation est décrite par l'équation reliant, dans un repère inertiel, la variation du moment cinétique  $\mathbf{H}$  de ce corps, au moment  $\mathbf{\Gamma}$  des forces qui lui sont appliquées :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} = \mathbf{\Gamma}. \quad (4.1.1)$$

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 :

$$\boldsymbol{\omega} = \Omega_0 \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ 1 + m_3 \end{pmatrix}, \quad (4.1.2)$$

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 m<sup>2</sup> et  $C = 8.037 \times 10^{37}$  kg m<sup>2</sup> sont les moments d'inertie principaux moyens de la Terre et les  $c_{ij}$  de petits incréments d'inertie dus aux déformations ou aux anomalies de masse.

En explicitant l'équation (4.1.1) dans le repère terrestre (repère tournant) :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} = \boldsymbol{\Gamma}, \quad (4.1.5)$$

les composantes de ces vecteurs diffèrent alors de celles dans l'équation (4.1.1) qui était écrite dans le repère céleste. En limitant le calcul au premier ordre en  $m_i$  et  $c_{ij}$  et en adoptant les notations complexes  $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$ ,  $\tilde{\Gamma} \equiv \Gamma_1 + i\Gamma_2$ ,  $\tilde{h} \equiv h_1 + ih_2$  et  $\tilde{c} \equiv c_{13} + ic_{23}$ , on obtient les équations de Liouville linéarisées :

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

où  $e = (C - A)/A$  est l'appâtissement dynamique de la Terre, et  $e\Omega_0$  n'est autre que la fréquence d'Euler, correspondant à une période de 305 jours. Ces équations donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre en fonction d'une excitation qui apparaît sous la forme d'un moment de force extérieur ( $\Gamma_i$ ) 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  $\chi_3$  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  $\psi$  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,  $\theta$  est l'inclinaison entre l'équateur et l'écliptique (comptée à partir de l'équateur), et  $\phi$  est la longitude écliptique de l'origine du repère terrestre. Ces deux angles sont reliés aux angles de nutation classiques  $\psi$  et  $\epsilon$  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  $\Psi$  et  $\theta$ . 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  $A_D$ .  $\varepsilon_0$ , angle entre  $E_F$  et  $A_F$ , est l'obliquité de l'écliptique pour l'époque de référence.

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

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

On note :

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

### 4.2.2. Modèles de précession

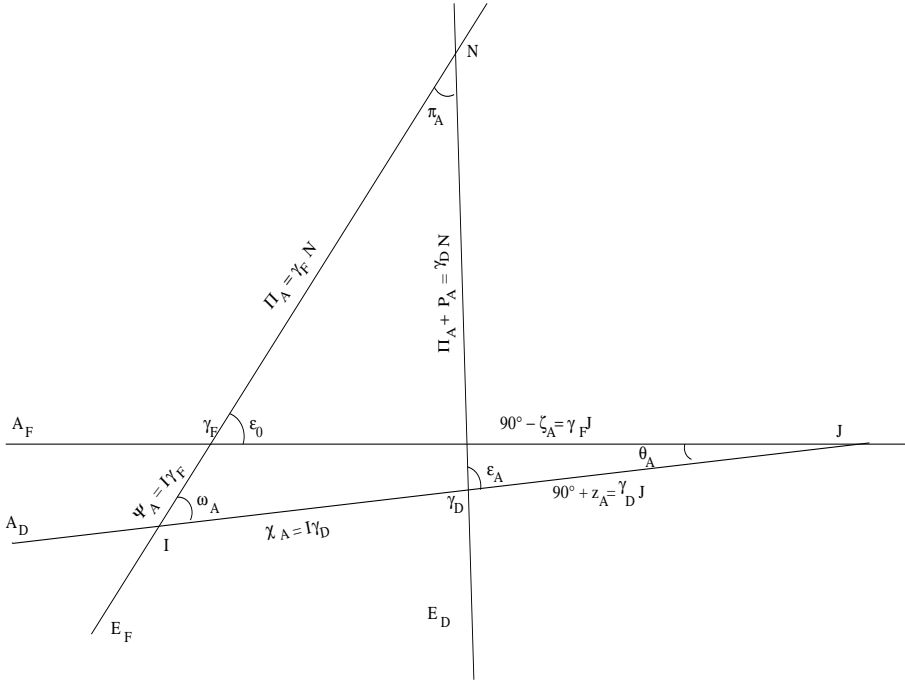
La résolution B1.6 adoptée à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2001) recommande de remplacer, à partir du 1 janvier 2003, le modèle UAI 1980 de la nutation par le modèle de la nutation UAI 2000A (ou sa version réduite UAI 2000B). UAI 2000A est issu du modèle MHB2000, basé sur la fonction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

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

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

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





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

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

Les conventions 2000 de l’IERS recommandent d’associer les expressions de Lieske et al. (1977) avec des valeurs numériques améliorées des termes proportionnels au temps pour les angles  $\Pi_A$  et  $\omega_A$  et avec la valeur UAI 1976 de l’obliquité  $\epsilon_0$ . Ces corrections sont :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les expressions de la précession sont calculées de la manière suivante. Les valeurs de  $\frac{d\psi_A}{dt}$  et  $\mathcal{P}_1$  utilisées sont celles données par les formules (4.2.4) et (4.2.5). La valeur de  $\varepsilon_0$  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  $\pi_A$ ,  $\Pi_A$ ,  $P_A$ ,  $Q_A$  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.

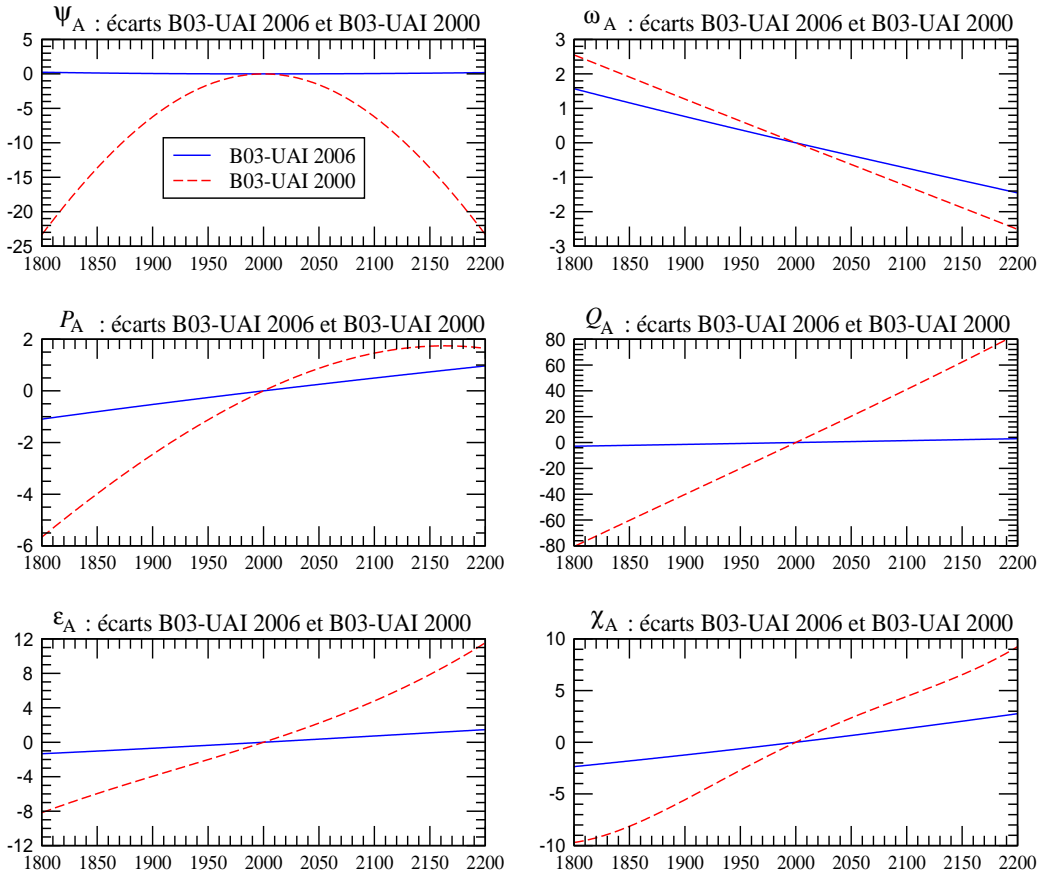
Les quantités liées à la précession de l'équateur  $\psi$  et  $\omega$  sont les séries de Poisson données par SMART97. À partir de  $\pi_A$ ,  $\Pi_A$ ,  $\psi$  et  $\omega$  on peut calculer toutes les autres quantités de la précession (Bretagnon et al., 1997). Finalement les variables  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $\mathcal{P}$ ,  $\varepsilon$  et  $\chi$  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  $\psi_A$ . 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.** Écart entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables  $\psi_A$ ,  $\omega_A$ ,  $P_A$ ,  $Q_A$ ,  $\varepsilon_A$  et  $\chi_A$ . 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  $\varepsilon_0$  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  $\varepsilon_0$ . 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  $\psi_A$ ,  $\omega_A$ ,  $P_A$ ,  $Q_A$ ,  $\varepsilon_A$  et  $\chi_A$ . Elles ont été tracées en supposant que le terme en  $t$  de  $\psi_A$  et le terme constant de  $\varepsilon_A$  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  $\psi_A$  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  $\psi_A$  et 80 mas pour  $Q_A$ .

#### 4.2.3. Dérivées des quantités de précession par rapport aux constantes $\mathcal{P}_1$ et $\varepsilon_0$

À partir des formules de Simon et al. (1994), nous pouvons calculer les corrections  $\Delta X$  des quantités de précession  $X$  dues à d'éventuelles améliorations  $\Delta \mathcal{P}_1$  et  $\Delta \varepsilon_0$  de  $\mathcal{P}_1$  et  $\varepsilon_0$ . 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	$\pi_A$		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	$\Pi_A$	629 554.982 629 543.988 629 546.7936	- 8698.089 - 8679.218 - 8679.5758	3.536 15.342 15.7992	0.005 - 0.037 - 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	$\varepsilon_A$	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	$\omega_A$	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 <sup>(1)</sup> UAI 2006	$\psi_A$		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	$\chi_A$		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

<sup>(1)</sup> 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	$\theta_A$		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	$\zeta_A$		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  $\Omega_0$  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  $\nu$  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  $\Omega$ ,  $\Omega_f$ ,  $\Omega_s$  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 ( $\mu\text{s}$ ). 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  $\mu$ 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  $\sigma$  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  $\kappa, \gamma, \xi$ , et  $\beta$  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  $\tilde{m}$ ;  $\xi$  et  $\beta$  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  $\sigma$  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  $4 \times 4$ . 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  $\sigma$  (dans l'approximation linéarisée des équations de moments de force). L'estimation de cette amplitude est faite pour chaque fréquence  $\nu$  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  $s_\alpha$  sont des compromis entre les fréquences propres des quatre oscillations libres. On trouvera des valeurs numériques et des résultats détaillés dans Mathews et al. (2002), ainsi que des discussions approfondies concernant les implications géophysiques des valeurs obtenues par ajustement aux observations de nombreux paramètres de la Terre. Les résonances associées à la nutation libre du noyau (FCN, Free Core Nutation et PFCN, Prograde Free Core Nutation) influencent fortement un grand nombre de termes de nutation forcés pour les fréquences proches

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

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

#### 4.3.7. Fréquences des nutations et mouvement du pôle

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

## 4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

### 4.4.1. Introduction

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

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

### 4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

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

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



#### 4.4.2.1. *Mouvement du pôle ou polhodie*

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

##### *Le terme de Chandler*

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

##### *Les variations saisonnières*

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

##### *Mouvement séculaire*

L'étude des variations à long terme du mouvement du pôle montre l'existence d'un terme séculaire d'environ 4 mas par an (12 cm par an sur la Terre) dans la direction  $70.7^\circ$  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.

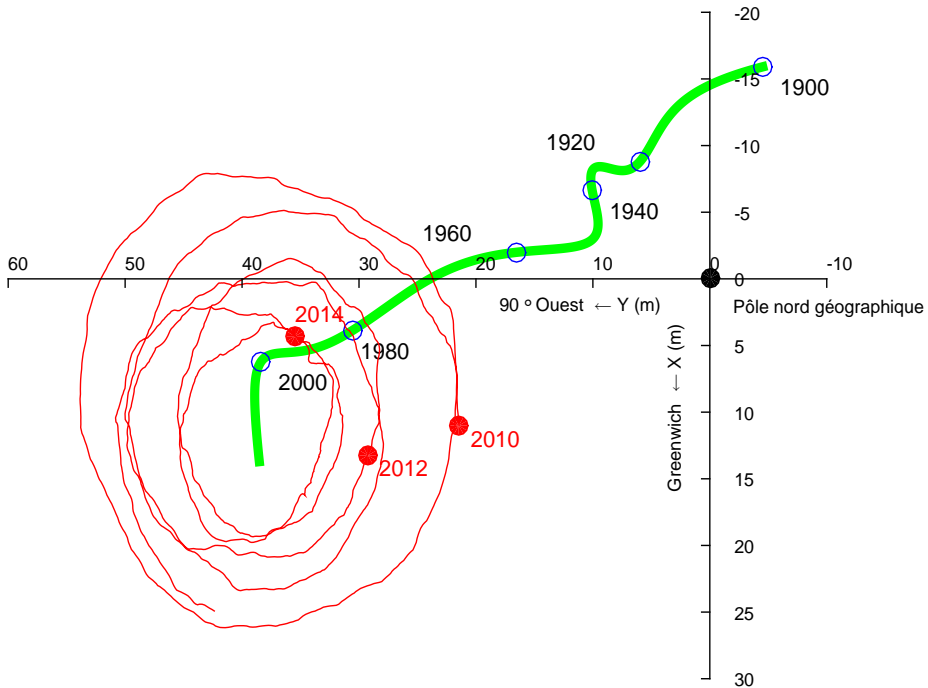
#### 4.4.2.2. UT1

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  $\pm 0.1$  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  $\Delta LOD$ . 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  $\Omega$  est en picoradians/s et  $\Delta LOD$  en millisecondes (ms).

UT1 et par suite  $\Delta LOD$  et  $\Omega$ , 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  $\Omega R$  sont les valeurs de UT1,  $\Delta LOD$ , et  $\Omega$  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  $90^\circ$  ouest.

#### 4.4.2.3. Excès $\Delta LOD$ de la durée du jour sur les 86400s

En l'état actuel de nos connaissances et en dehors des effets de marée dus aux actions de la Lune et du Soleil, les variations de la durée du jour peuvent être séparées en plusieurs composantes :

1) Le ralentissement séculaire. L'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil produit le phénomène de marée dont le frottement entraîne une dissipation d'énergie. Cela donne lieu à un ralentissement séculaire de la rotation terrestre. En se basant sur des mesures anciennes et modernes, on peut estimer que l'accroissement régulier dans la longueur du jour qui en résulte est de l'ordre de 2 ms par siècle. Si l'on considère que ce ralentissement existe depuis les temps géologiques, on peut estimer que la rotation terrestre se faisait en 22 heures, il y a cent millions d'années. Il faut ajouter à ce terme séculaire des variations périodiques produites par les marées dues aux couples gravitationnels de la Lune et du Soleil. Les principales périodes sont de 18.6 ans, 1 an, 6 mois, 27.56 et 13.66 jours avec une amplitude globale de l'ordre d'une milliseconde dans la durée du jour.

2) Des variations irrégulières décennales dont l'amplitude est de l'ordre de 3 à 4 millisecondes oscillant sur des périodes comprises entre 20 et 60 ans. Leurs origines sont d'ordre géophysique

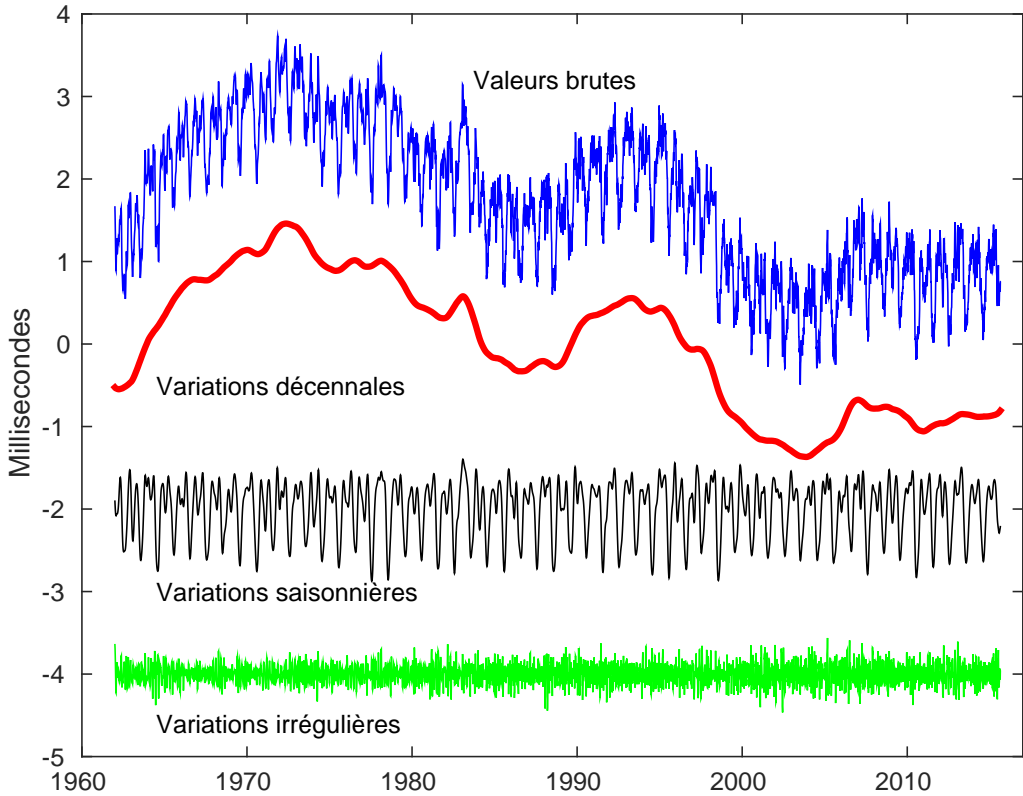
interne et sont généralement attribuées au couplage entre le noyau et le manteau terrestres et partiellement aux phénomènes océano-atmosphériques à grande échelle, de type El Nino. La vitesse de rotation de la Terre est connue avec une bonne précision depuis les années 1970. Auparavant on disposait de mesures issues des observations d'astrométrie optique classique pour lesquelles la précision était un peu moins bonne. Ce sont les phénomènes d'occultations d'étoiles par la Lune qui fournissent les mesures antérieures. Les éclipses anciennes peuvent également apporter des informations sur les variations à long terme de la vitesse de rotation. Cependant la précision qu'elles donnent est médiocre.

3) Des variations saisonnières, principalement annuelle et semi-annuelle et également inter-annuelles dues essentiellement à la circulation atmosphérique. Si l'on considère la Terre solide et l'atmosphère comme un tout, l'une des lois fondamentales de la mécanique d'un système isolé postule la conservation du moment cinétique global de l'ensemble de la Terre solide et de son atmosphère. Une variation du moment cinétique de l'atmosphère entraînera donc une variation opposée du moment cinétique de la Terre. Un vent d'ouest violent aura pour conséquence un ralentissement de la Terre, faible mais détectable par les techniques actuelles. À ces fluctuations il faut aussi ajouter la contribution de la circulation océanique et celle du cycle hydrologique sur les continents (pluies, neiges), mais dont la participation au bilan global, quoique mesurable est négligeable (moins de 5%).

4) Des variations irrégulières ayant principalement pour origine des phénomènes rapides atmosphériques et océaniques. En outre, les forces externes appliquées au système climatique dans la haute atmosphère, principalement dues au vent solaire et aux autres forces électromagnétiques, ont dans ce contexte une faible influence. Elles peuvent de ce fait être négligées. Ceci laisse alors libre place à l'important problème géophysique constitué par la détermination et l'étude des effets internes. La figure 4.5 représente le filtrage de l'excès de la durée du jour sous forme de termes décennaux, saisonniers et irréguliers.

#### 4.4.2.4. Pôle céleste et écarts au pôle céleste ( $\delta\Delta\psi_{2000}$ , $\delta\Delta\epsilon_{2000}$ )

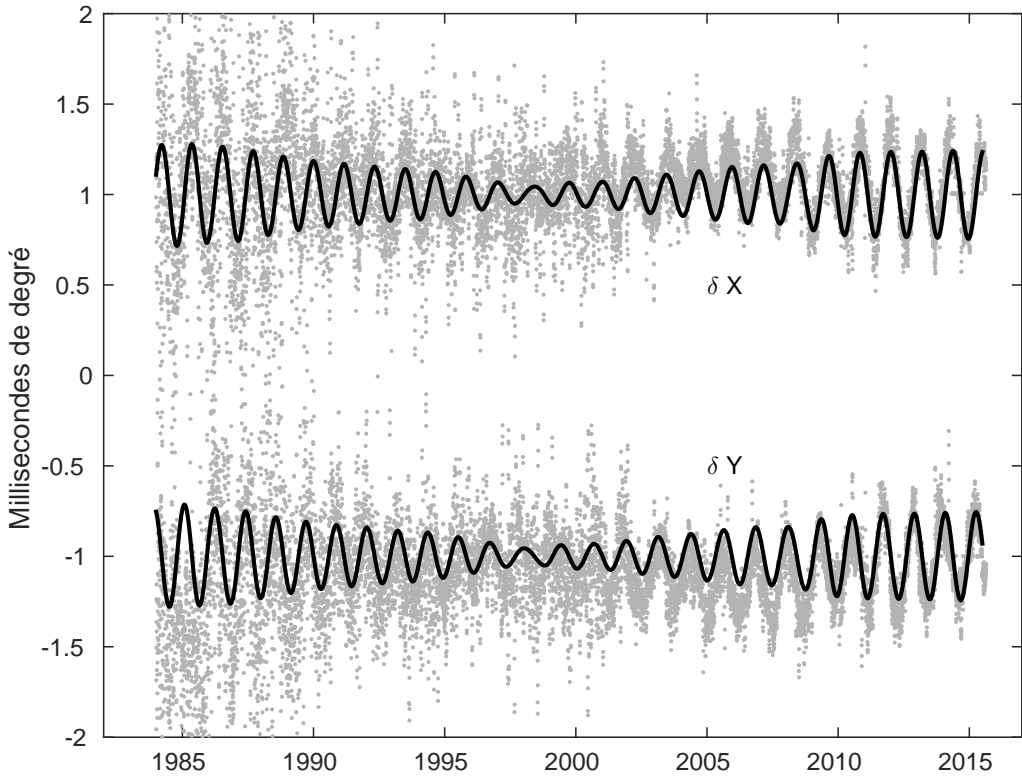
La précession-nutation se réfère au CIP, qui ne contient par définition, que des termes dont la période dans le repère céleste est supérieure à 2 jours. Elle comporte une partie séculaire et des termes périodiques (principalement de période 18.6 ans, 1 an, 0.5 an et 14 jours). Les oscillations résiduelles sont attribuées à la nutation libre de la Terre. L'IERS ne fournit pas directement les coefficients de la précession-nutation mais les écarts  $\delta X$  et  $\delta Y$  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  $\delta X$  et  $\delta Y$  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  $\Delta LOD$ , 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<sup>er</sup> janvier 1958. Les instabilités de TAI sont environ  $10^6$  fois plus faibles que celles de  $UT1$ . UTC a été défini par la recommandation 460-4 de l'International Radio Consultative Committee (1986). Cependant TAI et le temps universel  $UT1$  s'écartent au fil des années à cause du choix de la seconde du TAI, un peu trop courte par rapport à la seconde définie astronomiquement et aussi à cause des fantaisies de la rotation de la Terre. À l'allongement d'environ 2 millisecondes par siècle dû aux marées s'ajoutent des variations saisonnières ou imprévisibles se mesurant aussi en millisecondes. Pour diverses applications, notamment pour la navigation spatiale, on a voulu garder une relation entre le temps de la physique et la rotation de la Terre dans le repère céleste. On a donc défini une nouvelle échelle de temps, le *temps universel coordonné* (UTC, Universal Time Coordinated) calqué sur le TAI mais comprenant une correction de quelques secondes qui l'astreint à rester proche de  $UT1$  et tel que  $|UT1 - UTC| < 0,9$  s. Lorsque la différence risque



**Fig. 4.6.** Écarts  $\delta X$  et  $\delta Y$  du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

de dépasser 1 seconde on introduit dans UTC une seconde intercalaire appelée de manière impropre *saut de seconde* (leap second). Selon cette dernière condition, la décision, ou la non-décision, d'introduire un saut de seconde dans UTC relève de l'IERS et est annoncée dans le Bulletin C six mois à l'avance. Selon les recommandations du CCIR, les dates d'application préférentielles sont un 31 décembre ou un 30 juin de l'année. L'application est mise en œuvre par les autorités nationales responsables de la diffusion du temps. L'organisme français concerné est le Bureau national de métrologie (BNM/SYRTE, sis à l'observatoire de Paris). La dernière seconde intercalaire fut introduite le 1<sup>er</sup> juillet 2015 à 0h UTC, soit à 1 heure temps légal en France.

Cette définition de UTC comprenant des secondes intercalaires intermittentes s'est révélée satisfaisante pour toutes les communautés scientifiques à l'exception de celles travaillant dans des domaines liés aux télécommunications et à la navigation spatiale (notamment par GPS) qui ont proposé récemment une révision de la définition de UTC afin de disposer d'une échelle de temps continue exempte de sauts de seconde. Depuis 2001 des discussions ont lieu au niveau international. Elles n'ont cependant pas débouché sur un accord. On incite plutôt les communautés qui ont besoin d'une échelle de temps continue à utiliser TAI ou directement un temps lié à l'échelle GPS, voire l'échelle de temps produite par le futur système Galileo.

### 4.4.3. Les techniques d'observation

Deux types de méthodes sont actuellement utilisées pour déterminer les EOP : les méthodes géométriques et les méthodes dynamiques.

#### 4.4.3.1. Les méthodes géométriques

On observe les directions d'étoiles par astrométrie optique ou de radiosources extragalactiques par interférométrie. L'astronomie optique comporte de sérieuses limitations du fait de la réfraction atmosphérique qui est difficilement modélisable. Cette technique observationnelle n'est actuellement plus utilisée pour les études concernant la rotation terrestre et les détermination de repères de référence. La technique VLBI consiste à observer simultanément en ondes radio une même source extragalactique (quasar ou noyau de galaxie) à l'aide de deux radiotélescopes distants de plusieurs milliers de kilomètres. Les signaux sont enregistrés indépendamment sur des bandes magnétiques et datés de manière très précise par des horloges atomiques ou des masers à hydrogène. Ils sont ensuite corrélés dans un centre spécialisé appelé corrélateur. On peut par la suite en déduire très précisément le décalage entre les heures d'arrivée du signal aux deux radiotélescopes. L'analyse de ce retard géométrique après corrections de divers effets atmosphériques (troposphère, ionosphère) donne accès aux coordonnées des radiosources dans un repère céleste, aux positions des radiotélescopes dans un repère terrestre, mais aussi aux paramètres d'orientation de la Terre. Pour déterminer ces paramètres il faut mener des programmes d'observation s'étendant sur plusieurs heures.

#### 4.4.3.2. Les méthodes dynamiques

Ces méthodes reposent sur l'observation de la Lune par télémétrie laser (LLR) ou sur celle de satellites artificiels de la Terre par diverses techniques. Le repère de référence céleste est fourni par l'éphéméride du satellite. À partir des observations, on peut déterminer les termes donnant l'orientation terrestre ainsi que les positions de stations dans un repère géocentrique tournant lié à la Terre. Le LLR s'est développé depuis 1971. Ces mesures représentent le temps aller-retour d'une impulsion laser réfléchi sur les cataphotes déposés à la surface lunaire par les missions soviétiques et américaines dans les années 1960–1970. La technique étant difficile à mettre en œuvre, il n'y a actuellement que deux stations au monde en fonctionnement opérationnel : celle de l'université du Texas et celle du CERGA de l'observatoire de la Côte d'Azur près de Grasse. La télémétrie laser des satellites repose sur le même principe général, mais dans ce cas les cibles sont des satellites conçus spécialement pour cette technique. Elle s'est essentiellement développée après le lancement du satellite français Starlette en 1975 et celui du satellite américain Lageos en 1976. Ces satellites et leurs successeurs ont des caractéristiques qui leur permettent d'être bien adaptés pour les études liées à la géodynamique. La précision atteinte sur la mesure de distance entre le satellite et la station est actuellement de quelques millimètres. Les stations d'observation sont bien réparties sur le globe avec toutefois un surnombre en Europe et dans l'Amérique du Nord.

Le système GPS conçu par l'armée américaine pour ses besoins propres de positionnement et de navigation, remplace le système de navigation Transit, reposant sur l'effet Doppler et opérationnel

jusque dans les années 1980. Actuellement ce système consiste en une constellation d'une vingtaine de satellites d'orbites quasi-circulaires gravitant à 26500 km, de période de révolution de 12h et se trouvant dans six plans inclinés à  $55^\circ$  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 ( $\mu s$ ) pour UT1, ce qui correspond à moins d'un centimètre sur la Terre. Cependant l'exactitude n'égale pas la précision interne des solutions individuelles qui sont respectivement de 100 mas et  $5 \mu s$ , à cause des erreurs de propagation dans la réalisation des deux repères de référence céleste et terrestre. On trouvera plus de détails sur les combinaisons et l'analyse des EOP dans Gambis (2004). Des méthodes rigoureuses, reposant sur une détermination globale simultanée des repères de référence et des paramètres de la rotation de la Terre, sont actuellement en développement (Anderson, 1995 ; Yaya, 2002 ; Altamimi et al., 2004). Elles permettront une meilleure compréhension de ce problème.

##### *Remarque sur les termes précision et exactitude*

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



#### 4.5. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

## CHAPITRE 5

### CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

---

J.-L. SIMON (5.1 – 5.3)<sup>1</sup>, 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  $(\psi, \phi, r)$  dans le même système d'axes. Par définition :

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

où m est la projection de M sur le plan  $(Ox, Oy)$ . Sauf mention spéciale, le sens positif pour  $\psi$  est le sens direct défini par l'axe Oz ;  $\phi$  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 ;  $\psi$  et  $\phi$  seront appelés les coordonnées polaires de la direction OM.

---

<sup>1</sup> 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  $\pi$ , 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*  $\phi$ , 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  $0^\circ$  à  $180^\circ$  est ou ouest. Dans cet ouvrage, les longitudes sont comptées de  $-180^\circ$  à  $180^\circ$  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  $\delta$ , d'une direction OM pour un lieu donné, sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan équatorial vrai de la date et à la direction origine O $\zeta$ , intersection de ce plan et du méridien du lieu (Fig. 5.2). L'angle horaire est compté positivement dans le sens rétrograde.

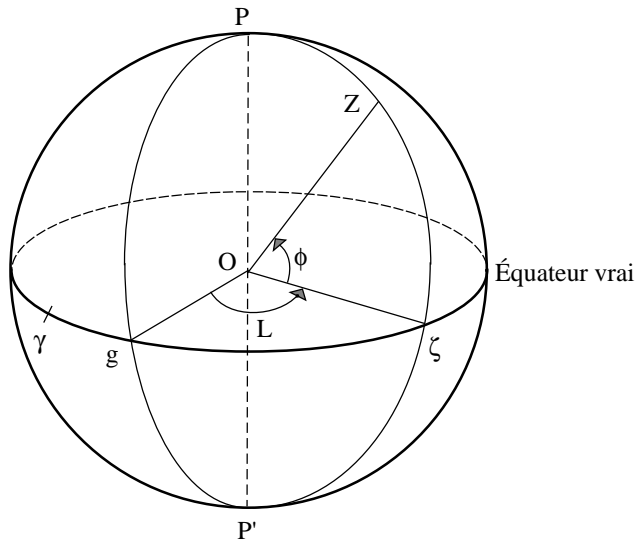


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

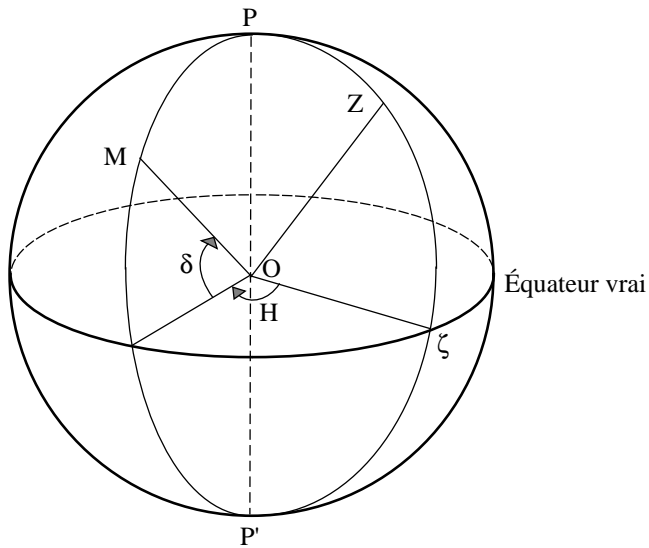


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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

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

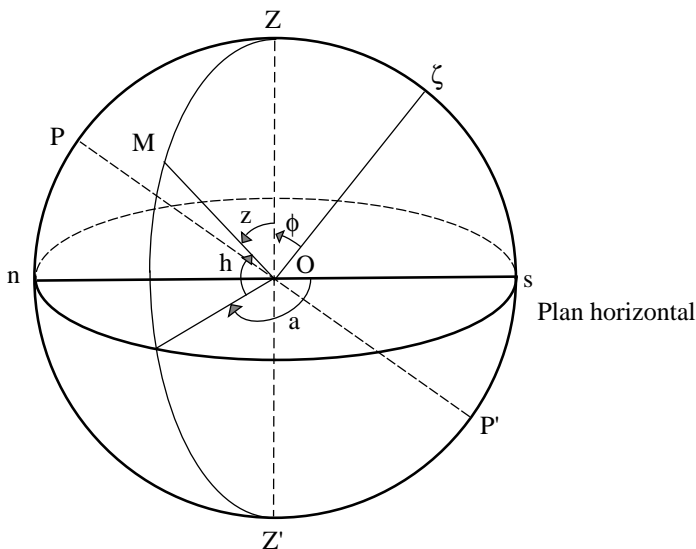
les longitudes  $L$  et  $L'$  des deux lieux étant comptées positivement vers l'ouest. Pour un lieu de



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

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

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



**Fig. 5.3.** Coordonnées horizontales.

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

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

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

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

**Table 5.1.** Les coordonnées célestes usuelles.

Coordonnées	Plan de référence	Origine	Direction de Oz	Coordonnées polaires
écliptiques moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	écliptique moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle nord de l'écliptique	longitude $\lambda$ sens positif = sens direct latitude $\beta$ $-90^\circ < \beta < 90^\circ$
écliptiques moyennes de la date	écliptique moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
écliptiques vraies	écliptique moyen de la date	équinoxe vrai de la date		
équatoriales moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	équateur céleste moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle céleste nord	ascension droite $\alpha$ sens positif = sens direct déclinaison $\delta$ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
équatoriales moyennes de la date	équateur céleste moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
équatoriales vraies	équateur céleste vrai de la date	équinoxe vrai de la date		
horaires d'un lieu	équateur céleste vrai de la date	intersection du méridien du lieu et du plan de référence	pôle céleste nord	angle horaire $H$ sens positif = sens rétrograde déclinaison $\delta$ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
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  $\sigma_F$ , une époque de référence, en général J2000 et  $t$ , toute date autre.

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

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

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

### 5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

#### 5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques

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

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

En désignant par  $\varepsilon$  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  $\varepsilon = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon$ ,  $\varepsilon_A$  étant calculé, pour la date  $\sigma_D$ , 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  $\varepsilon = \varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_0$ , obliquité de l'écliptique en J2000, étant la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour  $\varepsilon_A$ .

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes de la date aux coordonnées écliptiques moyennes de la date  $\sigma_D$ , on prendra  $\varepsilon = \varepsilon_A$ ,  $\varepsilon_A$  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  $\sigma_F$  (dans la pratique J2000) aux coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date  $\sigma_D$ , 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  $\sigma_F$ , on désigne par  $x_F^A, y_F^A, z_F^A$  les coordonnées cartésiennes et par  $\alpha_F$  et  $\delta_F$  l'ascension droite et la déclinaison.  $x_D^A, y_D^A, z_D^A, \alpha_D$  et  $\delta_D$  désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque  $\sigma_D$ . 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  $\sigma_F$  au système d'axes de l'époque  $\sigma_D$  (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 :

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

$z_A$ ,  $\zeta_A$  et  $\theta_A$  sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

Si le temps  $t$  écoulé entre  $\sigma_F$  et  $\sigma_D$  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  $\theta_A$  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 :

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

$\psi_A$ ,  $\omega_A$  et  $\chi_A$  sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 ;  $\varepsilon_0$ , obliquité de l'écliptique en J2000, est la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour  $\varepsilon_A$ .

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  $z_A$ ,  $\zeta_A$  et  $\theta_A$  qui sont déduites des variables  $\psi_A$ ,  $\omega_A$ ,  $\varepsilon_A$  et  $\chi_A$  et qui sont, de plus, singulières ( $\theta_A$  et  $z_A + \zeta_A$  s'annulent en J2000). Il est donc préférable d'utiliser la deuxième méthode qui est celle que l'on utilise pour les éphémérides publiées dans la *Connaissance des Temps*.

### 5.3.3. Relations entre les coordonnées éclipitiques moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées éclipitiques rapportées à l'éclipitique et à l'équinoxe moyens d'une date de référence  $\sigma_F$  aux coordonnées éclipitiques rapportées à l'éclipitique et à l'équinoxe moyens d'une date  $\sigma_D$ , 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  $\sigma_F$ , on désigne par  $x_F^E, y_F^E, z_F^E$  les coordonnées cartésiennes et par  $\lambda_F$  et  $\beta_F$  la longitude et la latitude.  $x_D^E, y_D^E, z_D^E, \lambda_D$  et  $\beta_D$  désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque  $\sigma_D$ . On passe du système d'axes de l'époque  $\sigma_F$  au système d'axes de l'époque  $\sigma_D$  (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 :

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

$\pi_A, \Pi_A$  et  $\mathcal{P}_A$  sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

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

Pour les coordonnées éclipitiques moyennes de la date, on désigne par  $x_D^E, y_D^E, z_D^E$  les coordonnées cartésiennes et par  $\lambda_D$  et  $\beta_D$  la longitude et la latitude. Les coordonnées éclipitiques vraies sont notées  $x_V^E, y_V^E, z_V^E, \lambda_V$  et  $\beta_V$ . 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  $\alpha_D$  et  $\delta_D$  l'ascension droite et la déclinaison. Les coordonnées équatoriales vraies sont notées  $x_V^A$ ,  $y_V^A$ ,  $z_V^A$ ,  $\alpha_V$  et  $\delta_V$ . 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  $\varepsilon_A$  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  $\phi$  est la latitude du lieu. Donc :

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

D'où :

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

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

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

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

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

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

$L$  étant la longitude du lieu, on obtiendra les relations entre les coordonnées horizontales et les coordonnées équatoriales vraies  $\alpha_V$  et  $\delta_V$  en remplaçant  $H$  par le second membre de (5.7) et  $\delta$  par  $\delta_V$ .

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

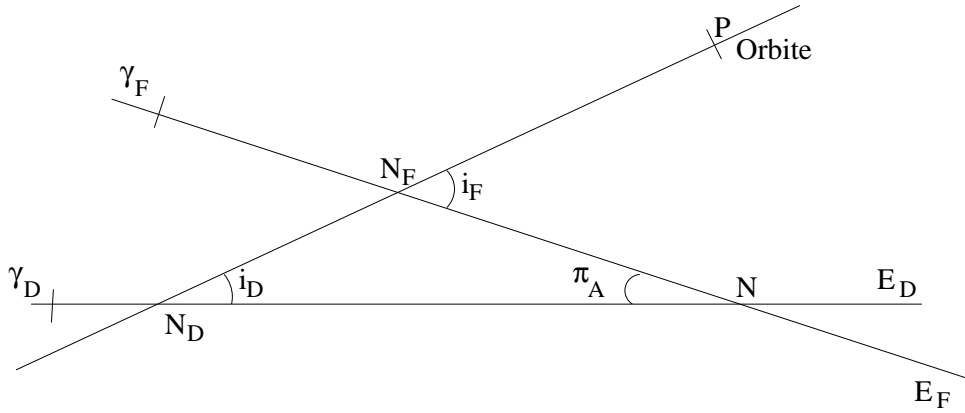
Il s'agit du passage des éléments d'une orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date  $\sigma_F$  aux éléments de la même orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date  $\sigma_D$ . Dans les deux cas le repère de référence est le même.

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  $\Omega_F$ , respectivement, l'inclinaison et la longitude du nœud ascendant de l'orbite sur l'écliptique moyen de l'époque  $\sigma_F$ , et par  $\varpi_F$  la longitude du périastre P. Les quantités rapportées au système d'axes de l'époque  $\sigma_D$  sont  $i_D$ ,  $\Omega_D$  et  $\varpi_D$ .

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  $i_D$ ,  $\Omega_D$ ,  $\varpi_D$  en fonction de  $i_F$ ,  $\Omega_F$ ,  $\varpi_F$  :

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

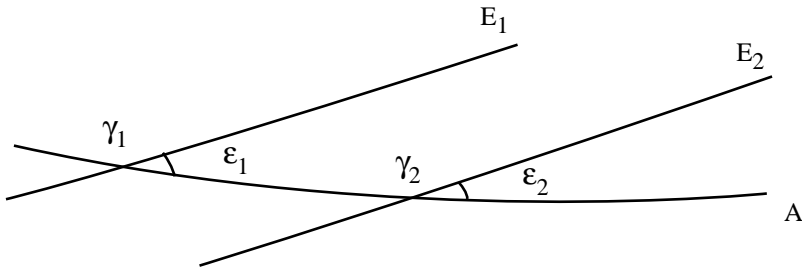
où  $\pi_A$  et  $\Pi_A$  sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 qui leur correspondent.

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

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

**5.3.8. Changement de repère de référence**

On considère deux repères de référence notés 1 et 2 pour lesquels la date de référence  $\sigma_F$  et l'équateur de référence (équateur moyen de la date  $\sigma_F$ ) sont les mêmes. On désigne par  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  les équinoxes des deux repères (équinoxes moyens de la date  $\sigma_F$ ), par  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  les inclinaisons de l'écliptique (moyen de la date  $\sigma_F$ ) sur l'équateur (moyen de la date  $\sigma_F$ ) 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  $\sigma_F$  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  $\sigma_F$  dans le même repère.

On passe du système d'axes équatorial de l'époque  $\sigma_F$  dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque  $\sigma_F$  dans le deuxième repère par une rotation  $R_3(\Delta\phi)$ . On passe du système d'axes écliptique de l'époque  $\sigma_F$  dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque  $\sigma_F$  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  $\sigma_F$  dans le premier repère au système d'axes écliptique de l'époque  $\sigma_F$  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  $\Delta\phi$ ,  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  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  $\eta_0$  et  $\zeta_0$  (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  $(\alpha_e, \delta_e)$  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 :

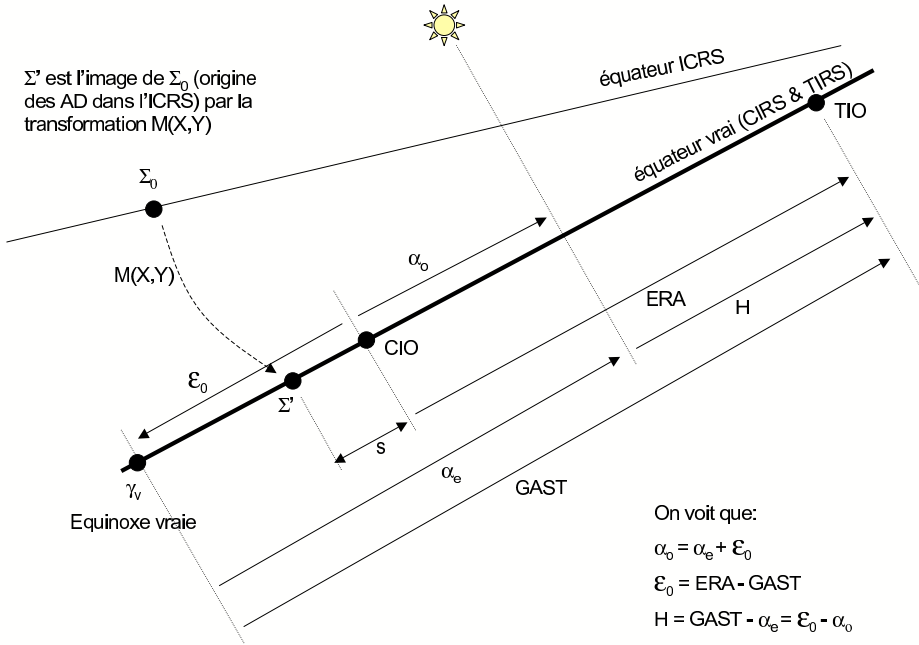


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- 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  $\epsilon_0$ , appelée *équation des origines*. Si

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

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

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

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

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

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

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

### 5.4.3. Mouvement du pôle

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

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

## 5.5. BIBLIOGRAPHIE

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

## CHAPITRE 6

# MOUVEMENT DES PLANÈTES ET DE LA LUNE : LA SOLUTION INPOP

---

A. FIENGA, H. MANCHE

### 6.1. INTRODUCTION

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

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



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

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

## 6.2. TT-TDB

À partir d'INPOP08, un effort important a été mis en œuvre en ce qui concerne la cohérence entre les métriques relativistes utilisées pour la description du mouvement dans l'ICRS et les échelles de temps utilisées pour la datation des observations. INPOP devant être utilisé pour l'exploitation scientifique et la navigation de la mission GAIA, il a été important de clarifier plusieurs points. Nous avons notamment changé notre définition de l'échelle de temps TDB afin de suivre les recommandations de l'UAI (Soffel et al., 2003) sur la définition du TDB. On se reportera au chapitre 2 pour plus d'informations. Nous avons pu vérifier que l'implémentation de cette nouvelle définition du TDB par rapport au temps atomique TAI et TT n'avait aucun impact dans l'ajustement des éphémérides planétaires aux observations. D'autre part, le calcul de la différence entre TDB et TT étant effectué à chaque itération d'INPOP et donc à chaque ajustement, les nouvelles éphémérides planétaires ont une cohérence complète entre l'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 ( $\alpha, \delta$ )	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
	MG/ 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 ( $\alpha, \delta$ )	1974-2000	5	20 mas	20 mas
	Survol distance	1974-2000	5	2 km	4 km
	CCD ou transit ( $\alpha, \delta$ )	1914-2008	6216	400 mas	300 mas
Saturne	CCD ou transit ( $\alpha, \delta$ )	1914-2008	7824	300 mas	400 mas
	Cassini ( $\alpha, \delta$ )	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 ( $\alpha, \delta$ )	1914-2008	4340	300 mas	400 mas
	Survol ( $\alpha, \delta$ )	1986	1	30 mas	70 mas
	Survol distance	1986	1	80 m	300 km
Neptune	CCD ou transit ( $\alpha, \delta$ )	1914-2008	4340	300 mas	400 mas
	Survol ( $\alpha, \delta$ )	1989	1	10 mas	50 mas
	Survol distance	1986	1	5 m	1000 km
Pluton	CCD ou transit ( $\alpha, \delta$ )	1914-2008	2449	600 mas	800 mas
	Occultation	2005-2009	13	50 mas	100 mas

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

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

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

	INPOP06 $\pm 1\sigma$	INPOP08 $\pm 1\sigma$	INPOP10a $\pm 1\sigma$	K11 $\pm 1\sigma$
$(\text{EMRAT}-81.3000) \times 10^{-4}$	F	$(5.4 \pm 0.5)$	$(5.7 \pm 0.010)$	$(5.694 \pm 0.015)$
$J2_{\odot} \times 10^{-7}$	$(2.46 \pm 0.40)$	$(1.82 \pm 0.47)$	$(2.40 \pm 0.25)$	
$\text{GM}_{\odot} - \text{GM}_{\odot}^{\text{DE405}}$ [ $\text{km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ ]	$0.0 \pm 50$ (F)	$0.0 \pm 50$ (F)	$37.013 \pm 1$	$24.013 \pm 10$
AU-AU <sup>IER503</sup> [m]	F	$8.2 \pm 0.11$	$0.0$ (F)	
AU [m] from GM <sub>⊙</sub>	F	$13.9 \pm 0.3$	$9.0 \pm 3$	

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

**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 ( $\alpha$ ), déclinaison ( $\delta$ ) et distance ( $\rho$ ) géocentriques pour les planètes et en longitude, latitude et distance barycentriques pour la Terre.

Planètes	INPOP10a			INPOP06		
	$\alpha$	$\delta$	$\rho$	$\alpha$	$\delta$	$\rho$
	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	$\rho$	long	lat	$\rho$
	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 $10^{-12}M_{\odot}$	$\sigma$ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	$\sigma$ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	$\sigma$ $10^{-12}M_{\odot}$
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 $10^{-12}M_{\odot}$	$\sigma$ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	$\sigma$ $10^{-12}M_{\odot}$	IAU	Masses $10^{-12}M_{\odot}$	$\sigma$ $10^{-12}M_{\odot}$
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 $\tau_{21}$ et $\tau_{22}$ (marées terrestres)	2 <sup>(1)</sup>
Coefficients du potentiel de la Lune ( $2 \leq \text{degré} \leq 4$ )	7 <sup>(2)</sup>
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 $\tau_M$ (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  $r, \phi, \lambda$  désignent respectivement la distance, la latitude et la longitude du satellite rapportées à un repère équatorial centré sur la planète. De même,  $M$  et  $R_E$  désignent la masse et le rayon équatorial de la planète. On distingue généralement la famille des satellites proches de celle des satellites dits éloignés, suivant que la première harmonique du développement ci-dessus a un effet respectivement plus fort ou plus faible que celui induit par l'attraction du Soleil. En particulier, les satellites proches ont généralement leur plan d'orbite proche du plan de l'équateur, à la différence des satellites éloignés.

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

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

### 7.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

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

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

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

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

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

où  $N$  désigne le nombre maximum de conditions initiales et de paramètres à ajuster ( $c_l$ ). En règle générale, le nombre d'observations dépassant largement le nombre de valeurs à ajuster, le système composé de l'ensemble des équations de la forme (7.2) est résolu par la méthode des moindres carrés. Quelques itérations par cette méthode sont nécessaires pour atteindre des valeurs optimales.

Notons que l'équation (7.2) suppose connues les valeurs des dérivées  $\frac{\partial \gamma}{\partial c_l}(t)$  aux dates d'observations. Lorsque le modèle dynamique est intégré numériquement, un système différentiel, dit variationnel et dont les solutions sont précisément les termes  $\frac{\partial \gamma}{\partial c_l}(t)$ , est fréquemment intégré en même temps que les équations du mouvement. Dans le cas où le modèle repose sur une intégration



**Table 7.2.** Principaux termes dans la longitude moyenne de Io exprimés en sinus et dans la variable en excentricité-péricentre de Ganymède exprimé en exponentielle complexe (extrait de Lainey, Duriez, Vienne, 2006).

<i>Longitude moyenne de Io</i>				<i>Excentricité de Ganymède : <math>e_G \exp(\sqrt{-1}\varpi_G)</math></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	$\varpi_3$	0.046487
37.9	5.64	$\Psi$	1.114249	825.5	536.5	$\varpi_4$	0.011711
23.3	1.33	$\nu + \varpi_4$	4.725944	634.4	1.3	$\nu$	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'elle est 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 ( $\lambda_I$  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,  $\varpi_i$  et  $\Omega_i$  les modes propres des péricentres et des nœuds,  $\nu$  la grande inégalité  $L_1 - 2L_2$  ( $= L_2 - 2L_3 + 180^\circ$ ) et  $\Psi$  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  $t - t_u = 68$  s. Notons qu'une erreur de 1 s sur  $t - t_u$  entraîne une erreur inférieure à  $0.2 \times 10^{-6}$  s sur le temps sidéral pour l'année 2007. L'angle de rotation de la Terre donné par (3.6.17) et l'équation des origines donnée par (5.41) sont des fonctions de TU. Ces trois quantités sont donc tabulées pour des dates en TU.

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

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

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

			TT – UTC
1983	Juil. 1 – 1985	Juil. 1	54.184 s
1985	Juil. 1 – 1988	Jan. 1	55.184 s
1988	Jan. 1 – 1990	Jan. 1	56.184 s
1990	Jan. 1 – 1991	Jan. 1	57.184 s
1991	Jan. 1 – 1992	Juil. 1	58.184 s
1992	Juil. 1 – 1993	Juil. 1	59.184 s
1993	Juil. 1 – 1994	Juil. 1	60.184 s
1994	Juil. 1 – 1996	Jan. 1	61.184 s
1996	Jan. 1 – 1997	Juil. 1	62.184 s
1997	Juil. 1 – 1999	Jan. 1	63.184 s
1999	Jan. 1 – 2006	Jan. 1	64.184 s
2006	Jan. 1 – 2009	Jan. 1	65.184 s
2009	Jan. 1 – 2012	Juil. 1	66.184 s
2012	Juil. 1 – 2015	Juil. 1	67.184 s
2015	Juil. 1 – 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  $\delta$  est la déclinaison de la planète et où  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$  sont les différences en ascension droite et en déclinaison entre le satellite et le centre de la planète. Ce sont des coordonnées moyennes astrométriques rapportées à l'équateur J2000 pour tous les satellites. L'axe des Y est dirigé vers le pôle de l'équateur moyen des coordonnées (nord) et l'axe des X est orienté dans le sens des ascensions droites croissantes (est).

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

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

### 8.1.5. Contenu du logiciel *eCDT*

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

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

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

## 8.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

### 8.2.1. Soleil, Lune, Planètes et Pluton

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune, des planètes et de la planète naine Pluton (résolution B6 de l'UAI, 2006), publiées dans la *Connaissance des Temps*, sont issues de la solution INPOP10 (Fienga et al., 2011) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Cette solution est présentée dans le chapitre 6.

### 8.2.2. Cérès et petits corps

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

### 8.2.3. Satellites

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

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



### 8.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

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

#### 8.3.1. Interpolation par la formule de Bessel

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

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

Formons le tableau des différences :

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

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 2017 à 8h 28m TT.

Formons les tableaux des différences, à partir des valeurs données page II. 36. Nous obtenons, pour les ascensions droites  $\alpha$  et les déclinaisons  $\delta$  :

20/01	$\alpha$	$\Delta^1$ (s)	$\Delta^2$ (s)	$\Delta^3$ (s)	$\delta$	$\Delta^1$ (")	$\Delta^2$ (")	$\Delta^3$ (")
0h	14h 01m 16.334s				$-7^\circ 41' 26.72''$			
		690.69				-3156.30		
6h	14h 12m 47.026s		1.25		$-8^\circ 34' 03.02''$		85.26	
		691.94		0.54		-3071.04		6.11
12h	14h 24m 18.969s		1.79		$-9^\circ 25' 14.06''$		91.37	
		693.73				-2979.67		
18h	14h 35m 52.699s				$-10^\circ 14' 53.73''$			

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

$$\alpha(t) = 14\text{h } 12\text{m } 47.03\text{s} + 284.47\text{s} - 0.18\text{s} + 0.002\text{s} = 14\text{h } 17\text{m } 31.31\text{s}$$

$$\delta(t) = -8^\circ 34' 3.02'' - 1262.54'' - 10.69'' + 0.022'' = -8^\circ 55' 16.23''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 14\text{h } 17\text{m } 31.31\text{s}$$

$$\delta(t) = -8^\circ 55' 16.23''$$

### 8.3.3. Utilisation de la formule de Bessel

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

## 8.4. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES ÉLECTRONIQUES

### 8.4.1. Le logiciel de calcul eCdT

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

#### 8.4.1.1. Description de l'interface graphique

##### • Coordonnées locales

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

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

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

##### • Période de calcul

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

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

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

##### • Liste des éphémérides disponibles

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

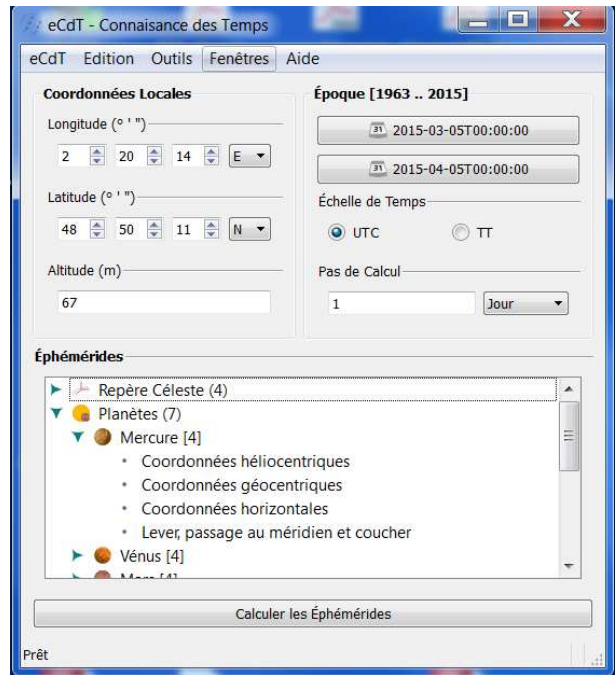


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

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

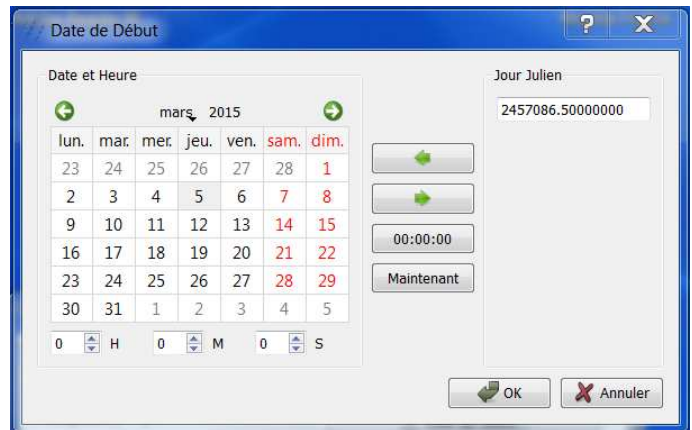
- *Lancement des calculs*

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

#### 8.4.1.2. Utilisation simple du logiciel

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

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



**Fig. 8.2.** Fenêtre pour choisir la date.

#### 8.4.1.3. Autres possibilités

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

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

#### 8.4.1.4. Disponibilité du logiciel

Actuellement le logiciel est disponible pour les systèmes d'opérations Microsoft Windows et Mac. Pour toute information complémentaire, ou mise à jour de fichiers et logiciel, consulter 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	$1.7 \times 10^{-5}$ s
	Équation des équinoxes	19	16	$2 \times 10^{-8}$ s
	Nutations	19	16	$3 \times 10^{-7}$ ''
	Équation des origines	10	5	$5 \times 10^{-7}$ ''
	Coordonnées du CIP	10	5	$2 \times 10^{-7}$ ''
	<i>s</i>	10	5	$2 \times 10^{-10}$ ''
<b>Soleil</b>	Longitude	15	16	$6 \times 10^{-10}$ degré
	Latitude	15	16	$4 \times 10^{-11}$ degré
	Rayon vecteur	15	16	$4 \times 10^{-12}$ ua
	Ascension droite	15	16	$2 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$7 \times 10^{-6}$ ''
	Temps de passage	15	16	$1 \times 10^{-3}$ ''
	Coordonnées rectangulaires	15	16	$1 \times 10^{-11}$ ua
<b>Lune</b>	Ascension droite	9	2	$2 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	9	2	$2 \times 10^{-5}$ ''
	Distance à la Terre	9	2	$2 \times 10^{-5}$ km
<b>Mercure</b>	Longitude	15	16	$3 \times 10^{-9}$ degré
	Latitude	15	16	$5 \times 10^{-10}$ degré
	Rayon vecteur	15	16	$2 \times 10^{-12}$ ua
	Ascension droite	15	16	$6 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$5 \times 10^{-5}$ ''
	Distance à la Terre	15	16	$2 \times 10^{-10}$ ua

Table 8.2. (fin).

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
<b>Vénus</b>	Longitude	15	46	$7 \times 10^{-10}$ degré
	Latitude	15	46	$3 \times 10^{-11}$ degré
	Rayon vecteur	15	46	$1 \times 10^{-12}$ ua
	Ascension droite	15	16	$2 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$7 \times 10^{-6}$ "
	Distance à la Terre	15	16	$8 \times 10^{-12}$ ua
<b>Mars</b>	Longitude	15	46	$2 \times 10^{-10}$ degré
	Latitude	15	46	$4 \times 10^{-12}$ degré
	Rayon vecteur	15	46	$1 \times 10^{-12}$ ua
	Ascension droite	15	16	$2 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$7 \times 10^{-6}$ "
	Distance à la Terre	15	16	$1 \times 10^{-11}$ ua
<b>Jupiter</b>	Longitude	15	92	$2 \times 10^{-9}$ degré
	Latitude	15	92	$1 \times 10^{-11}$ degré
	Rayon vecteur	15	92	$5 \times 10^{-11}$ ua
	Ascension droite	15	16	$2 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$8 \times 10^{-6}$ "
	Distance à la Terre	15	16	$2 \times 10^{-11}$ ua
<b>Saturne</b>	Longitude	15	92	$2 \times 10^{-8}$ degré
	Latitude	15	92	$2 \times 10^{-10}$ degré
	Rayon vecteur	15	92	$2 \times 10^{-9}$ ua
	Ascension droite	15	16	$2 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$7 \times 10^{-6}$ "
	Distance à la Terre	15	16	$2 \times 10^{-10}$ ua
<b>Uranus</b>	Longitude	15	92	$3 \times 10^{-8}$ degré
	Latitude	15	92	$5 \times 10^{-10}$ degré
	Rayon vecteur	15	92	$2 \times 10^{-8}$ ua
	Ascension droite	15	16	$3 \times 10^{-6}$ s
	Déclinaison	15	16	$2 \times 10^{-5}$ "
	Distance à la Terre	15	16	$6 \times 10^{-9}$ ua
<b>Neptune</b>	Longitude	15	92	$2 \times 10^{-7}$ degré
	Latitude	15	92	$6 \times 10^{-10}$ degré
	Rayon vecteur	15	92	$8 \times 10^{-8}$ ua
	Ascension droite	15	16	$2 \times 10^{-5}$ s
	Déclinaison	15	16	$6 \times 10^{-5}$ "
	Distance à la Terre	15	16	$3 \times 10^{-8}$ ua
<b>Pluton</b>	Ascension droite	10	31	$3 \times 10^{-5}$ s
	Déclinaison	10	31	$8 \times 10^{-5}$ "
	Distance à la Terre	10	31	$5 \times 10^{-8}$ ua
<b>Astéroïdes</b>	Ascension droite	10	31	$4 \times 10^{-4}$ s
	Déclinaison	10	31	$3 \times 10^{-3}$ "
	Distance à la Terre	10	31	$5 \times 10^{-8}$ 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
<b>Phobos</b>	Tangentielles (X, Y)	472	16	$4.85 \times 10^{-8}$ rad
<b>Déimos</b>	"	162	16	$4.85 \times 10^{-8}$ "
<b>Io</b>	Tangentielles (X, Y)	88	16	$9.70 \times 10^{-8}$ rad
<b>Europe</b>	"	24	4	$9.70 \times 10^{-8}$ "
<b>Ganymède</b>	"	16	4	$9.70 \times 10^{-8}$ "
<b>Callisto</b>	"	11	4	$9.70 \times 10^{-8}$ "
<b>Mimas</b>	Tangentielles (X, Y)	164	16	$9.70 \times 10^{-8}$ rad
<b>Encelade</b>	"	878	184	$9.70 \times 10^{-8}$ "
<b>Téthys</b>	"	224	64	$7.27 \times 10^{-8}$ "
<b>Dioné</b>	"	45	16	$7.27 \times 10^{-8}$ "
<b>Rhéa</b>	"	113	64	$7.27 \times 10^{-8}$ "
<b>Titan</b>	"	79	96	$7.27 \times 10^{-8}$ "
<b>Hypérion</b>	"	19	16	$1.35 \times 10^{-7}$ "
<b>Japet</b>	"	103	64	$1.35 \times 10^{-7}$ "
<b>Miranda</b>	Tangentielles (X, Y)	162	16	$4.85 \times 10^{-7}$ rad
<b>Ariel</b>	"	50	8	$4.85 \times 10^{-7}$ "
<b>Umbriel</b>	"	110	64	$4.85 \times 10^{-7}$ "
<b>Titania</b>	"	160	90	$4.85 \times 10^{-7}$ "
<b>Obéron</b>	"	40	16	$9.70 \times 10^{-7}$ "

**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.
- Fianga, 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 2017**



## TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

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

## TEMPS SIDÉRAL 2017 à 0h TU, NUTATION 2017 à 0h TT

### TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.	
	h	m	s	s	s	h	m		s	s	s				
Janv.	0	6	39	24.151 81	-6.521 32	-9.088 11	Févr.	15	9	40	45.703 94	-6.436 35	-8.008 78		
	1	6	43	20.710 95	-6.459 50	-9.046 34		16	9	44	42.252 87	-6.541 58	-8.005 28		
	2	6	47	17.268 01	-6.431 84	-8.999 50		17	9	48	38.803 17	-6.624 51	-8.011 06		
	3	6	51	13.822 84	-6.440 58	-8.954 49		18	9	52	35.355 17	-6.679 65	-8.021 08		
	4	6	55	10.375 78	-6.480 27	-8.918 43		19	9	56	31.908 92	-6.706 07	-8.030 20		
	5	6	59	6.927 63	-6.537 79	-8.897 13		20	10	0	28.464 24	-6.706 87	-8.033 67		
	6	7	3	3.479 57	-6.593 92	-8.893 61		21	10	4	25.020 72	-6.688 78	-8.027 52		
	7	7	7	0.032 92	-6.626 93	-8.906 78		22	10	8	21.577 74	-6.661 68	-8.008 95		
	8	7	10	56.588 84	-6.617 90	-8.930 92		23	10	12	18.134 56	-6.637 97	-7.976 89		
	9	7	14	53.147 94	-6.556 93	-8.956 43		24	10	16	14.690 34	-6.631 26	-7.932 48		
	10	7	18	49.709 98	-6.447 98	-8.972 16		25	10	20	11.244 31	-6.654 06	-7.879 54		
	11	7	22	46.273 81	-6.309 66	-8.968 97		26	10	24	7.795 97	-6.714 62	-7.824 48		
	12	7	26	42.837 71	-6.170 16	-8.943 02		27	10	28	4.345 30	-6.813 46	-7.775 39		
	13	7	30	39.399 95	-6.057 76	-8.897 14		28	10	32	0.892 85	-6.941 27	-7.740 15		
14	7	34	35.959 36	-5.991 69	-8.839 47	Mars	1	10	35	57.439 75	-7.079 64	-7.724 07			
15	7	38	32.515 60	-5.977 42	-8.780 16	2	10	39	53.987 42	-7.205 45	-7.727 87				
16	7	42	29.069 10	-6.007 89	-8.728 13	3	10	43	50.537 16	-7.297 58	-7.747 01				
17	7	46	25.620 78	-6.068 22	-8.689 08	4	10	47	47.089 73	-7.343 39	-7.772 87				
18	7	50	22.171 69	-6.141 07	-8.665 07	5	10	51	43.645 15	-7.342 56	-7.795 20				
19	7	54	18.722 81	-6.210 49	-8.655 14	6	10	55	40.202 70	-7.306 86	-7.805 01				
20	7	58	15.274 91	-6.263 96	-8.656 22	7	10	59	36.761 14	-7.256 68	-7.796 88				
21	8	2	11.828 49	-6.293 15	-8.664 01	8	11	3	33.319 03	-7.215 41	-7.770 12				
22	8	6	8.383 81	-6.293 97	-8.673 63	9	11	7	29.875 12	-7.203 55	-7.728 69				
23	8	10	4.940 86	-6.266 52	-8.680 10	10	11	11	26.428 62	-7.234 05	-7.679 84				
24	8	14	1.499 39	-6.214 97	-8.678 79	11	11	15	22.979 36	-7.309 82	-7.632 17				
25	8	17	58.058 89	-6.147 41	-8.665 94	12	11	19	19.527 73	-7.424 08	-7.593 48				
26	8	21	54.618 66	-6.075 36	-8.639 21	13	11	23	16.074 60	-7.563 03	-7.569 04				
27	8	25	51.177 87	-6.012 55	-8.598 37	14	11	27	12.621 00	-7.709 78	-7.560 85				
28	8	29	47.735 67	-5.972 80	-8.545 78	15	11	31	9.167 89	-7.848 29	-7.567 72				
29	8	33	44.291 39	-5.967 06	-8.486 45	16	11	35	5.716 05	-7.966 14	-7.586 04				
30	8	37	40.844 73	-6.000 24	-8.427 43	17	11	39	2.265 93	-8.055 89	-7.610 86				
31	8	41	37.395 89	-6.068 94	-8.376 44	18	11	42	58.817 67	-8.115 24	-7.636 79				
Févr.	1	8	45	33.945 63	-6.160 98	-8.340 08	19	11	46	55.371 13	-8.146 45	-7.658 78			
	2	8	49	30.495 10	-6.257 44	-8.321 94	20	11	50	51.925 95	-8.155 50	-7.672 61			
	3	8	53	27.045 61	-6.336 88	-8.321 43	21	11	54	48.481 57	-8.151 34	-7.675 22			
	4	8	57	23.598 30	-6.380 67	-8.333 53	22	11	58	45.037 32	-8.145 11	-7.665 06			
	5	9	1	20.153 83	-6.378 13	-8.349 74	23	12	2	41.592 44	-8.149 26	-7.642 45			
	6	9	5	16.712 14	-6.330 07	-8.360 10	24	12	6	38.146 16	-8.176 08	-7.609 95			
	7	9	9	13.272 43	-6.249 47	-8.355 81	25	12	10	34.697 89	-8.235 52	-7.572 59			
	8	9	13	9.833 36	-6.158 58	-8.331 73	26	12	14	31.247 36	-8.331 96	-7.537 65			
	9	9	17	6.393 36	-6.082 95	-8.288 00	27	12	18	27.794 83	-8.461 07	-7.513 50			
	10	9	21	2.951 10	-6.044 10	-8.229 99	28	12	22	24.341 21	-8.608 07	-7.507 37			
	11	9	24	59.505 89	-6.053 57	-8.166 46	29	12	26	20.887 91	-8.749 78	-7.522 67			
	12	9	28	56.057 75	-6.110 77	-8.106 84	30	12	30	17.436 47	-8.861 07	-7.556 90			
	13	9	32	52.607 37	-6.204 82	-8.058 58	31	12	34	13.988 01	-8.923 73	-7.601 83			
	14	9	36	49.155 74	-6.319 17	-8.025 74	Avril	1	12	38	10.542 79	-8.933 35	-7.646 04		

## TEMPS SIDÉRAL 2017 à 0h TU, NUTATION 2017 à 0h TT

## TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.	
	h	m	s	s	s	h	m		s	s	s				
Avril	2	12	42	7.100 15	-8.900 80	-7.678 80	Mai	18	15	43	28.578 41	-10.023 74	-8.181 37		
	3	12	46	3.658 77	-8.847 73	-7.693 37		19	15	47	25.133 11	-10.034 69	-8.159 39		
	4	12	50	0.217 10	-8.799 27	-7.688 42		20	15	51	21.685 82	-10.078 15	-8.140 54		
	5	12	53	56.773 83	-8.777 03	-7.667 61		21	15	55	18.236 88	-10.148 45	-8.131 93		
	6	12	57	53.328 12	-8.794 58	-7.637 91		22	15	59	14.787 17	-10.231 51	-8.139 84		
	7	13	1	49.879 74	-8.855 79	-7.607 57		23	16	3	11.338 01	-10.305 52	-8.167 55		
	8	13	5	46.429 01	-8.955 49	-7.584 21		24	16	7	7.890 96	-10.345 17	-8.213 22		
	9	13	9	42.976 65	-9.081 76	-7.573 44		25	16	11	4.447 26	-10.329 93	-8.268 76		
	10	13	13	39.523 63	-9.219 04	-7.578 07		26	16	15	1.007 31	-10.253 57	-8.321 53		
	11	13	17	36.070 90	-9.351 37	-7.597 91		27	16	18	57.570 28	-10.129 28	-8.358 72		
	12	13	21	32.619 31	-9.465 22	-7.630 25		28	16	22	54.134 42	-9.985 83	-8.372 48		
13	13	25	29.169 41	-9.551 35	-7.670 57	29	16	26	50.697 71	-9.856 26	-8.362 70				
14	13	29	25.721 45	-9.605 74	-7.713 49	30	16	30	47.258 60	-9.766 02	-8.336 10				
15	13	33	22.275 37	-9.629 40	-7.753 69	31	16	34	43.816 38	-9.726 54	-8.302 73				
16	13	37	18.830 85	-9.627 66	-7.786 54	<b>Juin</b>	1	16	38	40.371 20	-9.735 47	-8.272 43			
17	13	41	15.387 35	-9.609 08	-7.808 64	2	16	42	36.923 79	-9.780 93	-8.252 49				
18	13	45	11.944 23	-9.584 41	-7.818 14	3	16	46	33.475 15	-9.846 48	-8.246 83				
19	13	49	8.500 76	-9.565 41	-7.814 90	4	16	50	30.026 31	-9.915 17	-8.256 19				
20	13	53	5.056 23	-9.563 74	-7.800 75	5	16	54	26.578 20	-9.972 17	-8.278 68				
21	13	57	1.610 03	-9.589 34	-7.779 60	6	16	58	23.131 48	-10.006 28	-8.310 60				
22	14	0	58.161 79	-9.648 38	-7.757 43	7	17	2	19.686 57	-10.010 83	-8.347 08				
23	14	4	54.711 52	-9.740 50	-7.741 79	8	17	6	16.243 58	-9.983 96	-8.382 79				
24	14	8	51.259 80	-9.856 33	-7.740 42	9	17	10	12.802 34	-9.928 51	-8.412 64				
25	14	12	47.807 80	-9.976 77	-7.759 05	10	17	14	9.362 42	-9.851 57	-8.432 41				
26	14	16	44.357 10	-10.076 12	-7.798 62	11	17	18	5.923 18	-9.763 39	-8.439 27				
27	14	20	40.909 17	-10.129 98	-7.853 62	12	17	22	2.483 89	-9.676 07	-8.432 26				
28	14	24	37.464 84	-10.125 24	-7.912 91	13	17	25	59.043 80	-9.601 82	-8.412 40				
29	14	28	34.023 79	-10.066 61	-7.963 56	14	17	29	55.602 26	-9.551 24	-8.382 76				
30	14	32	30.584 75	-9.975 26	-7.995 68	15	17	33	52.158 83	-9.531 57	-8.348 16				
<b>Mai</b>	1	14	36	27.145 92	-9.880 36	-8.005 67	16	17	37	48.713 37	-9.545 09	-8.314 65			
2	14	40	23.705 67	-9.808 69	-7.996 46	17	17	41	45.266 13	-9.587 81	-8.288 81				
3	14	44	20.262 94	-9.777 59	-7.975 42	18	17	45	41.817 77	-9.648 67	-8.276 62				
4	14	48	16.817 39	-9.792 63	-7.951 53	19	17	49	38.369 40	-9.709 80	-8.281 99				
5	14	52	13.369 30	-9.849 13	-7.932 98	20	17	53	34.922 38	-9.748 88	-8.305 14				
6	14	56	9.919 39	-9.935 31	-7.925 76	21	17	57	31.478 04	-9.744 15	-8.341 24				
7	15	0	6.468 61	-10.035 84	-7.933 03	22	18	1	28.037 21	-9.682 04	-8.380 43				
8	15	4	3.017 93	-10.134 81	-7.955 15	23	18	5	24.599 77	-9.564 53	-8.410 15				
9	15	7	59.568 19	-10.218 25	-7.989 97	24	18	9	21.164 49	-9.411 62	-8.419 50				
10	15	11	56.120 04	-10.275 85	-8.033 52	25	18	13	17.729 40	-9.255 62	-8.403 69				
11	15	15	52.673 81	-10.302 04	-8.080 69	26	18	17	14.292 51	-9.129 05	-8.366 00				
12	15	19	49.229 53	-10.296 29	-8.126 09	27	18	21	10.852 52	-9.053 08	-8.315 84				
13	15	23	45.786 95	-10.262 84	-8.164 75	28	18	25	7.409 15	-9.032 56	-8.264 65				
14	15	27	42.345 56	-10.209 74	-8.192 85	29	18	29	3.962 94	-9.058 30	-8.222 04				
15	15	31	38.904 73	-10.147 67	-8.208 08	30	18	33	0.514 95	-9.113 20	-8.193 77				
16	15	35	35.463 72	-10.088 50	-8.209 96	<b>Juill.</b>	1	18	36	57.066 34	-9.178 23	-8.181 55			
17	15	39	32.021 81	-10.043 88	-8.199 94	2	18	40	53.618 14	-9.236 52	-8.183 87				

## TEMPS SIDÉRAL 2017 à 0h TU, NUTATION 2017 à 0h TT

### TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.	
	h	m	s	s	s	h	m		s	s	s				
Juill.	3	18	44	50.171 13	-9.275 39	-8.197 04	Août	18	21	46	11.724 93	-9.163 56	-7.370 16		
	4	18	48	46.725 79	-9.287 01	-8.216 18		19	21	50	8.285 33	-9.081 26	-7.334 95		
	5	18	52	43.282 30	-9.268 43	-8.235 96		20	21	54	4.843 97	-9.027 69	-7.280 98		
	6	18	56	39.840 55	-9.221 33	-8.251 21		21	21	58	1.399 68	-9.022 13	-7.216 52		
	7	19	0	36.400 19	-9.151 56	-8.257 43		22	22	1	57.952 09	-9.070 37	-7.152 43		
	8	19	4	32.960 64	-9.068 47	-8.251 38		23	22	5	54.501 71	-9.164 32	-7.098 65		
	9	19	8	29.521 18	-8.983 85	-8.231 44		24	22	9	51.049 62	-9.286 30	-7.061 46		
	10	19	12	26.081 04	-8.910 37	-8.198 09		25	22	13	47.597 08	-9.415 56	-7.042 53		
	11	19	16	22.639 51	-8.859 68	-8.153 94		26	22	17	44.145 22	-9.533 86	-7.039 57		
	12	19	20	19.196 06	-8.840 35	-8.103 59		27	22	21	40.694 79	-9.628 60	-7.047 73		
	13	19	24	15.750 48	-8.855 90	-8.053 07		28	22	25	37.246 19	-9.693 55	-7.061 11		
	14	19	28	12.302 93	-8.903 50	-8.008 95		29	22	29	33.799 44	-9.728 21	-7.073 88		
	15	19	32	8.854 02	-8.973 43	-7.977 18		30	22	33	30.354 29	-9.736 69	-7.080 94		
	16	19	36	5.404 72	-9.049 78	-7.961 78		31	22	37	26.910 28	-9.726 58	-7.078 36		
	17	19	40	1.956 25	-9.112 59	-7.963 64		Sept. 1	22	41	23.466 78	-9.707 98	-7.063 60		
	18	19	43	58.509 84	-9.141 65	-7.979 51		2	22	45	20.023 09	-9.692 63	-7.035 80		
	19	19	47	55.066 42	-9.121 84	-8.001 92		3	22	49	16.578 45	-9.692 75	-6.996 09		
20	19	51	51.626 25	-9.048 95	-8.020 28	4	22	53	13.132 19	-9.719 38	-6.947 71				
21	19	55	48.188 68	-8.933 55	-8.023 69	5	22	57	9.683 83	-9.780 19	-6.896 03				
22	19	59	44.752 20	-8.800 25	-8.004 64	6	23	1	6.233 28	-9.877 02	-6.847 92				
23	20	3	41.314 89	-8.680 59	-7.962 16	7	23	5	2.780 88	-10.003 92	-6.810 59				
24	20	7	37.875 06	-8.602 12	-7.902 40	8	23	8	59.327 51	-10.146 88	-6.789 83				
25	20	11	34.431 82	-8.579 20	-7.836 17	9	23	12	55.874 37	-10.285 95	-6.788 16				
26	20	15	30.985 31	-8.610 00	-7.774 81	10	23	16	52.422 77	-10.399 86	-6.803 70				
27	20	19	27.536 38	-8.680 17	-7.726 70	11	23	20	48.973 74	-10.471 81	-6.830 12				
28	20	23	24.086 28	-8.769 65	-7.695 69	12	23	24	45.527 72	-10.494 62	-6.858 06				
29	20	27	20.636 19	-8.858 87	-7.681 35	13	23	28	42.084 39	-10.473 25	-6.877 53				
30	20	31	17.187 05	-8.932 52	-7.680 28	14	23	32	38.642 78	-10.424 00	-6.880 64				
31	20	35	13.739 47	-8.980 86	-7.687 43	15	23	36	35.201 42	-10.370 48	-6.863 67				
Août 1	20	39	10.293 68	-8.999 72	-7.697 23	16	23	40	31.758 80	-10.337 50	-6.828 18				
2	20	43	6.849 66	-8.989 78	-7.704 28	17	23	44	28.313 74	-10.344 55	-6.780 53				
3	20	47	3.407 10	-8.955 93	-7.703 87	18	23	48	24.865 66	-10.400 80	-6.730 09				
4	20	50	59.965 49	-8.906 45	-7.692 40	19	23	52	21.414 76	-10.503 24	-6.686 58				
5	20	54	56.524 18	-8.852 29	-7.667 73	20	23	56	17.961 86	-10.638 51	-6.657 52				
6	20	58	53.082 38	-8.805 89	-7.629 62	21	0	0	14.508 11	-10.787 44	-6.646 54				
7	21	2	49.639 35	-8.779 63	-7.579 97	22	0	4	11.054 73	-10.930 59	-6.653 10				
8	21	6	46.194 48	-8.783 64	-7.522 90	23	0	8	7.602 64	-11.052 57	-6.673 34				
9	21	10	42.747 41	-8.823 47	-7.464 35	24	0	12	4.152 39	-11.144 34	-6.701 46				
10	21	14	39.298 21	-8.898 15	-7.411 17	25	0	16	0.704 15	-11.203 42	-6.731 25				
11	21	18	35.847 39	-8.999 21	-7.369 86	26	0	19	57.257 72	-11.232 89	-6.757 03				
12	21	22	32.395 90	-9.111 42	-7.345 00	27	0	23	53.812 66	-11.239 84	-6.774 35				
13	21	26	28.944 91	-9.215 27	-7.337 94	28	0	27	50.368 38	-11.234 06	-6.780 27				
14	21	30	25.495 65	-9.291 04	-7.346 02	29	0	31	46.924 20	-11.226 76	-6.773 51				
15	21	34	22.049 03	-9.323 61	-7.362 66	30	0	35	43.479 39	-11.229 66	-6.754 56				
16	21	38	18.605 41	-9.307 06	-7.378 53	Oct. 1	0	39	40.033 28	-11.253 78	-6.725 84				
17	21	42	15.164 42	-9.247 62	-7.383 64	2	0	43	36.585 34	-11.307 86	-6.691 74				

## TEMPS SIDÉRAL 2017 à 0h TU, NUTATION 2017 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	s	s		h	m	s	s	s	s		
Oct.	3	0	47	33.135 30	-11.396 29	-6.658 45		Nov.	18	3	48	54.586 64	-12.959 42	-7.204 53		
	4	0	51	29.683 30	-11.516 73	-6.633 24			19	3	52	51.143 10	-12.941 48	-7.251 05		
	5	0	55	26.230 00	-11.658 42	-6.623 03			20	3	56	47.701 38	-12.894 02	-7.290 84		
	6	0	59	22.776 55	-11.802 58	-6.632 31			21	4	0	44.260 91	-12.825 93	-7.319 74		
	7	1	3	19.324 37	-11.926 00	-6.661 17			22	4	4	40.821 01	-12.748 61	-7.335 41		
		8	1	7	15.874 74	-12.007 76	-6.704 28			23	4	8	37.380 93	-12.674 17	-7.337 48	
		9	1	11	12.428 35	-12.036 45	-6.751 97			24	4	12	33.939 98	-12.613 97	-7.327 44	
		10	1	15	8.985 05	-12.014 80	-6.793 04			25	4	16	30.497 59	-12.577 27	-7.308 51	
		11	1	19	5.543 83	-11.959 10	-6.818 25			26	4	20	27.053 40	-12.570 07	-7.285 33	
		12	1	23	2.103 17	-11.894 05	-6.823 03			27	4	24	23.607 30	-12.594 03	-7.263 63	
		13	1	26	58.661 52	-11.845 33	-6.808 43			28	4	28	20.159 54	-12.645 18	-7.249 70	
		14	1	30	55.217 65	-11.832 91	-6.780 30			29	4	32	16.710 77	-12.712 84	-7.249 45	
	15	1	34	51.770 94	-11.866 84	-6.747 37		30	4	36	13.262 07	-12.779 37	-7.266 99			
	16	1	38	48.321 46	-11.946 01	-6.718 90		Déc.	1	4	40	9.814 83	-12.822 02	-7.302 81		
	17	1	42	44.869 87	-12.059 71	-6.702 52			2	4	44	6.370 44	-12.818 19	-7.352 10		
	18	1	46	41.417 21	-12.191 00	-6.702 76		3	4	48	2.929 75	-12.753 68	-7.404 62			
	19	1	50	37.964 62	-12.321 09	-6.720 42		4	4	51	59.492 63	-12.630 92	-7.447 21			
	20	1	54	34.513 12	-12.433 39	-6.752 92		5	4	55	56.057 76	-12.471 33	-7.468 59			
	21	1	58	31.063 41	-12.516 44	-6.795 20		6	4	59	52.623 09	-12.308 59	-7.464 05			
	22	2	2	27.615 80	-12.565 26	-6.841 10		7	5	3	49.186 57	-12.175 84	-7.437 19			
	23	2	6	24.170 20	-12.581 11	-6.884 50		8	5	7	45.746 93	-12.094 16	-7.397 75			
	24	2	10	20.726 23	-12.570 25	-6.920 33		9	5	11	42.303 89	-12.068 11	-7.357 38			
	25	2	14	17.283 31	-12.542 28	-6.945 07		10	5	15	38.858 03	-12.088 23	-7.325 94			
	26	2	18	13.840 75	-12.508 50	-6.956 98		11	5	19	35.410 42	-12.136 95	-7.309 44			
	27	2	22	10.397 82	-12.480 60	-6.956 14		12	5	23	31.962 27	-12.194 46	-7.309 80			
	28	2	26	6.953 87	-12.469 43	-6.944 42		13	5	27	28.514 67	-12.242 90	-7.325 45			
	29	2	30	3.508 35	-12.483 91	-6.925 43		14	5	31	25.068 46	-12.268 74	-7.352 40			
	30	2	34	0.060 92	-12.529 61	-6.904 40		15	5	35	21.624 13	-12.263 92	-7.385 20			
	31	2	37	56.611 56	-12.606 94	-6.887 83		16	5	39	18.181 81	-12.226 14	-7.417 91			
Nov.	1	2	41	53.160 67	-12.709 30	-6.882 69		17	5	43	14.741 32	-12.158 48	-7.444 95			
	2	2	45	49.709 15	-12.821 89	-6.894 88		18	5	47	11.302 19	-12.068 49	-7.461 78			
	3	2	49	46.258 35	-12.922 78	-6.927 12		19	5	51	7.863 77	-11.966 96	-7.465 46			
	4	2	53	42.809 75	-12.987 69	-6.976 94		20	5	55	4.425 30	-11.866 19	-7.455 00			
	5	2	57	39.364 49	-12.998 01	-7.036 06		21	5	59	0.986 05	-11.778 28	-7.431 46			
	6	3	1	35.922 84	-12.949 19	-7.092 33		22	6	2	57.545 38	-11.713 42	-7.397 75			
	7	3	5	32.484 03	-12.854 20	-7.133 86		23	6	6	54.102 89	-11.678 49	-7.358 31			
	8	3	9	29.046 41	-12.739 56	-7.153 31		24	6	10	50.658 41	-11.675 92	-7.318 60			
	9	3	13	25.608 12	-12.635 77	-7.150 22		25	6	14	47.212 13	-11.702 90	-7.284 48			
	10	3	17	22.167 67	-12.567 39	-7.130 33		26	6	18	43.764 56	-11.750 90	-7.261 48			
	11	3	21	18.724 28	-12.547 15	-7.102 98		27	6	22	40.316 58	-11.805 65	-7.253 78			
	12	3	25	15.277 94	-12.574 97	-7.078 01		28	6	26	36.869 35	-11.848 11	-7.263 05			
13	3	29	11.829 29	-12.640 56	-7.063 44		29	6	30	33.424 16	-11.857 23	-7.287 10				
14	3	33	8.379 34	-12.727 50	-7.064 17		30	6	34	29.982 11	-11.815 17	-7.319 10				
15	3	37	4.929 21	-12.817 42	-7.081 58		31	6	38	26.543 64	-11.714 41	-7.348 05				
16	3	41	1.479 93	-12.893 52	-7.113 87		32	6	42	23.108 21	-11.564 10	-7.361 57				
17	3	44	58.032 26	-12.943 16	-7.156 76		33	6	46	19.674 17	-11.390 82	-7.350 48				





## 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 2017 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	38	4.232 28	-12	58.044 80	Févr.	15	144	58	21.627 19	-13	3.931 94
	1	100	37	12.436 52	-12	58.227 78		16	145	57	29.831 43	-13	3.961 69
	2	101	36	20.640 76	-12	58.379 43		17	146	56	38.035 66	-13	4.011 91
	3	102	35	28.844 99	-12	58.497 68		18	147	55	46.239 90	-13	4.087 62
	4	103	34	37.049 23	-12	58.587 52		19	148	54	54.444 14	-13	4.189 70
	5	104	33	45.253 47	-12	58.661 03		20	149	54	2.648 37	-13	4.315 26
	6	105	32	53.457 70	-12	58.735 83		21	150	53	10.852 61	-13	4.458 16
	7	106	32	1.661 94	-12	58.831 86		22	151	52	19.056 85	-13	4.609 32
	8	107	31	9.866 18	-12	58.966 47		23	152	51	27.261 09	-13	4.757 35
	9	108	30	18.070 42	-12	59.148 74		24	153	50	35.465 32	-13	4.889 79
	10	109	29	26.274 65	-12	59.375 02		25	154	49	43.669 56	-13	4.995 13
	11	110	28	34.478 89	-12	59.628 23		26	155	48	51.873 80	-13	5.065 82
	12	111	27	42.683 13	-12	59.882 51		27	156	48	0.078 03	-13	5.101 40
	13	112	26	50.887 36	-13	0.111 89		28	157	47	8.282 27	-13	5.110 41
14	113	25	59.091 60	-13	0.298 77	Mars 1	158	46	16.486 51	-13	5.109 75		
15	114	25	7.295 84	-13	0.438 11	2	159	45	24.690 75	-13	5.120 62		
16	115	24	15.500 07	-13	0.536 42	3	160	44	32.894 98	-13	5.162 41		
17	116	23	23.704 31	-13	0.607 34	4	161	43	41.099 22	-13	5.246 70		
18	117	22	31.908 55	-13	0.666 78	5	162	42	49.303 46	-13	5.373 78		
19	118	21	40.112 79	-13	0.729 39	6	163	41	57.507 69	-13	5.532 84		
20	119	20	48.317 02	-13	0.806 63	7	164	41	5.711 93	-13	5.705 17		
21	120	19	56.521 26	-13	0.906 16	8	165	40	13.916 17	-13	5.869 32		
22	121	19	4.725 50	-13	1.031 72	9	166	39	22.120 40	-13	6.006 46		
23	122	18	12.929 73	-13	1.183 21	10	167	38	30.324 64	-13	6.104 73		
24	123	17	21.133 97	-13	1.356 81	11	168	37	38.528 88	-13	6.161 47		
25	124	16	29.338 21	-13	1.545 10	12	169	36	46.733 12	-13	6.182 90		
26	125	15	37.542 45	-13	1.737 49	13	170	35	54.937 35	-13	6.181 69		
27	126	14	45.746 68	-13	1.921 40	14	171	35	3.141 59	-13	6.173 34		
28	127	13	53.950 92	-13	2.084 14	15	172	34	11.345 83	-13	6.172 55		
29	128	13	2.155 16	-13	2.215 67	16	173	33	19.550 06	-13	6.190 73		
30	129	12	10.359 39	-13	2.311 48	17	174	32	27.754 30	-13	6.234 69		
31	130	11	18.563 63	-13	2.374 72	18	175	31	35.958 54	-13	6.306 55		
Févr.	1	131	10	26.767 87	-13	2.416 55	19	176	30	44.162 78	-13	6.404 23	
	2	132	9	34.972 11	-13	2.454 34	20	177	29	52.367 01	-13	6.522 23	
	3	133	8	43.176 34	-13	2.507 76	21	178	29	0.571 25	-13	6.652 34	
	4	134	7	51.380 58	-13	2.593 91	22	179	28	8.775 49	-13	6.784 33	
	5	135	6	59.584 82	-13	2.722 56	23	180	27	16.979 72	-13	6.906 81	
	6	136	6	7.789 05	-13	2.892 97	24	181	26	25.183 96	-13	7.008 46	
	7	137	5	15.993 29	-13	3.093 23	25	182	25	33.388 20	-13	7.080 20	
	8	138	4	24.197 53	-13	3.302 92	26	183	24	41.592 44	-13	7.117 97	
	9	139	3	32.401 77	-13	3.498 58	27	184	23	49.796 67	-13	7.125 78	
	10	140	2	40.606 00	-13	3.660 48	28	185	22	58.000 91	-13	7.117 19	
	11	141	1	48.810 24	-13	3.778 04	29	186	22	6.205 15	-13	7.113 47	
	12	142	0	57.014 48	-13	3.851 82	30	187	21	14.409 38	-13	7.137 68	
	13	143	0	5.218 71	-13	3.891 79	31	188	20	22.613 62	-13	7.206 52	
	14	143	59	13.422 95	-13	3.913 16	Avril 1	189	19	30.817 86	-13	7.324 01	

## ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2017 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	190	18	39.022 10	-13	7.480 20	Mai	18	235	38	56.417 00	-13	12.259 16	
	3	191	17	47.226 33	-13	7.655 19		19	236	38	4.621 24	-13	12.375 38	
	4	192	16	55.430 57	-13	7.825 93		20	237	37	12.825 48	-13	12.461 78	
	5	193	16	3.634 81	-13	7.972 60		21	238	36	21.029 71	-13	12.523 55	
	6	194	15	11.839 04	-13	8.082 75		22	239	35	29.233 95	-13	12.573 63	
	7	195	14	20.043 28	-13	8.152 85		23	240	34	37.438 19	-13	12.632 03	
	8	196	13	28.247 52	-13	8.187 64		24	241	33	45.642 43	-13	12.721 97	
	9	197	12	36.451 76	-13	8.198 05		25	242	32	53.846 66	-13	12.862 29	
	10	198	11	44.655 99	-13	8.198 38		26	243	32	2.050 90	-13	13.058 68	
	11	199	10	52.860 23	-13	8.203 27		27	244	31	10.255 14	-13	13.299 03	
	12	200	10	1.064 47	-13	8.225 12		28	245	30	18.459 37	-13	13.556 94	
	13	201	9	9.268 70	-13	8.272 40		29	246	29	26.663 61	-13	13.802 09	
	14	202	8	17.472 94	-13	8.348 81		30	247	28	34.867 85	-13	14.011 14	
	15	203	7	25.677 18	-13	8.453 41		31	248	27	43.072 09	-13	14.173 62	
	16	204	6	33.881 42	-13	8.581 32		Juin	1	249	26	51.276 32	-13	14.291 69
	17	205	5	42.085 65	-13	8.724 66			2	250	25	59.480 56	-13	14.376 25
18	206	4	50.289 89	-13	8.873 59	3	251		25	7.684 80	-13	14.442 38		
19	207	3	58.494 13	-13	9.017 30	4	252		24	15.889 03	-13	14.505 65		
20	208	3	6.698 36	-13	9.145 11	5	253		23	24.093 27	-13	14.579 66		
21	209	2	14.902 60	-13	9.247 88	6	254		22	32.297 51	-13	14.674 67		
22	210	1	23.106 84	-13	9.319 98	7	255		21	40.501 75	-13	14.796 80		
23	211	0	31.311 08	-13	9.361 73	8	256		20	48.705 98	-13	14.947 77		
24	211	59	39.515 31	-13	9.381 72	9	257		19	56.910 22	-13	15.124 95		
25	212	58	47.719 55	-13	9.397 51	10	258		19	5.114 46	-13	15.321 85		
26	213	57	55.923 79	-13	9.432 67	11	259		18	13.318 69	-13	15.529 05		
27	214	57	4.128 02	-13	9.509 59	12	260		17	21.522 93	-13	15.735 45		
28	215	56	12.332 26	-13	9.640 27	13	261		16	29.727 17	-13	15.929 85		
29	216	55	20.536 50	-13	9.820 39	14	262		15	37.931 41	-13	16.102 53		
30	217	54	28.740 73	-13	10.030 50	15	263		14	46.135 64	-13	16.246 85		
Mai	1	218	53	36.944 97	-13	10.243 86	16		264	13	54.339 88	-13	16.360 71	
	2	219	52	45.149 21	-13	10.435 88	17	265	13	2.544 12	-13	16.447 78		
	3	220	51	53.353 45	-13	10.590 67	18	266	12	10.748 35	-13	16.518 23		
	4	221	51	1.557 68	-13	10.703 13	19	267	11	18.952 59	-13	16.588 43		
	5	222	50	9.761 92	-13	10.777 56	20	268	10	27.156 83	-13	16.678 89		
	6	223	49	17.966 16	-13	10.824 75	21	269	9	35.361 06	-13	16.809 56		
	7	224	48	26.170 39	-13	10.858 81	22	270	8	43.565 30	-13	16.992 88		
	8	225	47	34.374 63	-13	10.894 29	23	271	7	51.769 54	-13	17.227 03		
	9	226	46	42.578 87	-13	10.944 04	24	272	6	59.973 78	-13	17.493 62		
	10	227	45	50.783 11	-13	11.017 50	25	273	6	8.178 01	-13	17.763 03		
	11	228	44	58.987 34	-13	11.119 78	26	274	5	16.382 25	-13	18.005 42		
	12	229	44	7.191 58	-13	11.251 37	27	275	4	24.586 49	-13	18.201 37		
	13	230	43	15.395 82	-13	11.408 37	28	276	3	32.790 72	-13	18.346 45		
	14	231	42	23.600 05	-13	11.583 39	29	277	2	40.994 96	-13	18.449 09		
	15	232	41	31.804 29	-13	11.766 63	30	278	1	49.199 20	-13	18.525 00		
	16	233	40	40.008 53	-13	11.947 21	Juill.	1	279	0	57.403 44	-13	18.591 62	
17	234	39	48.212 77	-13	12.114 42	2		280	0	5.607 67	-13	18.664 44		

## ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2017 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	59	13.81191	-13	18.75509	Août	18	326	19	31.20682	-13	24.66709	
	4	281	58	22.01615	-13	18.87074		19	327	18	39.41105	-13	24.86889	
	5	282	57	30.22038	-13	19.01410		20	328	17	47.61529	-13	25.04430	
	6	283	56	38.42462	-13	19.18362		21	329	16	55.81953	-13	25.17565	
	7	284	55	46.62886	-13	19.37394		22	330	16	4.02377	-13	25.25764	
	8	285	54	54.83310	-13	19.57647		23	331	15	12.22800	-13	25.29770	
	9	286	54	3.03733	-13	19.78040		24	332	14	20.43224	-13	25.31206	
	10	287	53	11.24157	-13	19.97409		25	333	13	28.63648	-13	25.31976	
	11	288	52	19.44581	-13	20.14687		26	334	12	36.84071	-13	25.33751	
	12	289	51	27.65004	-13	20.29087		27	335	11	45.04495	-13	25.37690	
	13	290	50	35.85428	-13	20.40287		28	336	10	53.24919	-13	25.44362	
	14	291	49	44.05852	-13	20.48546		29	337	10	1.45343	-13	25.53813	
	15	292	48	52.26276	-13	20.54758		30	338	9	9.65766	-13	25.65665	
	16	293	48	0.46699	-13	20.60382		31	339	8	17.86190	-13	25.79223	
	17	294	47	8.67123	-13	20.67250		Sept.	1	340	7	26.06614	-13	25.93558
	18	295	46	16.87547	-13	20.77216		2	341	6	34.27037	-13	26.07595	
	19	296	45	25.07970	-13	20.91665		3	342	5	42.47461	-13	26.20212	
20	297	44	33.28394	-13	21.10987	4	343	4	50.67885	-13	26.30395			
21	298	43	41.48818	-13	21.34206	5	344	3	58.88309	-13	26.37442			
22	299	42	49.69242	-13	21.59065	6	345	3	7.08732	-13	26.41185			
23	300	41	57.89665	-13	21.82671	7	346	2	15.29156	-13	26.42168			
24	301	41	6.10089	-13	22.02496	8	347	1	23.49580	-13	26.41680			
25	302	40	14.30513	-13	22.17223	9	348	0	31.70003	-13	26.41550			
26	303	39	22.50936	-13	22.27023	10	348	59	39.90427	-13	26.43730			
27	304	38	30.71360	-13	22.33212	11	349	58	48.10851	-13	26.49761			
28	305	37	38.91784	-13	22.37630	12	350	57	56.31275	-13	26.60301			
29	306	36	47.12208	-13	22.42074	13	351	57	4.51698	-13	26.74893			
30	307	35	55.32631	-13	22.47947	14	352	56	12.72122	-13	26.92042			
31	308	35	3.53055	-13	22.56143	15	353	55	20.92546	-13	27.09581			
Août	1	309	34	11.73479	-13	22.67044	16	354	54	29.12969	-13	27.25233		
2	310	33	19.93902	-13	22.80586	17	355	53	37.33393	-13	27.37213			
3	311	32	28.14326	-13	22.96322	18	356	52	45.53817	-13	27.44677			
4	312	31	36.34750	-13	23.13492	19	357	51	53.74241	-13	27.47903			
5	313	30	44.55174	-13	23.31090	20	358	51	1.94664	-13	27.48120			
6	314	29	52.75597	-13	23.47975	21	359	50	10.15088	-13	27.47084			
7	315	29	0.96021	-13	23.63011	22	0	49	18.35512	-13	27.46580			
8	316	28	9.16445	-13	23.75271	23	1	48	26.55935	-13	27.48019			
9	317	27	17.36868	-13	23.84242	24	2	47	34.76359	-13	27.52230			
10	318	26	25.57292	-13	23.90017	25	3	46	42.96783	-13	27.59441			
11	319	25	33.77716	-13	23.93372	26	4	45	51.17207	-13	27.69368			
12	320	24	41.98139	-13	23.95705	27	5	44	59.37630	-13	27.81360			
13	321	23	50.18563	-13	23.98807	28	6	44	7.58054	-13	27.94520			
14	322	22	58.38987	-13	24.04487	29	7	43	15.78478	-13	28.07818			
15	323	22	6.59411	-13	24.14131	30	8	42	23.98901	-13	28.20180			
16	324	21	14.79834	-13	24.28282	Oct.	1	9	41	32.19325	-13	28.30594		
17	325	20	23.00258	-13	24.46367	2	10	40	40.39749	-13	28.38258			

## ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2017 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	39	48.601 72	-13	28.427 71	Nov.	18	57	0	5.996 63	-13	32.802 92	
	4	12	38	56.805 96	-13	28.443 48		19	57	59	14.200 87	-13	32.945 70	
	5	13	38	5.010 20	-13	28.439 76		20	58	58	22.405 11	-13	33.115 55	
	6	14	37	13.214 44	-13	28.433 79		21	59	57	30.609 34	-13	33.304 32	
	7	15	36	21.418 67	-13	28.446 85		22	60	56	38.813 58	-13	33.501 56	
	8	16	35	29.622 91	-13	28.498 17		23	61	55	47.017 82	-13	33.696 14	
	9	17	34	37.827 15	-13	28.598 17		24	62	54	55.222 05	-13	33.877 65	
	10	18	33	46.031 38	-13	28.744 36		25	63	54	3.426 29	-13	34.037 60	
	11	19	32	54.235 62	-13	28.921 77		26	64	53	11.630 53	-13	34.170 46	
	12	20	32	2.439 86	-13	29.107 74		27	65	52	19.834 77	-13	34.274 75	
	13	21	31	10.644 10	-13	29.278 72		28	66	51	28.039 00	-13	34.354 09	
	14	22	30	18.848 33	-13	29.416 37		29	67	50	36.243 24	-13	34.418 30	
	15	23	29	27.052 57	-13	29.511 49		30	68	49	44.447 48	-13	34.483 56	
	16	24	28	35.256 81	-13	29.565 11		Déc.	1	69	48	52.651 71	-13	34.570 73
	17	25	27	43.461 04	-13	29.587 06			2	70	48	0.855 95	-13	34.700 58
	18	26	26	51.665 28	-13	29.592 88		3	71	47	9.060 19	-13	34.886 10	
	19	27	25	59.869 52	-13	29.599 82		4	72	46	17.264 43	-13	35.125 06	
20	28	25	8.073 76	-13	29.623 09	5	73	45	25.468 66	-13	35.397 80			
21	29	24	16.277 99	-13	29.673 21	6	74	44	33.672 90	-13	35.673 39			
22	30	23	24.482 23	-13	29.754 73	7	75	43	41.877 14	-13	35.921 45			
23	31	22	32.686 47	-13	29.866 50	8	76	42	50.081 37	-13	36.122 64			
24	32	21	40.890 70	-13	30.002 77	9	77	41	58.285 61	-13	36.272 79			
25	33	20	49.094 94	-13	30.154 73	10	78	41	6.489 85	-13	36.380 60			
26	34	19	57.299 18	-13	30.312 01	11	79	40	14.694 09	-13	36.462 17			
27	35	19	5.503 42	-13	30.463 89	12	80	39	22.898 32	-13	36.535 69			
28	36	18	13.707 65	-13	30.600 41	13	81	38	31.102 56	-13	36.617 55			
29	37	17	21.911 89	-13	30.713 39	14	82	37	39.306 80	-13	36.720 16			
30	38	16	30.116 13	-13	30.797 73	15	83	36	47.511 03	-13	36.850 89			
31	39	15	38.320 36	-13	30.853 05	16	84	35	55.715 27	-13	37.011 86			
Nov.	1	40	14	46.524 60	-13	30.885 41	17	85	35	3.919 51	-13	37.200 26		
	2	41	13	54.728 84	-13	30.908 40	18	86	34	12.123 75	-13	37.409 12		
	3	42	13	2.933 08	-13	30.942 13	19	87	33	20.327 98	-13	37.628 58		
	4	43	12	11.137 31	-13	31.008 90	20	88	32	28.532 22	-13	37.847 32		
	5	44	11	19.341 55	-13	31.125 76	21	89	31	36.736 46	-13	38.054 25		
	6	45	10	27.545 79	-13	31.296 89	22	90	30	44.940 69	-13	38.240 03		
	7	46	9	35.750 02	-13	31.510 35	23	91	29	53.144 93	-13	38.398 35		
	8	47	8	43.954 26	-13	31.741 83	24	92	29	1.349 17	-13	38.526 97		
	9	48	7	52.158 50	-13	31.963 33	25	93	28	9.553 41	-13	38.628 49		
	10	49	7	0.362 74	-13	32.152 33	26	94	27	17.757 64	-13	38.710 72		
	11	50	6	8.566 97	-13	32.297 16	27	95	26	25.961 88	-13	38.786 78		
	12	51	5	16.771 21	-13	32.397 89	28	96	25	34.166 12	-13	38.874 13		
	13	52	4	24.975 45	-13	32.463 98	29	97	24	42.370 35	-13	38.992 08		
	14	53	3	33.179 68	-13	32.510 49	30	98	23	50.574 59	-13	39.157 01		
	15	54	2	41.383 92	-13	32.554 28	31	99	22	58.778 83	-13	39.375 79		
	16	55	1	49.588 16	-13	32.610 76	32	100	22	6.983 07	-13	39.640 02		
	17	56	0	57.792 40	-13	32.691 53	33	101	21	15.187 30	-13	39.925 30		



## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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



## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2017 à 0h TT

### COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE $s$

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$		
	"	"	"		"	"	"		
<b>Janv.</b>	0	338.013 45	-9.736 76	0.007 34	<b>Févr.</b>	15	340.574 98	-8.667 15	0.006 41
	1	338.093 05	-9.695 29	0.007 31		16	340.588 01	-8.663 71	0.006 40
	2	338.159 09	-9.648 70	0.007 27		17	340.609 87	-8.669 57	0.006 41
	3	338.210 65	-9.603 89	0.007 23		18	340.642 76	-8.679 72	0.006 41
	4	338.249 86	-9.567 97	0.007 20		19	340.687 08	-8.689 01	0.006 42
	5	338.281 93	-9.546 80	0.007 18		20	340.741 61	-8.692 68	0.006 42
	6	338.314 48	-9.543 40	0.007 18		21	340.803 69	-8.686 76	0.006 42
	7	338.356 16	-9.556 73	0.007 19		22	340.869 41	-8.668 45	0.006 40
	8	338.414 52	-9.581 09	0.007 21		23	340.933 82	-8.636 63	0.006 37
	9	338.493 54	-9.606 90	0.007 23		24	340.991 52	-8.592 44	0.006 33
	10	338.591 67	-9.623 00	0.007 24		25	341.037 52	-8.539 68	0.006 29
	11	338.701 55	-9.620 23	0.007 23		26	341.068 50	-8.484 74	0.006 24
	12	338.811 99	-9.594 70	0.007 21		27	341.084 24	-8.435 71	0.006 20
	13	338.911 73	-9.549 20	0.007 17		28	341.088 41	-8.400 48	0.006 17
	14	338.993 09	-9.491 83	0.007 12	<b>Mars</b>	1	341.088 31	-8.384 40	0.006 16
	15	339.053 85	-9.432 74	0.007 07		2	341.093 12	-8.388 22	0.006 16
	16	339.096 79	-9.380 88	0.007 03		3	341.111 27	-8.407 43	0.006 18
	17	339.127 80	-9.341 95	0.006 99		4	341.147 81	-8.433 43	0.006 20
	18	339.153 78	-9.318 04	0.006 97		5	341.202 92	-8.455 97	0.006 22
	19	339.181 08	-9.308 21	0.006 96		6	341.271 94	-8.466 04	0.006 22
	20	339.214 67	-9.309 42	0.006 97		7	341.346 79	-8.458 20	0.006 22
	21	339.257 89	-9.317 37	0.006 97		8	341.418 17	-8.431 72	0.006 19
	22	339.312 39	-9.327 20	0.006 98		9	341.477 91	-8.390 51	0.006 16
	23	339.378 15	-9.333 92	0.006 98		10	341.520 83	-8.341 82	0.006 12
	24	339.453 51	-9.332 90	0.006 98		11	341.545 74	-8.294 25	0.006 08
	25	339.535 29	-9.320 36	0.006 97		12	341.555 30	-8.255 60	0.006 04
	26	339.618 91	-9.293 95	0.006 94		13	341.555 00	-8.231 16	0.006 02
	27	339.698 91	-9.253 41	0.006 91		14	341.551 53	-8.222 95	0.006 02
	28	339.769 78	-9.201 09	0.006 86		15	341.551 28	-8.229 82	0.006 02
	29	339.827 15	-9.141 98	0.006 81		16	341.559 20	-8.248 18	0.006 04
	30	339.869 04	-9.083 11	0.006 76		17	341.578 28	-8.273 07	0.006 06
	31	339.896 77	-9.032 23	0.006 72		18	341.609 44	-8.299 12	0.006 08
<b>Févr.</b>	1	339.915 17	-8.995 94	0.006 69		19	341.651 81	-8.321 27	0.006 10
	2	339.931 74	-8.977 87	0.006 68		20	341.703 02	-8.335 29	0.006 11
	3	339.955 01	-8.977 45	0.006 68		21	341.759 52	-8.338 12	0.006 11
	4	339.992 41	-8.989 68	0.006 68		22	341.816 90	-8.328 19	0.006 10
	5	340.048 22	-9.006 10	0.006 70		23	341.870 20	-8.305 78	0.006 08
	6	340.122 15	-9.016 75	0.006 70		24	341.914 52	-8.273 45	0.006 05
	7	340.209 09	-9.012 79	0.006 70		25	341.945 89	-8.236 21	0.006 02
	8	340.300 19	-8.989 06	0.006 68		26	341.962 53	-8.201 33	0.005 99
	9	340.385 30	-8.945 65	0.006 64		27	341.966 14	-8.177 19	0.005 97
	10	340.455 83	-8.887 91	0.006 59		28	341.962 56	-8.171 05	0.005 97
	11	340.507 17	-8.824 58	0.006 54		29	341.961 00	-8.186 35	0.005 98
	12	340.539 51	-8.765 08	0.006 49		30	341.971 47	-8.220 62	0.006 01
	13	340.557 15	-8.716 88	0.006 45		31	342.001 25	-8.265 66	0.006 04
	14	340.566 66	-8.684 08	0.006 42	<b>Avril</b>	1	342.052 11	-8.310 07	0.006 08

## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2017 à 0h TT

### COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE $s$

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$		
	"	"	"		"	"	"		
<b>Avril</b>	2	342.119 80	-8.343 09	0.006 11	<b>Mai</b>	18	344.194 95	-8.853 64	0.006 49
	3	342.195 71	-8.357 94	0.006 12		19	344.245 54	-8.831 86	0.006 47
	4	342.269 87	-8.353 28	0.006 11		20	344.283 19	-8.813 15	0.006 45
	5	342.333 65	-8.332 71	0.006 09		21	344.310 13	-8.804 64	0.006 44
	6	342.381 65	-8.303 20	0.006 07		22	344.331 93	-8.812 63	0.006 45
	7	342.412 29	-8.272 98	0.006 04		23	344.357 25	-8.840 45	0.006 47
	8	342.427 59	-8.249 68	0.006 02		24	344.396 17	-8.886 26	0.006 51
	9	342.432 27	-8.238 93	0.006 01		25	344.456 88	-8.942 04	0.006 56
	10	342.432 52	-8.243 55	0.006 02		26	344.541 91	-8.995 14	0.006 60
	11	342.434 68	-8.263 41	0.006 03		27	344.646 05	-9.032 73	0.006 63
	12	342.444 14	-8.295 78	0.006 06		28	344.757 91	-9.046 92	0.006 64
	13	342.464 59	-8.336 18	0.006 09		29	344.864 34	-9.037 56	0.006 63
	14	342.497 66	-8.379 23	0.006 13		30	344.955 20	-9.011 30	0.006 60
	15	342.542 96	-8.419 60	0.006 16		31	345.025 89	-8.978 20	0.006 57
	16	342.598 39	-8.452 66	0.006 19	<b>Juin</b>	1	345.077 32	-8.948 10	0.006 55
	17	342.660 55	-8.475 01	0.006 20		2	345.114 18	-8.928 30	0.006 53
	18	342.725 19	-8.484 75	0.006 21		3	345.142 99	-8.922 76	0.006 52
	19	342.787 62	-8.481 75	0.006 21		4	345.170 50	-8.932 22	0.006 53
	20	342.843 21	-8.467 81	0.006 19		5	345.202 61	-8.954 84	0.006 55
	21	342.887 97	-8.446 84	0.006 18		6	345.243 78	-8.986 92	0.006 58
	22	342.919 44	-8.424 79	0.006 16		7	345.296 69	-9.023 60	0.006 61
	23	342.937 72	-8.409 22	0.006 14		8	345.362 10	-9.059 56	0.006 63
	24	342.946 52	-8.407 89	0.006 14		9	345.438 90	-9.089 72	0.006 66
	25	342.953 41	-8.426 54	0.006 16		10	345.524 29	-9.109 81	0.006 67
	26	342.968 61	-8.466 17	0.006 19		11	345.614 19	-9.117 03	0.006 68
	27	343.001 84	-8.521 29	0.006 24		12	345.703 81	-9.110 35	0.006 67
	28	343.058 37	-8.580 80	0.006 28		13	345.788 27	-9.090 82	0.006 65
	29	343.136 35	-8.631 76	0.006 32		14	345.863 37	-9.061 48	0.006 62
	30	343.227 42	-8.664 23	0.006 35		15	345.926 19	-9.027 11	0.006 59
<b>Mai</b>	1	343.319 99	-8.674 57	0.006 36		16	345.975 80	-8.993 80	0.006 57
	2	343.403 39	-8.665 68	0.006 35		17	346.013 77	-8.968 11	0.006 54
	3	343.470 70	-8.644 90	0.006 33		18	346.044 48	-8.956 03	0.006 53
	4	343.519 67	-8.621 20	0.006 31		19	346.075 01	-8.961 53	0.006 54
	5	343.552 14	-8.602 77	0.006 29		20	346.114 24	-8.984 83	0.006 56
	6	343.572 75	-8.595 63	0.006 29		21	346.170 84	-9.021 14	0.006 58
	7	343.587 61	-8.602 96	0.006 29		22	346.250 25	-9.060 64	0.006 62
	8	343.603 02	-8.625 14	0.006 31		23	346.351 74	-9.090 76	0.006 64
	9	343.624 57	-8.660 05	0.006 34		24	346.467 37	-9.100 55	0.006 64
	10	343.656 35	-8.703 72	0.006 37		25	346.584 34	-9.085 20	0.006 63
	11	343.700 62	-8.751 06	0.006 41		26	346.689 68	-9.047 92	0.006 60
	12	343.757 59	-8.796 67	0.006 45		27	346.774 95	-8.998 09	0.006 55
	13	343.825 61	-8.835 60	0.006 48		28	346.838 17	-8.947 14	0.006 51
	14	343.901 48	-8.863 99	0.006 50		29	346.882 96	-8.904 70	0.006 47
	15	343.980 97	-8.879 53	0.006 51		30	346.916 10	-8.876 56	0.006 45
	16	344.059 36	-8.881 71	0.006 51	<b>Juill.</b>	1	346.945 15	-8.864 46	0.006 44
	17	344.132 01	-8.871 97	0.006 50		2	346.976 82	-8.866 90	0.006 44

## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2017 à 0h TT

### COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE $s$

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$
	"	"	"		"	"	"
<b>Juill.</b>	3 347.016 17	-8.880 22	0.006 45	<b>Août</b>	18 349.587 53	-8.063 36	0.005 70
	4 347.066 34	-8.899 56	0.006 46		19 349.675 27	-8.028 50	0.005 67
	5 347.128 52	-8.919 58	0.006 48		20 349.751 64	-7.974 83	0.005 63
	6 347.202 05	-8.935 11	0.006 49		21 349.808 97	-7.910 59	0.005 57
	7 347.284 63	-8.941 66	0.006 49		22 349.844 90	-7.846 64	0.005 52
	8 347.372 56	-8.935 94	0.006 49		23 349.862 61	-7.792 93	0.005 47
	9 347.461 16	-8.916 35	0.006 47		24 349.869 10	-7.755 76	0.005 44
	10 347.545 37	-8.883 33	0.006 44		25 349.872 63	-7.736 85	0.005 42
	11 347.620 57	-8.839 47	0.006 40		26 349.880 46	-7.733 92	0.005 42
	12 347.683 31	-8.789 37	0.006 36		27 349.897 61	-7.742 14	0.005 43
	13 347.732 18	-8.739 04	0.006 31		28 349.926 59	-7.755 64	0.005 44
	14 347.768 29	-8.695 06	0.006 28		29 349.967 62	-7.768 57	0.005 45
	15 347.795 46	-8.663 39	0.006 25		30 350.019 08	-7.775 84	0.005 45
	16 347.820 02	-8.648 09	0.006 23		31 350.077 97	-7.773 48	0.005 45
	17 347.849 90	-8.650 06	0.006 24	<b>Sept.</b>	1 350.140 29	-7.758 96	0.005 44
	18 347.893 14	-8.666 10	0.006 25		2 350.201 37	-7.731 41	0.005 41
	19 347.955 79	-8.688 75	0.006 27		3 350.256 34	-7.691 91	0.005 38
	20 348.039 57	-8.707 44	0.006 28		4 350.300 80	-7.643 71	0.005 33
	21 348.140 32	-8.711 24	0.006 28		5 350.331 68	-7.592 15	0.005 29
	22 348.248 27	-8.692 61	0.006 26		6 350.348 22	-7.544 11	0.005 25
	23 348.350 88	-8.650 53	0.006 23		7 350.352 76	-7.506 79	0.005 22
	24 348.437 18	-8.591 11	0.006 17		8 350.350 85	-7.486 02	0.005 20
	25 348.501 42	-8.525 13	0.006 12		9 350.350 41	-7.484 36	0.005 20
	26 348.544 27	-8.463 94	0.006 06		10 350.359 91	-7.499 94	0.005 21
	27 348.571 41	-8.415 94	0.006 02		11 350.386 05	-7.526 45	0.005 23
	28 348.590 81	-8.385 00	0.006 00		12 350.431 74	-7.554 57	0.005 26
	29 348.610 25	-8.370 73	0.005 98		13 350.495 02	-7.574 30	0.005 27
	30 348.635 82	-8.369 76	0.005 98		14 350.569 46	-7.577 69	0.005 27
	31 348.671 43	-8.377 06	0.005 99		15 350.645 67	-7.561 03	0.005 26
<b>Août</b>	1 348.718 76	-8.387 04	0.005 99		16 350.713 79	-7.525 80	0.005 23
	2 348.777 54	-8.394 32	0.006 00		17 350.766 04	-7.478 36	0.005 18
	3 348.845 87	-8.394 18	0.006 00		18 350.798 73	-7.428 04	0.005 14
	4 348.920 46	-8.382 99	0.005 99		19 350.813 02	-7.384 59	0.005 10
	5 348.996 96	-8.358 62	0.005 97		20 350.814 20	-7.355 53	0.005 08
	6 349.070 42	-8.320 80	0.005 93		21 350.809 88	-7.344 54	0.005 07
	7 349.135 92	-8.271 41	0.005 89		22 350.807 78	-7.351 09	0.005 08
	8 349.189 41	-8.214 55	0.005 84		23 350.814 06	-7.371 35	0.005 09
	9 349.228 66	-8.156 15	0.005 79		24 350.832 31	-7.399 55	0.005 12
	10 349.254 03	-8.103 07	0.005 74		25 350.863 56	-7.429 46	0.005 14
	11 349.268 86	-8.061 81	0.005 71		26 350.906 60	-7.455 41	0.005 16
	12 349.279 19	-8.037 00	0.005 69		27 350.958 63	-7.472 93	0.005 18
	13 349.292 78	-8.029 99	0.005 68		28 351.015 77	-7.479 08	0.005 18
	14 349.317 48	-8.038 17	0.005 69		29 351.073 56	-7.472 54	0.005 17
	15 349.359 33	-8.054 97	0.005 70		30 351.127 35	-7.453 81	0.005 16
	16 349.420 71	-8.071 08	0.005 71	<b>Oct.</b>	1 351.172 73	-7.425 26	0.005 13
	17 349.499 19	-8.076 50	0.005 72		2 351.206 22	-7.391 29	0.005 10

## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2017 à 0h TT

### COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE $s$

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$		
	"	"	"		"	"	"		
<b>Oct.</b>	3	351.226 04	-7.358 08	0.005 07	<b>Nov.</b>	18	353.125 93	-7.911 67	0.005 51
	4	351.233 11	-7.332 90	0.005 05		19	353.187 74	-7.958 44	0.005 55
	5	351.231 66	-7.322 68	0.005 04		20	353.261 32	-7.998 51	0.005 58
	6	351.229 15	-7.331 97	0.005 05		21	353.343 15	-8.027 74	0.005 61
	7	351.234 81	-7.360 84	0.005 08		22	353.428 70	-8.043 75	0.005 62
	8	351.256 99	-7.404 04	0.005 11		23	353.513 16	-8.046 15	0.005 62
	9	351.300 26	-7.451 90	0.005 15		24	353.592 00	-8.036 42	0.005 61
	10	351.363 57	-7.493 22	0.005 19		25	353.661 54	-8.017 76	0.005 59
	11	351.440 49	-7.518 73	0.005 21		26	353.719 35	-7.994 81	0.005 57
	12	351.521 20	-7.523 83	0.005 21		27	353.764 77	-7.973 30	0.005 55
	13	351.595 50	-7.509 52	0.005 20		28	353.799 35	-7.959 51	0.005 54
	14	351.655 41	-7.481 63	0.005 17		29	353.827 30	-7.959 36	0.005 54
	15	351.696 91	-7.448 87	0.005 14		30	353.855 64	-7.977 02	0.005 55
	16	351.720 40	-7.420 49	0.005 12	<b>Déc.</b>	1	353.893 40	-8.012 99	0.005 58
	17	351.730 11	-7.404 15	0.005 10		2	353.949 59	-8.062 50	0.005 62
	18	351.732 75	-7.404 39	0.005 10		3	354.029 90	-8.115 34	0.005 67
	19	351.735 81	-7.422 07	0.005 12		4	354.133 42	-8.158 34	0.005 70
	20	351.745 88	-7.454 60	0.005 15		5	354.251 66	-8.180 19	0.005 72
	21	351.767 55	-7.496 98	0.005 18		6	354.371 27	-8.176 12	0.005 71
	22	351.802 82	-7.543 01	0.005 22		7	354.479 03	-8.149 69	0.005 69
	23	351.851 21	-7.586 60	0.005 26		8	354.566 53	-8.110 59	0.005 65
	24	351.910 25	-7.622 67	0.005 29		9	354.631 92	-8.070 48	0.005 62
	25	351.976 14	-7.647 67	0.005 31		10	354.678 90	-8.039 23	0.005 59
	26	352.044 39	-7.659 84	0.005 32		11	354.714 45	-8.022 87	0.005 58
	27	352.110 35	-7.659 26	0.005 32		12	354.746 44	-8.023 35	0.005 58
	28	352.169 70	-7.647 78	0.005 30		13	354.781 98	-8.039 15	0.005 59
	29	352.218 88	-7.628 98	0.005 29		14	354.826 46	-8.066 28	0.005 61
	30	352.255 65	-7.608 10	0.005 27		15	354.883 11	-8.099 30	0.005 64
	31	352.279 83	-7.591 62	0.005 25		16	354.952 86	-8.132 29	0.005 66
<b>Nov.</b>	1	352.294 00	-7.586 54	0.005 25		17	355.034 53	-8.159 66	0.005 69
	2	352.304 04	-7.598 77	0.005 26		18	355.125 11	-8.176 84	0.005 70
	3	352.318 65	-7.631 07	0.005 29		19	355.220 34	-8.180 90	0.005 70
	4	352.347 50	-7.681 00	0.005 33		20	355.315 32	-8.170 82	0.005 69
	5	352.398 02	-7.740 32	0.005 38		21	355.405 24	-8.147 64	0.005 67
	6	352.472 08	-7.796 89	0.005 43		22	355.486 03	-8.114 25	0.005 64
	7	352.564 56	-7.838 78	0.005 46		23	355.554 94	-8.075 08	0.005 60
	8	352.664 94	-7.858 62	0.005 48		24	355.610 99	-8.035 59	0.005 57
	9	352.761 09	-7.855 91	0.005 47		25	355.655 25	-8.001 65	0.005 54
	10	352.843 23	-7.836 35	0.005 45		26	355.691 12	-7.978 79	0.005 52
	11	352.906 25	-7.809 25	0.005 43		27	355.724 24	-7.971 23	0.005 51
	12	352.950 15	-7.784 45	0.005 41		28	355.762 18	-7.980 64	0.005 52
	13	352.978 98	-7.770 00	0.005 39		29	355.813 32	-8.004 90	0.005 54
	14	352.999 26	-7.770 80	0.005 39		30	355.884 78	-8.037 19	0.005 56
	15	353.018 30	-7.788 29	0.005 41		31	355.979 60	-8.066 52	0.005 59
	16	353.042 77	-7.820 68	0.005 44		32	356.094 19	-8.080 48	0.005 60
	17	353.077 72	-7.863 71	0.005 47		33	356.218 01	-8.069 89	0.005 59



## SOLEIL

<b>Longitude, latitude, rayon vecteur</b> .....	II. 22
<b>Ascension droite et déclinaison apparentes, temps de passage</b>	II. 26
<b>Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)</b> .....	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 2017 à 0h TT

## LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua		
Janv.	0	279 30 18.14	+7.85	0.983 355 28	Févr.	15	326 15 18.61	+3.90	0.987 703 80
	1	280 31 28.44	+7.70	0.983 337 93		16	327 15 53.47	+3.87	0.987 907 77
	2	281 32 38.68	+7.52	0.983 324 54		17	328 16 27.10	+3.82	0.988 116 00
	3	282 33 48.78	+7.34	0.983 315 25		18	329 16 59.47	+3.73	0.988 328 21
	4	283 34 58.64	+7.16	0.983 310 26		19	330 17 30.57	+3.62	0.988 544 09
	5	284 36 8.20	+6.99	0.983 309 82		20	331 18 0.39	+3.48	0.988 763 36
	6	285 37 17.39	+6.83	0.983 314 21		21	332 18 28.89	+3.31	0.988 985 70
	7	286 38 26.17	+6.69	0.983 323 75		22	333 18 56.04	+3.11	0.989 210 83
	8	287 39 34.49	+6.58	0.983 338 78		23	334 19 21.78	+2.88	0.989 438 44
	9	288 40 42.34	+6.50	0.983 359 63		24	335 19 46.08	+2.64	0.989 668 26
	10	289 41 49.74	+6.45	0.983 386 60		25	336 20 8.86	+2.38	0.989 900 02
	11	290 42 56.69	+6.43	0.983 419 93		26	337 20 30.06	+2.11	0.990 133 48
	12	291 44 3.24	+6.44	0.983 459 78		27	338 20 49.59	+1.83	0.990 368 47
	13	292 45 9.42	+6.47	0.983 506 20		28	339 21 7.37	+1.56	0.990 604 88
14	293 46 15.28	+6.52	0.983 559 16	Mars	1	340 21 23.31	+1.31	0.990 842 65	
15	294 47 20.84	+6.58	0.983 618 52		2	341 21 37.33	+1.07	0.991 081 83	
16	295 48 26.13	+6.65	0.983 684 07		3	342 21 49.33	+0.86	0.991 322 56	
17	296 49 31.16	+6.70	0.983 755 57		4	343 21 59.27	+0.69	0.991 565 02	
18	297 50 35.91	+6.75	0.983 832 74		5	344 22 7.08	+0.54	0.991 809 44	
19	298 51 40.37	+6.77	0.983 915 31		6	345 22 12.75	+0.43	0.992 056 10	
20	299 52 44.52	+6.77	0.984 003 00		7	346 22 16.24	+0.35	0.992 305 26	
21	300 53 48.30	+6.75	0.984 095 55		8	347 22 17.58	+0.30	0.992 557 17	
22	301 54 51.69	+6.70	0.984 192 70		9	348 22 16.78	+0.27	0.992 812 03	
23	302 55 54.62	+6.61	0.984 294 19		10	349 22 13.87	+0.26	0.993 070 01	
24	303 56 57.05	+6.50	0.984 399 80		11	350 22 8.89	+0.25	0.993 331 21	
25	304 57 58.89	+6.36	0.984 509 29		12	351 22 1.90	+0.25	0.993 595 64	
26	305 59 0.09	+6.19	0.984 622 47		13	352 21 52.94	+0.24	0.993 863 27	
27	307 0 0.57	+5.99	0.984 739 16		14	353 21 42.06	+0.22	0.994 134 00	
28	308 1 0.23	+5.78	0.984 859 21	15	354 21 29.30	+0.18	0.994 407 65		
29	309 1 58.98	+5.55	0.984 982 52	16	355 21 14.71	+0.11	0.994 684 03		
30	310 2 56.74	+5.31	0.985 109 06	17	356 20 58.32	+0.03	0.994 962 90		
31	311 3 53.40	+5.07	0.985 238 84	18	357 20 40.14	-0.09	0.995 243 98		
Févr.	1	312 4 48.88	+4.84	0.985 371 96	19	358 20 20.21	-0.23	0.995 527 01	
	2	313 5 43.09	+4.62	0.985 508 57	20	359 19 58.53	-0.41	0.995 811 67	
	3	314 6 35.95	+4.42	0.985 648 87	21	0 19 35.10	-0.60	0.996 097 66	
	4	315 7 27.41	+4.25	0.985 793 11	22	1 19 9.93	-0.83	0.996 384 65	
	5	316 8 17.41	+4.10	0.985 941 59	23	2 18 43.01	-1.07	0.996 672 33	
	6	317 9 5.93	+3.99	0.986 094 60	24	3 18 14.31	-1.33	0.996 960 34	
	7	318 9 52.96	+3.92	0.986 252 43	25	4 17 43.82	-1.60	0.997 248 35	
	8	319 10 38.51	+3.87	0.986 415 31	26	5 17 11.49	-1.88	0.997 536 03	
	9	320 11 22.61	+3.85	0.986 583 46	27	6 16 37.27	-2.15	0.997 823 09	
	10	321 12 5.27	+3.85	0.986 756 98	28	7 16 1.09	-2.42	0.998 109 28	
	11	322 12 46.56	+3.87	0.986 935 93	29	8 15 22.88	-2.66	0.998 394 43	
	12	323 13 26.50	+3.89	0.987 120 23	30	9 14 42.57	-2.88	0.998 678 46	
	13	324 14 5.14	+3.90	0.987 309 78	31	10 14 0.07	-3.06	0.998 961 40	
	14	325 14 42.50	+3.91	0.987 504 38	Avril	1	11 13 15.33	-3.22	0.999 243 36

## SOLEIL 2017 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	12	12	28.28	-3.34	0.999 524 53	Mai	18	57	0	58.82	-7.56	1.011 464 10	
	3	13	11	38.90	-3.42	0.999 805 15		19	57	58	45.76	-7.74	1.011 675 17	
	4	14	10	47.16	-3.48	1.000 085 50		20	58	56	31.61	-7.93	1.011 882 84	
	5	15	9	53.09	-3.51	1.000 365 81		21	59	54	16.37	-8.11	1.012 086 77	
	6	16	8	56.68	-3.52	1.000 646 33		22	60	52	0.07	-8.27	1.012 286 60	
	7	17	7	57.98	-3.52	1.000 927 25		23	61	49	42.70	-8.41	1.012 481 95	
	8	18	6	57.04	-3.52	1.001 208 71		24	62	47	24.25	-8.52	1.012 672 49	
	9	19	5	53.90	-3.53	1.001 490 81		25	63	45	4.68	-8.60	1.012 857 91	
	10	20	4	48.62	-3.54	1.001 773 58		26	64	42	43.93	-8.64	1.013 038 02	
	11	21	3	41.27	-3.57	1.002 057 02		27	65	40	21.96	-8.65	1.013 212 71	
	12	22	2	31.90	-3.62	1.002 341 04		28	66	37	58.70	-8.62	1.013 382 01	
	13	23	1	20.57	-3.69	1.002 625 54		29	67	35	34.11	-8.57	1.013 546 08	
	14	24	0	7.35	-3.78	1.002 910 37		30	68	33	8.16	-8.50	1.013 705 11	
	15	24	58	52.28	-3.90	1.003 195 31		31	69	30	40.83	-8.41	1.013 859 39	
	16	25	57	35.40	-4.05	1.003 480 16		Juin	1	70	28	12.14	-8.31	1.014 009 19
	17	26	56	16.77	-4.22	1.003 764 67			2	71	25	42.10	-8.22	1.014 154 79
18	27	54	56.42	-4.41	1.004 048 55	3	72		23	10.75	-8.13	1.014 296 44		
19	28	53	34.38	-4.63	1.004 331 52	4	73		20	38.15	-8.06	1.014 434 37		
20	29	52	10.68	-4.86	1.004 613 25	5	74		18	4.35	-8.00	1.014 568 75		
21	30	50	45.33	-5.10	1.004 893 42	6	75		15	29.41	-7.97	1.014 699 75		
22	31	49	18.35	-5.34	1.005 171 67	7	76		12	53.40	-7.95	1.014 827 48		
23	32	47	49.72	-5.58	1.005 447 64	8	77		10	16.39	-7.96	1.014 952 02		
24	33	46	19.44	-5.81	1.005 720 97	9	78		7	38.46	-8.00	1.015 073 44		
25	34	44	47.46	-6.03	1.005 991 32	10	79		4	59.69	-8.06	1.015 191 72		
26	35	43	13.74	-6.22	1.006 258 41	11	80		2	20.14	-8.14	1.015 306 86		
27	36	41	38.22	-6.38	1.006 522 04	12	80		59	39.92	-8.23	1.015 418 78		
28	37	40	0.83	-6.51	1.006 782 12	13	81		56	59.08	-8.35	1.015 527 38		
29	38	38	21.50	-6.60	1.007 038 66	14	82		54	17.70	-8.47	1.015 632 52		
30	39	36	40.19	-6.66	1.007 291 78	15	83		51	35.87	-8.59	1.015 734 02		
Mai	1	40	34	56.84	-6.69	1.007 541 70	16		84	48	53.64	-8.72	1.015 831 65	
	2	41	33	11.45	-6.69	1.007 788 67	17	85	46	11.07	-8.83	1.015 925 17		
	3	42	31	24.00	-6.67	1.008 032 96	18	86	43	28.21	-8.93	1.016 014 26		
	4	43	29	34.52	-6.64	1.008 274 82	19	87	40	45.11	-9.01	1.016 098 61		
	5	44	27	43.04	-6.60	1.008 514 49	20	88	38	1.79	-9.07	1.016 177 86		
	6	45	25	49.60	-6.57	1.008 752 17	21	89	35	18.26	-9.09	1.016 251 66		
	7	46	23	54.26	-6.54	1.008 988 02	22	90	32	34.51	-9.07	1.016 319 67		
	8	47	21	57.07	-6.53	1.009 222 15	23	91	29	50.51	-9.02	1.016 381 62		
	9	48	19	58.11	-6.53	1.009 454 64	24	92	27	6.22	-8.94	1.016 437 31		
	10	49	17	57.44	-6.56	1.009 685 50	25	93	24	21.57	-8.82	1.016 486 67		
	11	50	15	55.13	-6.60	1.009 914 74	26	94	21	36.54	-8.68	1.016 529 74		
	12	51	13	51.25	-6.68	1.010 142 27	27	95	18	51.06	-8.53	1.016 566 67		
	13	52	11	45.88	-6.77	1.010 368 02	28	96	16	5.13	-8.37	1.016 597 70		
	14	53	9	39.07	-6.89	1.010 591 85	29	97	13	18.72	-8.20	1.016 623 09		
	15	54	7	30.90	-7.04	1.010 813 58	30	98	10	31.85	-8.05	1.016 643 15		
	16	55	5	21.43	-7.20	1.011 033 03	Juill.	1	99	7	44.54	-7.90	1.016 658 16	
17	56	3	10.72	-7.37	1.011 249 95	2		100	4	56.82	-7.78	1.016 668 40		



## SOLEIL 2017 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			
<b>Juill.</b>	3	101 2 8.74	-7.67	1.016 674 11	<b>Août</b>	18	145 0 45.16	-4.59	1.012 277 94	
	4	101 59 20.35	-7.59	1.016 675 54		19	145 58 29.14	-4.36	1.012 088 35	
	5	102 56 31.71	-7.54	1.016 672 88		20	146 56 14.65	-4.11	1.011 893 99	
	6	103 53 42.89	-7.51	1.016 666 31		21	147 54 1.65	-3.84	1.011 694 74	
	7	104 50 53.96	-7.50	1.016 655 97		22	148 51 50.10	-3.57	1.011 490 58	
	8	105 48 4.98	-7.52	1.016 641 99		23	149 49 39.96	-3.31	1.011 281 57	
	9	106 45 16.05	-7.55	1.016 624 45		24	150 47 31.16	-3.05	1.011 067 85	
	10	107 42 27.23	-7.60	1.016 603 40		25	151 45 23.69	-2.81	1.010 849 66	
	11	108 39 38.62	-7.66	1.016 578 85		26	152 43 17.52	-2.59	1.010 627 25	
	12	109 36 50.29	-7.73	1.016 550 75		27	153 41 12.64	-2.40	1.010 400 90	
	13	110 34 2.34	-7.79	1.016 519 03		28	154 39 9.05	-2.24	1.010 170 94	
	14	111 31 14.83	-7.85	1.016 483 56		29	155 37 6.75	-2.10	1.009 937 65	
	15	112 28 27.85	-7.89	1.016 444 15		30	156 35 5.76	-1.99	1.009 701 36	
	16	113 25 41.45	-7.92	1.016 400 57		31	157 33 6.11	-1.91	1.009 462 35	
	17	114 22 55.71	-7.92	1.016 352 55		<b>Sept.</b>	1	158 31 7.83	-1.85	1.009 220 92
	18	115 20 10.65	-7.89	1.016 299 79		2	159 29 10.96	-1.81	1.008 977 36	
	19	116 17 26.32	-7.82	1.016 241 96		3	160 27 15.53	-1.78	1.008 731 95	
20	117 14 42.71	-7.72	1.016 178 73	4	161 25 21.61	-1.77	1.008 484 95			
21	118 11 59.83	-7.58	1.016 109 80	5	162 23 29.26	-1.76	1.008 236 58			
22	119 9 17.64	-7.41	1.016 034 92	6	163 21 38.54	-1.75	1.007 987 06			
23	120 6 36.10	-7.22	1.015 953 93	7	164 19 49.53	-1.73	1.007 736 52			
24	121 3 55.17	-7.00	1.015 866 79	8	165 18 2.32	-1.69	1.007 485 06			
25	122 1 14.80	-6.78	1.015 773 55	9	166 16 16.97	-1.63	1.007 232 69			
26	122 58 34.95	-6.55	1.015 674 36	10	167 14 33.58	-1.54	1.006 979 37			
27	123 55 55.59	-6.33	1.015 569 46	11	168 12 52.22	-1.43	1.006 724 94			
28	124 53 16.71	-6.12	1.015 459 12	12	169 11 12.94	-1.27	1.006 469 24			
29	125 50 38.31	-5.93	1.015 343 64	13	170 9 35.79	-1.09	1.006 212 01			
30	126 48 0.41	-5.76	1.015 223 32	14	171 8 0.80	-0.88	1.005 952 99			
31	127 45 23.02	-5.62	1.015 098 46	15	172 6 27.98	-0.63	1.005 691 90			
<b>Août</b>	1	128 42 46.19	-5.50	1.014 969 34	16	173 4 57.33	-0.37	1.005 428 49		
2	129 40 9.96	-5.41	1.014 836 24	17	174 3 28.81	-0.09	1.005 162 54			
3	130 37 34.37	-5.34	1.014 699 39	18	175 2 2.41	+0.19	1.004 893 88			
4	131 34 59.49	-5.30	1.014 559 05	19	176 0 38.05	+0.47	1.004 622 42			
5	132 32 25.36	-5.28	1.014 415 42	20	176 59 15.71	+0.75	1.004 348 15			
6	133 29 52.06	-5.28	1.014 268 69	21	177 57 55.31	+1.00	1.004 071 12			
7	134 27 19.67	-5.28	1.014 119 04	22	178 56 36.81	+1.24	1.003 791 47			
8	135 24 48.25	-5.30	1.013 966 57	23	179 55 20.16	+1.45	1.003 509 39			
9	136 22 17.90	-5.32	1.013 811 38	24	180 54 5.32	+1.63	1.003 225 11			
10	137 19 48.70	-5.33	1.013 653 48	25	181 52 52.27	+1.79	1.002 938 91			
11	138 17 20.72	-5.34	1.013 492 86	26	182 51 40.98	+1.92	1.002 651 06			
12	139 14 54.06	-5.32	1.013 329 42	27	183 50 31.44	+2.01	1.002 361 87			
13	140 12 28.80	-5.28	1.013 163 01	28	184 49 23.64	+2.09	1.002 071 65			
14	141 10 4.98	-5.21	1.012 993 42	29	185 48 17.58	+2.14	1.001 780 72			
15	142 7 42.68	-5.10	1.012 820 41	30	186 47 13.28	+2.18	1.001 489 38			
16	143 5 21.93	-4.97	1.012 643 69	<b>Oct.</b>	1	187 46 10.73	+2.20	1.001 197 96		
17	144 3 2.76	-4.80	1.012 462 97	2	188 45 9.98	+2.21	1.000 906 80			

## SOLEIL 2017 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 44 11.04	+2.23	1.000 616 19	Nov.	18	235 35 25.43	+8.23	0.988 564 86	
	4	190 43 13.97	+2.25	1.000 326 44		19	236 35 58.00	+8.29	0.988 355 77	
	5	191 42 18.81	+2.28	1.000 037 81		20	237 36 32.07	+8.32	0.988 148 95	
	6	192 41 25.63	+2.33	0.999 750 51		21	238 37 7.55	+8.33	0.987 944 50	
	7	193 40 34.51	+2.40	0.999 464 68		22	239 37 44.40	+8.31	0.987 742 59	
	8	194 39 45.51	+2.51	0.999 180 38		23	240 38 22.52	+8.27	0.987 543 40	
	9	195 38 58.72	+2.65	0.998 897 56		24	241 39 1.87	+8.21	0.987 347 16	
	10	196 38 14.18	+2.82	0.998 616 10		25	242 39 42.39	+8.14	0.987 154 10	
	11	197 37 31.95	+3.02	0.998 335 82		26	243 40 24.01	+8.07	0.986 964 48	
	12	198 36 52.07	+3.24	0.998 056 47		27	244 41 6.70	+8.00	0.986 778 61	
	13	199 36 14.54	+3.49	0.997 777 79		28	245 41 50.42	+7.94	0.986 596 78	
	14	200 35 39.37	+3.75	0.997 499 52		29	246 42 35.14	+7.89	0.986 419 33	
	15	201 35 6.51	+4.02	0.997 221 43		30	247 43 20.83	+7.87	0.986 246 62	
	16	202 34 35.96	+4.28	0.996 943 33		Déc.	1	248 44 7.51	+7.87	0.986 078 99
	17	203 34 7.64	+4.54	0.996 665 07			2	249 44 55.17	+7.89	0.985 916 78
	18	204 33 41.50	+4.78	0.996 386 56		3	250 45 43.87	+7.95	0.985 760 24	
	19	205 33 17.49	+5.00	0.996 107 79		4	251 46 33.64	+8.04	0.985 609 59	
20	206 32 55.54	+5.20	0.995 828 79	5	252 47 24.54	+8.16	0.985 464 91			
21	207 32 35.58	+5.36	0.995 549 67	6	253 48 16.61	+8.30	0.985 326 14			
22	208 32 17.55	+5.50	0.995 270 55	7	254 49 9.91	+8.46	0.985 193 15			
23	209 32 1.39	+5.61	0.994 991 65	8	255 50 4.45	+8.62	0.985 065 71			
24	210 31 47.06	+5.69	0.994 713 17	9	256 51 0.25	+8.78	0.984 943 55			
25	211 31 34.51	+5.75	0.994 435 36	10	257 51 57.28	+8.93	0.984 826 36			
26	212 31 23.70	+5.78	0.994 158 51	11	258 52 55.52	+9.06	0.984 713 88			
27	213 31 14.60	+5.79	0.993 882 89	12	259 53 54.92	+9.17	0.984 605 84			
28	214 31 7.18	+5.79	0.993 608 80	13	260 54 55.41	+9.25	0.984 502 02			
29	215 31 1.42	+5.78	0.993 336 57	14	261 55 56.95	+9.30	0.984 402 24			
30	216 30 57.30	+5.77	0.993 066 53	15	262 56 59.44	+9.32	0.984 306 33			
31	217 30 54.82	+5.76	0.992 799 02	16	263 58 2.82	+9.32	0.984 214 19			
Nov.	1	218 30 54.00	+5.75	0.992 534 39	17	264 59 7.01	+9.28	0.984 125 75		
	2	219 30 54.85	+5.77	0.992 272 97	18	266 0 11.91	+9.21	0.984 040 97		
	3	220 30 57.40	+5.81	0.992 015 08	19	267 1 17.45	+9.12	0.983 959 83		
	4	221 31 1.71	+5.87	0.991 760 96	20	268 2 23.53	+9.00	0.983 882 40		
	5	222 31 7.83	+5.96	0.991 510 81	21	269 3 30.08	+8.88	0.983 808 73		
	6	223 31 15.82	+6.09	0.991 264 69	22	270 4 37.00	+8.74	0.983 738 94		
	7	224 31 25.76	+6.25	0.991 022 56	23	271 5 44.23	+8.59	0.983 673 16		
	8	225 31 37.68	+6.43	0.990 784 31	24	272 6 51.69	+8.45	0.983 611 58		
	9	226 31 51.63	+6.64	0.990 549 72	25	273 7 59.30	+8.31	0.983 554 41		
	10	227 32 7.62	+6.85	0.990 318 54	26	274 9 7.00	+8.18	0.983 501 88		
	11	228 32 25.65	+7.08	0.990 090 51	27	275 10 14.74	+8.08	0.983 454 27		
	12	229 32 45.69	+7.30	0.989 865 35	28	276 11 22.46	+8.00	0.983 411 88		
	13	230 33 7.71	+7.51	0.989 642 85	29	277 12 30.15	+7.94	0.983 375 03		
	14	231 33 31.66	+7.70	0.989 422 80	30	278 13 37.77	+7.92	0.983 344 07		
	15	232 33 57.48	+7.88	0.989 205 06	31	279 14 45.33	+7.93	0.983 319 31		
	16	233 34 25.10	+8.02	0.988 989 52	32	280 15 52.87	+7.97	0.983 301 01		
	17	234 34 54.44	+8.14	0.988 776 12	33	281 17 0.40	+8.04	0.983 289 36		

## SOLEIL 2017 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	42	21.851	-23	4	38.61	12	3	12.08	Févr.	15	21	54	52.192	-12	41	4.68	12	14	4.91
	1	18	46	46.974	-22	59	56.65	12	3	40.50		16	21	58	45.479	-12	20	22.83	12	14	1.29
	2	18	51	11.768	-22	54	47.17	12	4	8.56		17	22	2	38.071	-11	59	29.06	12	13	56.99
	3	18	55	36.198	-22	49	10.33	12	4	36.25		18	22	6	29.983	-11	38	23.78	12	13	52.01
	4	19	0	0.231	-22	43	6.27	12	5	3.53		19	22	10	21.230	-11	17	7.39	12	13	46.36
	5	19	4	23.837	-22	36	35.17	12	5	30.37		20	22	14	11.824	-10	55	40.32	12	13	40.08
	6	19	8	46.986	-22	29	37.23	12	5	56.73		21	22	18	1.779	-10	34	2.98	12	13	33.15
	7	19	13	9.651	-22	22	12.64	12	6	22.60		22	22	21	51.109	-10	12	15.78	12	13	25.61
	8	19	17	31.807	-22	14	21.63	12	6	47.94		23	22	25	39.827	-9	50	19.14	12	13	17.47
	9	19	21	53.431	-22	6	4.43	12	7	12.73		24	22	29	27.946	-9	28	13.47	12	13	8.73
	10	19	26	14.500	-21	57	21.29	12	7	36.95		25	22	33	15.477	-9	5	59.20	12	12	59.42
	11	19	30	34.993	-21	48	12.48	12	8	0.59		26	22	37	2.436	-8	43	36.73	12	12	49.54
	12	19	34	54.890	-21	38	38.24	12	8	23.62		27	22	40	48.833	-8	21	6.50	12	12	39.11
	13	19	39	14.174	-21	28	38.86	12	8	46.03		28	22	44	34.682	-7	58	28.90	12	12	28.14
14	19	43	32.827	-21	18	14.61	12	9	7.81	Mars	1	22	48	19.999	-7	35	44.35	12	12	16.65	
15	19	47	50.833	-21	7	25.77	12	9	28.93		2	22	52	4.798	-7	12	53.27	12	12	4.64	
16	19	52	8.180	-20	56	12.63	12	9	49.39		3	22	55	49.095	-6	49	56.05	12	11	52.14	
17	19	56	24.852	-20	44	35.48	12	10	9.17		4	22	59	32.906	-6	26	53.11	12	11	39.16	
18	20	0	40.836	-20	32	34.65	12	10	28.26		5	23	3	16.248	-6	3	44.85	12	11	25.72	
19	20	4	56.121	-20	20	10.46	12	10	46.63		6	23	6	59.139	-5	40	31.67	12	11	11.83	
20	20	9	10.692	-20	7	23.24	12	11	4.29		7	23	10	41.597	-5	17	13.98	12	10	57.52	
21	20	13	24.537	-19	54	13.33	12	11	21.21		8	23	14	23.642	-4	53	52.17	12	10	42.81	
22	20	17	37.644	-19	40	41.10	12	11	37.38		9	23	18	5.293	-4	30	26.61	12	10	27.72	
23	20	21	50.001	-19	26	46.90	12	11	52.80		10	23	21	46.574	-4	6	57.70	12	10	12.27	
24	20	26	1.596	-19	12	31.10	12	12	7.45		11	23	25	27.506	-3	43	25.78	12	9	56.49	
25	20	30	12.418	-18	57	54.09	12	12	21.31		12	23	29	8.116	-3	19	51.22	12	9	40.40	
26	20	34	22.457	-18	42	56.24	12	12	34.39		13	23	32	48.427	-2	56	14.37	12	9	24.02	
27	20	38	31.701	-18	27	37.94	12	12	46.67		14	23	36	28.465	-2	32	35.59	12	9	7.39	
28	20	42	40.141	-18	11	59.60	12	12	58.14	15	23	40	8.254	-2	8	55.22	12	8	50.52		
29	20	46	47.768	-17	56	1.60	12	13	8.80	16	23	43	47.820	-1	45	13.62	12	8	33.43		
30	20	50	54.575	-17	39	44.36	12	13	18.64	17	23	47	27.184	-1	21	31.14	12	8	16.16		
Févr.	31	20	55	0.555	-17	23	8.26	12	13	27.64	18	23	51	6.371	-0	57	48.14	12	7	58.71	
	1	20	59	5.704	-17	6	13.72	12	13	35.82	19	23	54	45.401	-0	34	4.97	12	7	41.12	
	2	21	3	10.019	-16	49	1.15	12	13	43.16	20	23	58	24.297	-0	10	22.00	12	7	23.41	
	3	21	7	13.501	-16	31	30.95	12	13	49.67	21	0	2	3.079	0	13	20.42	12	7	5.59	
	4	21	11	16.150	-16	13	43.53	12	13	55.34	22	0	5	41.766	0	37	1.92	12	6	47.68	
	5	21	15	17.970	-15	55	39.33	12	14	0.18	23	0	9	20.378	1	0	42.14	12	6	29.71	
	6	21	19	18.965	-15	37	18.75	12	14	4.20	24	0	12	58.934	1	24	20.71	12	6	11.70	
	7	21	23	19.140	-15	18	42.21	12	14	7.40	25	0	16	37.452	1	47	57.27	12	5	53.66	
	8	21	27	18.503	-14	59	50.14	12	14	9.79	26	0	20	15.950	2	11	31.44	12	5	35.60	
	9	21	31	17.061	-14	40	42.95	12	14	11.38	27	0	23	54.444	2	35	2.87	12	5	17.56	
	10	21	35	14.825	-14	21	21.04	12	14	12.19	28	0	27	32.952	2	58	31.17	12	4	59.54	
	11	21	39	11.806	-14	1	44.82	12	14	12.22	29	0	31	11.490	3	21	56.00	12	4	41.56	
	12	21	43	8.019	-13	41	54.67	12	14	11.50	30	0	34	50.075	3	45	16.97	12	4	23.62	
	13	21	47	3.477	-13	21	51.00	12	14	10.03	31	0	38	28.723	4	8	33.72	12	4	5.76	
14	21	50	58.197	-13	1	34.21	12	14	7.83	Avril	1	0	42	7.450	4	31	45.88	12	3	47.98	

## SOLEIL 2017 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		
<b>Avril</b>	2	0	45	46.269	4	54	53.08	12	3	30.30	<b>Mai</b>	18	3	39	52.410	19	32	28.63	11	56	25.03
	3	0	49	25.198	5	17	54.94	12	3	12.73		19	3	43	51.525	19	45	30.19	11	56	27.88
	4	0	53	4.253	5	40	51.12	12	2	55.30		20	3	47	51.204	19	58	11.60	11	56	31.28
	5	0	56	43.450	6	3	41.24	12	2	38.03		21	3	51	51.442	20	10	32.61	11	56	35.25
	6	1	0	22.809	6	26	24.96	12	2	20.92		22	3	55	52.231	20	22	32.96	11	56	39.76
	7	1	4	2.350	6	49	1.93	12	2	4.02		23	3	59	53.562	20	34	12.41	11	56	44.80
	8	1	7	42.093	7	11	31.84	12	1	47.32		24	4	3	55.426	20	45	30.71	11	56	50.37
	9	1	11	22.061	7	33	54.34	12	1	30.87		25	4	7	57.809	20	56	27.63	11	56	56.45
	10	1	15	2.275	7	56	9.11	12	1	14.67		26	4	12	0.696	21	7	2.95	11	57	3.02
	11	1	18	42.756	8	18	15.85	12	0	58.75		27	4	16	4.067	21	17	16.43	11	57	10.06
	12	1	22	23.526	8	40	14.22	12	0	43.12		28	4	20	7.903	21	27	7.84	11	57	17.56
13	1	26	4.606	9	2	3.92	12	0	27.82	29	4	24	12.183	21	36	36.96	11	57	25.49		
14	1	29	46.014	9	23	44.61	12	0	12.85	30	4	28	16.888	21	45	43.55	11	57	33.84		
15	1	33	27.769	9	45	15.99	11	59	58.23	31	4	32	21.998	21	54	27.42	11	57	42.59		
16	1	37	9.889	10	6	37.73	11	59	43.99	<b>Juin</b>	1	4	36	27.498	22	2	48.35	11	57	51.73	
17	1	40	52.391	10	27	49.49	11	59	30.13		2	4	40	33.371	22	10	46.17	11	58	1.23	
18	1	44	35.290	10	48	50.97	11	59	16.68		3	4	44	39.604	22	18	20.69	11	58	11.09	
19	1	48	18.601	11	9	41.81	11	59	3.64		4	4	48	46.181	22	25	31.77	11	58	21.28	
20	1	52	2.337	11	30	21.70	11	58	51.05		5	4	52	53.087	22	32	19.26	11	58	31.79	
21	1	55	46.513	11	50	50.30	11	58	38.89		6	4	57	0.307	22	38	43.01	11	58	42.61	
22	1	59	31.141	12	11	7.28	11	58	27.20		7	5	1	7.824	22	44	42.90	11	58	53.72	
23	2	3	16.231	12	31	12.30	11	58	15.98		8	5	5	15.622	22	50	18.81	11	59	5.09	
24	2	7	1.795	12	51	5.02	11	58	5.24		9	5	9	23.684	22	55	30.64	11	59	16.72	
25	2	10	47.843	13	10	45.12	11	57	54.98		10	5	13	31.991	23	0	18.26	11	59	28.58	
26	2	14	34.382	13	30	12.24	11	57	45.22		11	5	17	40.526	23	4	41.61	11	59	40.67	
27	2	18	21.420	13	49	26.07	11	57	35.96	12	5	21	49.269	23	8	40.57	11	59	52.95		
28	2	22	8.962	14	8	26.25	11	57	27.19	13	5	25	58.201	23	12	15.08	12	0	5.41		
29	2	25	57.011	14	27	12.45	11	57	18.94	14	5	30	7.302	23	15	25.06	12	0	18.03		
30	2	29	45.570	14	45	44.33	11	57	11.19	15	5	34	16.551	23	18	10.44	12	0	30.79		
<b>Mai</b>	1	2	33	34.642	15	4	1.53	11	57	3.96	16	5	38	25.928	23	20	31.17	12	0	43.68	
	2	2	37	24.229	15	22	3.72	11	56	57.25	17	5	42	35.413	23	22	27.19	12	0	56.66	
	3	2	41	14.336	15	39	50.57	11	56	51.06	18	5	46	44.984	23	23	58.47	12	1	9.71	
	4	2	45	4.968	15	57	21.74	11	56	45.40	19	5	50	54.620	23	25	4.97	12	1	22.82	
	5	2	48	56.134	16	14	36.94	11	56	40.29	20	5	55	4.299	23	25	46.68	12	1	35.96	
	6	2	52	47.839	16	31	35.85	11	56	35.71	21	5	59	13.996	23	26	3.60	12	1	49.10	
	7	2	56	40.091	16	48	18.18	11	56	31.69	22	6	3	23.686	23	25	55.72	12	2	2.22	
	8	3	0	32.898	17	4	43.63	11	56	28.23	23	6	7	33.340	23	25	23.08	12	2	15.28	
	9	3	4	26.266	17	20	51.92	11	56	25.32	24	6	11	42.929	23	24	25.71	12	2	28.26	
	10	3	8	20.200	17	36	42.77	11	56	22.99	25	6	15	52.420	23	23	3.63	12	2	41.13	
	11	3	12	14.705	17	52	15.90	11	56	21.23	26	6	20	1.781	23	21	16.88	12	2	53.86	
12	3	16	9.786	18	7	31.03	11	56	20.04	27	6	24	10.983	23	19	5.50	12	3	6.41		
13	3	20	5.444	18	22	27.89	11	56	19.43	28	6	28	19.998	23	16	29.55	12	3	18.77		
14	3	24	1.682	18	37	6.21	11	56	19.39	29	6	32	28.800	23	13	29.08	12	3	30.90		
15	3	27	58.499	18	51	25.71	11	56	19.94	30	6	36	37.367	23	10	4.17	12	3	42.80		
16	3	31	55.894	19	5	26.13	11	56	21.06	<b>Juill.</b>	1	6	40	45.678	23	6	14.90	12	3	54.42	
17	3	35	53.865	19	19	7.19	11	56	22.76		2	6	44	53.712	23	2	1.37	12	4	5.76	

## SOLEIL 2017 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		
<b>Juill.</b>	3	6	49	1.450	22	57	23.71	12	4	16.79	<b>Août</b>	18	9	50	5.705	13	6	7.43	12	3	47.27
	4	6	53	8.872	22	52	22.02	12	4	27.49		19	9	53	48.791	12	46	39.33	12	3	33.55
	5	6	57	15.962	22	46	56.44	12	4	37.85		20	9	57	31.399	12	26	59.05	12	3	19.37
	6	7	1	22.700	22	41	7.12	12	4	47.85		21	10	1	13.536	12	7	6.94	12	3	4.72
	7	7	5	29.071	22	34	54.19	12	4	57.47		22	10	4	55.209	11	47	3.33	12	2	49.62
	8	7	9	35.059	22	28	17.81	12	5	6.69		23	10	8	36.426	11	26	48.54	12	2	34.06
	9	7	13	40.647	22	21	18.14	12	5	15.52		24	10	12	17.198	11	6	22.89	12	2	18.07
	10	7	17	45.820	22	13	55.35	12	5	23.92		25	10	15	57.536	10	45	46.73	12	2	1.65
	11	7	21	50.566	22	6	9.61	12	5	31.89		26	10	19	37.453	10	25	0.37	12	1	44.82
	12	7	25	54.870	21	58	1.09	12	5	39.41		27	10	23	16.962	10	4	4.15	12	1	27.58
	13	7	29	58.721	21	49	29.98	12	5	46.47		28	10	26	56.077	9	42	58.39	12	1	9.95
	14	7	34	2.108	21	40	36.46	12	5	53.07		29	10	30	34.814	9	21	43.42	12	0	51.96
15	7	38	5.019	21	31	20.72	12	5	59.19	30	10	34	13.187	9	0	19.58	12	0	33.60		
16	7	42	7.446	21	21	42.97	12	6	4.82	31	10	37	51.212	8	38	47.18	12	0	14.91		
17	7	46	9.379	21	11	43.41	12	6	9.95	<b>Sept.</b>	1	10	41	28.906	8	17	6.56	11	59	55.89	
18	7	50	10.808	21	1	22.26	12	6	14.56	2	10	45	6.288	7	55	18.04	11	59	36.57		
19	7	54	11.724	20	50	39.74	12	6	18.66	3	10	48	43.373	7	33	21.93	11	59	16.97		
20	7	58	12.116	20	39	36.11	12	6	22.22	4	10	52	20.182	7	11	18.57	11	58	57.10		
21	8	2	11.969	19	28	11.60	12	6	25.23	5	10	55	56.735	6	49	8.26	11	58	36.98		
22	8	6	11.270	20	16	26.49	12	6	27.69	6	10	59	33.052	6	26	51.32	11	58	16.65		
23	8	10	10.004	20	4	21.03	12	6	29.57	7	11	3	9.156	6	4	28.04	11	57	56.11		
24	8	14	8.157	19	51	55.49	12	6	30.86	8	11	6	45.069	5	41	58.73	11	57	35.40		
25	8	18	5.715	19	39	10.13	12	6	31.56	9	11	10	20.817	5	19	23.69	11	57	14.53		
26	8	22	2.668	19	26	5.21	12	6	31.65	10	11	13	56.423	4	56	43.21	11	56	53.53		
27	8	25	59.009	19	12	41.00	12	6	31.13	11	11	17	31.910	4	33	57.61	11	56	32.42		
28	8	29	54.732	18	58	57.77	12	6	29.99	12	11	21	7.301	4	11	7.18	11	56	11.22		
29	8	33	49.834	18	44	55.79	12	6	28.23	13	11	24	42.618	3	48	12.25	11	55	49.95		
30	8	37	44.312	18	30	35.36	12	6	25.84	14	11	28	17.878	3	25	13.15	11	55	28.64		
31	8	41	38.166	18	15	56.74	12	6	22.83	15	11	31	53.101	3	2	10.20	11	55	7.30		
<b>Août</b>	1	8	45	31.395	18	1	0.24	12	6	19.19	16	11	35	28.302	2	39	3.76	11	54	45.94	
2	8	49	24.002	17	45	46.15	12	6	14.92	17	11	39	3.499	2	15	54.17	11	54	24.59		
3	8	53	15.987	17	30	14.75	12	6	10.04	18	11	42	38.707	1	52	41.77	11	54	3.27		
4	8	57	7.354	17	14	26.35	12	6	4.54	19	11	46	13.942	1	29	26.92	11	53	41.98		
5	9	0	58.107	16	58	21.24	12	5	58.43	20	11	49	49.222	1	6	9.96	11	53	20.75		
6	9	4	48.251	16	41	59.71	12	5	51.71	21	11	53	24.564	0	42	51.24	11	52	59.58		
7	9	8	37.792	16	25	22.06	12	5	44.39	22	11	56	59.985	0	19	31.11	11	52	38.51		
8	9	12	26.738	16	8	28.58	12	5	36.49	23	12	0	35.504	- 0	3	50.07	11	52	17.54		
9	9	16	15.096	15	51	19.57	12	5	28.00	24	12	4	11.138	- 0	27	11.95	11	51	56.69		
10	9	20	2.876	15	33	55.31	12	5	18.95	25	12	7	46.905	- 0	50	34.18	11	51	35.98		
11	9	23	50.090	15	16	16.09	12	5	9.33	26	12	11	22.825	- 1	13	56.40	11	51	15.44		
12	9	27	36.748	14	58	22.20	12	4	59.17	27	12	14	58.916	- 1	37	18.25	11	50	55.07		
13	9	31	22.864	14	40	13.93	12	4	48.47	28	12	18	35.196	- 2	0	39.38	11	50	34.90		
14	9	35	8.450	14	21	51.57	12	4	37.24	29	12	22	11.686	- 2	23	59.42	11	50	14.95		
15	9	38	53.516	14	3	15.43	12	4	25.49	30	12	25	48.405	- 2	47	18.04	11	49	55.24		
16	9	42	38.075	13	44	25.81	12	4	13.25	<b>Oct.</b>	1	12	29	25.374	- 3	10	34.86	11	49	35.79	
17	9	46	22.135	13	25	23.04	12	4	0.50	2	12	33	2.613	- 3	33	49.54	11	49	16.62		

## SOLEIL 2017 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	36	40.145	- 3	57	1.72	11	48	57.76	Nov.	18	15	34	1.077	-19	12	40.61	11	45	12.75	
	4	12	40	17.993	- 4	20	11.07	11	48	39.23		19	15	38	10.623	-19	26	49.29	11	45	26.14	
	5	12	43	56.179	- 4	43	17.23	11	48	21.05		20	15	42	20.991	-19	40	36.96	11	45	40.35	
	6	12	47	34.731	- 5	6	19.88	11	48	3.25		21	15	46	32.169	-19	54	3.23	11	45	55.37	
	7	12	51	13.672	- 5	29	18.68	11	47	45.84		22	15	50	44.143	-20	7	7.73	11	46	11.17	
	8	12	54	53.029	- 5	52	13.30	11	47	28.87		23	15	54	56.899	-20	19	50.10	11	46	27.74	
	9	12	58	32.827	- 6	15	3.40	11	47	12.34		24	15	59	10.421	-20	32	9.97	11	46	45.08	
	10	13	2	13.089	- 6	37	48.65	11	46	56.28		25	16	3	24.695	-20	44	6.98	11	47	3.17	
	11	13	5	53.835	- 7	0	28.69	11	46	40.71		26	16	7	39.703	-20	55	40.79	11	47	21.98	
	12	13	9	35.085	- 7	23	3.16	11	46	25.66		27	16	11	55.430	-21	6	51.05	11	47	41.50	
	13	13	13	16.857	- 7	45	31.67	11	46	11.14		28	16	16	11.858	-21	17	37.44	11	48	1.72	
	14	13	16	59.168	- 8	7	53.86	11	45	57.17		29	16	20	28.972	-21	27	59.64	11	48	22.62	
	15	13	20	42.035	- 8	30	9.33	11	45	43.76		30	16	24	46.754	-21	37	57.34	11	48	44.18	
	16	13	24	25.473	- 8	52	17.70	11	45	30.94		Déc.	1	16	29	5.188	-21	47	30.25	11	49	6.38
	17	13	28	9.497	- 9	14	18.57	11	45	18.71			2	16	33	24.259	-21	56	38.11	11	49	29.21
	18	13	31	54.124	- 9	36	11.55	11	45	7.09		3	16	37	43.950	-22	5	20.64	11	49	52.64	
	19	13	35	39.366	- 9	57	56.23	11	44	56.10		4	16	42	4.243	-22	13	37.62	11	50	16.67	
20	13	39	25.239	-10	19	32.23	11	44	45.73	5	16	46	25.119	-22	21	28.81	11	50	41.27			
21	13	43	11.756	-10	40	59.14	11	44	36.02	6	16	50	46.557	-22	28	53.97	11	51	6.42			
22	13	46	58.928	-11	2	16.55	11	44	26.97	7	16	55	8.533	-22	35	52.87	11	51	32.10			
23	13	50	46.768	-11	23	24.05	11	44	18.58	8	16	59	31.025	-22	42	25.30	11	51	58.28			
24	13	54	35.288	-11	44	21.23	11	44	10.88	9	17	3	54.007	-22	48	31.05	11	52	24.95			
25	13	58	24.499	-12	5	7.69	11	44	3.88	10	17	8	17.453	-22	54	9.90	11	52	52.07			
26	14	2	14.413	-12	25	43.01	11	43	57.58	11	17	12	41.334	-22	59	21.67	11	53	19.61			
27	14	6	5.041	-12	46	6.78	11	43	52.01	12	17	17	5.623	-23	4	6.18	11	53	47.55			
28	14	9	56.392	-13	6	18.58	11	43	47.16	13	17	21	30.288	-23	8	23.28	11	54	15.85			
29	14	13	48.480	-13	26	18.01	11	43	43.06	14	17	25	55.296	-23	12	12.82	11	54	44.47			
30	14	17	41.315	-13	46	4.65	11	43	39.71	15	17	30	20.614	-23	15	34.66	11	55	13.38			
31	14	21	34.907	-14	5	38.11	11	43	37.13	16	17	34	46.206	-23	18	28.69	11	55	42.54			
Nov.	1	14	25	29.271	-14	24	57.96	11	43	35.33	17	17	39	12.036	-23	20	54.80	11	56	11.93		
	2	14	29	24.418	-14	44	3.83	11	43	34.31	18	17	43	38.067	-23	22	52.91	11	56	41.49		
	3	14	33	20.362	-15	2	55.32	11	43	34.10	19	17	48	4.260	-23	24	22.93	11	57	11.20		
	4	14	37	17.117	-15	21	32.05	11	43	34.70	20	17	52	30.579	-23	25	24.80	11	57	41.02		
	5	14	41	14.696	-15	39	53.64	11	43	36.13	21	17	56	56.983	-23	25	58.48	11	58	10.90		
	6	14	45	13.111	-15	57	59.73	11	43	38.40	22	18	1	23.435	-23	26	3.92	11	58	40.82		
	7	14	49	12.372	-16	15	49.93	11	43	41.52	23	18	5	49.898	-23	25	41.11	11	59	10.72		
	8	14	53	12.488	-16	33	23.86	11	43	45.49	24	18	10	16.333	-23	24	50.04	11	59	40.59		
	9	14	57	13.462	-16	50	41.13	11	43	50.33	25	18	14	42.704	-23	23	30.73	12	0	10.37		
	10	15	1	15.299	-17	7	41.33	11	43	56.03	26	18	19	8.976	-23	21	43.19	12	0	40.04		
	11	15	5	18.002	-17	24	24.07	11	44	2.60	27	18	23	35.115	-23	19	27.47	12	1	9.55		
12	15	9	21.572	-17	40	48.94	11	44	10.04	28	18	28	1.087	-23	16	43.64	12	1	38.89			
13	15	13	26.008	-17	56	55.55	11	44	18.35	29	18	32	26.860	-23	13	31.77	12	2	8.00			
14	15	17	31.309	-18	12	43.48	11	44	27.53	30	18	36	52.406	-23	9	51.96	12	2	36.87			
15	15	21	37.472	-18	28	12.35	11	44	37.56	31	18	41	17.694	-23	5	44.33	12	3	5.47			
16	15	25	44.492	-18	43	21.75	11	44	48.45	32	18	45	42.696	-23	1	9.01	12	3	33.76			
17	15	29	52.363	-18	58	11.30	11	45	0.18	33	18	50	7.385	-22	56	6.14	12	4	1.72			

## SOLEIL 2017 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	0.162 385 73	-0.889 839 34	-0.385 751 76	Févr.	15	0.821 295 20	-0.503 397 48	-0.218 229 16
	1	0.179 613 65	-0.887 031 59	-0.384 535 27		16	0.831 007 50	-0.490 142 31	-0.212 482 50
	2	0.196 784 62	-0.883 946 67	-0.383 198 69		17	0.840 466 12	-0.476 736 05	-0.206 670 45
	3	0.213 893 02	-0.880 585 78	-0.381 742 50		18	0.849 668 14	-0.463 182 65	-0.200 794 76
	4	0.230 933 34	-0.876 950 25	-0.380 167 24		19	0.858 610 67	-0.449 486 17	-0.194 857 19
	5	0.247 900 11	-0.873 041 54	-0.378 473 52		20	0.867 290 88	-0.435 650 75	-0.188 859 54
	6	0.264 788 03	-0.868 861 27	-0.376 661 97		21	0.875 706 02	-0.421 680 60	-0.182 803 63
	7	0.281 591 87	-0.864 411 11	-0.374 733 32		22	0.883 853 37	-0.407 580 02	-0.176 691 31
	8	0.298 306 56	-0.859 692 85	-0.372 688 29		23	0.891 730 30	-0.393 353 40	-0.170 524 49
	9	0.314 927 18	-0.854 708 31	-0.370 527 65		24	0.899 334 27	-0.379 005 24	-0.164 305 08
	10	0.331 448 90	-0.849 459 32	-0.368 252 20		25	0.906 662 82	-0.364 540 12	-0.158 035 05
	11	0.347 867 04	-0.843 947 72	-0.365 862 71		26	0.913 713 59	-0.349 962 74	-0.151 716 39
	12	0.364 176 96	-0.838 175 27	-0.363 360 00		27	0.920 484 38	-0.335 277 89	-0.145 351 16
	13	0.380 374 07	-0.832 143 73	-0.360 744 82		28	0.926 973 12	-0.320 490 46	-0.138 941 43
14	0.396 453 74	-0.825 854 82	-0.358 017 98	Mars	1	0.933 177 94	-0.305 605 40	-0.132 489 31	
15	0.412 411 32	-0.819 310 25	-0.355 180 24	2	0.939 097 17	-0.290 627 74	-0.125 996 93		
16	0.428 242 11	-0.812 511 77	-0.352 232 42	3	0.944 729 34	-0.275 562 47	-0.119 466 43		
17	0.443 941 32	-0.805 461 18	-0.349 175 32	4	0.950 073 17	-0.260 414 60	-0.112 899 95		
18	0.459 504 14	-0.798 160 39	-0.346 009 81	5	0.955 127 57	-0.245 189 06	-0.106 299 63		
19	0.474 925 73	-0.790 611 40	-0.342 736 79	6	0.959 891 63	-0.229 890 73	-0.099 667 57		
20	0.490 201 23	-0.782 816 30	-0.339 357 19	7	0.964 364 52	-0.214 524 39	-0.093 005 86		
21	0.505 325 78	-0.774 777 34	-0.335 871 99	8	0.968 545 55	-0.199 094 72	-0.086 316 55		
22	0.520 294 52	-0.766 496 84	-0.332 282 22	9	0.972 434 07	-0.183 606 33	-0.079 601 66		
23	0.535 102 63	-0.757 977 26	-0.328 588 96	10	0.976 029 50	-0.168 063 76	-0.072 863 20		
24	0.549 745 30	-0.749 221 18	-0.324 793 32	11	0.979 331 26	-0.152 471 47	-0.066 103 14		
25	0.564 217 73	-0.740 231 29	-0.320 896 46	12	0.982 338 80	-0.136 833 89	-0.059 323 44		
26	0.578 515 19	-0.731 010 42	-0.316 899 61	13	0.985 051 56	-0.121 155 43	-0.052 526 05		
27	0.592 632 98	-0.721 561 51	-0.312 804 01	14	0.987 469 00	-0.105 440 52	-0.045 712 92		
28	0.606 566 45	-0.711 887 66	-0.308 611 01	15	0.989 590 58	-0.089 693 57	-0.038 885 99		
29	0.620 311 04	-0.701 992 11	-0.304 321 96	16	0.991 415 79	-0.073 919 06	-0.032 047 24		
30	0.633 862 28	-0.691 878 23	-0.299 938 29	17	0.992 944 15	-0.058 121 50	-0.025 198 62		
Févr.	31	0.647 215 83	-0.681 549 53	-0.295 461 49	18	0.994 175 24	-0.042 305 43	-0.018 342 12	
	1	0.660 367 47	-0.671 009 62	-0.290 893 10	19	0.995 108 68	-0.026 475 44	-0.011 479 74	
	2	0.673 313 16	-0.660 262 25	-0.286 234 68	20	0.995 744 18	-0.010 636 17	-0.004 613 48	
	3	0.686 049 02	-0.649 311 19	-0.281 487 85	21	0.996 081 49	0.005 207 69	0.002 254 63	
	4	0.698 571 34	-0.638 160 31	-0.276 654 24	22	0.996 120 47	0.021 051 42	0.009 122 55	
	5	0.710 876 58	-0.626 813 46	-0.271 735 51	23	0.995 861 04	0.036 890 25	0.015 988 24	
	6	0.722 961 38	-0.615 274 52	-0.266 733 33	24	0.995 303 21	0.052 719 36	0.022 849 62	
	7	0.734 822 50	-0.603 547 31	-0.261 649 36	25	0.994 447 09	0.068 533 86	0.029 704 61	
	8	0.746 456 82	-0.591 635 62	-0.256 485 24	26	0.993 292 91	0.084 328 82	0.036 551 10	
	9	0.757 861 31	-0.579 543 18	-0.251 242 63	27	0.991 841 03	0.100 099 24	0.043 386 97	
	10	0.769 032 99	-0.567 273 67	-0.245 923 14	28	0.990 092 00	0.115 840 06	0.050 210 07	
	11	0.779 968 89	-0.554 830 74	-0.240 528 39	29	0.988 046 53	0.131 546 21	0.057 018 23	
	12	0.790 666 04	-0.542 218 00	-0.235 060 00	30	0.985 705 58	0.147 212 64	0.063 809 30	
	13	0.801 121 48	-0.529 439 09	-0.229 519 58	31	0.983 070 28	0.162 834 31	0.070 581 14	
14	0.811 332 20	-0.516 497 67	-0.223 908 75	Avril	1	0.980 141 98	0.178 406 31	0.077 331 62	

## SOLEIL 2017 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	0.976 922 19	0.193 923 84	0.084 058 66	Mai	18	0.550 640 92	0.778 445 25	0.337 456 94	
	3	0.973 412 56	0.209 382 23	0.090 760 24		19	0.536 414 90	0.786 991 03	0.341 160 97	
	4	0.969 614 80	0.224 776 95	0.097 434 37		20	0.522 034 23	0.795 312 69	0.344 767 84	
	5	0.965 530 71	0.240 103 61	0.104 079 11		21	0.507 502 89	0.803 407 70	0.348 276 50	
	6	0.961 162 09	0.255 357 92	0.110 692 59		22	0.492 825 00	0.811 273 52	0.351 685 87	
	7	0.956 510 77	0.270 535 70	0.117 272 94		23	0.478 004 78	0.818 907 66	0.354 994 91	
	8	0.951 578 58	0.285 632 83	0.123 818 34		24	0.463 046 60	0.826 307 64	0.358 202 59	
	9	0.946 367 34	0.300 645 25	0.130 327 00		25	0.447 955 00	0.833 471 09	0.361 307 90	
	10	0.940 878 89	0.315 568 96	0.136 797 14		26	0.432 734 67	0.840 395 76	0.364 309 88	
	11	0.935 115 05	0.330 399 95	0.143 227 02		27	0.417 390 44	0.847 079 56	0.367 207 62	
	12	0.929 077 66	0.345 134 26	0.149 614 87		28	0.401 927 23	0.853 520 59	0.370 000 28	
	13	0.922 768 57	0.359 767 90	0.155 958 95		29	0.386 349 98	0.859 717 19	0.372 687 12	
	14	0.916 189 67	0.374 296 91	0.162 257 54		30	0.370 663 63	0.865 667 87	0.375 267 45	
	15	0.909 342 88	0.388 717 28	0.168 508 89		31	0.354 873 04	0.871 371 32	0.377 740 67	
	16	0.902 230 16	0.403 025 01	0.174 711 27		Juin	1	0.338 983 02	0.876 826 33	0.380 106 21
	17	0.894 853 52	0.417 216 11	0.180 862 95			2	0.322 998 30	0.882 031 83	0.382 363 56
18	0.887 215 05	0.431 286 55	0.186 962 19	3	0.306 923 52		0.886 986 78	0.384 512 26		
19	0.879 316 89	0.445 232 30	0.193 007 27	4	0.290 763 30		0.891 690 23	0.386 551 84		
20	0.871 161 25	0.459 049 31	0.198 996 46	5	0.274 522 16		0.896 141 26	0.388 481 89		
21	0.862 750 43	0.472 733 54	0.204 928 02	6	0.258 204 62		0.900 338 99	0.390 302 01		
22	0.854 086 80	0.486 280 89	0.210 800 21	7	0.241 815 16	0.904 282 57	0.392 011 83			
23	0.845 172 85	0.499 687 27	0.216 611 29	8	0.225 358 22	0.907 971 19	0.393 610 98			
24	0.836 011 18	0.512 948 56	0.222 359 52	9	0.208 838 24	0.911 404 06	0.395 099 11			
25	0.826 604 55	0.526 060 62	0.228 043 13	10	0.192 259 62	0.914 580 41	0.396 475 91			
26	0.816 955 91	0.539 019 34	0.233 660 40	11	0.175 626 79	0.917 499 48	0.397 741 05			
27	0.807 068 38	0.551 820 66	0.239 209 58	12	0.158 944 15	0.920 160 55	0.398 894 24			
28	0.796 945 29	0.564 460 59	0.244 688 97	13	0.142 216 13	0.922 562 89	0.399 935 18			
29	0.786 590 13	0.576 935 31	0.250 096 93	14	0.125 447 17	0.924 705 80	0.400 863 58			
30	0.776 006 55	0.589 241 16	0.255 431 86	15	0.108 641 75	0.926 588 58	0.401 679 19			
Mai	1	0.765 198 24	0.601 374 68	0.260 692 23	16	0.091 804 38	0.928 210 56	0.402 381 73		
	2	0.754 168 96	0.613 332 55	0.265 876 60	17	0.074 939 61	0.929 571 08	0.402 970 97		
	3	0.742 922 45	0.625 111 66	0.270 983 56	18	0.058 052 08	0.930 669 51	0.403 446 65		
	4	0.731 462 44	0.636 708 97	0.276 011 76	19	0.041 146 47	0.931 505 24	0.403 808 54		
	5	0.719 792 62	0.648 121 58	0.280 959 92	20	0.024 227 59	0.932 077 71	0.404 056 45		
	6	0.707 916 66	0.659 346 65	0.285 826 76	21	0.007 300 34	0.932 386 42	0.404 190 18		
	7	0.695 838 19	0.670 381 42	0.290 611 05	22	-0.009 630 24	0.932 430 99	0.404 209 58		
	8	0.683 560 83	0.681 223 17	0.295 311 59	23	-0.026 559 03	0.932 211 16	0.404 114 54		
	9	0.671 088 17	0.691 869 22	0.299 927 18	24	-0.043 480 79	0.931 726 87	0.403 905 02		
	10	0.658 423 81	0.702 316 91	0.304 456 67	25	-0.060 390 27	0.930 978 24	0.403 581 07		
	11	0.645 571 32	0.712 563 63	0.308 898 90	26	-0.077 282 22	0.929 965 62	0.403 142 80		
12	0.632 534 29	0.722 606 74	0.313 252 72	27	-0.094 151 45	0.928 689 56	0.402 590 39			
13	0.619 316 35	0.732 443 67	0.317 517 03	28	-0.110 992 90	0.927 150 73	0.401 924 10			
14	0.605 921 11	0.742 071 82	0.321 690 69	29	-0.127 801 58	0.925 349 97	0.401 144 25			
15	0.592 352 23	0.751 488 62	0.325 772 61	30	-0.144 572 68	0.923 288 16	0.400 251 18			
16	0.578 613 40	0.760 691 50	0.329 761 68	Juill.	1	-0.161 301 43	0.920 966 27	0.399 245 28		
17	0.564 708 37	0.769 677 89	0.333 656 81		2	-0.177 983 20	0.918 385 28	0.398 126 96		



## SOLEIL 2017 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		
<b>Juill.</b>	3	-0.194 613 42	0.915 546 24	0.396 896 65	<b>Août</b>	18	-0.829 336 66	0.532 549 67	0.230 863 98
	4	-0.211 187 56	0.912 450 21	0.395 554 79		19	-0.838 809 87	0.519 598 96	0.225 250 40
	5	-0.227 701 19	0.909 098 27	0.394 101 84		20	-0.848 043 08	0.506 498 32	0.219 571 93
	6	-0.244 149 90	0.905 491 52	0.392 538 29		21	-0.857 033 10	0.493 251 62	0.213 830 20
	7	-0.260 529 33	0.901 631 12	0.390 864 64		22	-0.865 776 89	0.479 862 87	0.208 026 91
	8	-0.276 835 16	0.897 518 19	0.389 081 38		23	-0.874 271 58	0.466 336 15	0.202 163 79
	9	-0.293 063 11	0.893 153 92	0.387 189 06		24	-0.882 514 48	0.452 675 64	0.196 242 61
	10	-0.309 208 90	0.888 539 47	0.385 188 18		25	-0.890 503 06	0.438 885 53	0.190 265 15
	11	-0.325 268 30	0.883 676 04	0.383 079 30		26	-0.898 234 94	0.424 970 06	0.184 233 21
	12	-0.341 237 04	0.878 564 81	0.380 862 95		27	-0.905 707 89	0.410 933 42	0.178 148 61
	13	-0.357 110 89	0.873 206 99	0.378 539 71		28	-0.912 919 81	0.396 779 82	0.172 013 16
	14	-0.372 885 56	0.867 603 81	0.376 110 12		29	-0.919 868 68	0.382 513 43	0.165 828 65
	15	-0.388 556 75	0.861 756 49	0.373 574 76		30	-0.926 552 62	0.368 138 43	0.159 596 91
	16	-0.404 120 11	0.855 666 32	0.370 934 22		31	-0.932 969 79	0.353 658 96	0.153 319 75
	17	-0.419 571 22	0.849 334 61	0.368 189 10		<b>Sept.</b> 1	-0.939 118 46	0.339 079 17	0.146 998 96
	18	-0.434 905 63	0.842 762 74	0.365 340 02		2	-0.944 996 99	0.324 403 17	0.140 636 35
	19	-0.450 118 76	0.835 952 17	0.362 387 63		3	-0.950 603 80	0.309 635 06	0.134 233 73
20	-0.465 206 02	0.828 904 48	0.359 332 63	4	-0.955 937 37	0.294 778 91	0.127 792 88		
21	-0.480 162 72	0.821 621 39	0.356 175 77	5	-0.960 996 26	0.279 838 76	0.121 315 59		
22	-0.494 984 16	0.814 104 81	0.352 917 84	6	-0.965 779 03	0.264 818 62	0.114 803 62		
23	-0.509 665 64	0.806 356 83	0.349 559 73	7	-0.970 284 30	0.249 722 47	0.108 258 75		
24	-0.524 202 54	0.798 379 72	0.346 102 38	8	-0.974 510 68	0.234 554 26	0.101 682 73		
25	-0.538 590 33	0.790 175 96	0.342 546 82	9	-0.978 456 76	0.219 317 97	0.095 077 30		
26	-0.552 824 62	0.781 748 12	0.338 894 13	10	-0.982 121 12	0.204 017 56	0.088 444 23		
27	-0.566 901 19	0.773 098 91	0.335 145 43	11	-0.985 502 30	0.188 657 08	0.081 785 27		
28	-0.580 815 94	0.764 231 08	0.331 301 88	12	-0.988 598 84	0.173 240 62	0.075 102 22		
29	-0.594 564 93	0.755 147 43	0.327 364 66	13	-0.991 409 27	0.157 772 37	0.068 396 90		
30	-0.608 144 33	0.745 850 77	0.323 334 97	14	-0.993 932 15	0.142 256 66	0.061 671 16		
31	-0.621 550 40	0.736 343 93	0.319 214 03	15	-0.996 166 09	0.126 697 92	0.054 926 91		
<b>Août</b> 1	-0.634 779 50	0.726 629 77	0.315 003 06	16	-0.998 109 77	0.111 100 72	0.048 166 09		
2	-0.647 828 08	0.716 711 12	0.310 703 30	17	-0.999 762 01	0.095 469 72	0.041 390 70		
3	-0.660 692 63	0.706 590 85	0.306 315 98	18	-1.001 121 76	0.079 809 73	0.034 602 76		
4	-0.673 369 73	0.696 271 82	0.301 842 37	19	-1.002 188 12	0.064 125 59	0.027 804 36		
5	-0.685 856 02	0.685 756 92	0.297 283 72	20	-1.002 960 41	0.048 422 25	0.020 997 57		
6	-0.698 148 19	0.675 049 01	0.292 641 29	21	-1.003 438 10	0.032 704 63	0.014 184 52		
7	-0.710 242 97	0.664 150 97	0.287 916 37	22	-1.003 620 84	0.016 977 69	0.007 367 30		
8	-0.722 137 15	0.653 065 66	0.283 110 21	23	-1.003 508 47	0.001 246 33	0.000 548 04		
9	-0.733 827 52	0.641 795 95	0.278 224 09	24	-1.003 100 94	-0.014 484 55	-0.006 271 16		
10	-0.745 310 89	0.630 344 68	0.273 259 29	25	-1.002 398 37	-0.030 210 14	-0.013 088 22		
11	-0.756 584 07	0.618 714 72	0.268 217 09	26	-1.001 400 99	-0.045 925 64	-0.019 901 05		
12	-0.767 643 85	0.606 908 95	0.263 098 75	27	-1.000 109 11	-0.061 626 32	-0.026 707 61		
13	-0.778 486 97	0.594 930 27	0.257 905 58	28	-0.998 523 16	-0.077 307 49	-0.033 505 84		
14	-0.789 110 16	0.582 781 62	0.252 638 88	29	-0.996 643 67	-0.092 964 52	-0.040 293 72		
15	-0.799 510 09	0.570 466 06	0.247 299 98	30	-0.994 471 24	-0.108 592 83	-0.047 069 24		
16	-0.809 683 40	0.557 986 69	0.241 890 26	<b>Oct.</b> 1	-0.992 006 56	-0.124 187 89	-0.053 830 41		
17	-0.819 626 72	0.545 346 77	0.236 411 10	2	-0.989 250 39	-0.139 745 21	-0.060 575 26		

## SOLEIL 2017 à 0h TT

## COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z			
	ua	ua	ua		ua	ua	ua			
Oct.	3	-0.986 203 54	-0.155 260 40	-0.067 301 85	Nov.	18	-0.558 643 22	-0.748 299 93	-0.324 384 72	
	4	-0.982 866 89	-0.170 729 11	-0.074 008 26		19	-0.544 078 82	-0.757 049 91	-0.328 178 00	
	5	-0.979 241 33	-0.186 147 06	-0.080 692 59		20	-0.529 346 97	-0.765 566 61	-0.331 870 29	
	6	-0.975 327 76	-0.201 510 02	-0.087 352 99		21	-0.514 452 39	-0.773 847 16	-0.335 460 34	
	7	-0.971 127 06	-0.216 813 79	-0.093 987 59		22	-0.499 399 84	-0.781 888 85	-0.338 946 96	
	8	-0.966 640 07	-0.232 054 17	-0.100 594 55		23	-0.484 194 16	-0.789 689 09	-0.342 328 99	
	9	-0.961 867 63	-0.247 226 93	-0.107 172 02		24	-0.468 840 21	-0.797 245 39	-0.345 605 35	
	10	-0.956 810 57	-0.262 327 76	-0.113 718 14		25	-0.453 342 92	-0.804 555 42	-0.348 774 99	
	11	-0.951 469 72	-0.277 352 28	-0.120 231 01		26	-0.437 707 23	-0.811 616 95	-0.351 836 91	
	12	-0.945 846 00	-0.292 296 01	-0.126 708 73		27	-0.421 938 09	-0.818 427 88	-0.354 790 18	
	13	-0.939 940 40	-0.307 154 38	-0.133 149 32		28	-0.406 040 49	-0.824 986 25	-0.357 633 91	
	14	-0.933 754 04	-0.321 922 74	-0.139 550 82		29	-0.390 019 40	-0.831 290 21	-0.360 367 26	
	15	-0.927 288 20	-0.336 596 35	-0.145 911 21		30	-0.373 879 74	-0.837 338 04	-0.362 989 47	
	16	-0.920 544 30	-0.351 170 46	-0.152 228 47		Déc.	1	-0.357 626 42	-0.843 128 12	-0.365 499 79
	17	-0.913 523 95	-0.365 640 29	-0.158 500 56			2	-0.341 264 25	-0.848 658 93	-0.367 897 56
	18	-0.906 228 94	-0.380 001 07	-0.164 725 46		3	-0.324 797 98	-0.853 929 00	-0.370 182 11	
	19	-0.898 661 23	-0.394 248 06	-0.170 901 14		4	-0.308 232 28	-0.858 936 85	-0.372 352 81	
20	-0.890 822 94	-0.408 376 57	-0.177 025 57	5	-0.291 571 76	-0.863 680 99	-0.374 409 04			
21	-0.882 716 36	-0.422 381 97	-0.183 096 78	6	-0.274 821 02	-0.868 159 88	-0.376 350 15			
22	-0.874 343 92	-0.436 259 72	-0.189 112 80	7	-0.257 984 74	-0.872 371 90	-0.378 175 48			
23	-0.865 708 14	-0.450 005 35	-0.195 071 70	8	-0.241 067 66	-0.876 315 42	-0.379 884 37			
24	-0.856 811 71	-0.463 614 51	-0.200 971 57	9	-0.224 074 66	-0.879 988 80	-0.381 476 15			
25	-0.847 657 36	-0.477 082 90	-0.206 810 55	10	-0.207 010 76	-0.883 390 44	-0.382 950 18			
26	-0.838 247 95	-0.490 406 33	-0.212 586 81	11	-0.189 881 12	-0.886 518 83	-0.384 305 82			
27	-0.828 586 39	-0.503 580 71	-0.218 298 54	12	-0.172 690 99	-0.889 372 52	-0.385 542 48			
28	-0.818 675 70	-0.516 602 32	-0.223 943 98	13	-0.155 445 77	-0.891 950 21	-0.386 659 63			
29	-0.808 518 93	-0.529 466 04	-0.229 521 41	14	-0.138 150 90	-0.894 250 72	-0.387 656 74			
30	-0.798 119 22	-0.542 169 85	-0.235 029 14	15	-0.120 811 92	-0.896 272 97	-0.388 533 39			
31	-0.787 479 75	-0.554 708 82	-0.240 465 52	16	-0.103 434 43	-0.898 016 06	-0.389 289 16			
Nov.	1	-0.776 603 72	-0.567 079 63	-0.245 828 93	17	-0.086 024 08	-0.899 479 21	-0.389 923 72		
	2	-0.765 494 36	-0.579 278 75	-0.251 117 83	18	-0.068 586 54	-0.900 661 77	-0.390 436 78		
	3	-0.754 154 87	-0.591 302 74	-0.256 330 68	19	-0.051 127 54	-0.901 563 27	-0.390 828 11		
	4	-0.742 588 42	-0.603 148 23	-0.261 466 00	20	-0.033 652 78	-0.902 183 34	-0.391 097 54		
	5	-0.730 798 14	-0.614 811 85	-0.266 522 31	21	-0.016 167 99	-0.902 521 80	-0.391 244 95		
	6	-0.718 787 13	-0.626 290 27	-0.271 498 15	22	0.001 321 12	-0.902 578 59	-0.391 270 30		
	7	-0.706 558 44	-0.637 580 05	-0.276 392 06	23	0.018 808 83	-0.902 353 78	-0.391 173 59		
	8	-0.694 115 17	-0.648 677 74	-0.281 202 54	24	0.036 289 50	-0.901 847 60	-0.390 954 89		
	9	-0.681 460 47	-0.659 579 79	-0.285 928 10	25	0.053 757 48	-0.901 060 41	-0.390 614 32		
	10	-0.668 597 63	-0.670 282 58	-0.290 567 19	26	0.071 207 21	-0.899 992 70	-0.390 152 06		
	11	-0.655 530 04	-0.680 782 47	-0.295 118 30	27	0.088 633 17	-0.898 645 07	-0.389 568 34		
	12	-0.642 261 27	-0.691 075 82	-0.299 579 86	28	0.106 029 93	-0.897 018 27	-0.388 863 46		
	13	-0.628 795 05	-0.701 159 00	-0.303 950 36	29	0.123 392 16	-0.895 113 14	-0.388 037 76		
	14	-0.615 135 25	-0.711 028 43	-0.308 228 28	30	0.140 714 64	-0.892 930 58	-0.387 091 63		
	15	-0.601 285 93	-0.720 680 62	-0.312 412 12	31	0.157 992 26	-0.890 471 58	-0.386 025 47		
	16	-0.587 251 26	-0.730 112 13	-0.316 500 41	32	0.175 220 06	-0.887 737 12	-0.384 839 73		
	17	-0.573 035 54	-0.739 319 64	-0.320 491 74	33	0.192 393 14	-0.884 728 14	-0.383 534 84		



## LUNE

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

## LUNE 2017 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	20 2	53.839	-17 25	3.61	394 553.813	Janv. 11 0	6 3	2.127	18 49	55.38	363 644.302	
	6	20 15	55.596	-16 58	34.60	393 759.676		6	6 18	36.166	18 55	11.75	363 963.947
	12	20 28	56.356	-16 28	54.26	392 952.402		12	6 34	9.091	18 55	37.01	364 376.538
	18	20 41	55.849	-15 56	7.12	392 132.535		18	6 49	39.491	18 51	12.78	364 881.535
1 0	20 54	53.858	-15 20	18.35	391 300.524	12 0	7 5	5.986	18 42	2.91	365 477.716		
	6	21 7	50.227	-14 41	33.72		390 456.737	6	7 20	27.250	18 28	13.37	366 163.182
	12	21 20	44.858	-13 59	59.55		389 601.482	12	7 35	42.043	18 9	52.11	366 935.364
	18	21 33	37.718	-13 15	42.69		388 735.034	18	7 50	49.229	17 47	8.92	367 791.048
2 0	21 46	28.838	-12 28	50.48	387 857.656	13 0	8 5	47.796	17 20	15.15	368 726.395		
	6	21 59	18.311	-11 39	30.68		386 969.624	6	8 20	36.869	16 49	23.55	369 736.988
	12	22 12	6.291	-10 47	51.49		386 071.255	12	8 35	15.721	16 14	47.95	370 817.862
	18	22 24	52.997	- 9 54	1.47		385 162.936	18	8 49	43.773	15 36	43.06	371 963.566
3 0	22 37	38.701	- 8 58	9.55	384 245.146	14 0	9 4	0.596	14 55	24.23	373 168.205		
	6	22 50	23.734	- 8 0	25.00		383 318.488	6	9 18	5.909	14 11	7.17	374 425.505
	12	23 3	8.476	- 7 0	57.39		382 383.716	12	9 31	59.567	13 24	7.79	375 728.868
	18	23 15	53.358	- 5 59	56.66		381 441.757	18	9 45	41.557	12 34	41.94	377 071.438
4 0	23 28	38.854	- 4 57	33.04	380 493.740	15 0	9 59	11.982	11 43	5.34	378 446.159		
	6	23 41	25.475	- 3 53	57.09		379 541.014	6	10 12	31.055	10 49	33.33	379 845.837
	12	23 54	13.771	- 2 49	19.72		378 585.173	12	10 25	39.081	9 54	20.86	381 263.202
	18	0 7	4.317	- 1 43	52.18		377 628.071	18	10 38	36.448	8 57	42.32	382 690.965
5 0	0 19	57.715	- 0 37	46.11	376 671.838	16 0	10 51	23.614	7 59	51.53	384 121.871		
	6	0 32	54.583	0 28	46.49		375 718.889	6	11 4	1.097	7 1	1.65	385 548.758
	12	0 45	55.553	1 35	33.17		374 771.935	12	11 16	29.461	6 1	25.20	386 964.597
	18	0 59	1.257	2 42	21.07		373 833.981	18	11 28	49.312	5 1	14.05	388 362.546
6 0	1 12	12.328	3 48	56.87	372 908.327	17 0	11 41	1.285	4 0	39.39	389 735.982		
	6	1 25	29.383	4 55	6.78		371 998.562	6	11 53	6.037	2 59	51.80	391 078.546
	12	1 38	53.022	6 0	36.54		371 108.548	12	12 5	4.242	1 59	1.22	392 384.172
	18	1 52	23.810	7 5	11.45		370 242.405	18	12 16	56.585	0 58	17.04	393 647.116
7 0	2 6	2.272	8 8	36.31	369 404.484	18 0	12 28	43.755	- 0 2	11.86	394 861.982		
	6	2 19	48.879	9 10	35.54		368 599.342	6	12 40	26.443	- 1 2	17.11	396 023.743
	12	2 33	44.036	10 10	53.15		367 831.704	12	12 52	5.336	- 2 1	50.78	397 127.759
	18	2 47	48.069	11 9	12.88		367 106.422	18	13 3	41.115	- 3 0	45.28	398 169.793
8 0	3 2	1.210	12 5	18.23	366 428.431	19 0	13 15	14.452	- 3 58	53.42	399 146.017		
	6	3 16	23.587	12 58	52.61		365 802.698	6	13 26	46.006	- 4 56	8.23	400 053.027
	12	3 30	55.212	13 49	39.44		365 234.165	12	13 38	16.422	- 5 52	23.03	400 887.845
	18	3 45	35.963	14 37	22.37		364 727.694	18	13 49	46.329	- 6 47	31.31	401 647.921
9 0	4 0	25.582	15 21	45.42	364 288.003	20 0	14 1	16.334	- 7 41	26.72	402 331.136		
	6	4 15	23.664	16 2	33.20		363 919.604	6	14 12	47.026	- 8 34	3.02	402 935.799
	12	4 30	29.651	16 39	31.12		363 626.742	12	14 24	18.969	- 9 25	14.06	403 460.644
	18	4 45	42.834	17 12	25.65		363 413.329	18	14 35	52.699	-10 14	53.73	403 904.824
10 0	5 1	2.357	17 41	4.53	363 282.884	21 0	14 47	28.727	-11 2	55.93	404 267.903		
	6	5 16	27.223	18 5	17.00		363 238.475	6	14 59	7.530	-11 49	14.58	404 549.848
	12	5 31	56.308	18 24	54.03		363 282.668	12	15 10	49.554	-12 33	43.57	404 751.020
	18	5 47	28.382	18 39	48.51		363 417.471	18	15 22	35.205	-13 16	16.77	404 872.156

## LUNE 2017 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		
<b>Janv.</b>	22 0	15 34 24.852	-13 56 48.02	404 914.362	<b>Févr.</b>	2 0	1 0 39.793	2 41 7.91	374 526.818
	6	15 46 18.824	-14 35 11.12	404 879.095		6	1 13 49.162	3 47 25.07	373 993.166
	12	15 58 17.400	-15 11 19.85	404 768.146		12	1 27 2.469	4 53 6.64	373 481.063
	18	16 10 20.816	-15 45 7.98	404 583.625		18	1 40 20.235	5 57 58.74	372 990.623
	23 0	16 22 29.256	-16 16 29.31	404 327.938		3 0	1 53 42.961	7 1 47.34	372 522.098
	6	16 34 42.852	-16 45 17.67	404 003.771		6	2 7 11.120	8 4 18.29	372 075.888
	12	16 47 1.679	-17 11 26.95	403 614.068		12	2 20 45.150	9 5 17.37	371 652.569
	18	16 59 25.761	-17 34 51.17	403 162.007		18	2 34 25.443	10 4 30.27	371 252.895
	24 0	17 11 55.063	-17 55 24.53	402 650.976		4 0	2 48 12.334	11 1 42.70	370 877.813
	6	17 24 29.491	-18 13 1.42	402 084.551		6	3 2 6.095	11 56 40.37	370 528.464
	12	17 37 8.899	-18 27 36.52	401 466.470		12	3 16 6.920	12 49 9.14	370 206.185
	18	17 49 53.085	-18 39 4.83	400 800.606		18	3 30 14.921	13 38 55.01	369 912.500
	25 0	18 2 41.794	-18 47 21.75	400 090.940		5 0	3 44 30.115	14 25 44.27	369 649.114
	6	18 15 34.726	-18 52 23.15	399 341.535		6	3 58 52.418	15 9 23.60	369 417.897
	12	18 28 31.534	-18 54 5.41	398 556.504		12	4 13 21.638	15 49 40.19	369 220.864
	18	18 41 31.836	-18 52 25.50	397 739.988		18	4 27 57.469	16 26 21.85	369 060.155
	26 0	18 54 35.216	-18 47 21.03	396 896.123		6 0	4 42 39.493	16 59 17.17	368 938.005
	6	19 7 41.237	-18 38 50.32	396 029.015		6	4 57 27.174	17 28 15.67	368 856.713
	12	19 20 49.444	-18 26 52.41	395 142.710		12	5 12 19.865	17 53 7.94	368 818.608
	18	19 33 59.374	-18 11 27.15	394 241.168		18	5 27 16.813	18 13 45.78	368 826.013
	27 0	19 47 10.566	-17 52 35.18	393 328.238		7 0	5 42 17.169	18 30 2.37	368 881.204
	6	20 0 22.569	-17 30 18.00	392 407.634		6	5 57 20.000	18 41 52.35	368 986.367
	12	20 13 34.950	-17 4 37.94	391 482.908		12	6 12 24.305	18 49 11.97	369 143.564
	18	20 26 47.301	-16 35 38.19	390 557.435		18	6 27 29.031	18 51 59.15	369 354.679
	28 0	20 39 59.251	-16 3 22.80	389 634.389		8 0	6 42 33.098	18 50 13.51	369 621.389
	6	20 53 10.467	-15 27 56.62	388 716.729		6	6 57 35.411	18 43 56.48	369 945.115
	12	21 6 20.665	-14 49 25.33	387 807.184		12	7 12 34.892	18 33 11.17	370 326.989
	18	21 19 29.611	-14 7 55.37	386 908.244		18	7 27 30.491	18 18 2.43	370 767.818
	29 0	21 32 37.126	-13 23 33.93	386 022.150		9 0	7 42 21.211	17 58 36.75	371 268.052
	6	21 45 43.092	-12 36 28.88	385 150.892		6	7 57 6.125	17 35 2.11	371 827.760
	12	21 58 47.448	-11 46 48.76	384 296.208		12	8 11 44.388	17 7 27.92	372 446.603
	18	22 11 50.195	-10 54 42.70	383 459.583		18	8 26 15.251	16 36 4.84	373 123.820
	30 0	22 24 51.395	-10 0 20.36	382 642.262		10 0	8 40 38.069	16 1 4.61	373 858.216
	6	22 37 51.169	- 9 3 51.96	381 845.254		6	8 54 52.308	15 22 39.90	374 648.155
	12	22 50 49.694	- 8 5 28.12	381 069.347		12	9 8 57.546	14 41 4.13	375 491.561
	18	23 3 47.204	- 7 5 19.90	380 315.124		18	9 22 53.472	13 56 31.26	376 385.921
	31 0	23 16 43.983	- 6 3 38.74	379 582.984		11 0	9 36 39.885	13 9 15.68	377 328.300
	6	23 29 40.365	- 5 0 36.40	378 873.162		6	9 50 16.689	12 19 32.00	378 315.351
	12	23 42 36.725	- 3 56 24.95	378 185.754		12	10 3 43.886	11 27 34.94	379 343.341
	18	23 55 33.479	- 2 51 16.72	377 520.745		18	10 17 1.570	10 33 39.16	380 408.175
<b>Févr.</b>	1 0	0 8 31.077	- 1 45 24.31	376 878.034		12 0	10 30 9.916	9 37 59.15	381 505.425
	6	0 21 29.998	- 0 39 0.52	376 257.463		6	10 43 9.175	8 40 49.18	382 630.360
	12	0 34 30.742	0 27 41.63	375 658.851		12	10 55 59.663	7 42 23.13	383 777.989
	18	0 47 33.831	1 34 28.90	375 082.018		18	11 8 41.751	6 42 54.50	384 943.090

## LUNE 2017 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 11 21 15.861	5 42 36.30	386 120.255	Févr. 24	0 20 20 53.118	-16 47 28.75	389 887.913
	6 11 33 42.456	4 41 41.05	387 303.929		6 20 34 7.669	-16 16 45.52	388 724.320
	12 11 46 2.030	3 40 20.75	388 488.450		12 20 47 22.965	-15 42 44.31	387 556.026
	18 11 58 15.107	2 38 46.84	389 668.091		18 21 0 38.740	-15 5 29.39	386 388.641
14	0 12 10 22.231	1 37 10.24	390 837.100	25	0 21 13 54.759	-14 25 5.87	385 227.698
	6 12 22 23.963	0 35 41.33	391 989.742		6 21 27 10.821	-13 41 39.74	384 078.613
	12 12 34 20.872	- 0 25 30.04	393 120.331		12 21 40 26.771	-12 55 17.86	382 946.644
	18 12 46 13.535	- 1 26 14.51	394 223.276		18 21 53 42.494	-12 6 7.94	381 836.853
15	0 12 58 2.534	- 2 26 23.19	395 293.109	26	0 22 6 57.923	-11 14 18.49	380 754.067
	6 13 9 48.448	- 3 25 47.63	396 324.523		6 22 20 13.037	-10 19 58.87	379 702.843
	12 13 21 31.851	- 4 24 19.78	397 312.398		12 22 33 27.864	- 9 23 19.17	378 687.435
	18 13 33 13.314	- 5 21 52.00	398 251.838		18 22 46 42.479	- 8 24 30.24	377 711.765
16	0 13 44 53.396	- 6 18 16.94	399 138.191	27	0 22 59 57.002	- 7 23 43.61	376 779.391
	6 13 56 32.647	- 7 13 27.58	399 967.075		6 23 13 11.598	- 6 21 11.45	375 893.491
	12 14 8 11.600	- 8 7 17.15	400 734.404		12 23 26 26.473	- 5 17 6.56	375 056.839
	18 14 19 50.775	- 8 59 39.12	401 436.405		18 23 39 41.873	- 4 11 42.24	374 271.795
17	0 14 31 30.673	- 9 50 27.16	402 069.637	28	0 23 52 58.076	- 3 5 12.31	373 540.296
	6 14 43 11.775	-10 39 35.09	402 631.007		6 0 6 15.393	- 1 57 51.02	372 863.855
	12 14 54 54.539	-11 26 56.88	403 117.785		12 0 19 34.157	- 0 49 52.99	372 243.560
	18 15 6 39.399	-12 12 26.62	403 527.614		18 0 32 54.724	0 18 26.83	371 680.085
18	0 15 18 26.763	-12 55 58.47	403 858.522	Mars	1 0 0 46 17.462	1 26 53.24	371 173.704
	6 15 30 17.008	-13 37 26.68	404 108.929		6 0 59 42.750	2 35 10.83	370 724.308
	12 15 42 10.483	-14 16 45.56	404 277.654		12 1 13 10.965	3 43 4.06	370 331.432
	18 15 54 7.501	-14 53 49.47	404 363.919		18 1 26 42.481	4 50 17.30	369 994.278
19	0 16 6 8.340	-15 28 32.81	404 367.352	2	0 1 40 17.659	5 56 34.89	369 711.752
	6 16 18 13.242	-16 0 50.05	404 287.992		6 1 53 56.841	7 1 41.23	369 482.495
	12 16 30 22.407	-16 30 35.70	404 126.280		12 2 7 40.340	8 5 20.82	369 304.923
	18 16 42 35.995	-16 57 44.34	403 883.068		18 2 21 28.435	9 7 18.33	369 177.262
20	0 16 54 54.123	-17 22 10.64	403 559.604	3	0 2 35 21.359	10 7 18.64	369 097.596
	6 17 7 16.862	-17 43 49.40	403 157.535		6 2 49 19.298	11 5 6.97	369 063.898
	12 17 19 44.241	-18 2 35.52	402 678.896		12 3 3 22.378	12 0 28.90	369 074.077
	18 17 32 16.242	-18 18 24.12	402 126.101		18 3 17 30.658	12 53 10.47	369 126.014
21	0 17 44 52.802	-18 31 10.49	401 501.932	4	0 3 31 44.128	13 42 58.27	369 217.599
	6 17 57 33.816	-18 40 50.21	400 809.528		6 3 46 2.697	14 29 39.48	369 346.766
	12 18 10 19.134	-18 47 19.15	400 052.368		12 4 0 26.197	15 13 2.00	369 511.524
	18 18 23 8.569	-18 50 33.54	399 234.253		18 4 14 54.372	15 52 54.54	369 709.985
22	0 18 36 1.896	-18 50 29.99	398 359.292	5	0 4 29 26.882	16 29 6.67	369 940.389
	6 18 48 58.856	-18 47 5.62	397 431.876		6 4 44 3.301	17 1 28.96	370 201.124
	12 19 1 59.164	-18 40 18.02	396 456.656		12 4 58 43.123	17 29 53.03	370 490.740
	18 19 15 2.510	-18 30 5.37	395 438.519		18 5 13 25.762	17 54 11.65	370 807.962
23	0 19 28 8.567	-18 16 26.48	394 382.559	6	0 5 28 10.564	18 14 18.78	371 151.697
	6 19 41 16.997	-17 59 20.80	393 294.049		6 5 42 56.811	18 30 9.72	371 521.035
	12 19 54 27.458	-17 38 48.53	392 178.405		12 5 57 43.739	18 41 41.05	371 915.246
	18 20 7 39.609	-17 14 50.60	391 041.157		18 6 12 30.544	18 48 50.76	372 333.774

## LUNE 2017 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	6	27	16.398	18	51	38.23	372 776.229	Mars 18 0	15	49	49.324	-14	44	0.52	404 331.314
6	6	42	0.465	18	50	4.24	373 242.368	6	16	1	50.501	-15	19	45.23	404 511.419
12	6	56	41.916	18	44	10.94	373 732.080	12	16	13	54.827	-15	53	2.51	404 618.029
18	7	11	19.940	18	34	1.88	374 245.366	18	16	26	2.461	-16	23	47.23	404 649.181
8 0	7	25	53.762	18	19	41.86	374 782.312	19 0	16	38	13.528	-16	51	54.41	404 603.231
6	7	40	22.655	18	1	16.95	375 343.067	6	16	50	28.123	-17	17	19.26	404 478.872
12	7	54	45.948	17	38	54.39	375 927.817	12	17	2	46.311	-17	39	57.16	404 275.149
18	8	9	3.040	17	12	42.46	376 536.750	18	17	15	8.123	-17	59	43.70	403 991.474
9 0	8	23	13.404	16	42	50.40	377 170.036	20 0	17	27	33.559	-18	16	34.66	403 627.636
6	8	37	16.593	16	9	28.34	377 827.792	6	17	40	2.592	-18	30	26.04	403 183.812
12	8	51	12.243	15	32	47.11	378 510.054	12	17	52	35.162	-18	41	14.10	402 660.578
18	9	5	0.076	14	52	58.19	379 216.755	18	18	5	11.185	-18	48	55.34	402 058.915
10 0	9	18	39.895	14	10	13.58	379 947.690	21 0	18	17	50.550	-18	53	26.59	401 380.217
6	9	32	11.588	13	24	45.66	380 702.500	6	18	30	33.124	-18	54	44.97	400 626.294
12	9	45	35.119	12	36	47.12	381 480.643	12	18	43	18.754	-18	52	47.95	399 799.373
18	9	58	50.526	11	46	30.85	382 281.381	18	18	56	7.273	-18	47	33.38	398 902.100
11 0	10	11	57.915	10	54	9.85	383 103.758	22 0	19	8	58.499	-18	38	59.53	397 937.538
6	10	24	57.456	9	59	57.15	383 946.587	6	19	21	52.242	-18	27	5.12	396 909.163
12	10	37	49.374	9	4	5.71	384 808.444	12	19	34	48.310	-18	11	49.33	395 820.852
18	10	50	33.943	8	6	48.38	385 687.654	18	19	47	46.507	-17	53	11.87	394 676.883
12 0	11	3	11.484	7	8	17.86	386 582.294	23 0	20	0	46.645	-17	31	13.00	393 481.913
6	11	15	42.351	6	8	46.59	387 490.190	6	20	13	48.544	-17	5	53.55	392 240.965
12	11	28	6.935	5	8	26.76	388 408.919	12	20	26	52.036	-16	37	14.97	390 959.414
18	11	40	25.650	4	7	30.27	389 335.818	18	20	39	56.973	-16	5	19.39	389 642.955
13 0	11	52	38.932	3	6	8.68	390 267.993	24 0	20	53	3.226	-15	30	9.59	388 297.586
6	12	4	47.234	2	4	33.21	391 202.332	6	21	6	10.692	-14	51	49.08	386 929.571
12	12	16	51.023	1	2	54.72	392 135.519	12	21	19	19.294	-14	10	22.11	385 545.411
18	12	28	50.771	0	1	23.71	393 064.054	18	21	32	28.988	-13	25	53.72	384 151.802
14 0	12	40	46.957	-0	59	49.71	393 984.272	25 0	21	45	39.761	-12	38	29.73	382 755.599
6	12	52	40.062	-2	0	35.79	394 892.365	6	21	58	51.634	-11	48	16.79	381 363.768
12	13	4	30.563	-3	0	45.14	395 784.408	12	22	12	4.662	-10	55	22.37	379 983.336
18	13	16	18.935	-4	0	8.75	396 656.378	18	22	25	18.937	-9	59	54.83	378 621.343
15 0	13	28	5.647	-4	58	37.95	397 504.188	26 0	22	38	34.585	-9	2	3.35	377 284.787
6	13	39	51.158	-5	56	4.39	398 323.709	6	22	51	51.764	-8	1	58.02	375 980.566
12	13	51	35.916	-6	52	20.07	399 110.797	12	23	5	10.667	-6	59	49.77	374 715.423
18	14	3	20.357	-7	47	17.28	399 861.323	18	23	18	31.515	-5	55	50.40	373 495.885
16 0	14	15	4.901	-8	40	48.61	400 571.200	27 0	23	31	54.557	-4	50	12.56	372 328.207
6	14	26	49.953	-9	32	46.91	401 236.409	6	23	45	20.064	-3	43	9.70	371 218.312
12	14	38	35.901	-10	23	5.30	401 853.028	12	23	58	48.327	-2	34	56.07	370 171.738
18	14	50	23.109	-11	11	37.14	402 417.256	18	0	12	19.653	-1	25	46.67	369 193.585
17 0	15	2	11.924	-11	58	16.01	402 925.442	28 0	0	25	54.357	-0	15	57.17	368 288.465
6	15	14	2.668	-12	42	55.69	403 374.109	6	0	39	32.757	0	54	16.10	367 460.460
12	15	25	55.639	-13	25	30.19	403 759.975	12	0	53	15.168	2	4	36.29	366 713.085
18	15	37	51.109	-14	5	53.68	404 079.982	18	1	7	1.895	3	14	46.06	366 049.256



## LUNE 2017 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	1 20 53.228	4 24 27.68	365 471.268	Avril 9	0	11 38 33.746	4 18 21.02	391 755.397
	6	1 34 49.427	5 33 23.18	364 980.779		6	11 50 36.808	3 17 30.36	392 581.811
	12	1 48 50.723	6 41 14.41	364 578.806		12	12 2 35.624	2 16 20.55	393 396.817
	18	2 2 57.301	7 47 43.17	364 265.725		18	12 14 30.691	1 15 1.80	394 199.599
30	0	2 17 9.300	8 52 31.38	364 041.285	10	0	12 26 22.503	0 13 44.10	394 989.219
	6	2 31 26.799	9 55 21.16	363 904.623		6	12 38 11.550	- 0 47 22.83	395 764.612
	12	2 45 49.809	10 55 55.01	363 854.296		12	12 49 58.317	- 1 48 9.44	396 524.572
	18	3 0 18.272	11 53 55.93	363 888.315		18	13 1 43.275	- 2 48 26.44	397 267.751
31	0	3 14 52.048	12 49 7.58	364 004.187	11	0	13 13 26.886	- 3 48 4.75	397 992.653
	6	3 29 30.914	13 41 14.40	364 198.961		6	13 25 9.596	- 4 46 55.52	398 697.634
	12	3 44 14.560	14 30 1.79	364 469.280		12	13 36 51.837	- 5 44 50.09	399 380.901
	18	3 59 2.586	15 15 16.19	364 811.440		18	13 48 34.021	- 6 41 40.06	400 040.522
Avril 1	0	4 13 54.507	15 56 45.25	365 221.444	12	0	14 0 16.540	- 7 37 17.21	400 674.425
	6	4 28 49.750	16 34 17.93	365 695.061		6	14 11 59.767	- 8 31 33.57	401 280.412
	12	4 43 47.664	17 7 44.58	366 227.889		12	14 23 44.051	- 9 24 21.35	401 856.167
	18	4 58 47.526	17 36 57.06	366 815.408		18	14 35 29.714	-10 15 33.02	402 399.269
2	0	5 13 48.552	18 1 48.79	367 453.042	13	0	14 47 17.056	-11 5 1.24	402 907.209
	6	5 28 49.906	18 22 14.75	368 136.206		6	14 59 6.349	-11 52 38.90	403 377.399
	12	5 43 50.719	18 38 11.58	368 860.357		12	15 10 57.835	-12 38 19.14	403 807.199
	18	5 58 50.102	18 49 37.53	369 621.045		18	15 22 51.729	-13 21 55.29	404 193.927
3	0	6 13 47.160	18 56 32.43	370 413.946	14	0	15 34 48.215	-14 3 20.97	404 534.885
	6	6 28 41.009	18 58 57.66	371 234.902		6	15 46 47.446	-14 42 30.00	404 827.375
	12	6 43 30.794	18 56 56.10	372 079.950		12	15 58 49.544	-15 19 16.46	405 068.727
	18	6 58 15.703	18 50 31.99	372 945.348		18	16 10 54.602	-15 53 34.71	405 256.313
4	0	7 12 54.977	18 39 50.90	373 827.593	15	0	16 23 2.677	-16 25 19.35	405 387.579
	6	7 27 27.925	18 24 59.56	374 723.436		6	16 35 13.801	-16 54 25.26	405 460.059
	12	7 41 53.933	18 6 5.77	375 629.892		12	16 47 27.971	-17 20 47.62	405 471.406
	18	7 56 12.471	17 43 18.25	376 544.242		18	16 59 45.158	-17 44 21.88	405 419.410
5	0	8 10 23.094	17 16 46.54	377 464.034	16	0	17 12 5.306	-18 5 3.82	405 302.026
	6	8 24 25.452	16 46 40.87	378 387.076		6	17 24 28.331	-18 22 49.53	405 117.394
	12	8 38 19.282	16 13 12.01	379 311.431		12	17 36 54.129	-18 37 35.40	404 863.862
	18	8 52 4.413	15 36 31.20	380 235.401		18	17 49 22.573	-18 49 18.20	404 540.011
6	0	9 5 40.759	14 56 50.00	381 157.512	17	0	18 1 53.520	-18 57 55.00	404 144.676
	6	9 19 8.317	14 14 20.23	382 076.498		6	18 14 26.812	-19 3 23.25	403 676.966
	12	9 32 27.160	13 29 13.85	382 991.278		12	18 27 2.282	-19 5 40.78	403 136.289
	18	9 45 37.431	12 41 42.93	383 900.934		18	18 39 39.755	-19 4 45.76	402 522.368
7	0	9 58 39.335	11 51 59.52	384 804.690	18	0	18 52 19.054	-19 0 36.77	401 835.260
	6	10 11 33.137	11 0 15.67	385 701.883		6	19 5 0.005	-18 53 12.76	401 075.380
	12	10 24 19.149	10 6 43.32	386 591.941		12	19 17 42.437	-18 42 33.11	400 243.509
	18	10 36 57.726	9 11 34.29	387 474.356		18	19 30 26.191	-18 28 37.59	399 340.819
8	0	10 49 29.260	8 15 0.26	388 348.659	19	0	19 43 11.123	-18 11 26.38	398 368.879
	6	11 1 54.174	7 17 12.72	389 214.397		6	19 55 57.105	-17 51 0.11	397 329.671
	12	11 14 12.914	6 18 22.97	390 071.105		12	20 8 44.031	-17 27 19.83	396 225.603
	18	11 26 25.945	5 18 42.11	390 918.288		18	20 21 31.821	-17 0 27.05	395 059.510

## LUNE 2017 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 20 34 20.423	-16 30 23.74	393 834.667	Mai 1	0 6 56 43.690	19 4 2.22	367 743.556
	6 20 47 9.813	-15 57 12.36	392 554.789		6 7 11 49.388	18 53 37.98	368 877.824
	12 21 0 0.002	-15 20 55.85	391 224.030		12 7 26 46.892	18 38 47.47	370 050.117
	18 21 12 51.037	-14 41 37.69	389 846.981		18 7 41 35.427	18 19 40.63	371 254.007
21	0 21 25 42.997	-13 59 21.89	388 428.664	2	0 7 56 14.347	17 56 28.43	372 483.243
	6 21 38 36.001	-13 14 13.02	386 974.520		6 8 10 43.131	17 29 22.74	373 731.800
	12 21 51 30.203	-12 26 16.26	385 490.395		12 8 25 1.391	16 58 36.06	374 993.916
	18 22 4 25.795	-11 35 37.42	383 982.518		18 8 39 8.867	16 24 21.36	376 264.120
22	0 22 17 23.004	-10 42 22.97	382 457.480	3	0 8 53 5.419	15 46 51.93	377 537.264
	6 22 30 22.093	-9 46 40.07	380 922.200		6 9 6 51.022	15 6 21.19	378 808.537
	12 22 43 23.359	-8 48 36.63	379 383.893		12 9 20 25.759	14 23 2.59	380 073.481
	18 22 56 27.128	-7 48 21.33	377 850.030		18 9 33 49.806	13 37 9.52	381 327.999
23	0 23 9 33.758	-6 46 3.66	376 328.288	4	0 9 47 3.427	12 48 55.15	382 568.357
	6 23 22 43.631	-5 41 53.95	374 826.502		6 10 0 6.960	11 58 32.45	383 791.183
	12 23 35 57.150	-4 36 3.41	373 352.605		12 10 13 0.806	11 6 14.08	384 993.462
	18 23 49 14.736	-3 28 44.15	371 914.568		18 10 25 45.424	10 12 12.36	386 172.523
24	0 0 2 36.823	-2 20 9.21	370 520.335	5	0 10 38 21.313	9 16 39.27	387 326.030
	6 0 16 3.851	-1 10 32.54	369 177.745		6 10 50 49.012	8 19 46.43	388 451.964
	12 0 29 36.261	-0 0 9.02	367 894.470		12 11 3 9.087	7 21 45.11	389 548.603
	18 0 43 14.484	1 10 45.55	366 677.928		18 11 15 22.124	6 22 46.19	390 614.505
25	0 0 56 58.941	2 21 54.52	365 535.213	6	0 11 27 28.726	5 23 0.26	391 648.483
	6 1 10 50.025	3 33 0.40	364 473.019		6 11 39 29.500	4 22 37.53	392 649.583
	12 1 24 48.096	4 43 44.93	363 497.562		12 11 51 25.062	3 21 47.96	393 617.058
	18 1 38 53.473	5 53 49.21	362 614.512		18 12 3 16.023	2 20 41.20	394 550.346
26	0 1 53 6.417	7 2 53.78	361 828.927	7	0 12 15 2.992	1 19 26.66	395 449.042
	6 2 7 27.125	8 10 38.77	361 145.191		6 12 26 46.568	0 18 13.49	396 312.870
	12 2 21 55.717	9 16 44.05	360 566.964		12 12 38 27.339	-0 42 49.34	397 141.666
	18 2 36 32.225	10 20 49.41	360 097.141		18 12 50 5.879	-1 43 33.06	397 935.346
27	0 2 51 16.581	11 22 34.77	359 737.816	8	0 13 1 42.746	-2 43 49.08	398 693.885
	6 3 6 8.609	12 21 40.37	359 490.264		6 13 13 18.478	-3 43 28.94	399 417.293
	12 3 21 8.018	13 17 47.03	359 354.930		12 13 24 53.592	-4 42 24.35	400 105.596
	18 3 36 14.393	14 10 36.37	359 331.435		18 13 36 28.582	-5 40 27.11	400 758.811
28	0 3 51 27.195	14 59 51.02	359 418.585	9	0 13 48 3.917	-6 37 29.18	401 376.931
	6 4 6 45.758	15 45 14.92	359 614.405		6 13 59 40.039	-7 33 22.59	401 959.907
	12 4 22 9.296	16 26 33.45	359 916.170		12 14 11 17.361	-8 27 59.52	402 507.631
	18 4 37 36.907	17 3 33.71	360 320.456		18 14 22 56.265	-9 21 12.24	403 019.925
29	0 4 53 7.587	17 36 4.67	360 823.195	10	0 14 34 37.101	-10 12 53.14	403 496.527
	6 5 8 40.244	18 3 57.27	361 419.742		6 14 46 20.185	-11 2 54.73	403 937.082
	12 5 24 13.716	18 27 4.60	362 104.938		12 14 58 5.797	-11 51 9.66	404 341.135
	18 5 39 46.795	18 45 21.90	362 873.189		18 15 9 54.180	-12 37 30.73	404 708.128
30	0 5 55 18.249	18 58 46.61	363 718.541	11	0 15 21 45.539	-13 21 50.89	405 037.391
	6 6 10 46.845	19 7 18.33	364 634.756		6 15 33 40.038	-14 4 3.28	405 328.149
	12 6 26 11.377	19 10 58.74	365 615.391		12 15 45 37.803	-14 44 1.25	405 579.516
	18 6 41 30.687	19 9 51.54	366 653.869		18 15 57 38.918	-15 21 38.36	405 790.502

## LUNE 2017 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
<b>Mai</b> 12 0	16 9 43.426	-15 56 48.43	405 960.018	<b>Mai</b> 23 0	1 28 37.199	4 55 31.59	365 663.830
	6 16 21 51.328	-16 29 25.56	406 086.885		6 1 42 30.682	6 5 6.59	364 432.874
	12 16 34 2.589	-16 59 24.12	406 169.839		12 1 56 33.570	7 13 50.37	363 276.792
	18 16 46 17.132	-17 26 38.84	406 207.545		18 2 10 46.230	8 21 23.67	362 203.002
13 0	16 58 34.843	-17 51 4.79	406 198.611	24 0	2 25 8.946	9 27 26.58	361 218.535
	6 17 10 55.576	-18 12 37.41	406 141.601		6 2 39 41.902	10 31 38.70	360 329.948
	12 17 23 19.152	-18 31 12.55	406 035.050		12 2 54 25.165	11 33 39.30	359 543.245
	18 17 35 45.365	-18 46 46.47	405 877.485		18 3 9 18.676	12 33 7.53	358 863.795
14 0	17 48 13.982	-18 59 15.87	405 667.440	25 0	3 24 22.229	13 29 42.69	358 296.262
	6 18 0 44.756	-19 8 37.91	405 403.479		6 3 39 35.467	14 23 4.45	357 844.539
	12 18 13 17.420	-19 14 50.21	405 084.213		12 3 54 57.869	15 12 53.20	357 511.697
	18 18 25 51.703	-19 17 50.87	404 708.328		18 4 10 28.745	15 58 50.30	357 299.937
15 0	18 38 27.325	-19 17 38.47	404 274.602	26 0	4 26 7.240	16 40 38.42	357 210.565
	6 18 51 4.014	-19 14 12.07	403 781.930		6 4 41 52.333	17 18 1.84	357 243.967
	12 19 3 41.500	-19 7 31.20	403 229.349		12 4 57 42.853	17 50 46.73	357 399.613
	18 19 16 19.532	-18 57 35.89	402 616.063		18 5 13 37.495	18 18 41.41	357 676.060
16 0	19 28 57.872	-18 44 26.62	401 941.461	27 0	5 29 34.838	18 41 36.57	358 070.981
	6 19 41 36.311	-18 28 4.34	401 205.150		6 5 45 33.378	18 59 25.44	358 581.198
	12 19 54 14.665	-18 8 30.44	400 406.972		12 6 1 31.556	19 12 3.84	359 202.733
	18 20 6 52.786	-17 45 46.74	399 547.031		18 6 17 27.792	19 19 30.30	359 930.864
17 0	20 19 30.560	-17 19 55.50	398 625.717	28 0	6 33 20.522	19 21 45.94	360 760.197
	6 20 32 7.915	-16 50 59.37	397 643.727		6 6 49 8.232	19 18 54.46	361 684.737
	12 20 44 44.820	-16 19 1.44	396 602.087		12 7 4 49.486	19 11 1.92	362 697.974
	18 20 57 21.291	-15 44 5.15	395 502.172		18 7 20 22.962	18 58 16.54	363 792.960
18 0	21 9 57.387	-15 6 14.35	394 345.728	29 0	7 35 47.468	18 40 48.51	364 962.402
	6 21 22 33.217	-14 25 33.29	393 134.885		6 7 51 1.966	18 18 49.66	366 198.744
	12 21 35 8.936	-13 42 6.57	391 872.179		12 8 6 5.581	17 52 33.18	367 494.255
	18 21 47 44.746	-12 55 59.24	390 560.557		18 8 20 57.607	17 22 13.36	368 841.103
19 0	22 0 20.897	-12 7 16.73	389 203.398	30 0	8 35 37.511	16 48 5.27	370 231.442
	6 22 12 57.683	-11 16 4.91	387 804.509		6 8 50 4.928	16 10 24.53	371 657.477
	12 22 25 35.443	-10 22 30.08	386 368.142		12 9 4 19.653	15 29 27.04	373 111.532
	18 22 38 14.559	-9 26 39.07	384 898.985		18 9 18 21.629	14 45 28.77	374 586.114
20 0	22 50 55.452	-8 28 39.18	383 402.163	31 0	9 32 10.938	13 58 45.59	376 073.958
	6 23 3 38.579	-7 28 38.29	381 883.229		6 9 45 47.784	13 9 33.09	377 568.080
	12 23 16 24.434	-6 26 44.88	380 348.151		12 9 59 12.479	12 18 6.50	379 061.816
	18 23 29 13.541	-5 23 8.07	378 803.295		18 10 12 25.427	11 24 40.58	380 548.851
21 0	23 42 6.450	-4 17 57.66	377 255.398	<b>Juin</b> 1 0	10 25 27.114	10 29 29.52	382 023.247
	6 23 55 3.732	-3 11 24.23	375 711.539		6 10 38 18.088	9 32 46.94	383 479.465
	12 0 8 5.978	-2 3 39.11	374 179.101		12 10 50 58.952	8 34 45.89	384 912.374
	18 0 21 13.788	-0 54 54.50	372 665.729		18 11 3 30.350	7 35 38.78	386 317.266
22 0	0 34 27.768	0 14 36.54	371 179.279	2 0	11 15 52.956	6 35 37.42	387 689.856
	6 0 47 48.519	1 24 40.05	369 727.761		6 11 28 7.467	5 34 53.09	389 026.280
	12 1 1 16.634	2 35 1.10	368 319.275		12 11 40 14.596	4 33 36.49	390 323.094
	18 1 14 52.681	3 45 23.87	366 961.942		18 11 52 15.060	3 31 57.82	391 577.265

## LUNE 2017 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 12 4 9.581	2 30 6.83	392786.154	Juin 14	0 20 57 33.762	-15 56 55.70	397682.821
	6 12 15 58.874	1 28 12.84	393947.511		6 21 10 5.023	-15 19 39.35	396784.276
	12 12 27 43.648	0 26 24.79	395059.449		12 21 22 34.797	-14 39 37.23	395840.520
	18 12 39 24.601	- 0 35 8.69	396120.432		18 21 35 3.179	-13 56 54.77	394852.015
4	0 12 51 2.414	- 1 36 19.30	397129.252	15	0 21 47 30.317	-13 11 37.75	393819.445
	6 13 2 37.752	- 2 36 58.96	398085.004		6 21 59 56.417	-12 23 52.26	392743.736
	12 13 14 11.256	- 3 36 59.80	398987.070		12 22 12 21.737	-11 33 44.69	391626.089
	18 13 25 43.548	- 4 36 14.14	399835.090		18 22 24 46.588	-10 41 21.79	390467.992
5	0 13 37 15.223	- 5 34 34.44	400628.939	16	0 22 37 11.334	- 9 46 50.60	389271.250
	6 13 48 46.847	- 6 31 53.26	401368.702		6 22 49 36.383	- 8 50 18.48	388038.000
	12 14 0 18.958	- 7 28 3.29	402054.652		12 23 2 2.194	- 7 51 53.17	386770.732
	18 14 11 52.064	- 8 22 57.26	402687.219		18 23 14 29.265	- 6 51 42.74	385472.300
6	0 14 23 26.635	- 9 16 27.99	403266.974	17	0 23 26 58.136	- 5 49 55.69	384145.943
	6 14 35 3.110	-10 8 28.35	403794.597		6 23 39 29.381	- 4 46 40.93	382795.283
	12 14 46 41.885	-10 58 51.25	404270.858		12 23 52 3.609	- 3 42 7.87	381424.343
	18 14 58 23.321	-11 47 29.67	404696.595		18 0 4 41.454	- 2 36 26.39	380037.539
7	0 15 10 7.733	-12 34 16.63	405072.688	18	0 0 17 23.578	- 1 29 46.98	378639.684
	6 15 21 55.394	-13 19 5.24	405400.043		6 0 30 10.656	- 0 22 20.69	377235.975
	12 15 33 46.530	-14 1 48.70	405679.570		12 0 43 3.379	0 45 40.74	375831.985
	18 15 45 41.321	-14 42 20.31	405912.163		18 0 56 2.442	1 54 4.88	374433.641
8	0 15 57 39.898	-15 20 33.50	406098.689	19	0 1 9 8.539	3 2 38.57	373047.198
	6 16 9 42.340	-15 56 21.90	406239.967		6 1 22 22.352	4 11 7.86	371679.211
	12 16 21 48.679	-16 29 39.30	406336.759		12 1 35 44.545	5 19 18.02	370336.494
	18 16 33 58.894	-17 0 19.74	406389.753		18 1 49 15.748	6 26 53.48	369026.076
9	0 16 46 12.917	-17 28 17.55	406399.559	20	0 2 2 56.550	7 33 37.91	367755.150
	6 16 58 30.630	-17 53 27.34	406366.698		6 2 16 47.482	8 39 14.16	366531.011
	12 17 10 51.869	-18 15 44.10	406291.595		12 2 30 49.004	9 43 24.38	365360.998
	18 17 23 16.426	-18 35 3.21	406174.577		18 2 45 1.488	10 45 50.05	364252.421
10	0 17 35 44.054	-18 51 20.47	406015.871	21	0 2 59 25.204	11 46 12.15	363212.483
	6 17 48 14.469	-19 4 32.15	405815.603		6 3 14 0.299	12 44 11.22	362248.208
	12 18 0 47.358	-19 14 35.03	405573.800		12 3 28 46.786	13 39 27.62	361366.355
	18 18 13 22.381	-19 21 26.40	405290.398		18 3 43 44.524	14 31 41.69	360573.336
11	0 18 25 59.180	-19 25 4.13	404965.242	22	0 3 58 53.206	15 20 34.03	359875.138
	6 18 38 37.387	-19 25 26.63	404598.100		6 4 14 12.348	16 5 45.76	359277.235
	12 18 51 16.625	-19 22 32.91	404188.672		12 4 29 41.282	16 46 58.82	358784.519
	18 19 3 56.522	-19 16 22.55	403736.598		18 4 45 19.155	17 23 56.32	358401.225
12	0 19 16 36.716	-19 6 55.75	403241.480	23	0 5 1 4.929	17 56 22.82	358130.867
	6 19 29 16.861	-18 54 13.27	402702.890		6 5 16 57.396	18 24 4.69	357976.184
	12 19 41 56.632	-18 38 16.44	402120.393		12 5 32 55.189	18 46 50.35	357939.092
	18 19 54 35.736	-18 19 7.14	401493.563		18 5 48 56.809	19 4 30.59	358020.657
13	0 20 7 13.917	-17 56 47.80	400822.003	24	0 6 5 0.654	19 16 58.73	358221.065
	6 20 19 50.957	-17 31 21.35	400105.369		6 6 21 5.051	19 24 10.79	358539.622
	12 20 32 26.685	-17 2 51.20	399343.389		12 6 37 8.294	19 26 5.56	358974.753
	18 20 45 0.977	-16 31 21.22	398535.890		18 6 53 8.685	19 22 44.63	359524.023

## LUNE 2017 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		
<b>Juin</b>	25 0	7 9 4.571	19 14 12.28	360 184.167	<b>Juill.</b>	6 0	16 33 41.998	-16 54 35.16	405 918.604
	6	7 24 54.379	19 0 35.38	360 951.131		6	16 45 54.694	-17 23 9.34	405 932.162
	12	7 40 36.653	18 42 3.16	361 820.125		12	16 58 11.406	-17 48 57.03	405 892.130
	18	7 56 10.076	18 18 47.00	362 785.685		18	17 10 32.038	-18 11 53.00	405 800.455
	26 0	8 11 33.496	17 51 0.08	363 841.742	7 0	17 22 56.441	-18 31 52.39	405 659.105	
	6	8 26 45.938	17 18 57.11	364 981.696	6	17 35 24.418	-18 48 50.66	405 470.048	
	12	8 41 46.611	16 42 54.01	366 198.494	12	17 47 55.724	-19 2 43.67	405 235.234	
	18	8 56 34.912	16 3 7.57	367 484.717	18	18 0 30.073	-19 13 27.75	404 956.578	
	27 0	9 11 10.420	15 19 55.15	368 832.653	8 0	18 13 7.139	-19 20 59.70	404 635.945	
	6	9 25 32.889	14 33 34.42	370 234.387	6	18 25 46.565	-19 25 16.88	404 275.133	
	12	9 39 42.238	13 44 23.08	371 681.873	12	18 38 27.969	-19 26 17.20	403 875.865	
	18	9 53 38.532	12 52 38.67	373 167.017	18	18 51 10.950	-19 23 59.17	403 439.770	
	28 0	10 7 21.973	11 58 38.40	374 681.743	9 0	19 3 55.096	-19 18 21.95	402 968.384	
	6	10 20 52.876	11 2 38.94	376 218.062	6	19 16 39.992	-19 9 25.33	402 463.134	
	12	10 34 11.659	10 4 56.41	377 768.134	12	19 29 25.226	-18 57 9.75	401 925.339	
	18	10 47 18.825	9 5 46.21	379 324.323	18	19 42 10.402	-18 41 36.33	401 356.201	
	29 0	11 0 14.946	8 5 23.03	380 879.246	10 0	19 54 55.140	-18 22 46.83	400 756.810	
	6	11 13 0.651	7 4 0.80	382 425.814	6	20 7 39.091	-18 0 43.65	400 128.140	
	12	11 25 36.614	6 1 52.69	383 957.272	12	20 20 21.938	-17 35 29.84	399 471.056	
	18	11 38 3.538	4 59 11.10	385 467.230	18	20 33 3.404	-17 7 9.05	398 786.317	
	30 0	11 50 22.155	3 56 7.74	386 949.683	11 0	20 45 43.258	-16 35 45.49	398 074.588	
	6	12 2 33.206	2 52 53.62	388 399.037	6	20 58 21.319	-16 1 23.93	397 336.444	
	12	12 14 37.444	1 49 39.09	389 810.120	12	21 10 57.458	-15 24 9.66	396 572.386	
	18	12 26 35.620	0 46 33.95	391 178.191	18	21 23 31.601	-14 44 8.45	395 782.857	
<b>Juill.</b>	1 0	12 38 28.483	- 0 16 12.58	392 498.949	12 0	21 36 3.734	-14 1 26.49	394 968.252	
	6	12 50 16.771	- 1 18 31.73	393 768.529	6	21 48 33.898	-13 16 10.41	394 128.942	
	12	13 2 1.212	- 2 20 15.18	394 983.507	12	22 1 2.195	-12 28 27.20	393 265.289	
	18	13 13 42.516	- 3 21 14.96	396 140.888	18	22 13 28.783	-11 38 24.21	392 377.670	
	2 0	13 25 21.375	- 4 21 23.46	397 238.100	13 0	22 25 53.878	-10 46 9.11	391 466.499	
	6	13 36 58.456	- 5 20 33.30	398 272.986	6	22 38 17.751	- 9 51 49.89	390 532.245	
	12	13 48 34.407	- 6 18 37.36	399 243.785	12	22 50 40.726	- 8 55 34.81	389 575.465	
	18	14 0 9.843	- 7 15 28.69	400 149.124	18	23 3 3.176	- 7 57 32.42	388 596.819	
	3 0	14 11 45.355	- 8 11 0.49	400 987.995	14 0	23 15 25.524	- 6 57 51.55	387 597.102	
	6	14 23 21.500	- 9 5 6.09	401 759.743	6	23 27 48.237	- 5 56 41.31	386 577.263	
	12	14 34 58.801	- 9 57 38.89	402 464.039	12	23 40 11.823	- 4 54 11.08	385 538.433	
	18	14 46 37.746	-10 48 32.39	403 100.868	18	23 52 36.829	- 3 50 30.56	384 481.946	
	4 0	14 58 18.786	-11 37 40.12	403 670.502	15 0	0 5 3.834	- 2 45 49.76	383 409.361	
	6	15 10 2.328	-12 24 55.66	404 173.478	6	0 17 33.449	- 1 40 19.03	382 322.483	
	12	15 21 48.740	-13 10 12.65	404 610.579	12	0 30 6.308	- 0 34 9.08	381 223.382	
	18	15 33 38.341	-13 53 24.76	404 982.810	18	0 42 43.069	0 32 28.98	380 114.408	
	5 0	15 45 31.405	-14 34 25.70	405 291.372	16 0	0 55 24.402	1 39 23.61	378 998.204	
	6	15 57 28.157	-15 13 9.27	405 537.642	6	1 8 10.987	2 46 22.82	377 877.716	
	12	16 9 28.769	-15 49 29.35	405 723.148	12	1 21 3.508	3 53 14.11	376 756.201	
	18	16 21 33.360	-16 23 19.94	405 849.548	18	1 34 2.641	4 59 44.51	375 637.228	

## LUNE 2017 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
<b>Juill.</b> 17 0	1 47 9.052	6 5 40.46	374 524.674	<b>Juill.</b> 28 0	12 22 5.047	1 19 7.25	386 472.839
6	2 0 23.384	7 10 47.89	373 422.720	6	12 34 16.949	0 14 47.01	387 899.977
12	2 13 46.244	8 14 52.14	372 335.837	12	12 46 23.142	- 0 49 6.09	389 298.489
18	2 27 18.199	9 17 38.03	371 268.768	18	12 58 24.322	- 1 52 22.48	390 662.441
18 0	2 40 59.756	10 18 49.83	370 226.503	29 0	13 10 21.179	- 2 54 53.17	391 986.253
6	2 54 51.354	11 18 11.36	369 214.254	6	13 22 14.394	- 3 56 29.65	393 264.718
12	3 8 53.347	12 15 26.00	368 237.416	12	13 34 4.634	- 4 57 3.89	394 493.025
18	3 23 5.989	13 10 16.83	367 301.526	18	13 45 52.548	- 5 56 28.25	395 666.762
19 0	3 37 29.421	14 2 26.69	366 412.219	30 0	13 57 38.767	- 6 54 35.44	396 781.933
6	3 52 3.655	14 51 38.41	365 575.172	6	14 9 23.898	- 7 51 18.51	397 834.962
12	4 6 48.562	15 37 34.89	364 796.052	12	14 21 8.525	- 8 46 30.72	398 822.691
18	4 21 43.859	16 19 59.39	364 080.451	18	14 32 53.202	- 9 40 5.60	399 742.388
20 0	4 36 49.101	16 58 35.69	363 433.824	31 0	14 44 38.455	-10 31 56.82	400 591.736
6	4 52 3.673	17 33 8.39	362 861.423	6	14 56 24.780	-11 21 58.24	401 368.835
12	5 7 26.794	18 3 23.15	362 368.227	12	15 8 12.634	-12 10 3.84	402 072.192
18	5 22 57.514	18 29 6.96	361 958.877	18	15 20 2.441	-12 56 7.70	402 700.711
21 0	5 38 34.730	18 50 8.42	361 637.608	<b>Août</b> 1 0	15 31 54.585	-13 40 3.98	403 253.685
6	5 54 17.195	19 6 17.98	361 408.185	6	15 43 49.409	-14 21 46.95	403 730.783
12	6 10 3.543	19 17 28.18	361 273.843	12	15 55 47.213	-15 1 10.95	404 132.036
18	6 25 52.315	19 23 33.82	361 237.235	18	16 7 48.251	-15 38 10.39	404 457.821
22 0	6 41 41.982	19 24 32.10	361 300.383	2 0	16 19 52.729	-16 12 39.80	404 708.848
6	6 57 30.990	19 20 22.72	361 464.636	6	16 32 0.807	-16 44 33.77	404 886.139
12	7 13 17.781	19 11 7.91	361 730.642	12	16 44 12.593	-17 13 47.08	404 991.013
18	7 29 0.838	18 56 52.35	362 098.327	18	16 56 28.145	-17 40 14.59	405 025.066
23 0	7 44 38.711	18 37 43.12	362 566.878	3 0	17 8 47.469	-18 3 51.41	404 990.149
6	8 0 10.049	18 13 49.50	363 134.749	6	17 21 10.522	-18 24 32.83	404 888.349
12	8 15 33.624	17 45 22.79	363 799.667	12	17 33 37.208	-18 42 14.41	404 721.969
18	8 30 48.351	17 12 36.07	364 558.650	18	17 46 7.387	-18 56 51.99	404 493.503
24 0	8 45 53.302	16 35 43.92	365 408.039	4 0	17 58 40.869	-19 8 21.79	404 205.615
6	9 0 47.711	15 55 2.15	366 343.533	6	18 11 17.426	-19 16 40.38	403 861.118
12	9 15 30.984	15 10 47.50	367 360.235	12	18 23 56.786	-19 21 44.80	403 462.947
18	9 30 2.689	14 23 17.35	368 452.707	18	18 36 38.647	-19 23 32.54	403 014.138
25 0	9 44 22.556	13 32 49.50	369 615.023	5 0	18 49 22.679	-19 22 1.61	402 517.804
6	9 58 30.464	12 39 41.88	370 840.835	6	19 2 8.527	-19 17 10.62	401 977.114
12	10 12 26.432	11 44 12.34	372 123.435	12	19 14 55.823	-19 8 58.71	401 395.265
18	10 26 10.602	10 46 38.50	373 455.826	18	19 27 44.190	-18 57 25.70	400 775.465
26 0	10 39 43.229	9 47 17.55	374 830.783	6 0	19 40 33.248	-18 42 32.03	400 120.904
6	10 53 4.665	8 46 26.14	376 240.925	6	19 53 22.624	-18 24 18.82	399 434.741
12	11 6 15.343	7 44 20.30	377 678.781	12	20 6 11.961	-18 2 47.84	398 720.076
18	11 19 15.767	6 41 15.36	379 136.845	18	20 19 0.918	-17 38 1.58	397 979.936
27 0	11 32 6.497	5 37 25.87	380 607.646	7 0	20 31 49.183	-17 10 3.18	397 217.251
6	11 44 48.138	4 33 5.66	382 083.797	6	20 44 36.476	-16 38 56.47	396 434.845
12	11 57 21.330	3 28 27.76	383 558.049	12	20 57 22.557	-16 4 45.93	395 635.414
18	12 9 46.738	2 23 44.44	385 023.341	18	21 10 7.226	-15 27 36.67	394 821.518

## LUNE 2017 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	21 22	50.332	-14	47	34.43	393 995.567	Août	19	0	7 21	16.944	19	3	6.81	366 230.643
		6	21 35	31.771	-14	4	45.52	393 159.814			6	7 36	34.920	18	46	59.79	366 390.579
		12	21 48	11.495	-13	19	16.83	392 316.348			12	7 51	48.933	18	26	14.51	366 623.511
		18	22 0	49.504	-12	31	15.75	391 467.088			18	8 6	57.877	18	0	58.85	366 930.594
	9	0	22 13	25.856	-11	40	50.17	390 613.788		20	0	8 22	0.731	17	31	22.42	367 312.526
		6	22 26	0.660	-10	48	8.46	389 758.029			6	8 36	56.581	16	57	36.41	367 769.521
		12	22 38	34.079	-9	53	19.39	388 901.232			12	8 51	44.625	16	19	53.41	368 301.286
		18	22 51	6.328	-8	56	32.15	388 044.660			18	9 6	24.190	15	38	27.23	368 907.009
	10	0	23 3	37.670	-7	57	56.29	387 189.426		21	0	9 20	54.728	14	53	32.69	369 585.346
		6	23 16	8.418	-6	57	41.71	386 336.508			6	9 35	15.823	14	5	25.37	370 334.423
		12	23 28	38.928	-5	55	58.64	385 486.764			12	9 49	27.183	13	14	21.46	371 151.842
		18	23 41	9.598	-4	52	57.61	384 640.942			18	10 3	28.641	12	20	37.51	372 034.692
	11	0	23 53	40.865	-3	48	49.44	383 799.708		22	0	10 17	20.143	11	24	30.30	372 979.567
		6	0 6	13.199	-2	43	45.26	382 963.658			6	10 31	1.741	10	26	16.61	373 982.593
		12	0 18	47.104	-1	37	56.44	382 133.345			12	10 44	33.583	9	26	13.09	375 039.456
		18	0 31	23.108	-0	31	34.64	381 309.300			18	10 57	55.903	8	24	36.15	376 145.442
	12	0	0 44	1.762	0	35	8.21	380 492.054		23	0	11 11	9.010	7	21	41.81	377 295.468
		6	0 56	43.633	1	41	59.92	379 682.168			6	11 24	13.278	6	17	45.66	378 484.133
		12	1 9	29.302	2	48	48.00	378 880.252			12	11 37	9.135	5	13	2.71	379 705.760
		18	1 22	19.353	3	55	19.71	378 086.992			18	11 49	57.054	4	7	47.42	380 954.439
	13	0	1 35	14.372	5	1	22.00	377 303.173		24	0	12 2	37.544	3	2	13.61	382 224.084
		6	1 48	14.936	6	6	41.58	376 529.700			6	12 15	11.144	1	56	34.44	383 508.474
		12	2 1	21.608	7	11	4.84	375 767.621			12	12 27	38.412	0	51	2.43	384 801.303
		18	2 14	34.927	8	14	17.91	375 018.143			18	12 39	59.922	-0	14	10.58	386 096.228
	14	0	2 27	55.401	9	16	6.66	374 282.650		25	0	12 52	16.255	-1	18	53.36	387 386.918
		6	2 41	23.495	10	16	16.74	373 562.715			6	13 4	27.996	-2	22	55.32	388 667.091
		12	2 54	59.624	11	14	33.58	372 860.112			12	13 16	35.730	-3	26	6.48	389 930.562
		18	3 8	44.138	12	10	42.46	372 176.818			18	13 28	40.034	-4	28	17.39	391 171.281
	15	0	3 22	37.314	13	4	28.54	371 515.020		26	0	13 40	41.480	-5	29	19.17	392 383.368
		6	3 36	39.346	13	55	36.99	370 877.110			6	13 52	40.624	-6	29	3.41	393 561.148
		12	3 50	50.330	14	43	53.03	370 265.679			12	14 4	38.010	-7	27	22.13	394 699.183
		18	4 5	10.256	15	29	2.07	369 683.506			18	14 16	34.161	-8	24	7.82	395 792.299
	16	0	4 19	39.000	16	10	49.82	369 133.543		27	0	14 28	29.582	-9	19	13.29	396 835.611
		6	4 34	16.313	16	49	2.47	368 618.891			6	14 40	24.754	-10	12	31.73	397 824.547
		12	4 49	1.817	17	23	26.80	368 142.780			12	14 52	20.135	-11	3	56.62	398 754.864
		18	5 3	55.005	17	53	50.41	367 708.535			18	15 4	16.153	-11	53	21.70	399 622.669
	17	0	5 18	55.235	18	20	1.87	367 319.540		28	0	15 16	13.210	-12	40	40.99	400 424.431
		6	5 34	1.740	18	41	50.91	366 979.208			6	15 28	11.675	-13	25	48.69	401 156.990
		12	5 49	13.631	18	59	8.61	366 690.929			12	15 40	11.884	-14	8	39.22	401 817.573
		18	6 4	29.912	19	11	47.57	366 458.036			18	15 52	14.139	-14	49	7.20	402 403.793
	18	0	6 19	49.493	19	19	42.09	366 283.750		29	0	16 4	18.707	-15	27	7.40	402 913.661
		6	6 35	11.213	19	22	48.25	366 171.137			6	16 16	25.814	-16	2	34.75	403 345.584
		12	6 50	33.857	19	21	4.08	366 123.059			12	16 28	35.650	-16	35	24.36	403 698.368
		18	7 5	56.182	19	14	29.59	366 142.125			18	16 40	48.363	-17	5	31.50	403 971.217

## LUNE 2017 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		
<b>Août</b>	30 0	16 53 4.062	-17 32 51.60	404 163.731	<b>Sept.</b>	10 0	2 15 22.688	8 20 52.17	373 286.882
	6	17 5 22.813	-17 57 20.30	404 275.900		6	2 28 52.792	9 23 23.97	372 822.580
	12	17 17 44.643	-18 18 53.42	404 308.099		12	2 42 29.302	10 24 7.13	372 394.646
	18	17 30 9.535	-18 37 26.99	404 261.083		18	2 56 12.491	11 22 46.72	372 002.449
	31 0	17 42 37.437	-18 52 57.31	404 135.974	11 0	3 10 2.570	12 19 7.93	371 645.305	
	6	17 55 8.254	-19 5 20.94	403 934.252	6	3 23 59.682	13 12 56.16	371 322.502	
	12	18 7 41.860	-19 14 34.74	403 657.746	12	3 38 3.896	14 3 57.10	371 033.333	
	18	18 20 18.092	-19 20 35.90	403 308.615	18	3 52 15.196	14 51 56.84	370 777.121	
<b>Sept.</b>	1 0	18 32 56.760	-19 23 21.98	402 889.340	12 0	4 6 33.476	15 36 41.94	370 553.249	
	6	18 45 37.644	-19 22 50.95	402 402.700	6	4 20 58.534	16 17 59.55	370 361.178	
	12	18 58 20.507	-19 19 1.18	401 851.763	12	4 35 30.071	16 55 37.54	370 200.471	
	18	19 11 5.091	-19 11 51.56	401 239.859	18	4 50 7.685	17 29 24.60	370 070.812	
	2 0	19 23 51.129	-19 1 21.43	400 570.563	13 0	5 4 50.875	17 59 10.36	369 972.016	
	6	19 36 38.346	-18 47 30.69	399 847.674	6	5 19 39.041	18 24 45.54	369 904.041	
	12	19 49 26.466	-18 30 19.79	399 075.188	12	5 34 31.493	18 46 2.02	369 866.996	
	18	20 2 15.219	-18 9 49.77	398 257.278	18	5 49 27.457	19 2 53.00	369 861.138	
	3 0	20 15 4.345	-17 46 2.26	397 398.264	14 0	6 4 26.088	19 15 13.07	369 886.875	
	6	20 27 53.600	-17 18 59.52	396 502.589	6	6 19 26.480	19 22 58.28	369 944.757	
	12	20 40 42.760	-16 48 44.46	395 574.788	12	6 34 27.686	19 26 6.23	370 035.465	
	18	20 53 31.627	-16 15 20.61	394 619.463	18	6 49 28.732	19 24 36.13	370 159.797	
	4 0	21 6 20.036	-15 38 52.18	393 641.249	15 0	7 4 28.635	19 18 28.78	370 318.649	
	6	21 19 7.851	-14 59 24.02	392 644.788	6	7 19 26.424	19 7 46.58	370 512.996	
	12	21 31 54.977	-14 17 1.64	391 634.695	12	7 34 21.153	18 52 33.53	370 743.863	
	18	21 44 41.356	-13 31 51.21	390 615.531	18	7 49 11.924	18 32 55.14	371 012.300	
	5 0	21 57 26.974	-12 43 59.51	389 591.771	16 0	8 3 57.895	18 8 58.39	371 319.354	
	6	22 10 11.858	-11 53 33.99	388 567.775	6	8 18 38.300	17 40 51.62	371 666.034	
	12	22 22 56.079	-11 0 42.70	387 547.760	12	8 33 12.454	17 8 44.41	372 053.282	
	18	22 35 39.751	-10 5 34.27	386 535.775	18	8 47 39.765	16 32 47.50	372 481.940	
	6 0	22 48 23.032	- 9 8 17.95	385 535.669	17 0	9 1 59.738	15 53 12.60	372 952.716	
	6	23 1 6.120	- 8 9 3.52	384 551.075	6	9 16 11.974	15 10 12.29	373 466.153	
	12	23 13 49.256	- 7 8 1.33	383 585.387	12	9 30 16.177	14 23 59.91	374 022.601	
	18	23 26 32.717	- 6 5 22.21	382 641.739	18	9 44 12.147	13 34 49.34	374 622.185	
	7 0	23 39 16.817	- 5 1 17.52	381 722.993	18 0	9 57 59.779	12 42 54.93	375 264.781	
	6	23 52 1.901	- 3 55 59.05	380 831.724	6	10 11 39.054	11 48 31.37	375 949.992	
	12	0 4 48.346	- 2 49 39.07	379 970.216	12	10 25 10.039	10 51 53.54	376 677.130	
	18	0 17 36.553	- 1 42 30.24	379 140.454	18	10 38 32.871	9 53 16.42	377 445.198	
	8 0	0 30 26.945	- 0 34 45.59	378 344.124	19 0	10 51 47.759	8 52 54.98	378 252.881	
	6	0 43 19.961	0 33 21.46	377 582.618	6	11 4 54.969	7 51 4.09	379 098.534	
	12	0 56 16.055	1 41 37.18	376 857.037	12	11 17 54.818	6 47 58.44	379 980.182	
	18	1 9 15.686	2 49 47.56	376 168.207	18	11 30 47.670	5 43 52.49	380 895.519	
	9 0	1 22 19.314	3 57 38.30	375 516.690	20 0	11 43 33.922	4 39 0.38	381 841.915	
	6	1 35 27.394	5 4 54.91	374 902.803	6	11 56 14.001	3 33 35.88	382 816.422	
	12	1 48 40.371	6 11 22.66	374 326.639	12	12 8 48.361	2 27 52.40	383 815.791	
	18	2 1 58.669	7 16 46.74	373 788.092	18	12 21 17.467	1 22 2.89	384 836.486	



## LUNE 2017 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		
<b>Sept.</b> 21	0 12 33	41.800	0 16 19.87	385 874.704	<b>Oct.</b> 2	0 21 38	35.222	-13 58 28.72	391 280.460
	6 12 46	1.847	- 0 49 4.63	386 926.400		6 21 51	17.526	-13 11 46.36	390 057.027
	12 12 58	18.096	- 1 53 59.05	387 987.313		12 22 4	0.026	-12 22 22.94	388 813.041
	18 13 10	31.032	- 2 58 12.31	389 052.991		18 22 16	42.866	-11 30 25.19	387 554.526
22	0 13 22	41.138	- 4 1 33.80	390 118.823	3	0 22 29	26.224	-10 36 0.45	386 287.604
	6 13 34	48.885	- 5 3 53.42	391 180.069		6 22 42	10.313	- 9 39 16.73	385 018.461
	12 13 46	54.733	- 6 5 1.51	392 231.895		12 22 54	55.380	- 8 40 22.69	383 753.296
	18 13 58	59.127	- 7 4 48.89	393 269.400		18 23 7	41.701	- 7 39 27.69	382 498.285
23	0 14 11	2.495	- 8 3 6.80	394 287.654	4	0 23 20	29.586	- 6 36 41.76	381 259.529
	6 14 23	5.247	- 8 59 46.94	395 281.730		6 23 33	19.368	- 5 32 15.62	380 043.013
	12 14 35	7.768	- 9 54 41.39	396 246.733		12 23 46	11.407	- 4 26 20.69	378 854.560
	18 14 47	10.424	-10 47 42.65	397 177.835		18 23 59	6.085	- 3 19 9.08	377 699.780
24	0 14 59	13.553	-11 38 43.59	398 070.304	5	0 0 12	3.799	- 2 10 53.56	376 584.028
	6 15 11	17.468	-12 27 37.43	398 919.537		6 0 25	4.960	- 1 1 47.58	375 512.363
	12 15 23	22.452	-13 14 17.76	399 721.082		12 0 38	9.988	0 7 54.77	374 489.501
	18 15 35	28.760	-13 58 38.48	400 470.671		18 0 51	19.306	1 17 58.80	373 519.782
25	0 15 47	36.618	-14 40 33.82	401 164.246	6	0 1 4	33.333	2 28 9.26	372 607.130
	6 15 59	46.218	-15 19 58.30	401 797.976		6 1 17	52.479	3 38 10.36	371 755.030
	12 16 11	57.723	-15 56 46.75	402 368.287		12 1 31	17.139	4 47 45.85	370 966.496
	18 16 24	11.261	-16 30 54.29	402 871.880		18 1 44	47.682	5 56 39.11	370 244.058
26	0 16 36	26.929	-17 2 16.31	403 305.751	7	0 1 58	24.448	7 4 33.17	369 589.742
	6 16 48	44.794	-17 30 48.50	403 667.205		6 2 12	7.735	8 11 10.86	369 005.069
	12 17 1	4.888	-17 56 26.81	403 953.879		12 2 25	57.792	9 16 14.87	368 491.051
	18 17 13	27.213	-18 19 7.49	404 163.750		18 2 39	54.811	10 19 27.87	368 048.197
27	0 17 25	51.743	-18 38 47.06	404 295.150	8	0 2 53	58.918	11 20 32.65	367 676.528
	6 17 38	18.423	-18 55 22.35	404 346.779		6 3 8	10.163	12 19 12.19	367 375.595
	12 17 50	47.173	-19 8 50.48	404 317.711		12 3 22	28.513	13 15 9.87	367 144.503
	18 18 3	17.888	-19 19 8.87	404 207.407		18 3 36	53.845	14 8 9.56	366 981.943
28	0 18 15	50.444	-19 26 15.27	404 015.717	9	0 3 51	25.941	14 57 55.78	366 886.224
	6 18 28	24.698	-19 30 7.78	403 742.885		6 4 6	4.482	15 44 13.85	366 855.315
	12 18 41	0.493	-19 30 44.81	403 389.557		12 4 20	49.048	16 26 50.03	366 886.889
	18 18 53	37.662	-19 28 5.15	402 956.777		18 4 35	39.115	17 5 31.69	366 978.362
29	0 19 6	16.030	-19 22 7.96	402 445.990	10	0 4 50	34.063	17 40 7.40	367 126.945
	6 19 18	55.423	-19 12 52.80	401 859.040		6 5 5	33.176	18 10 27.12	367 329.688
	12 19 31	35.664	-19 0 19.62	401 198.165		12 5 20	35.655	18 36 22.24	367 583.525
	18 19 44	16.583	-18 44 28.80	400 465.992		18 5 35	40.628	18 57 45.73	367 885.327
30	0 19 56	58.023	-18 25 21.15	399 665.530	11	0 5 50	47.160	19 14 32.18	368 231.938
	6 20 9	39.835	-18 2 57.94	398 800.159		6 6 5	54.277	19 26 37.86	368 620.218
	12 20 22	21.893	-17 37 20.90	397 873.619		12 6 21	0.975	19 34 0.77	369 047.087
	18 20 35	4.089	-17 8 32.25	396 889.997		18 6 36	6.246	19 36 40.57	369 509.553
<b>Oct.</b> 1	0 20 47	46.339	-16 36 34.72	395 853.704	12	0 6 51	9.090	19 34 38.62	370 004.744
	6 21 0	28.588	-16 1 31.55	394 769.465		6 7 6	8.540	19 27 57.89	370 529.939
	12 21 13	10.809	-15 23 26.50	393 642.290		12 7 21	3.676	19 16 42.90	371 082.584
	18 21 25	53.008	-14 42 23.93	392 477.452		18 7 35	53.639	19 0 59.59	371 660.311

## LUNE 2017 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
<b>Oct.</b> 13 0	7 50 37.649	18 40 55.24	372 260.952	<b>Oct.</b> 24 0	17 9 39.416	-18 24 19.83	404 484.809
6	8 5 15.011	18 16 38.35	372 882.544	6	17 22 5.420	-18 45 16.74	404 749.343
12	8 19 45.129	17 48 18.47	373 523.335	12	17 34 33.021	-19 3 7.11	404 949.834
18	8 34 7.505	17 16 6.09	374 181.776	18	17 47 2.052	-19 17 48.28	405 083.619
14 0	8 48 21.744	16 40 12.50	374 856.524	25 0	17 59 32.330	-19 29 18.04	405 148.251
6	9 2 27.557	16 0 49.64	375 546.425	6	18 12 3.658	-19 37 34.55	405 141.523
12	9 16 24.754	15 18 9.99	376 250.505	12	18 24 35.835	-19 42 36.42	405 061.487
18	9 30 13.242	14 32 26.46	376 967.952	18	18 37 8.654	-19 44 22.66	404 906.478
15 0	9 43 53.023	13 43 52.25	377 698.096	26 0	18 49 41.910	-19 42 52.66	404 675.130
6	9 57 24.178	12 52 40.76	378 440.389	6	19 2 15.405	-19 38 6.23	404 366.399
12	10 10 46.870	11 59 5.52	379 194.381	12	19 14 48.950	-19 30 3.56	403 979.577
18	10 24 1.328	11 3 20.11	379 959.693	18	19 27 22.373	-19 18 45.24	403 514.311
16 0	10 37 7.844	10 5 38.08	380 735.994	27 0	19 39 55.519	-19 4 12.20	402 970.617
6	10 50 6.760	9 6 12.92	381 522.975	6	19 52 28.257	-18 46 25.77	402 348.894
12	11 2 58.464	8 5 17.97	382 320.318	12	20 5 0.481	-18 25 27.62	401 649.937
18	11 15 43.382	7 3 6.44	383 127.675	18	20 17 32.116	-18 1 19.80	400 874.950
17 0	11 28 21.968	5 59 51.34	383 944.638	28 0	20 30 3.117	-17 34 4.68	400 025.550
6	11 40 54.699	4 55 45.45	384 770.722	6	20 42 33.476	-17 3 45.02	399 103.780
12	11 53 22.068	3 51 1.34	385 605.332	12	20 55 3.219	-16 30 23.90	398 112.111
18	12 5 44.580	2 45 51.31	386 447.753	18	21 7 32.410	-15 54 4.77	397 053.448
18 0	12 18 2.746	1 40 27.42	387 297.124	29 0	21 20 1.153	-15 14 51.46	395 931.128
6	12 30 17.076	0 35 1.42	388 152.426	6	21 32 29.588	-14 32 48.17	394 748.919
12	12 42 28.079	- 0 30 15.18	389 012.468	12	21 44 57.897	-13 47 59.50	393 511.019
18	12 54 36.255	- 1 35 11.19	389 875.873	18	21 57 26.300	-13 0 30.44	392 222.043
19 0	13 6 42.093	- 2 39 35.69	390 741.077	30 0	22 9 55.054	-12 10 26.46	390 887.014
6	13 18 46.070	- 3 43 18.07	391 606.316	6	22 22 24.454	-11 17 53.47	389 511.351
12	13 30 48.642	- 4 46 8.03	392 469.631	12	22 34 54.832	-10 22 57.88	388 100.847
18	13 42 50.250	- 5 47 55.57	393 328.867	18	22 47 26.554	- 9 25 46.66	386 661.647
20 0	13 54 51.309	- 6 48 30.99	394 181.675	31 0	23 0 0.017	- 8 26 27.32	385 200.224
6	14 6 52.211	- 7 47 44.93	395 025.522	6	23 12 35.650	- 7 25 8.00	383 723.343
12	14 18 53.321	- 8 45 28.34	395 857.699	12	23 25 13.908	- 6 21 57.51	382 238.029
18	14 30 54.977	- 9 41 32.49	396 675.331	18	23 37 55.273	- 5 17 5.32	380 751.525
21 0	14 42 57.484	-10 35 49.01	397 475.396	<b>Nov.</b> 1 0	23 50 40.244	- 4 10 41.66	379 271.247
6	14 55 1.117	-11 28 9.84	398 254.737	6	0 3 29.341	- 3 2 57.54	377 804.732
12	15 7 6.117	-12 18 27.27	399 010.082	12	0 16 23.094	- 1 54 4.75	376 359.588
18	15 19 12.692	-13 6 33.95	399 738.064	18	0 29 22.042	- 0 44 15.95	374 943.431
22 0	15 31 21.013	-13 52 22.89	400 435.242	2 0	0 42 26.726	0 26 15.37	373 563.829
6	15 43 31.217	-14 35 47.46	401 098.122	6	0 55 37.680	1 37 14.86	372 228.234
12	15 55 43.405	-15 16 41.40	401 723.185	12	1 8 55.428	2 48 27.29	370 943.913
18	16 7 57.641	-15 54 58.82	402 306.904	18	1 22 20.472	3 59 36.61	369 717.886
23 0	16 20 13.955	-16 30 34.24	402 845.776	3 0	1 35 53.287	5 10 25.93	368 556.856
6	16 32 32.343	-17 3 22.55	403 336.340	6	1 49 34.305	6 20 37.65	367 467.139
12	16 44 52.766	-17 33 19.05	403 775.208	12	2 3 23.911	7 29 53.47	366 454.600
18	16 57 15.156	-18 0 19.44	404 159.089	18	2 17 22.426	8 37 54.49	365 524.597

## LUNE 2017 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	2 31 30.098	9 44 21.39	364 681.916	Nov. 15 0	12 54 21.958	- 1 26 44.25	392 021.881
6	2 45 47.089	10 48 54.50	363 930.724	6	13 6 16.343	- 2 30 54.82	392 891.713
12	3 0 13.461	11 51 14.01	363 274.528	12	13 18 9.107	- 3 34 26.97	393 740.171
18	3 14 49.167	12 51 0.17	362 716.134	18	13 30 0.797	- 4 37 11.22	394 567.067
5 0	3 29 34.039	13 47 53.48	362 257.626	16 0	13 41 51.933	- 5 38 58.28	395 372.211
6	3 44 27.777	14 41 34.91	361 900.344	6	13 53 43.007	- 6 39 39.02	396 155.380
12	3 59 29.946	15 31 46.18	361 644.885	12	14 5 34.478	- 7 39 4.50	396 916.305
18	4 14 39.969	16 18 9.96	361 491.101	18	14 17 26.771	- 8 37 5.96	397 654.647
6 0	4 29 57.127	17 0 30.16	361 438.116	17 0	14 29 20.272	- 9 33 34.82	398 369.981
6	4 45 20.566	17 38 32.14	361 484.353	6	14 41 15.333	-10 28 22.69	399 061.782
12	5 0 49.301	18 12 2.96	361 627.568	12	14 53 12.259	-11 21 21.37	399 729.411
18	5 16 22.231	18 40 51.54	361 864.889	18	15 5 11.319	-12 12 22.89	400 372.105
7 0	5 31 58.158	19 4 48.87	362 192.874	18 0	15 17 12.732	-13 1 19.50	400 988.969
6	5 47 35.803	19 23 48.12	362 607.562	6	15 29 16.676	-13 48 3.70	401 578.970
12	6 3 13.837	19 37 44.70	363 104.539	12	15 41 23.279	-14 32 28.29	402 140.936
18	6 18 50.906	19 46 36.33	363 679.002	18	15 53 32.625	-15 14 26.35	402 673.551
8 0	6 34 25.655	19 50 23.01	364 325.833	19 0	16 5 44.750	-15 53 51.29	403 175.363
6	6 49 56.763	19 49 6.94	365 039.659	6	16 17 59.641	-16 30 36.89	403 644.783
12	7 5 22.966	19 42 52.44	365 814.929	12	16 30 17.243	-17 4 37.31	404 080.095
18	7 20 43.082	19 31 45.78	366 645.980	18	16 42 37.453	-17 35 47.11	404 479.462
9 0	7 35 56.030	19 15 55.01	367 527.098	20 0	16 55 0.127	-18 4 1.30	404 840.939
6	7 51 0.854	18 55 29.75	368 452.586	6	17 7 25.085	-18 29 15.34	405 162.486
12	8 5 56.727	18 30 40.97	369 416.812	12	17 19 52.107	-18 51 25.21	405 441.979
18	8 20 42.966	18 1 40.79	370 414.269	18	17 32 20.943	-19 10 27.35	405 677.232
10 0	8 35 19.030	17 28 42.22	371 439.619	21 0	17 44 51.318	-19 26 18.75	405 866.012
6	8 49 44.524	16 51 58.96	372 487.728	6	17 57 22.933	-19 38 56.91	406 006.055
12	9 3 59.194	16 11 45.22	373 553.709	12	18 9 55.476	-19 48 19.89	406 095.095
18	9 18 2.917	15 28 15.50	374 632.944	18	18 22 28.624	-19 54 26.27	406 130.876
11 0	9 31 55.697	14 41 44.47	375 721.110	22 0	18 35 2.051	-19 57 15.18	406 111.180
6	9 45 37.649	13 52 26.82	376 814.193	6	18 47 35.435	-19 56 46.26	406 033.851
12	9 59 8.993	13 0 37.12	377 908.501	12	19 0 8.463	-19 52 59.68	405 896.816
18	10 12 30.036	12 6 29.75	379 000.668	18	19 12 40.839	-19 45 56.10	405 698.109
12 0	10 25 41.164	11 10 18.85	380 087.655	23 0	19 25 12.288	-19 35 36.66	405 435.899
6	10 38 42.830	10 12 18.22	381 166.747	6	19 37 42.563	-19 22 2.96	405 108.511
12	10 51 35.538	9 12 41.33	382 235.545	12	19 50 11.449	-19 5 17.03	404 714.456
18	11 4 19.841	8 11 41.26	383 291.949	18	20 2 38.766	-18 45 21.28	404 252.448
13 0	11 16 56.322	7 9 30.72	384 334.151	24 0	20 15 4.379	-18 22 18.53	403 721.439
6	11 29 25.593	6 6 22.05	385 360.610	6	20 27 28.193	-17 56 11.92	403 120.633
12	11 41 48.281	5 2 27.19	386 370.035	12	20 39 50.161	-17 27 4.91	402 449.515
18	11 54 5.025	3 57 57.76	387 361.360	18	20 52 10.283	-16 55 1.30	401 707.877
14 0	12 6 16.468	2 53 5.02	388 333.723	25 0	21 4 28.610	-16 20 5.11	400 895.835
6	12 18 23.253	1 47 59.93	389 286.435	6	21 16 45.243	-15 42 20.68	400 013.850
12	12 30 26.015	0 42 53.14	390 218.958	12	21 29 0.331	-15 1 52.58	399 062.756
18	12 42 25.380	- 0 22 4.97	391 130.880	18	21 41 14.075	-14 18 45.60	398 043.771

## LUNE 2017 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 26	0 21 53 26.724	-13 33 4.81	396 958.518	Déc. 7	0 8 16 0.533	18 25 36.13	363 679.448
	6 22 5 38.577	-12 44 55.53	395 809.043		6 8 31 14.258	17 53 2.10	364 796.807
	12 22 17 49.976	-11 54 23.32	394 597.823		12 8 46 15.965	17 16 20.03	365 978.189
	18 22 30 1.311	-11 1 34.02	393 327.785		18 9 1 5.114	16 35 46.90	367 215.973
27	0 22 42 13.013	-10 6 33.79	392 002.308	8 0 9 15 41.353	15 51 40.18	368 502.501	
	6 22 54 25.554	- 9 9 29.11	390 625.236	6 9 30 4.507	15 4 17.60	369 830.151	
	12 23 6 39.446	- 8 10 26.84	389 200.874	12 9 44 14.563	14 13 56.87	371 191.411	
	18 23 18 55.236	- 7 9 34.24	387 733.996	18 9 58 11.657	13 20 55.56	372 578.936	
28	0 23 31 13.503	- 6 6 59.04	386 229.829	9 0 10 11 56.056	12 25 30.84	373 985.609	
	6 23 43 34.858	- 5 2 49.49	384 694.057	6 10 25 28.140	11 27 59.42	375 404.586	
	12 23 55 59.938	- 3 57 14.37	383 132.794	12 10 38 48.382	10 28 37.44	376 829.340	
	18 0 8 29.402	- 2 50 23.14	381 552.577	18 10 51 57.340	9 27 40.39	378 253.694	
29	0 0 21 3.929	- 1 42 25.91	379 960.332	10 0 11 4 55.632	8 25 23.08	379 671.849	
	6 0 33 44.211	- 0 33 33.56	378 363.348	6 11 17 43.930	7 21 59.63	381 078.406	
	12 0 46 30.949	0 36 2.23	376 769.240	12 11 30 22.943	6 17 43.49	382 468.378	
	18 0 59 24.844	1 46 8.93	375 185.903	18 11 42 53.406	5 12 47.41	383 837.203	
30	0 1 12 26.593	2 56 33.08	373 621.468	11 0 11 55 16.075	4 7 23.51	385 180.744	
	6 1 25 36.878	4 7 0.31	372 084.236	6 12 7 31.710	3 1 43.33	386 495.289	
	12 1 38 56.357	5 17 15.25	370 582.625	12 12 19 41.078	1 55 57.83	387 777.543	
	18 1 52 25.651	6 27 1.57	369 125.096	18 12 31 44.938	0 50 17.46	389 024.623	
Déc. 1	0 2 6 5.336	7 36 1.98	367 720.079	12 0 12 43 44.041	- 0 15 7.77	390 234.040	
	6 2 19 55.923	8 43 58.28	366 375.896	6 12 55 39.123	- 1 20 8.30	391 403.686	
	12 2 33 57.849	9 50 31.41	365 100.676	12 13 7 30.902	- 2 24 34.89	392 531.810	
	18 2 48 11.456	10 55 21.56	363 902.271	18 13 19 20.072	- 3 28 18.63	393 617.004	
2	0 3 2 36.976	11 58 8.32	362 788.168	13 0 13 31 7.303	- 4 31 10.90	394 658.174	
	6 3 17 14.513	12 58 30.81	361 765.405	6 13 42 53.236	- 5 33 3.29	395 654.517	
	12 3 32 4.027	13 56 7.96	360 840.482	12 13 54 38.482	- 6 33 47.63	396 605.497	
	18 3 47 5.317	14 50 38.70	360 019.285	18 14 6 23.616	- 7 33 15.87	397 510.816	
3	0 4 2 18.009	15 41 42.26	359 307.010	14 0 14 18 9.179	- 8 31 20.17	398 370.389	
	6 4 17 41.544	16 28 58.51	358 708.092	6 14 29 55.671	- 9 27 52.77	399 184.313	
	12 4 33 15.171	17 12 8.24	358 226.152	12 14 41 43.551	-10 22 46.07	399 952.844	
	18 4 48 57.949	17 50 53.57	357 863.945	18 14 53 33.235	-11 15 52.57	400 676.367	
4	0 5 4 48.750	18 24 58.26	357 623.328	15 0 15 5 25.093	-12 7 4.87	401 355.368	
	6 5 20 46.273	18 54 8.03	357 505.236	6 15 17 19.446	-12 56 15.74	401 990.413	
	12 5 36 49.061	19 18 10.87	357 509.673	12 15 29 16.563	-13 43 18.03	402 582.116	
	18 5 52 55.529	19 36 57.33	357 635.720	18 15 41 16.663	-14 28 4.77	403 131.118	
5	0 6 9 3.996	19 50 20.64	357 881.553	16 0 15 53 19.910	-15 10 29.18	403 638.067	
	6 6 25 12.721	19 58 16.93	358 244.474	6 16 5 26.414	-15 50 24.65	404 103.589	
	12 6 41 19.944	20 0 45.20	358 720.960	12 16 17 36.228	-16 27 44.82	404 528.276	
	18 6 57 23.924	19 57 47.35	359 306.720	18 16 29 49.348	-17 2 23.62	404 912.663	
6	0 7 13 22.984	19 49 28.06	359 996.756	17 0 16 42 5.716	-17 34 15.25	405 257.210	
	6 7 29 15.543	19 35 54.62	360 785.443	6 16 54 25.221	-18 3 14.30	405 562.295	
	12 7 45 0.154	19 17 16.67	361 666.609	12 17 6 47.697	-18 29 15.73	405 828.193	
	18 8 0 35.522	18 53 46.00	362 633.614	18 17 19 12.929	-18 52 14.92	406 055.070	

## LUNE 2017 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	17 31 40.657	-19 12 7.75	406 242.975	Déc. 26 0	0 4 50.396	- 3 24 48.96	387 809.783
6	17 44 10.581	-19 28 50.58	406 391.835	6	0 16 59.563	- 2 19 9.46	386 406.414
12	17 56 42.361	-19 42 20.32	406 501.448	12	0 29 12.952	- 1 12 37.36	384 968.325
18	18 9 15.631	-19 52 34.44	406 571.486	18	0 41 31.312	- 0 5 22.40	383 499.975
19 0	18 21 50.001	-19 59 31.02	406 601.492	27 0	0 53 55.412	1 2 25.14	382 006.280
6	18 34 25.065	-20 3 8.73	406 590.888	6	1 6 26.029	2 10 34.32	380 492.607
12	18 47 0.409	-20 3 26.85	406 538.979	12	1 19 3.949	3 18 53.51	378 964.766
18	18 59 35.617	-20 0 25.28	406 444.957	18	1 31 49.955	4 27 10.34	377 428.995
20 0	19 12 10.285	-19 54 4.56	406 307.919	28 0	1 44 44.818	5 35 11.62	375 891.936
6	19 24 44.020	-19 44 25.79	406 126.873	6	1 57 49.294	6 42 43.33	374 360.608
12	19 37 16.455	-19 31 30.68	405 900.754	12	2 11 4.103	7 49 30.56	372 842.369
18	19 49 47.250	-19 15 21.48	405 628.441	18	2 24 29.927	8 55 17.52	371 344.881
21 0	20 2 16.103	-18 56 0.97	405 308.773	29 0	2 38 7.388	9 59 47.51	369 876.048
6	20 14 42.753	-18 33 32.45	404 940.570	6	2 51 57.036	11 2 43.00	368 443.970
12	20 27 6.986	-18 7 59.63	404 522.654	12	3 5 59.328	12 3 45.64	367 056.871
18	20 39 28.637	-17 39 26.68	404 053.871	18	3 20 14.616	13 2 36.39	365 723.030
22 0	20 51 47.596	-17 7 58.12	403 533.111	30 0	3 34 43.121	13 58 55.62	364 450.703
6	21 4 3.808	-16 33 38.83	402 959.339	6	3 49 24.917	14 52 23.33	363 248.041
12	21 16 17.273	-15 56 33.99	402 331.615	12	4 4 19.913	15 42 39.30	362 123.000
18	21 28 28.053	-15 16 49.05	401 649.124	18	4 19 27.833	16 29 23.40	361 083.250
23 0	21 40 36.263	-14 34 29.70	400 911.198	31 0	4 34 48.202	17 12 15.86	360 136.086
6	21 52 42.079	-13 49 41.84	400 117.346	6	4 50 20.341	17 50 57.61	359 288.332
12	22 4 45.732	-13 2 31.57	399 267.282	12	5 6 3.354	18 25 10.65	358 546.255
18	22 16 47.505	-12 13 5.17	398 360.950	18	5 21 56.136	18 54 38.40	357 915.473
24 0	22 28 47.739	-11 21 29.10	397 398.550	32 0	5 37 57.379	19 19 6.08	357 400.880
6	22 40 46.821	-10 27 49.98	396 380.565	6	5 54 5.592	19 38 21.09	357 006.574
12	22 52 45.189	- 9 32 14.62	395 307.791	12	6 10 19.124	19 52 13.31	356 735.790
18	23 4 43.327	- 8 34 50.00	394 181.352	18	6 26 36.197	20 0 35.35	356 590.856
25 0	23 16 41.762	- 7 35 43.32	393 002.734	33 0	6 42 54.948	20 3 22.82	356 573.153
6	23 28 41.062	- 6 35 2.02	391 773.798	6	6 59 13.469	20 0 34.37	356 683.091
12	23 40 41.835	- 5 32 53.80	390 496.804	12	7 15 29.854	19 52 11.82	356 920.102
18	23 52 44.721	- 4 29 26.66	389 174.430	18	7 31 42.246	19 38 20.02	357 282.650

# 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 2017 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	110	51	8.97	6	13	17.86	0.316 492 23	Févr.	15	277	53	50.69	- 5	20	38.56	0.459 077 43
	1	116	48	34.77	6	31	15.63	0.319 948 13		16	280	45	45.96	- 5	33	48.44	0.456 896 01
	2	122	38	13.79	6	44	45.79	0.323 862 59		17	283	39	33.89	- 5	46	15.80	0.454 447 32
	3	128	19	21.57	6	53	56.05	0.328 185 20		18	286	35	28.47	- 5	57	58.02	0.451 734 72
	4	133	51	25.21	6	58	59.04	0.332 863 96		19	289	33	44.12	- 6	8	52.20	0.448 762 14
	5	139	14	2.82	7	0	11.13	0.337 846 62		20	292	34	35.76	- 6	18	55.16	0.445 534 13
	6	144	27	2.62	6	57	51.09	0.343 081 77		21	295	38	18.84	- 6	28	3.38	0.442 055 90
	7	149	30	21.75	6	52	19.09	0.348 519 72		22	298	45	9.42	- 6	36	13.02	0.438 333 41
	8	154	24	4.92	6	43	55.67	0.354 113 17		23	301	55	24.16	- 6	43	19.82	0.434 373 47
	9	159	8	23.06	6	33	1.10	0.359 817 61		24	305	9	20.41	- 6	49	19.15	0.430 183 84
	10	163	43	32.06	6	19	54.83	0.365 591 65		25	308	27	16.17	- 6	54	5.94	0.425 773 32
	11	168	9	51.57	6	4	55.09	0.371 397 08		26	311	49	30.20	- 6	57	34.66	0.421 151 89
	12	172	27	43.95	5	48	18.71	0.377 198 93		27	315	16	21.92	- 6	59	39.32	0.416 330 85
	13	176	37	33.43	5	30	21.00	0.382 965 36		28	318	48	11.50	- 7	0	13.44	0.411 322 96
14	180	39	45.33	5	11	15.71	0.388 667 58	Mars	1	322	25	19.75	- 6	59	10.07	0.406 142 62	
15	184	34	45.52	4	51	15.11	0.394 279 62	2	326	8	8.11	- 6	56	21.80	0.400 806 04		
16	188	22	59.91	4	30	30.03	0.399 778 18	3	329	56	58.53	- 6	51	40.79	0.395 331 43		
17	192	4	54.17	4	9	9.98	0.405 142 39	4	333	52	13.33	- 6	44	58.81	0.389 739 21		
18	195	40	53.40	3	47	23.26	0.410 353 66	5	337	54	15.05	- 6	36	7.41	0.384 052 19		
19	199	11	22.01	3	25	17.09	0.415 395 40	6	342	3	26.17	- 6	24	57.96	0.378 295 83		
20	202	36	43.57	3	2	57.74	0.420 252 89	7	346	20	8.77	- 6	11	21.93	0.372 498 37		
21	205	57	20.73	2	40	30.59	0.424 913 07	8	350	44	44.16	- 5	55	11.09	0.366 691 06		
22	209	13	35.20	2	18	0.31	0.429 364 38	9	355	17	32.35	- 5	36	17.88	0.360 908 28		
23	212	25	47.78	1	55	30.93	0.433 596 60	10	359	58	51.45	- 5	14	35.78	0.355 187 60		
24	215	34	18.29	1	33	5.89	0.437 600 70	11	4	48	56.92	- 4	49	59.88	0.349 569 84		
25	218	39	25.69	1	10	48.17	0.441 368 76	12	9	48	0.72	- 4	22	27.41	0.344 098 91		
26	221	41	28.08	0	48	40.36	0.444 893 78	13	14	56	10.39	- 3	51	58.43	0.338 821 63		
27	224	40	42.76	0	26	44.69	0.448 169 65	14	20	13	27.92	- 3	18	36.56	0.333 787 26		
28	227	37	26.27	0	5	3.09	0.451 191 01	15	25	39	48.70	- 2	42	29.69	0.329 046 96		
29	230	31	54.48	- 0	16	22.72	0.453 953 22	16	31	15	0.37	- 2	3	50.68	0.324 652 89		
30	233	24	22.62	- 0	37	31.24	0.456 452 22	17	36	58	41.72	- 1	22	57.86	0.320 657 20		
31	236	15	5.39	- 0	58	21.11	0.458 684 54	18	42	50	21.82	- 0	40	15.39	0.317 110 70		
Févr.	1	239	4	16.93	- 1	18	51.08	0.460 647 20	19	48	49	19.33	0	3	46.82	0.314 061 41	
	2	241	52	10.99	- 1	39	0.03	0.462 337 70	20	54	54	42.23	0	48	33.52	0.311 552 97	
	3	244	39	0.91	- 1	58	46.86	0.463 753 93	21	61	5	28.06	1	33	25.04	0.309 622 97	
	4	247	24	59.69	- 2	18	10.53	0.464 894 21	22	67	20	24.70	2	17	38.69	0.308 301 43	
	5	250	10	20.09	- 2	37	10.02	0.465 757 20	23	73	38	11.79	3	0	30.57	0.307 609 49	
	6	252	55	14.64	- 2	55	44.28	0.466 341 91	24	79	57	22.74	3	41	17.57	0.307 558 38	
	7	255	39	55.69	- 3	13	52.25	0.466 647 68	25	86	16	27.32	4	19	19.56	0.308 148 96	
	8	258	24	35.52	- 3	31	32.83	0.466 674 16	26	92	33	54.49	4	54	1.27	0.309 371 60	
	9	261	9	26.32	- 3	48	44.85	0.466 421 32	27	98	48	15.42	5	24	53.91	0.311 206 68	
	10	263	54	40.29	- 4	5	27.04	0.465 889 46	28	104	58	6.37	5	51	36.21	0.313 625 51	
	11	266	40	29.68	- 4	21	38.05	0.465 079 16	29	111	2	11.22	6	13	54.85	0.316 591 60	
	12	269	27	6.82	- 4	37	16.40	0.463 991 36	30	116	59	23.41	6	31	44.36	0.320 062 17	
	13	272	14	44.21	- 4	52	20.48	0.462 627 32	31	122	48	47.30	6	45	6.43	0.323 989 79	
	14	275	3	34.52	- 5	6	48.52	0.460 988 67	Avril	1	128	29	38.79	6	54	8.91	0.328 323 98

## MERCURE 2017 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	134	1	25.32	6	59	4.58	0.333 012 72	Mai	18	289	39	11.49	- 6	9	11.20	0.448 673 23	
	3	139	23	45.34	7	0	9.89	0.338 003 76		19	292	40	7.83	- 6	19	12.53	0.445 437 78	
	4	144	36	27.35	6	57	43.69	0.343 245 75		20	295	43	56.07	- 6	28	19.01	0.441 952 27	
	5	149	39	28.74	6	52	6.13	0.348 689 05		21	298	50	52.28	- 6	36	26.78	0.438 222 68	
	6	154	32	54.42	6	43	37.79	0.354 286 45		22	302	1	13.16	- 6	43	31.58	0.434 255 85	
	7	159	16	55.51	6	32	38.92	0.359 993 53		23	305	15	16.04	- 6	49	28.77	0.430 059 56	
	8	163	51	48.02	6	19	28.91	0.365 769 00		24	308	33	18.99	- 6	54	13.26	0.425 642 65	
	9	168	17	51.70	6	4	25.98	0.371 574 74		25	311	55	40.74	- 6	57	39.52	0.421 015 13	
	10	172	35	28.97	5	47	46.89	0.377 375 89		26	315	22	40.78	- 6	59	41.52	0.416 188 34	
	11	176	45	4.10	5	29	46.91	0.383 140 71		27	318	54	39.27	- 7	0	12.80	0.411 175 09	
	12	180	47	2.45	5	10	39.76	0.388 840 49		28	322	31	57.06	- 6	59	6.37	0.405 989 83	
	13	184	41	49.88	4	50	37.64	0.394 449 34		29	326	14	55.58	- 6	56	14.82	0.400 648 81	
	14	188	29	52.31	4	29	51.35	0.399 944 05		30	330	3	56.82	- 6	51	30.29	0.395 170 31	
	15	192	11	35.39	4	8	30.36	0.405 303 83		31	333	59	23.10	- 6	44	44.56	0.389 574 82	
	16	195	47	24.20	3	46	42.94	0.410 510 13		Juin	1	338	1	36.97	- 6	35	49.14	0.383 885 23
	17	199	17	43.12	3	24	36.27	0.415 546 44			2	342	11	0.89	- 6	24	35.44	0.378 127 06
18	202	42	55.69	3	2	16.59	0.420 398 09	3	346		27	56.95	- 6	10	54.90	0.372 328 65		
19	206	3	24.55	2	39	49.27	0.425 052 07	4	350		52	46.41	- 5	54	39.33	0.366 521 34		
20	209	19	31.37	2	17	18.96	0.429 496 85	5	355		25	49.26	- 5	35	41.18	0.360 739 59		
21	212	31	36.90	1	54	49.66	0.433 722 27	6	0		7	23.53	- 5	13	53.98	0.355 021 08		
22	215	40	0.97	1	32	24.79	0.437 719 33	7	4		57	44.60	- 4	49	12.87	0.349 406 72		
23	218	45	2.49	1	10	7.34	0.441 480 12	8	9		57	4.32	- 4	21	35.14	0.343 940 51		
24	221	46	59.53	0	47	59.87	0.444 997 70	9	15		5	30.07	- 3	51	0.96	0.338 669 35		
25	224	46	9.37	0	26	4.59	0.448 265 97	10	20		23	3.70	- 3	17	34.06	0.333 642 58		
26	227	42	48.54	0	4	23.45	0.451 279 60	11	25		49	40.37	- 2	41	22.47	0.328 911 39		
27	230	37	12.87	- 0	17	1.86	0.454 033 95	12	31		25	7.48	- 2	2	39.20	0.324 527 97		
28	233	29	37.59	- 0	38	9.83	0.456 524 99	13	37		9	3.55	- 1	21	42.76	0.320 544 44		
29	236	20	17.36	- 0	58	59.10	0.458 749 28	14	43		0	57.36	- 0	38	57.46	0.317 011 57		
30	239	9	26.34	- 1	19	28.45	0.460 703 84	15	49		0	7.26	0	5	6.60	0.313 977 28		
Mai	1	241	57	18.23	- 1	39	36.73	0.462 386 18	16		55	5	40.92	0	49	54.03	0.311 485 06	
	2	244	44	6.37	- 1	59	22.86	0.463 794 22	17	61	16	35.57	1	34	45.05	0.309 572 29		
	3	247	30	3.76	- 2	18	45.80	0.464 926 27	18	67	31	38.82	2	18	56.92	0.308 268 78		
	4	250	15	23.14	- 2	37	44.52	0.465 781 01	19	73	49	30.08	3	1	45.70	0.307 595 37		
	5	253	0	17.04	- 2	56	17.98	0.466 357 45	20	80	8	42.64	3	42	28.36	0.307 563 01		
	6	255	44	57.81	- 3	14	25.12	0.466 654 95	21	86	27	46.16	4	20	24.87	0.308 172 25		
	7	258	29	37.71	- 3	32	4.83	0.466 673 17	22	92	45	9.63	4	55	0.13	0.309 413 15		
	8	261	14	28.94	- 3	49	15.94	0.466 412 10	23	98	59	24.31	5	25	45.57	0.311 265 83		
	9	263	59	43.71	- 4	5	57.18	0.465 872 01	24	105	9	6.64	5	52	20.14	0.313 701 33		
	10	266	45	34.24	- 4	22	7.19	0.465 053 52	25	111	13	0.74	6	14	30.78	0.316 682 95		
	11	269	32	12.90	- 4	37	44.50	0.463 957 56	26	117	10	0.37	6	32	12.21	0.320 167 76		
	12	272	19	52.16	- 4	52	47.49	0.462 585 42	27	122	59	10.19	6	45	26.34	0.324 108 21		
	13	275	8	44.72	- 5	7	14.37	0.460 938 72	28	128	39	46.46	6	54	21.17	0.328 453 75		
	14	277	59	3.53	- 5	21	3.19	0.459 019 50	29	134	11	16.94	6	59	9.64	0.333 152 32		
	15	280	51	1.82	- 5	34	11.79	0.456 830 19	30	139	33	20.38	7	0	8.27	0.338 151 69		
	16	283	44	53.17	- 5	46	37.79	0.454 373 68	Juill.	1	144	45	45.57	6	57	35.96	0.343 400 53	
17	286	40	51.59	- 5	58	18.56	0.451 653 38	2		149	48	30.14	6	51	52.91	0.348 849 28		



## MERCURE 2017 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	154	41	39.21	6	43	19.68	0.354 450 78	Août	18	302	7	7.24	- 6	43	43.60	0.434 130 99
	4	159	25	24.06	6	32	16.52	0.360 160 72		19	305	21	17.17	- 6	49	38.63	0.429 927 73
	5	164	0	0.82	6	19	2.79	0.365 937 87		20	308	39	27.74	- 6	54	20.80	0.425 504 14
	6	168	25	49.34	6	3	56.65	0.371 744 23		21	312	1	57.70	- 6	57	44.55	0.420 870 26
	7	172	43	12.12	5	47	14.84	0.377 545 02		22	315	29	6.57	- 6	59	43.87	0.416 037 48
	8	176	52	33.47	5	29	12.58	0.383 308 58		23	319	1	14.51	- 7	0	12.25	0.411 018 65
	9	180	54	18.77	5	10	3.53	0.389 006 29		24	322	38	42.41	- 6	59	2.70	0.405 828 27
	10	184	48	53.89	4	49	59.88	0.394 612 35		25	326	21	51.72	- 6	56	7.80	0.400 482 67
	11	188	36	44.75	4	29	12.36	0.400 103 61		26	330	11	4.42	- 6	51	19.67	0.395 000 18
	12	192	18	16.99	4	7	50.41	0.405 459 35		27	334	6	42.87	- 6	44	30.08	0.389 401 36
	13	195	53	55.69	3	46	2.26	0.410 661 08		28	338	9	9.61	- 6	35	30.54	0.383 709 18
	14	199	24	5.18	3	23	55.08	0.415 692 35		29	342	18	47.09	- 6	24	12.45	0.377 949 26
	15	202	49	9.00	3	1	35.07	0.420 538 54		30	346	35	57.38	- 6	10	27.27	0.372 150 01
	16	206	9	29.74	2	39	7.57	0.425 186 68		31	351	1	1.72	- 5	54	6.81	0.366 342 86
	17	209	25	29.07	2	16	37.22	0.429 625 29		Sept. 1	355	34	20.04	- 5	35	3.55	0.360 562 39
	18	212	37	27.70	1	54	7.98	0.433 844 23		2	0	16	10.31	- 5	13	11.07	0.354 846 37
	19	215	45	45.43	1	31	43.30	0.437 834 55		3	5	6	47.81	- 4	48	24.55	0.349 235 80
20	218	50	41.15	1	9	26.11	0.441 588 37	4	10	6	24.27	- 4	20	41.38	0.343 774 79		
21	221	52	32.91	0	47	18.97	0.445 098 76	5	15	15	6.92	- 3	50	1.81	0.338 510 31		
22	224	51	37.97	0	25	24.10	0.448 359 65	6	20	32	57.40	- 3	16	29.70	0.333 491 76		
23	227	48	12.83	0	3	43.42	0.451 365 73	7	25	59	50.68	- 2	40	13.22	0.328 770 40		
24	230	42	33.32	- 0	17	41.38	0.454 112 38	8	31	35	33.89	- 2	1	25.54	0.324 398 42		
25	233	34	54.63	- 0	38	48.78	0.456 595 61	9	37	19	45.27	- 1	20	25.34	0.320 427 92		
26	236	25	31.42	- 0	59	37.46	0.458 811 95	10	43	11	53.27	- 0	37	37.13	0.316 909 62		
27	239	14	37.83	- 1	20	6.16	0.460 758 46	11	49	11	15.92	0	6	28.83	0.313 891 31		
28	242	2	27.56	- 1	40	13.77	0.462 432 66	12	55	17	0.57	0	51	17.00	0.311 416 33		
29	244	49	13.93	- 1	59	59.19	0.463 832 49	13	61	28	4.14	1	36	7.48	0.309 521 86		
30	247	35	9.94	- 2	19	21.38	0.464 956 26	14	67	43	13.95	2	20	17.46	0.308 237 43		
31	250	20	28.32	- 2	38	19.33	0.465 802 66	15	74	1	9.19	3	3	3.01	0.307 583 60		
Août 1	253	5	21.58	- 2	56	51.98	0.466 370 73	16	80	20	22.98	3	43	41.15	0.307 571 02		
2	255	50	2.10	- 3	14	58.28	0.466 659 82	17	86	39	24.94	4	21	31.97	0.308 199 90		
3	258	34	42.11	- 3	32	37.12	0.466 669 60	18	92	56	44.06	4	56	0.56	0.309 459 99		
4	261	19	33.83	- 3	49	47.31	0.466 400 07	19	99	10	51.73	5	26	38.55	0.311 331 10		
5	264	4	49.44	- 4	6	27.60	0.465 851 52	20	105	20	24.58	5	53	5.15	0.313 784 04		
6	266	50	41.21	- 4	22	36.61	0.465 024 58	21	111	24	7.00	6	15	7.53	0.316 781 88		
7	269	37	21.47	- 4	38	12.88	0.463 920 20	22	117	20	53.06	6	32	40.67	0.320 281 51		
8	272	25	2.73	- 4	53	14.77	0.462 539 65	23	123	9	47.78	6	45	46.65	0.324 235 27		
9	275	13	57.68	- 5	7	40.50	0.460 884 59	24	128	50	7.77	6	54	33.68	0.328 592 54		
10	278	4	19.28	- 5	21	28.10	0.458 957 06	25	134	21	21.14	6	59	14.79	0.333 301 25		
11	280	56	20.76	- 5	34	35.42	0.456 759 52	26	139	43	6.96	7	0	6.61	0.338 309 16		
12	283	50	15.74	- 5	47	0.06	0.454 294 86	27	144	55	14.33	6	57	28.10	0.343 564 99		
13	286	46	18.22	- 5	58	39.39	0.451 566 51	28	149	57	41.10	6	51	39.49	0.349 019 23		
14	289	44	42.64	- 6	9	30.50	0.448 578 43	29	154	50	32.63	6	43	1.33	0.354 624 82		
15	292	45	43.97	- 6	19	30.18	0.445 335 19	30	159	34	0.35	6	31	53.84	0.360 337 53		
16	295	49	37.68	- 6	28	34.91	0.441 842 06	Oct. 1	164	8	20.53	6	18	36.37	0.366 116 24		
17	298	56	39.87	- 6	36	40.80	0.438 105 03	2	168	33	53.12	6	3	27.03	0.371 923 02		

## MERCURE 2017 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	172	51	0.69	5	46	42.51	0.377 723 21	Nov.	18	315	35	33.75	- 6	59	46.15	0.415 884 61	
	4	177	0	7.60	5	28	37.99	0.383 485 24		19	319	7	51.29	- 7	0	11.62	0.410 860 17	
	5	181	1	39.23	5	9	27.08	0.389 180 58		20	322	45	29.43	- 6	58	58.94	0.405 664 65	
	6	184	56	1.48	4	49	21.91	0.394 783 51		21	326	28	49.67	- 6	56	0.66	0.400 314 45	
	7	188	43	40.27	4	28	33.19	0.400 270 95		22	330	18	14.00	- 6	51	8.91	0.394 827 95	
	8	192	25	1.21	4	7	10.31	0.405 622 27		23	334	14	4.78	- 6	44	15.44	0.389 225 79	
	9	196	0	29.36	3	45	21.48	0.410 819 05		24	338	16	44.55	- 6	35	11.75	0.383 531 03	
	10	199	30	29.06	3	23	13.81	0.415 844 87		25	342	26	35.77	- 6	23	49.24	0.377 769 35	
	11	202	55	23.78	3	0	53.49	0.420 685 19		26	346	44	0.48	- 6	9	59.39	0.371 969 27	
	12	206	15	36.11	2	38	25.84	0.425 327 08		27	351	9	19.89	- 5	53	34.00	0.366 162 33	
	13	209	31	27.67	2	15	55.47	0.429 759 10		28	355	42	53.89	- 5	34	25.60	0.360 383 17	
	14	212	43	19.16	1	53	26.33	0.433 971 15		29	0	25	0.36	- 5	12	27.80	0.354 669 70	
	15	215	51	30.35	1	31	1.83	0.437 954 31		30	5	15	54.49	- 4	47	35.84	0.349 062 99	
	16	218	56	20.09	1	8	44.92	0.441 700 75		Déc.	1	10	15	47.90	- 4	19	47.18	0.343 607 27
	17	221	58	6.43	0	46	38.13	0.445 203 55			2	15	24	47.66	- 3	49	2.18	0.338 349 58
	18	224	57	6.57	0	24	43.67	0.448 456 67			3	20	42	55.22	- 3	15	24.82	0.333 339 41
	19	227	53	37.02	0	3	3.46	0.451 454 82			4	26	10	5.31	- 2	39	3.42	0.328 628 03
20	230	47	53.57	- 0	18	20.81	0.454 193 41	5	31		46	4.80	- 2	0	11.31	0.324 267 67		
21	233	40	15.75	- 0	39	27.65	0.456 668 46	6	37		30	31.65	- 1	19	7.35	0.320 310 41		
22	236	30	45.17	- 1	0	15.72	0.458 876 51	7	43		22	53.99	- 0	36	16.23	0.316 806 89		
23	239	19	48.98	- 1	20	43.79	0.460 814 66	8	49		22	29.51	0	7	51.63	0.313 804 82		
24	242	7	36.53	- 1	40	50.72	0.462 480 42	9	55		28	25.23	0	52	40.51	0.311 347 34		
25	244	54	21.12	- 2	0	35.44	0.463 871 74	10	61		39	37.75	1	37	30.41	0.309 471 42		
26	247	40	15.75	- 2	19	56.90	0.464 986 96	11	67		54	54.12	2	21	38.46	0.308 206 34		
27	250	25	33.14	- 2	38	54.07	0.465 824 77	12	74		12	53.30	3	4	20.71	0.307 572 37		
28	253	10	25.80	- 2	57	25.93	0.466 384 22	13	80		32	8.25	3	44	54.26	0.307 579 83		
29	255	55	6.08	- 3	15	31.39	0.466 664 67	14	86		51	8.52	4	22	39.32	0.308 228 59		
30	258	39	46.25	- 3	33	9.36	0.466 665 81	15	93		8	23.13	4	57	1.16	0.309 508 10		
31	261	24	38.50	- 3	50	18.64	0.466 387 64	16	99		22	23.60	5	27	31.63	0.311 397 87		
Nov.	1	264	9	55.02	- 4	6	57.98	0.465 830 46	17		105	31	46.75	5	53	50.20	0.313 868 42	
	2	266	55	48.08	- 4	23	6.01	0.464 994 91	18	111	35	17.25	6	15	44.26	0.316 882 63		
	3	269	42	30.01	- 4	38	41.24	0.463 881 94	19	117	31	49.50	6	33	9.05	0.320 397 21		
	4	272	30	13.33	- 4	53	42.04	0.462 492 86	20	123	20	28.87	6	46	6.85	0.324 364 39		
	5	275	19	10.74	- 5	8	6.62	0.460 829 32	21	129	0	32.32	6	54	46.02	0.328 733 46		
	6	278	9	35.20	- 5	21	53.01	0.458 893 38	22	134	31	28.33	6	59	19.76	0.333 452 34		
	7	281	1	39.97	- 5	34	59.05	0.456 687 49	23	139	52	56.31	7	0	4.76	0.338 468 81		
	8	283	55	38.66	- 5	47	22.33	0.454 214 60	24	145	4	45.62	6	57	20.05	0.343 731 62		
	9	286	51	45.29	- 5	59	0.22	0.451 478 12	25	150	6	54.40	6	51	25.87	0.349 191 34		
	10	289	50	14.32	- 6	9	49.79	0.448 482 03	26	154	59	28.19	6	42	42.78	0.354 800 98		
	11	292	51	20.72	- 6	19	47.83	0.445 230 94	27	159	42	38.60	6	31	30.98	0.360 516 41		
	12	295	55	20.00	- 6	28	50.81	0.441 730 11	28	164	16	42.05	6	18	9.77	0.366 296 60		
	13	299	2	28.27	- 6	36	54.82	0.437 985 60	29	168	41	58.57	6	2	57.24	0.372 103 74		
	14	302	13	2.25	- 6	43	55.60	0.434 004 29	30	172	58	50.80	5	46	10.03	0.377 903 24		
	15	305	27	19.35	- 6	49	48.46	0.429 794 02	31	177	7	43.14	5	28	3.26	0.383 663 65		
	16	308	45	37.64	- 6	54	28.30	0.425 363 70	32	181	9	1.01	5	8	50.50	0.389 356 52		
	17	312	8	15.94	- 6	57	49.54	0.420 723 42	33	185	3	10.30	4	48	43.84	0.394 956 23		

## VÉNUS 2017 à 0h TT

## LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.				
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua				
Janv.	0	48	5	5.97	-	1	37	25.17	0.722 752 13	Avril	2	196	57	5.42	2	55	51.36	0.721 270 67	
	2	51	17	31.92	-	1	27	15.21	0.722 482 14		4	200	10	31.59	2	49	48.21	0.721 522 84	
	4	54	30	4.70	-	1	16	48.39	0.722 214 70		6	203	23	47.43	2	43	13.16	0.721 780 69	
	6	57	42	44.41	-	1	6	6.64	0.721 950 64		8	206	36	52.73	2	36	7.53	0.722 043 40	
	8	60	55	31.10	-	0	55	11.96	0.721 690 81		10	209	49	47.28	2	28	32.75	0.722 310 14	
	10	64	8	24.86	-	0	44	6.40	0.721 436 03		12	213	2	30.95	2	20	30.32	0.722 580 06	
	12	67	21	25.74	-	0	32	52.04	0.721 187 09		14	216	15	3.67	2	12	1.82	0.722 852 29	
	14	70	34	33.79	-	0	21	30.99	0.720 944 81		16	219	27	25.42	2	3	8.92	0.723 125 99	
	16	73	47	49.02	-	0	10	5.42	0.720 709 93		18	222	39	36.24	1	53	53.34	0.723 400 29	
	18	77	1	11.46	0	1	22.51	0.720 483 23	20		225	51	36.22	1	44	16.87	0.723 674 31		
	20	80	14	41.10	0	12	50.60	0.720 265 41	22		229	3	25.51	1	34	21.37	0.723 947 21		
	22	83	28	17.89	0	24	16.65	0.720 057 17	24		232	15	4.29	1	24	8.72	0.724 218 12		
	24	86	42	1.79	0	35	38.46	0.719 859 19	26		235	26	32.82	1	13	40.87	0.724 486 20		
	26	89	55	52.70	0	46	53.85	0.719 672 10	28		238	37	51.38	1	2	59.79	0.724 750 61		
	28	93	9	50.51	0	58	0.62	0.719 496 50	30		241	49	0.31	0	52	7.48	0.725 010 52		
	Févr.	30	96	23	55.07	1	8	56.63	0.719 332 97		Mai	2	244	59	60.00	0	41	5.98	0.725 265 14
		1	99	38	6.19	1	19	39.73	0.719 182 02			4	248	10	50.84	0	29	57.34	0.725 513 66
		3	102	52	23.66	1	30	7.84	0.719 044 15			6	251	21	33.30	0	18	43.62	0.725 755 33
5		106	6	47.23	1	40	18.91	0.718 919 80	8	254		32	7.84	0	7	26.89	0.725 989 39		
7		109	21	16.59	1	50	10.93	0.718 809 38	10	257		42	34.97	-	0	3	50.79	0.726 215 13	
9		112	35	51.42	1	59	41.97	0.718 713 26	12	260		52	55.22	-	0	15	7.34	0.726 431 85	
11		115	50	31.35	2	8	50.15	0.718 631 73	14	264		3	9.13	-	0	26	20.73	0.726 638 89	
13		119	5	15.96	2	17	33.68	0.718 565 08	16	267		13	17.26	-	0	37	28.90	0.726 835 62	
15		122	20	4.82	2	25	50.83	0.718 513 52	18	270		23	20.19	-	0	48	29.85	0.727 021 44	
17		125	34	57.44	2	33	39.96	0.718 477 22	20	273		33	18.48	-	0	59	21.59	0.727 195 77	
19	128	49	53.29	2	40	59.55	0.718 456 30	22	276	43	12.73	-	1	10	2.17	0.727 358 10			
21	132	4	51.84	2	47	48.14	0.718 450 84	24	279	53	3.50	-	1	20	29.66	0.727 507 92			
23	135	19	52.49	2	54	4.39	0.718 460 86	26	283	2	51.39	-	1	30	42.19	0.727 644 79			
25	138	34	54.64	2	59	47.08	0.718 486 33	28	286	12	36.96	-	1	40	37.93	0.727 768 28			
27	141	49	57.64	3	4	55.08	0.718 527 17	30	289	22	20.78	-	1	50	15.10	0.727 878 03			
Mars	1	145	5	0.85	3	9	27.41	0.718 583 26	Juin	1	292	32	3.38	-	1	59	31.98	0.727 973 70	
	3	148	20	3.58	3	13	23.18	0.718 654 41		3	295	41	45.31	-	2	8	26.92	0.728 055 00	
	5	151	35	5.14	3	16	41.64	0.718 740 41		5	298	51	27.09	-	2	16	58.31	0.728 121 70	
	7	154	50	4.84	3	19	22.17	0.718 840 98		7	302	1	9.20	-	2	25	4.62	0.728 173 59	
	9	158	5	1.98	3	21	24.28	0.718 955 81		9	305	10	52.12	-	2	32	44.41	0.728 210 51	
	11	161	19	55.84	3	22	47.59	0.719 084 52		11	308	20	36.32	-	2	39	56.30	0.728 232 35	
	13	164	34	45.73	3	23	31.89	0.719 226 71		13	311	30	22.21	-	2	46	38.98	0.728 239 05	
	15	167	49	30.96	3	23	37.07	0.719 381 92		15	314	40	10.20	-	2	52	51.24	0.728 230 59	
	17	171	4	10.85	3	23	3.16	0.719 549 66		17	317	50	0.67	-	2	58	31.96	0.728 206 99	
	19	174	18	44.76	3	21	50.33	0.719 729 39		19	320	59	53.98	-	3	3	40.10	0.728 168 33	
	21	177	33	12.04	3	19	58.87	0.719 920 54		21	324	9	50.45	-	3	8	14.72	0.728 114 72	
	23	180	47	32.09	3	17	29.22	0.720 122 49		23	327	19	50.40	-	3	12	14.96	0.728 046 33	
25	184	1	44.35	3	14	21.91	0.720 334 61	25	330	29	54.09	-	3	15	40.09	0.727 963 36			
27	187	15	48.29	3	10	37.61	0.720 556 21	27	333	40	1.79	-	3	18	29.45	0.727 866 07			
29	190	29	43.40	3	6	17.14	0.720 786 58	29	336	50	13.73	-	3	20	42.51	0.727 754 74			
31	193	43	29.24	3	1	21.38	0.721 024 99	Juill.	1	340	0	30.12	-	3	22	18.82	0.727 629 71		

## VÉNUS 2017 à 0h TT

## LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.			
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua			
Juill.	3	343	10	51.15	-	3	23	18.05	0.727 491 37	Oct.	3	130	56	35.42	2	45	29.52	0.718 419 59
	5	346	21	17.00	-	3	23	39.98	0.727 340 12		5	134	11	36.37	2	51	57.24	0.718 425 50
	7	349	31	47.82	-	3	23	24.49	0.727 176 44		7	137	26	38.97	2	57	51.80	0.718 446 95
	9	352	42	23.75	-	3	22	31.59	0.727 000 81		9	140	41	42.61	3	3	12.05	0.718 483 87
	11	355	53	4.92	-	3	21	1.37	0.726 813 76		11	143	56	46.63	3	7	56.95	0.718 536 12
	13	359	3	51.46	-	3	18	54.07	0.726 615 88		13	147	11	50.35	3	12	5.57	0.718 603 55
	15	2	14	43.45	-	3	16	10.00	0.726 407 75		15	150	26	53.10	3	15	37.13	0.718 685 95
	17	5	25	41.01	-	3	12	49.62	0.726 190 02		17	153	41	54.16	3	18	30.96	0.718 783 03
	19	8	36	44.23	-	3	8	53.47	0.725 963 35		19	156	56	52.85	3	20	46.52	0.718 894 49
	21	11	47	53.19	-	3	4	22.22	0.725 728 43		21	160	11	48.46	3	22	23.39	0.719 019 96
	23	14	59	7.97	-	2	59	16.63	0.725 485 99		23	163	26	40.28	3	23	21.31	0.719 159 05
25	18	10	28.67	-	2	53	37.58	0.725 236 76	25	166	41	27.63	3	23	40.12	0.719 311 31		
27	21	21	55.36	-	2	47	26.07	0.724 981 52	27	169	56	9.82	3	23	19.82	0.719 476 24		
29	24	33	28.12	-	2	40	43.16	0.724 721 04	29	173	10	46.19	3	22	20.53	0.719 653 31		
31	27	45	7.04	-	2	33	30.04	0.724 456 15	31	176	25	16.11	3	20	42.49	0.719 841 96		
Août	2	30	56	52.20	-	2	25	48.00	0.724 187 65	Nov.	2	179	39	38.96	3	18	26.09	0.720 041 58
	4	34	8	43.69	-	2	17	38.42	0.723 916 38		4	182	53	54.16	3	15	31.83	0.720 251 53
	6	37	20	41.60	-	2	9	2.75	0.723 643 17		6	186	8	1.18	3	12	0.34	0.720 471 14
	8	40	32	46.01	-	2	0	2.56	0.723 368 90		8	189	21	59.51	3	7	52.38	0.720 699 70
	10	43	44	57.02	-	1	50	39.48	0.723 094 40		10	192	35	48.68	3	3	8.80	0.720 936 49
	12	46	57	14.71	-	1	40	55.22	0.722 820 53		12	195	49	28.30	2	57	50.61	0.721 180 76
	14	50	9	39.17	-	1	30	51.57	0.722 548 17		14	199	2	57.98	2	51	58.88	0.721 431 72
	16	53	22	10.49	-	1	20	30.38	0.722 278 15		16	202	16	17.42	2	45	34.81	0.721 688 58
	18	56	34	48.76	-	1	9	53.58	0.722 011 33		18	205	29	26.37	2	38	39.69	0.721 950 53
	20	59	47	34.03	-	0	59	3.14	0.721 748 56		20	208	42	24.61	2	31	14.91	0.722 216 74
	22	63	0	26.40	-	0	48	1.08	0.721 490 66		22	211	55	11.99	2	23	21.95	0.722 486 37
24	66	13	25.90	-	0	36	49.49	0.721 238 45	24	215	7	48.43	2	15	2.37	0.722 758 57		
26	69	26	32.58	-	0	25	30.46	0.720 992 74	26	218	20	13.89	2	6	17.79	0.723 032 48		
28	72	39	46.49	-	0	14	6.14	0.720 754 29	28	221	32	28.38	1	57	9.93	0.723 307 24		
30	75	53	7.62	-	0	2	38.70	0.720 523 88	30	224	44	31.98	1	47	40.55	0.723 582 00		
Sept.	1	79	6	35.98	0	8	49.67	0.720 302 24	Déc.	2	227	56	24.82	1	37	51.49	0.723 855 90	
	3	82	20	11.53	0	20	16.77	0.720 090 07		4	231	8	7.08	1	27	44.61	0.724 128 08	
	5	85	33	54.21	0	31	40.41	0.719 888 06		6	234	19	38.98	1	17	21.85	0.724 397 69	
	7	88	47	43.96	0	42	58.39	0.719 696 85		8	237	31	0.80	1	6	45.17	0.724 663 90	
	9	92	1	40.65	0	54	8.51	0.719 517 06		10	240	42	12.87	0	55	56.56	0.724 925 89	
	11	95	15	44.15	1	5	8.62	0.719 349 27		12	243	53	15.54	0	44	58.05	0.725 182 83	
	13	98	29	54.28	1	15	56.56	0.719 194 02		14	247	4	9.22	0	33	51.68	0.725 433 95	
	15	101	44	10.83	1	26	30.23	0.719 051 80		16	250	14	54.34	0	22	39.51	0.725 678 46	
	17	104	58	33.55	1	36	47.56	0.718 923 09		18	253	25	31.37	0	11	23.60	0.725 915 61	
	19	108	13	2.16	1	46	46.54	0.718 808 29		20	256	36	0.80	0	0	6.03	0.726 144 67	
	21	111	27	36.34	1	56	25.20	0.718 707 77		22	259	46	23.16	-	0	11	11.14	0.726 364 94
23	114	42	15.72	2	5	41.65	0.718 621 87	24	262	56	38.98	-	0	22	25.86	0.726 575 76		
25	117	56	59.90	2	14	34.05	0.718 550 85	26	266	6	48.82	-	0	33	36.07	0.726 776 46		
27	121	11	48.46	2	23	0.65	0.718 494 96	28	269	16	53.24	-	0	44	39.76	0.726 966 45		
29	124	26	40.91	2	30	59.80	0.718 454 37	30	272	26	52.83	-	0	55	34.94	0.727 145 14		
Oct.	1	127	41	36.75	2	38	29.92	0.718 429 22	32	275	36	48.15	-	1	6	19.62	0.727 311 98	

## MARS 2017 à 0h TT

## LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua		
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"			
Janv.	0	15	19	40.56	- 1	2	19.10	1.408 254 81	Juill.	3	113	1	34.40	1	39	16.40	1.620 981 53
	4	17	45	53.06	- 0	58	21.66	1.411 644 46		7	114	52	0.14	1	40	48.58	1.624 496 93
	8	20	11	22.15	- 0	54	19.09	1.415 200 34		11	116	41	57.93	1	42	14.16	1.627 886 18
	12	22	36	6.17	- 0	50	11.98	1.418 915 25		15	118	31	28.98	1	43	33.16	1.631 146 34
	16	25	0	3.60	- 0	46	0.89	1.422 781 81		19	120	20	34.49	1	44	45.59	1.634 274 62
Févr.	20	27	23	13.05	- 0	41	46.39	1.426 792 41	23	122	9	15.65	1	45	51.46	1.637 268 38	
	24	29	45	33.26	- 0	37	29.03	1.430 939 31	27	123	57	33.67	1	46	50.78	1.640 125 14	
	28	32	7	3.11	- 0	33	9.36	1.435 214 64	31	125	45	29.76	1	47	43.58	1.642 842 53	
	1	34	27	41.60	- 0	28	47.91	1.439 610 39	Août	4	127	33	5.11	1	48	29.87	1.645 418 34
	5	36	47	27.87	- 0	24	25.21	1.444 118 49		8	129	20	20.93	1	49	9.68	1.647 850 50
Mars	9	39	6	21.17	- 0	20	1.76	1.448 730 81	12	131	7	18.41	1	49	43.03	1.650 137 08	
	13	41	24	20.90	- 0	15	38.06	1.453 439 16	16	132	53	58.77	1	50	9.94	1.652 276 25	
	17	43	41	26.55	- 0	11	14.59	1.458 235 36	20	134	40	23.21	1	50	30.46	1.654 266 36	
	21	45	57	37.73	- 0	6	51.79	1.463 111 21	24	136	26	32.92	1	50	44.60	1.656 105 85	
	25	48	12	54.18	- 0	2	30.11	1.468 058 55	28	138	12	29.10	1	50	52.40	1.657 793 31	
Avril	1	50	27	15.74	0	1	50.03	1.473 069 25	Sept.	1	139	58	12.96	1	50	53.89	1.659 327 46
	5	52	40	42.33	0	6	8.24	1.478 135 25		5	141	43	45.69	1	50	49.11	1.660 707 13
	9	54	53	13.99	0	10	24.12	1.483 248 53		9	143	29	8.49	1	50	38.08	1.661 931 28
	13	57	4	50.84	0	14	37.32	1.488 401 19		13	145	14	22.56	1	50	20.85	1.662 998 98
	17	59	15	33.11	0	18	47.49	1.493 585 42		17	146	59	29.09	1	49	57.46	1.663 909 45
Mai	21	61	25	21.09	0	22	54.32	1.498 793 52	21	148	44	29.27	1	49	27.93	1.664 662 01	
	25	63	34	15.16	0	26	57.49	1.504 017 91	25	150	29	24.31	1	48	52.31	1.665 256 09	
	29	65	42	15.75	0	30	56.73	1.509 251 15	29	152	14	15.39	1	48	10.64	1.665 691 27	
	2	67	49	23.40	0	34	51.77	1.514 485 93	Oct.	3	153	59	3.70	1	47	22.96	1.665 967 22
	6	69	55	38.69	0	38	42.36	1.519 715 10		7	155	43	50.45	1	46	29.30	1.666 083 76
Juin	10	72	1	2.26	0	42	28.28	1.524 931 66	11	157	28	36.82	1	45	29.72	1.666 040 79	
	14	74	5	34.81	0	46	9.30	1.530 128 77	15	159	13	24.01	1	44	24.25	1.665 838 36	
	18	76	9	17.09	0	49	45.22	1.535 299 75	19	160	58	13.22	1	43	12.95	1.665 476 63	
	22	78	12	9.90	0	53	15.88	1.540 438 10	23	162	43	5.63	1	41	55.84	1.664 955 87	
	26	80	14	14.09	0	56	41.10	1.545 537 48	27	164	28	2.45	1	40	32.99	1.664 276 48	
Juillet	30	82	15	30.54	1	0	0.74	1.550 591 74	Nov.	31	166	13	4.86	1	39	4.43	1.663 438 97
	4	84	16	0.17	1	3	14.64	1.555 594 88		4	167	58	14.08	1	37	30.22	1.662 443 97
	8	86	15	43.94	1	6	22.69	1.560 541 09		8	169	43	31.29	1	35	50.41	1.661 292 24
	12	88	14	42.84	1	9	24.78	1.565 424 76		12	171	28	57.69	1	34	5.05	1.659 984 65
	16	90	12	57.88	1	12	20.81	1.570 240 44		16	173	14	34.50	1	32	14.19	1.658 522 21
Août	20	92	10	30.10	1	15	10.67	1.574 982 84	20	175	0	22.90	1	30	17.89	1.656 906 02	
	24	94	7	20.56	1	17	54.30	1.579 646 88	24	176	46	24.11	1	28	16.21	1.655 137 35	
	28	96	3	30.35	1	20	31.63	1.584 227 64	28	178	32	39.32	1	26	9.21	1.653 217 56	
	1	97	59	0.57	1	23	2.59	1.588 720 39	Déc.	2	180	19	9.75	1	23	56.94	1.651 148 14
	5	99	53	52.33	1	25	27.13	1.593 120 55		6	182	5	56.60	1	21	39.48	1.648 930 74
Sept.	9	101	48	6.77	1	27	45.21	1.597 423 73	10	183	53	1.09	1	19	16.89	1.646 567 09	
	13	103	41	45.04	1	29	56.80	1.601 625 72	14	185	40	24.42	1	16	49.25	1.644 059 11	
	17	105	34	48.28	1	32	1.85	1.605 722 45	18	187	28	7.80	1	14	16.63	1.641 408 80	
	21	107	27	17.66	1	34	0.35	1.609 710 04	22	189	16	12.44	1	11	39.10	1.638 618 32	
	25	109	19	14.35	1	35	52.29	1.613 584 76	26	191	4	39.56	1	8	56.76	1.635 689 98	
29	111	10	39.54	1	37	37.64	1.617 343 06	30	192	53	30.37	1	6	9.68	1.632 626 21		

## JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2017 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	190 37 25.96	1 18 13.40	5.455 951 6	Janv. 0	259 14 58.94	1 24 12.70	10.047 953 1
16	191 49 53.53	1 18 12.17	5.456 265 7	16	259 43 55.24	1 23 10.28	10.049 124 3
Févr. 1	193 2 20.71	1 18 8.85	5.456 455 3	Févr. 1	260 12 51.16	1 22 7.52	10.050 256 6
17	194 14 47.72	1 18 3.45	5.456 520 1	17	260 41 46.72	1 21 4.42	10.051 349 7
Mars 5	195 27 14.73	1 17 55.98	5.456 460 0	Mars 5	261 10 41.93	1 20 0.99	10.052 403 4
Avril 21	196 39 41.94	1 17 46.42	5.456 274 9	Avril 21	261 39 36.80	1 18 57.23	10.053 417 5
6	197 52 9.55	1 17 34.79	5.455 964 8	6	262 8 31.35	1 17 53.15	10.054 391 9
22	199 4 37.75	1 17 21.10	5.455 529 8	22	262 37 25.59	1 16 48.75	10.055 326 1
Mai 8	200 17 6.72	1 17 5.34	5.454 969 9	Mai 8	263 6 19.53	1 15 44.04	10.056 220 0
24	201 29 36.65	1 16 47.51	5.454 285 6	24	263 35 13.19	1 14 39.01	10.057 073 3
Juin 9	202 42 7.74	1 16 27.64	5.453 477 4	Juin 9	264 4 6.57	1 13 33.68	10.057 885 9
25	203 54 40.18	1 16 5.72	5.452 545 7	25	264 32 59.69	1 12 28.05	10.058 658 0
Juill. 11	205 7 14.17	1 15 41.75	5.451 491 2	Juill. 11	265 1 52.54	1 11 22.13	10.059 389 7
27	206 19 49.92	1 15 15.76	5.450 314 2	27	265 30 45.16	1 10 15.91	10.060 080 9
Août 12	207 32 27.61	1 14 47.74	5.449 015 3	Août 12	265 59 37.54	1 9 9.40	10.060 731 7
Sept. 28	208 45 7.45	1 14 17.70	5.447 595 1	Sept. 28	266 28 29.71	1 8 2.60	10.061 342 3
13	209 57 49.64	1 13 45.65	5.446 054 3	13	266 57 21.67	1 6 55.53	10.061 912 6
29	211 10 34.38	1 13 11.60	5.444 393 4	29	267 26 13.45	1 5 48.18	10.062 442 9
Oct. 15	212 23 21.86	1 12 35.56	5.442 612 9	Oct. 15	267 55 5.06	1 4 40.56	10.062 933 0
31	213 36 12.28	1 11 57.54	5.440 713 3	31	268 23 56.53	1 3 32.67	10.063 382 7
Nov. 16	214 49 5.82	1 11 17.56	5.438 695 4	Nov. 16	268 52 47.85	1 2 24.51	10.063 791 9
Déc. 2	216 2 2.68	1 10 35.62	5.436 559 9	Déc. 2	269 21 39.06	1 1 16.10	10.064 160 4
18	217 15 3.05	1 9 51.73	5.434 307 9	18	269 50 30.15	1 0 7.43	10.064 488 2

URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Janv. 0	23 5 58.01	- 0 35 55.98	19.940 519 3	Janv. 0	341 6 31.71	- 0 52 1.95	29.951 677 2
Févr. 1	23 26 45.68	- 0 35 45.33	19.937 325 6	Févr. 1	341 18 4.77	- 0 52 20.63	29.951 029 5
Mars 5	23 47 33.72	- 0 35 34.61	19.934 108 8	Mars 5	341 29 37.90	- 0 52 39.28	29.950 391 6
Avril 6	24 8 22.14	- 0 35 23.80	19.930 870 2	Avril 6	341 41 11.10	- 0 52 57.89	29.949 763 9
Mai 8	24 29 10.95	- 0 35 12.92	19.927 610 9	Mai 8	341 52 44.38	- 0 53 16.47	29.949 146 0
Juin 9	24 50 0.19	- 0 35 1.96	19.924 330 6	Juin 9	342 4 17.76	- 0 53 35.02	29.948 536 1
Juill. 11	25 10 49.86	- 0 34 50.91	19.921 027 6	Juill. 11	342 15 51.23	- 0 53 53.53	29.947 932 6
Août 12	25 31 39.97	- 0 34 39.79	19.917 701 2	Août 12	342 27 24.78	- 0 54 12.00	29.947 334 9
Sept. 13	25 52 30.51	- 0 34 28.59	19.914 350 8	Sept. 13	342 38 58.40	- 0 54 30.44	29.946 742 9
Oct. 15	26 13 21.48	- 0 34 17.31	19.910 976 8	Oct. 15	342 50 32.10	- 0 54 48.85	29.946 157 6
Nov. 16	26 34 12.88	- 0 34 5.95	19.907 580 7	Nov. 16	343 2 5.89	- 0 55 7.22	29.945 579 7
Déc. 18	26 55 4.72	- 0 33 54.52	19.904 163 0	Déc. 18	343 13 39.75	- 0 55 25.55	29.945 009 0

## MERCURE 2017 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	19	12.612	-20	27	42.64	0.678 580 12	Févr.	15	20	58	38.586	-19	2	41.56	1.336 518 38
	1	18	13	57.825	-20	21	13.89	0.685 012 62		16	21	5	10.723	-18	38	48.93	1.342 821 62
	2	18	9	14.152	-20	16	28.16	0.694 033 77		17	21	11	44.176	-18	13	35.61	1.348 687 09
	3	18	5	7.594	-20	13	30.01	0.705 367 05		18	21	18	18.895	-17	47	1.44	1.354 108 06
	4	18	1	42.065	-20	12	20.49	0.718 714 73		19	21	24	54.841	-17	19	6.30	1.359 076 40
	5	17	58	59.580	-20	12	57.04	0.733 774 35		20	21	31	31.986	-16	49	50.09	1.363 582 51
	6	17	57	0.560	-20	15	13.81	0.750 251 84		21	21	38	10.310	-16	19	12.77	1.367 615 17
	7	17	55	44.186	-20	19	2.27	0.767 870 95		22	21	44	49.804	-15	47	14.34	1.371 161 44
	8	17	55	8.750	-20	24	11.94	0.786 379 21		23	21	51	30.469	-15	13	54.85	1.374 206 55
	9	17	55	11.958	-20	30	31.13	0.805 550 95		24	21	58	12.310	-14	39	14.41	1.376 733 72
	10	17	55	51.181	-20	37	47.54	0.825 188 06		25	22	4	55.342	-14	3	13.21	1.378 724 10
	11	17	57	3.645	-20	45	48.82	0.845 119 28		26	22	11	39.583	-13	25	51.48	1.380 156 61
	12	17	58	46.567	-20	54	22.93	0.865 198 41		27	22	18	25.058	-12	47	9.60	1.381 007 80
	13	18	0	57.247	-21	3	18.42	0.885 302 03		28	22	25	11.795	-12	7	8.02	1.381 251 80
14	18	3	33.131	-21	12	24.60	0.905 326 99	Mars	1	22	31	59.820	-11	25	47.34	1.380 860 12	
15	18	6	31.842	-21	21	31.60	0.925 187 93	2	22	38	49.162	-10	43	8.34	1.379 801 62		
16	18	9	51.191	-21	30	30.45	0.944 814 84	3	22	45	39.842	-9	59	11.97	1.378 042 42		
17	18	13	29.186	-21	39	13.02	0.964 150 92	4	22	52	31.874	-9	13	59.44	1.375 545 84		
18	18	17	24.021	-21	47	32.03	0.983 150 54	5	22	59	25.259	-8	27	32.22	1.372 272 42		
19	18	21	34.066	-21	55	20.95	1.001 777 53	6	23	6	19.982	-7	39	52.16	1.368 179 99		
20	18	25	57.857	-22	2	33.97	1.020 003 63	7	23	13	16.002	-6	51	1.44	1.363 223 91		
21	18	30	34.079	-22	9	5.93	1.037 807 19	8	23	20	13.251	-6	1	2.76	1.357 357 29		
22	18	35	21.553	-22	14	52.25	1.055 171 99	9	23	27	11.625	-5	9	59.31	1.350 531 54		
23	18	40	19.220	-22	19	48.83	1.072 086 35	10	23	34	10.972	-4	17	54.93	1.342 696 98		
24	18	45	26.132	-22	23	52.09	1.088 542 22	11	23	41	11.090	-3	24	54.13	1.333 803 77		
25	18	50	41.435	-22	26	58.82	1.104 534 60	12	23	48	11.708	-2	31	2.26	1.323 803 04		
26	18	56	4.365	-22	29	6.17	1.120 060 86	13	23	55	12.483	-1	36	25.54	1.312 648 29		
27	19	1	34.231	-22	30	11.63	1.135 120 34	14	0	2	12.982	-0	41	11.16	1.300 297 16		
28	19	7	10.411	-22	30	12.96	1.149 713 91	15	0	9	12.673	-0	14	32.60	1.286 713 44		
29	19	12	52.344	-22	29	8.15	1.163 843 61	16	0	16	10.918	1	10	36.37	1.271 869 25		
30	19	18	39.523	-22	26	55.43	1.177 512 40	17	0	23	6.959	2	6	49.66	1.255 747 52		
31	19	24	31.490	-22	23	33.22	1.190 723 89	18	0	29	59.916	3	3	0.82	1.238 344 42		
Févr.	1	19	30	27.832	-22	19	0.11	1.203 482 12	19	0	36	48.786	3	58	57.17	1.219 671 63	
	2	19	36	28.174	-22	13	14.84	1.215 791 40	20	0	43	32.444	4	54	25.08	1.199 758 46	
	3	19	42	32.177	-22	6	16.29	1.227 656 11	21	0	50	9.652	5	49	10.15	1.178 653 23	
	4	19	48	39.535	-21	58	3.46	1.239 080 60	22	0	56	39.073	6	42	57.43	1.156 424 12	
	5	19	54	49.970	-21	48	35.46	1.250 068 99	23	1	2	59.287	7	35	31.69	1.133 159 02	
	6	20	1	3.229	-21	37	51.50	1.260 625 09	24	1	9	8.817	8	26	37.68	1.108 964 51	
	7	20	7	19.084	-21	25	50.87	1.270 752 29	25	1	15	6.156	9	16	0.46	1.083 963 83	
	8	20	13	37.328	-21	12	32.93	1.280 453 43	26	1	20	49.787	10	3	25.63	1.058 294 12	
	9	20	19	57.775	-20	57	57.12	1.289 730 73	27	1	26	18.216	10	48	39.61	1.032 103 04	
	10	20	26	20.258	-20	42	2.92	1.298 585 69	28	1	31	29.995	11	31	29.77	1.005 545 04	
	11	20	32	44.629	-20	24	49.88	1.307 019 01	29	1	36	23.741	12	11	44.58	0.978 777 71	
	12	20	39	10.755	-20	6	17.56	1.315 030 52	30	1	40	58.156	12	49	13.65	0.951 958 23	
	13	20	45	38.522	-19	46	25.61	1.322 619 15	31	1	45	12.040	13	23	47.72	0.925 240 41	
	14	20	52	7.828	-19	25	13.71	1.329 782 81	Avril	1	1	49	4.304	13	55	18.61	0.898 772 17

## MERCURE 2017 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	52	33.983	14	23	39.14	0.872 693 76	Mai	18	2	2	45.089	8	54	21.80	0.822 637 94	
	3	1	55	40.242	14	48	43.04	0.847 136 51		19	2	6	31.086	9	14	40.71	0.839 122 43	
	4	1	58	22.394	15	10	24.86	0.822 222 20		20	2	10	28.345	9	36	29.54	0.855 850 86	
	5	2	0	39.912	15	28	39.96	0.798 062 82		21	2	14	36.678	9	59	43.16	0.872 806 67	
	6	2	2	32.439	15	43	24.42	0.774 760 69		22	2	18	55.938	10	24	16.46	0.889 973 28	
	7	2	3	59.816	15	54	35.16	0.752 408 81		23	2	23	26.018	10	50	4.42	0.907 333 83	
	8	2	5	2.094	16	2	9.98	0.731 091 30		24	2	28	6.848	11	17	2.04	0.924 870 82	
	9	2	5	39.557	16	6	7.69	0.710 883 86		25	2	32	58.394	11	45	4.30	0.942 565 81	
	10	2	5	52.745	16	6	28.37	0.691 854 22		26	2	38	0.661	12	14	6.19	0.960 399 10	
	11	2	5	42.472	16	3	13.59	0.674 062 38		27	2	43	13.686	12	44	2.64	0.978 349 32	
	12	2	5	9.842	15	56	26.72	0.657 560 85		28	2	48	37.542	13	14	48.48	0.996 393 00	
	13	2	4	16.257	15	46	13.24	0.642 394 67		29	2	54	12.334	13	46	18.43	1.014 504 15	
	14	2	3	3.419	15	32	40.98	0.628 601 24		30	2	59	58.198	14	18	27.04	1.032 653 73	
	15	2	1	33.321	15	16	0.48	0.616 210 22		31	3	5	55.298	14	51	8.65	1.050 809 16	
	16	1	59	48.221	14	56	25.03	0.605 243 16		Jun	1	3	12	3.822	15	24	17.36	1.068 933 77
	17	1	57	50.612	14	34	10.84	0.595 713 22		2	3	18	23.974	15	57	46.96	1.086 986 33	
18	1	55	43.171	14	9	36.88	0.587 624 94	3	3	24	55.970	16	31	30.88	1.104 920 51			
19	1	53	28.702	13	43	4.68	0.580 974 08	4	3	31	40.027	17	5	22.12	1.122 684 41			
20	1	51	10.074	13	14	57.90	0.575 747 60	5	3	38	36.356	17	39	13.21	1.140 220 17			
21	1	48	50.149	12	45	41.82	0.571 923 88	6	3	45	45.148	18	12	56.16	1.157 463 65			
22	1	46	31.713	12	15	42.68	0.569 473 14	7	3	53	6.563	18	46	22.41	1.174 344 18			
23	1	44	17.415	11	45	26.95	0.568 358 08	8	4	0	40.713	19	19	22.81	1.190 784 58			
24	1	42	9.709	11	15	20.65	0.568 534 77	9	4	8	27.644	19	51	47.56	1.206 701 40			
25	1	40	10.812	10	45	48.65	0.569 953 62	10	4	16	27.321	20	23	26.29	1.222 005 41			
26	1	38	22.672	10	17	14.10	0.572 560 59	11	4	24	39.606	20	54	8.04	1.236 602 51			
27	1	36	46.952	9	49	57.91	0.576 298 39	12	4	33	4.234	21	23	41.34	1.250 395 10			
28	1	35	25.022	9	24	18.50	0.581 107 62	13	4	41	40.803	21	51	54.36	1.263 283 80			
29	1	34	17.970	9	0	31.56	0.586 927 95	14	4	50	28.746	22	18	35.03	1.275 169 73			
30	1	33	26.615	8	38	50.02	0.593 699 07	15	4	59	27.328	22	43	31.28	1.285 957 17			
Mai	1	1	32	51.531	8	19	24.08	0.601 361 56	16	5	8	35.635	23	6	31.26	1.295 556 45		
2	1	32	33.075	8	2	21.41	0.609 857 62	17	5	17	52.575	23	27	23.65	1.303 887 11			
3	1	32	31.413	7	47	47.32	0.619 131 58	18	5	27	16.890	23	45	57.97	1.310 880 87			
4	1	32	46.553	7	35	45.03	0.629 130 39	19	5	36	47.173	24	2	4.84	1.316 484 39			
5	1	33	18.369	7	26	15.95	0.639 803 87	20	5	46	21.900	24	15	36.29	1.320 661 33			
6	1	34	6.629	7	19	19.89	0.651 104 96	21	5	55	59.460	24	26	25.99	1.323 393 84			
7	1	35	11.019	7	14	55.39	0.662 989 79	22	6	5	38.200	24	34	29.39	1.324 682 96			
8	1	36	31.168	7	12	59.93	0.675 417 65	23	6	15	16.464	24	39	43.83	1.324 548 27			
9	1	38	6.660	7	13	30.13	0.688 351 01	24	6	24	52.635	24	42	8.51	1.323 026 50			
10	1	39	57.057	7	16	21.95	0.701 755 31	25	6	34	25.173	24	41	44.45	1.320 169 55			
11	1	42	1.910	7	21	30.88	0.715 598 86	26	6	43	52.649	24	38	34.30	1.316 041 93			
12	1	44	20.769	7	28	52.04	0.729 852 62	27	6	53	13.766	24	32	42.20	1.310 717 86			
13	1	46	53.197	7	38	20.30	0.744 489 97	28	7	2	27.375	24	24	13.51	1.304 278 37			
14	1	49	38.774	7	49	50.39	0.759 486 48	29	7	11	32.486	24	13	14.61	1.296 808 57			
15	1	52	37.102	8	3	16.96	0.774 819 67	30	7	20	28.262	23	59	52.65	1.288 395 08			
16	1	55	47.815	8	18	34.62	0.790 468 72	Juill.	1	7	29	14.017	23	44	15.34	1.279 123 95		
17	1	59	10.577	8	35	38.01	0.806 414 24	2	7	37	49.203	23	26	30.76	1.269 078 95			



## MERCURE 2017 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		
<b>Juill.</b>	3	7	46	13.401	23	6	47.16	1.258 340 25	<b>Août</b>	18	10	41	7.875	3	23	54.67	0.639 584 78
	4	7	54	26.303	22	45	12.85	1.246 983 53		19	10	39	10.166	3	31	11.97	0.632 803 29
	5	8	2	27.699	22	21	56.08	1.235 079 37		20	10	36	55.450	3	41	42.14	0.627 090 62
	6	8	10	17.462	21	57	4.95	1.222 692 92		21	10	34	25.177	3	55	23.57	0.622 547 34
	7	8	17	55.535	21	30	47.34	1.209 883 82		22	10	31	41.229	4	12	11.12	0.619 275 46
	8	8	25	21.915	21	3	10.89	1.196 706 24		23	10	28	45.937	4	31	55.71	0.617 376 47
	9	8	32	36.646	20	34	22.95	1.183 209 08		24	10	25	42.077	4	54	24.07	0.616 948 95
	10	8	39	39.804	20	4	30.59	1.169 436 26		25	10	22	32.841	5	19	18.60	0.618 086 08
	11	8	46	31.491	19	33	40.56	1.155 427 01		26	10	19	21.788	5	46	17.58	0.620 872 78
	12	8	53	11.824	19	1	59.35	1.141 216 24		27	10	16	12.763	6	14	55.53	0.625 383 13
	13	8	59	40.932	18	29	33.15	1.126 834 91		28	10	13	9.795	6	44	43.87	0.631 677 68
	14	9	5	58.944	17	56	27.90	1.112 310 41		29	10	10	16.983	7	15	11.76	0.639 801 23
	15	9	12	5.991	17	22	49.29	1.097 666 90		30	10	7	38.373	7	45	47.03	0.649 780 97
	16	9	18	2.195	16	48	42.80	1.082 925 71		31	10	5	17.834	8	15	57.25	0.661 625 07
	17	9	23	47.667	16	14	13.71	1.068 105 62		<b>Sept.</b> 1	10	3	18.943	8	45	10.64	0.675 321 76
	18	9	29	22.505	15	39	27.14	1.053 223 23		2	10	1	44.891	9	12	56.95	0.690 838 90
	19	9	34	46.787	15	4	28.08	1.038 293 25		3	10	0	38.408	9	38	48.12	0.708 123 94
20	9	40	0.568	14	29	21.39	1.023 328 79	4	10	0	1.710	10	2	18.81	0.727 104 14		
21	9	45	3.882	13	54	11.88	1.008 341 68	5	9	59	56.471	10	23	6.65	0.747 687 14		
22	9	49	56.731	13	19	4.29	0.993 342 74	6	10	0	23.816	10	40	52.43	0.769 761 63		
23	9	54	39.090	12	44	3.31	0.978 342 07	7	10	1	24.333	10	55	20.11	0.793 198 24		
24	9	59	10.905	12	9	13.67	0.963 349 30	8	10	2	58.090	11	6	16.79	0.817 850 73		
25	10	3	32.087	11	34	40.08	0.948 373 88	9	10	5	4.675	11	13	32.58	0.843 557 38		
26	10	7	42.520	11	0	27.32	0.933 425 30	10	10	7	43.231	11	17	0.56	0.870 142 84		
27	10	11	42.049	10	26	40.26	0.918 513 29	11	10	10	52.505	11	16	36.64	0.897 420 50		
28	10	15	30.486	9	53	23.87	0.903 648 09	12	10	14	30.899	11	12	19.50	0.925 195 37		
29	10	19	7.606	9	20	43.28	0.888 840 60	13	10	18	36.521	11	4	10.46	0.953 267 57		
30	10	22	33.144	8	48	43.79	0.874 102 64	14	10	23	7.247	10	52	13.39	0.981 436 26		
31	10	25	46.795	8	17	30.91	0.859 447 22	15	10	28	0.782	10	36	34.58	1.009 504 00		
<b>Août</b> 1	10	28	48.215	7	47	10.41	0.844 888 72	16	10	33	14.722	10	17	22.52	1.037 281 16		
2	10	31	37.015	7	17	48.32	0.830 443 26	17	10	38	46.619	9	54	47.66	1.064 590 11		
3	10	34	12.770	6	49	31.00	0.816 128 92	18	10	44	34.038	9	29	2.12	1.091 268 98		
4	10	36	35.010	6	22	25.12	0.801 966 09	19	10	50	34.618	9	0	19.34	1.117 174 67		
5	10	38	43.232	5	56	37.74	0.787 977 80	20	10	56	46.110	8	28	53.70	1.142 184 90		
6	10	40	36.896	5	32	16.28	0.774 190 07	21	11	3	6.423	7	55	0.17	1.166 199 23		
7	10	42	15.435	5	9	28.58	0.760 632 28	22	11	9	33.646	7	18	53.95	1.189 139 09		
8	10	43	38.260	4	48	22.86	0.747 337 54	23	11	16	6.069	6	40	50.12	1.210 946 92		
9	10	44	44.770	4	29	7.72	0.734 343 11	24	11	22	42.184	6	1	3.36	1.231 584 62		
10	10	45	34.366	4	11	52.12	0.721 690 82	25	11	29	20.692	5	19	47.77	1.251 031 45		
11	10	46	6.468	3	56	45.29	0.709 427 38	26	11	36	0.486	4	37	16.64	1.269 281 70		
12	10	46	20.532	3	43	56.65	0.697 604 87	27	11	42	40.648	3	53	42.41	1.286 342 21		
13	10	46	16.079	3	33	35.71	0.686 281 00	28	11	49	20.425	3	9	16.54	1.302 229 99		
14	10	45	52.723	3	25	51.81	0.675 519 43	29	11	55	59.218	2	24	9.52	1.316 969 94		
15	10	45	10.203	3	20	53.98	0.665 389 98	30	12	2	36.560	1	38	30.89	1.330 592 82		
16	10	44	8.431	3	18	50.54	0.655 968 67	<b>Oct.</b> 1	12	9	12.099	0	52	29.27	1.343 133 55		
17	10	42	47.527	3	19	48.82	0.647 337 62	2	12	15	45.582	0	6	12.38	1.354 629 63		

## MERCURE 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	12	22	16.841	- 0	40	12.85	1.365 119 99	Nov.	18	17	1	33.375	-25	19	22.50	1.136 619 78	
	4	12	28	45.778	- 1	26	40.25	1.374 643 92		19	17	7	3.583	-25	27	21.03	1.118 224 71	
	5	12	35	12.353	- 2	13	4.33	1.383 240 35		20	17	12	26.362	-25	33	55.20	1.099 221 73	
	6	12	41	36.574	- 2	59	20.18	1.390 947 18		21	17	17	40.451	-25	39	3.88	1.079 619 85	
	7	12	47	58.486	- 3	45	23.48	1.397 800 89		22	17	22	44.419	-25	42	46.09	1.059 433 45	
	8	12	54	18.167	- 4	31	10.34	1.403 836 19		23	17	27	36.649	-25	45	0.96	1.038 683 53	
	9	13	0	35.714	- 5	16	37.32	1.409 085 78		24	17	32	15.314	-25	45	47.79	1.017 399 20	
	10	13	6	51.243	- 6	1	41.33	1.413 580 26		25	17	36	38.365	-25	45	6.04	0.995 619 43	
	11	13	13	4.882	- 6	46	19.58	1.417 348 09		26	17	40	43.506	-25	42	55.33	0.973 395 09	
	12	13	19	16.766	- 7	30	29.57	1.420 415 55		27	17	44	28.188	-25	39	15.46	0.950 791 23	
	13	13	25	27.038	- 8	14	9.01	1.422 806 80		28	17	47	49.598	-25	34	6.36	0.927 889 75	
	14	13	31	35.844	- 8	57	15.84	1.424 543 94		29	17	50	44.670	-25	27	28.06	0.904 792 17	
	15	13	37	43.328	- 9	39	48.15	1.425 647 09		30	17	53	10.106	-25	19	20.67	0.881 622 70	
	16	13	43	49.640	-10	21	44.19	1.426 134 47		Déc.	1	17	55	2.431	-25	9	44.28	0.858 531 23
	17	13	49	54.922	-11	3	2.34	1.426 022 50			2	17	56	18.079	-24	58	38.93	0.835 696 11
	18	13	55	59.318	-11	43	41.06	1.425 325 86			3	17	56	53.532	-24	46	4.55	0.813 326 32
	19	14	2	2.964	-12	23	38.92	1.424 057 63			4	17	56	45.516	-24	32	0.99	0.791 662 56
20	14	8	5.992	-13	2	54.56	1.422 229 32	5	17		55	51.266	-24	16	28.16	0.770 976 62		
21	14	14	8.527	-13	41	26.64	1.419 850 97	6	17		54	8.859	-23	59	26.35	0.751 568 28		
22	14	20	10.686	-14	19	13.91	1.416 931 25	7	17		51	37.607	-23	40	56.87	0.733 759 00		
23	14	26	12.579	-14	56	15.12	1.413 477 47	8	17		48	18.466	-23	21	2.96	0.717 881 79		
24	14	32	14.304	-15	32	29.04	1.409 495 71	9	17		44	14.406	-22	59	51.10	0.704 266 95		
25	14	38	15.953	-16	7	54.45	1.404 990 83	10	17		39	30.666	-22	37	32.45	0.693 224 07		
26	14	44	17.604	-16	42	30.15	1.399 966 54	11	17		34	14.789	-22	14	24.13	0.685 021 82		
27	14	50	19.327	-17	16	14.92	1.394 425 46	12	17		28	36.379	-21	50	49.97	0.679 867 49		
28	14	56	21.177	-17	49	7.55	1.388 369 20	13	17		22	46.553	-21	27	20.25	0.677 889 59		
29	15	2	23.197	-18	21	6.81	1.381 798 35	14	17		16	57.149	-21	4	30.14	0.679 126 32		
30	15	8	25.417	-18	52	11.45	1.374 712 61	15	17		11	19.811	-20	42	57.00	0.683 522 20		
31	15	14	27.849	-19	22	20.19	1.367 110 75	16	17		6	5.112	-20	23	17.04	0.690 933 47		
Nov.	1	15	20	30.491	-19	51	31.76	1.358 990 75	17		17	1	21.876	-20	6	1.89	0.701 141 29	
	2	15	26	33.322	-20	19	44.85	1.350 349 74	18	16	57	16.779	-19	51	36.03	0.713 870 16		
	3	15	32	36.302	-20	46	58.11	1.341 184 14	19	16	53	54.250	-19	40	15.28	0.728 808 47		
	4	15	38	39.366	-21	13	10.20	1.331 489 58	20	16	51	16.616	-19	32	6.58	0.745 628 45		
	5	15	44	42.428	-21	38	19.74	1.321 261 02	21	16	49	24.416	-19	27	8.72	0.764 003 25		
	6	15	50	45.372	-22	2	25.32	1.310 492 73	22	16	48	16.784	-19	25	13.79	0.783 620 11		
	7	15	56	48.049	-22	25	25.53	1.299 178 36	23	16	47	51.842	-19	26	8.84	0.804 189 51		
	8	16	2	50.277	-22	47	18.89	1.287 311 04	24	16	48	7.054	-19	29	37.58	0.825 450 51		
	9	16	8	51.833	-23	8	3.91	1.274 883 45	25	16	48	59.509	-19	35	21.81	0.847 173 05		
	10	16	14	52.453	-23	27	39.08	1.261 887 98	26	16	50	26.146	-19	43	2.59	0.869 158 13		
	11	16	20	51.826	-23	46	2.87	1.248 316 87	27	16	52	23.911	-19	52	21.16	0.891 236 29		
	12	16	26	49.587	-24	3	13.74	1.234 162 39	28	16	54	49.866	-20	2	59.47	0.913 265 33		
	13	16	32	45.312	-24	19	10.14	1.219 417 09	29	16	57	41.248	-20	14	40.59	0.935 127 45		
	14	16	38	38.511	-24	33	50.55	1.204 073 99	30	17	0	55.511	-20	27	8.93	0.956 726 27		
	15	16	44	28.616	-24	47	13.45	1.188 126 91	31	17	4	30.335	-20	40	10.30	0.977 983 92		
	16	16	50	14.977	-24	59	17.36	1.171 570 82	32	17	8	23.625	-20	53	31.88	0.998 838 31		
	17	16	55	56.848	-25	10	0.84	1.154 402 25	33	17	12	33.503	-21	7	2.23	1.019 240 63		

## VÉNUS 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	21	56	39.709	-14	7	55.32	0.776 718 28	Févr.	15	0	22	17.147	6	42	58.30	0.442 201 38
	1	22	0	46.578	-13	41	52.51	0.769 374 34		16	0	24	3.643	7	5	30.91	0.435 499 16
	2	22	4	51.336	-13	15	33.86	0.762 020 84		17	0	25	44.572	7	27	32.01	0.428 859 63
	3	22	8	53.971	-12	49	0.20	0.754 658 15		18	0	27	19.739	7	48	59.88	0.422 286 64
	4	22	12	54.468	-12	22	12.41	0.747 286 75		19	0	28	48.937	8	9	52.71	0.415 784 21
	5	22	16	52.814	-11	55	11.33	0.739 907 17		20	0	30	11.958	8	30	8.61	0.409 356 55
	6	22	20	48.993	-11	27	57.81	0.732 520 05		21	0	31	28.587	8	49	45.60	0.403 008 05
	7	22	24	42.990	-11	0	32.73	0.725 126 11		22	0	32	38.605	9	8	41.61	0.396 743 34
	8	22	28	34.790	-10	32	56.93	0.717 726 16		23	0	33	41.792	9	26	54.47	0.390 567 25
	9	22	32	24.376	-10	5	11.27	0.710 321 11		24	0	34	37.925	9	44	21.91	0.384 484 84
	10	22	36	11.731	-9	37	16.63	0.702 911 92		25	0	35	26.782	10	1	1.59	0.378 501 45
	11	22	39	56.837	-9	9	13.85	0.695 499 64		26	0	36	8.142	10	16	51.01	0.372 622 65
	12	22	43	39.675	-8	41	3.79	0.688 085 28		27	0	36	41.788	10	31	47.63	0.366 854 32
	13	22	47	20.228	-8	12	47.30	0.680 669 87		28	0	37	7.511	10	45	48.76	0.361 202 67
14	22	50	58.477	-7	44	25.22	0.673 254 38	Mars	1	0	37	25.111	10	58	51.65	0.355 674 26	
15	22	54	34.403	-7	15	58.38	0.665 839 76	2	0	37	34.401	11	10	53.45	0.350 276 02		
16	22	58	7.988	-6	47	27.60	0.658 426 86	3	0	37	35.215	11	21	51.24	0.345 015 25		
17	23	1	39.209	-6	18	53.70	0.651 016 52	4	0	37	27.407	11	31	42.06	0.339 899 65		
18	23	5	8.043	-5	50	17.54	0.643 609 53	5	0	37	10.862	11	40	22.90	0.334 937 27		
19	23	8	34.461	-5	21	39.93	0.636 206 71	6	0	36	45.499	11	47	50.78	0.330 136 47		
20	23	11	58.432	-4	53	1.72	0.628 808 84	7	0	36	11.278	11	54	2.76	0.325 505 92		
21	23	15	19.921	-4	24	23.78	0.621 416 75	8	0	35	28.209	11	58	56.02	0.321 054 48		
22	23	18	38.887	-3	55	46.96	0.614 031 29	9	0	34	36.350	12	2	27.86	0.316 791 21		
23	23	21	55.286	-3	27	12.14	0.606 653 31	10	0	33	35.822	12	4	35.79	0.312 725 22		
24	23	25	9.069	-2	58	40.21	0.599 283 74	11	0	32	26.805	12	5	17.62	0.308 865 69		
25	23	28	20.182	-2	30	12.05	0.591 923 52	12	0	31	9.549	12	4	31.46	0.305 221 72		
26	23	31	28.565	-2	1	48.59	0.584 573 63	13	0	29	44.370	12	2	15.82	0.301 802 28		
27	23	34	34.154	-1	33	30.75	0.577 235 12	14	0	28	11.653	11	58	29.67	0.298 616 15		
28	23	37	36.877	-1	5	19.48	0.569 909 09	15	0	26	31.857	11	53	12.50	0.295 671 84		
29	23	40	36.657	-0	37	15.74	0.562 596 72	16	0	24	45.507	11	46	24.34	0.292 977 50		
30	23	43	33.410	-0	9	20.51	0.555 299 31	17	0	22	53.196	11	38	5.90	0.290 540 86		
31	23	46	27.048	0	18	25.20	0.548 018 25	18	0	20	55.582	11	28	18.52	0.288 369 17		
Févr.	1	23	49	17.473	0	46	0.36	0.540 755 09	19	0	18	53.382	11	17	4.27	0.286 469 07	
	2	23	52	4.583	1	13	23.92	0.533 511 51	20	0	16	47.367	11	4	25.96	0.284 846 60	
	3	23	54	48.268	1	40	34.80	0.526 289 38	21	0	14	38.353	10	50	27.13	0.283 507 03	
	4	23	57	28.413	2	7	31.89	0.519 090 75	22	0	12	27.193	10	35	12.07	0.282 454 87	
	5	0	0	4.894	2	34	14.04	0.511 917 82	23	0	10	14.767	10	18	45.78	0.281 693 76	
	6	0	2	37.584	3	0	40.07	0.504 773 01	24	0	8	1.971	10	1	13.93	0.281 226 45	
	7	0	5	6.345	3	26	48.77	0.497 658 87	25	0	5	49.703	9	42	42.79	0.281 054 76	
	8	0	7	31.039	3	52	38.90	0.490 578 14	26	0	3	38.856	9	23	19.12	0.281 179 58	
	9	0	9	51.518	4	18	9.18	0.483 533 66	27	0	1	30.302	9	3	10.15	0.281 600 87	
	10	0	12	7.632	4	43	18.30	0.476 528 43	28	23	59	24.883	8	42	23.40	0.282 317 69	
	11	0	14	19.227	5	8	4.92	0.469 565 51	29	23	57	23.406	8	21	6.63	0.283 328 27	
	12	0	16	26.143	5	32	27.67	0.462 648 06	30	23	55	26.629	7	59	27.68	0.284 630 02	
	13	0	18	28.217	5	56	25.14	0.455 779 32	31	23	53	35.262	7	37	34.41	0.286 219 63	
	14	0	20	25.277	6	19	55.85	0.448 962 62	Avril	1	23	51	49.955	7	15	34.59	0.288 093 05

## VÉNUS 2017 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	50	11.301	6	53	35.80	0.290 245 55	Mai	18	0	47	52.979	4	0	46.37	0.568 801 26
	3	23	48	39.830	6	31	45.37	0.292 671 77		19	0	51	2.622	4	14	9.59	0.576 666 94
	4	23	47	16.007	6	10	10.29	0.295 365 70		20	0	54	14.728	4	27	57.91	0.584 554 34
	5	23	46	0.235	5	48	57.15	0.298 320 79		21	0	57	29.215	4	42	10.10	0.592 461 43
	6	23	44	52.849	5	28	12.11	0.301 529 94		22	1	0	46.000	4	56	44.98	0.600 386 30
	7	23	43	54.120	5	8	0.81	0.304 985 63		23	1	4	5.009	5	11	41.37	0.608 327 15
	8	23	43	4.257	4	48	28.39	0.308 679 95		24	1	7	26.170	5	26	58.10	0.616 282 33
	9	23	42	23.410	4	29	39.44	0.312 604 70		25	1	10	49.415	5	42	34.02	0.624 250 35
	10	23	41	51.668	4	11	37.99	0.316 751 44		26	1	14	14.680	5	58	28.01	0.632 229 89
	11	23	41	29.072	3	54	27.55	0.321 111 60		27	1	17	41.907	6	14	38.94	0.640 219 78
	12	23	41	15.609	3	38	11.07	0.325 676 52		28	1	21	11.040	6	31	5.72	0.648 219 01
13	23	41	11.224	3	22	51.01	0.330 437 53	29	1	24	42.030	6	47	47.27	0.656 226 62		
14	23	41	15.823	3	8	29.34	0.335 386 00	30	1	28	14.836	7	4	42.56	0.664 241 73		
15	23	41	29.277	2	55	7.57	0.340 513 43	31	1	31	49.421	7	21	50.55	0.672 263 45		
16	23	41	51.426	2	42	46.82	0.345 811 43	Jun	1	1	35	25.754	7	39	10.25	0.680 290 87	
17	23	42	22.086	2	31	27.82	0.351 271 82	2	1	39	3.807	7	56	40.70	0.688 323 07		
18	23	43	1.052	2	21	10.95	0.356 886 63	3	1	42	43.557	8	14	20.93	0.696 359 09		
19	23	43	48.103	2	11	56.30	0.362 648 13	4	1	46	24.983	8	32	10.01	0.704 397 95		
20	23	44	43.005	2	3	43.70	0.368 548 82	5	1	50	8.065	8	50	6.98	0.712 438 64		
21	23	45	45.512	1	56	32.73	0.374 581 51	6	1	53	52.786	9	8	10.94	0.720 480 15		
22	23	46	55.374	1	50	22.77	0.380 739 25	7	1	57	39.131	9	26	20.95	0.728 521 44		
23	23	48	12.335	1	45	13.03	0.387 015 43	8	2	1	27.084	9	44	36.11	0.736 561 46		
24	23	49	36.137	1	41	2.56	0.393 403 73	9	2	5	16.632	10	2	55.51	0.744 599 18		
25	23	51	6.521	1	37	50.28	0.399 898 19	10	2	9	7.762	10	21	18.24	0.752 633 53		
26	23	52	43.234	1	35	35.04	0.406 493 21	11	2	13	0.463	10	39	43.41	0.760 663 45		
27	23	54	26.025	1	34	15.56	0.413 183 53	12	2	16	54.722	10	58	10.11	0.768 687 87		
28	23	56	14.649	1	33	50.53	0.419 964 27	13	2	20	50.531	11	16	37.45	0.776 705 73		
29	23	58	8.868	1	34	18.60	0.426 830 88	14	2	24	47.879	11	35	4.55	0.784 715 96		
30	0	0	8.456	1	35	38.37	0.433 779 09	15	2	28	46.756	11	53	30.52	0.792 717 50		
Mai	1	0	2	13.193	1	37	48.44	0.440 804 85	16	2	32	47.155	12	11	54.48	0.800 709 31	
2	0	4	22.872	1	40	47.42	0.447 904 32	17	2	36	49.067	12	30	15.54	0.808 690 35		
3	0	6	37.296	1	44	33.90	0.455 073 77	18	2	40	52.484	12	48	32.84	0.816 659 61		
4	0	8	56.277	1	49	6.51	0.462 309 62	19	2	44	57.400	13	6	45.50	0.824 616 10		
5	0	11	19.634	1	54	23.86	0.469 608 36	20	2	49	3.805	13	24	52.67	0.832 558 90		
6	0	13	47.199	2	0	24.57	0.476 966 63	21	2	53	11.691	13	42	53.48	0.840 487 15		
7	0	16	18.806	2	7	7.29	0.484 381 11	22	2	57	21.049	14	0	47.09	0.848 400 08		
8	0	18	54.300	2	14	30.65	0.491 848 61	23	3	1	31.870	14	18	32.65	0.856 297 05		
9	0	21	33.531	2	22	33.30	0.499 366 02	24	3	5	44.140	14	36	9.30	0.864 177 52		
10	0	24	16.354	2	31	13.89	0.506 930 32	25	3	9	57.851	14	53	36.21	0.872 041 08		
11	0	27	2.634	2	40	31.09	0.514 538 60	26	3	14	12.991	15	10	52.54	0.879 887 43		
12	0	29	52.238	2	50	23.57	0.522 188 02	27	3	18	29.555	15	27	57.45	0.887 716 30		
13	0	32	45.039	3	0	50.01	0.529 875 83	28	3	22	47.537	15	44	50.14	0.895 527 43		
14	0	35	40.917	3	11	49.11	0.537 599 39	29	3	27	6.935	16	1	29.82	0.903 320 58		
15	0	38	39.758	3	23	19.57	0.545 356 14	30	3	31	27.746	16	17	55.69	0.911 095 44		
16	0	41	41.450	3	35	20.11	0.553 143 61	Juill.	1	3	35	49.970	16	34	7.00	0.918 851 67	
17	0	44	45.891	3	47	49.46	0.560 959 41	2	3	40	13.604	16	50	2.98	0.926 588 89		

## VÉNUS 2017 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	3	44	38.646	17	5	42.88	0.93430668	Août	18	7	27	20.847	21	14	36.01	1.25936066
	4	3	49	5.091	17	21	5.95	0.94200458		19	7	32	23.542	21	7	4.32	1.26562591
	5	3	53	32.936	17	36	11.45	0.94968211		20	7	37	26.053	20	58	57.10	1.27185048
	6	3	58	2.172	17	50	58.64	0.95733874		21	7	42	28.331	20	50	14.49	1.27803415
	7	4	2	32.794	18	5	26.80	0.96497395		22	7	47	30.331	20	40	56.66	1.28417680
	8	4	7	4.791	18	19	35.20	0.97258716		23	7	52	32.013	20	31	3.81	1.29027839
	9	4	11	38.153	18	33	23.12	0.98017778		24	7	57	33.337	20	20	36.15	1.29633891
	10	4	16	12.868	18	46	49.86	0.98774517		25	8	2	34.266	20	9	33.94	1.30235841
	11	4	20	48.923	18	59	54.69	0.99528870		26	8	7	34.767	19	57	57.43	1.30833692
	12	4	25	26.302	19	12	36.94	1.00280767		27	8	12	34.807	19	45	46.93	1.31427450
	13	4	30	4.990	19	24	55.91	1.01030140		28	8	17	34.356	19	33	2.75	1.32017116
	14	4	34	44.968	19	36	50.91	1.01776917		29	8	22	33.385	19	19	45.24	1.32602691
	15	4	39	26.216	19	48	21.29	1.02521023		30	8	27	31.866	19	5	54.74	1.33184174
	16	4	44	8.714	19	59	26.38	1.03262386		31	8	32	29.775	18	51	31.64	1.33761563
	17	4	48	52.438	20	10	5.55	1.04000933		Sept. 1	8	37	27.088	18	36	36.33	1.34334852
	18	4	53	37.362	20	20	18.17	1.04736593		2	8	42	23.783	18	21	9.22	1.34904034
	19	4	58	23.459	20	30	3.63	1.05469299		3	8	47	19.842	18	5	10.74	1.35469102
20	5	3	10.695	20	39	21.34	1.06198989	4	8	52	15.247	17	48	41.33	1.36030042		
21	5	7	59.038	20	48	10.71	1.06925612	5	8	57	9.983	17	31	41.44	1.36586841		
22	5	12	48.450	20	56	31.19	1.07649125	6	9	2	4.037	17	14	11.54	1.37139478		
23	5	17	38.891	21	4	22.21	1.08369495	7	9	6	57.400	16	56	12.11	1.37687929		
24	5	22	30.322	21	11	43.25	1.09086702	8	9	11	50.064	16	37	43.64	1.38232165		
25	5	27	22.705	21	18	33.77	1.09800733	9	9	16	42.022	16	18	46.64	1.38772148		
26	5	32	16.002	21	24	53.27	1.10511581	10	9	21	33.272	15	59	21.62	1.39307839		
27	5	37	10.174	21	30	41.29	1.11219238	11	9	26	23.810	15	39	29.14	1.39839192		
28	5	42	5.186	21	35	57.37	1.11923700	12	9	31	13.634	15	19	9.73	1.40366161		
29	5	47	1.001	21	40	41.09	1.12624958	13	9	36	2.741	14	58	23.99	1.40888698		
30	5	51	57.579	21	44	52.05	1.13322999	14	9	40	51.129	14	37	12.50	1.41406757		
31	5	56	54.882	21	48	29.88	1.14017808	15	9	45	38.797	14	15	35.86	1.41920297		
Août 1	6	1	52.870	21	51	34.23	1.14709367	16	9	50	25.746	13	53	34.69	1.42429282		
2	6	6	51.500	21	54	4.77	1.15397655	17	9	55	11.976	13	31	9.59	1.42933682		
3	6	11	50.732	21	56	1.18	1.16082647	18	9	59	57.491	13	8	21.21	1.43433477		
4	6	16	50.520	21	57	23.19	1.16764316	19	10	4	42.298	12	45	10.16	1.43928652		
5	6	21	50.822	21	58	10.54	1.17442633	20	10	9	26.404	12	21	37.09	1.44419205		
6	6	26	51.593	21	58	22.98	1.18117566	21	10	14	9.821	11	57	42.63	1.44905135		
7	6	31	52.788	21	58	0.30	1.18789078	22	10	18	52.563	11	33	27.43	1.45386451		
8	6	36	54.360	21	57	2.31	1.19457129	23	10	23	34.643	11	8	52.14	1.45863164		
9	6	41	56.266	21	55	28.84	1.20121676	24	10	28	16.078	10	43	57.43	1.46335288		
10	6	46	58.459	21	53	19.74	1.20782671	25	10	32	56.887	10	18	43.97	1.46802837		
11	6	52	0.893	21	50	34.90	1.21440062	26	10	37	37.088	9	53	12.42	1.47265827		
12	6	57	3.524	21	47	14.21	1.22093792	27	10	42	16.703	9	27	23.45	1.47724272		
13	7	2	6.307	21	43	17.63	1.22743805	28	10	46	55.753	9	1	17.76	1.48178187		
14	7	7	9.194	21	38	45.10	1.23390041	29	10	51	34.261	8	34	56.01	1.48627585		
15	7	12	12.139	21	33	36.64	1.24032441	30	10	56	12.253	8	8	18.90	1.49072481		
16	7	17	15.096	21	27	52.26	1.24670946	Oct. 1	11	0	49.755	7	41	27.10	1.49512888		
17	7	22	18.015	21	21	32.02	1.25305504	2	11	5	26.794	7	14	21.30	1.49948816		

## VÉNUS 2017 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	10	3.400	6	47	2.19	1.503 802 75	Nov.	18	14	44	21.764	-14	41	30.39	1.652 898 15
	4	11	14	39.604	6	19	30.45	1.508 072 73		19	14	49	17.361	-15	5	27.87	1.655 079 87
	5	11	19	15.438	5	51	46.76	1.512 298 12		20	14	54	14.102	-15	29	2.40	1.657 216 89
	6	11	23	50.937	5	23	51.80	1.516 478 88		21	14	59	11.998	-15	52	13.17	1.659 309 41
	7	11	28	26.135	4	55	46.25	1.520 614 90		22	15	4	11.060	-16	14	59.37	1.661 357 69
	8	11	33	1.070	4	27	30.80	1.524 706 00		23	15	9	11.298	-16	37	20.20	1.663 361 99
	9	11	37	35.776	3	59	6.15	1.528 751 93		24	15	14	12.718	-16	59	14.87	1.665 322 59
	10	11	42	10.287	3	30	32.99	1.532 752 38	25	15	19	15.327	-17	20	42.57	1.667 239 80	
	11	11	46	44.639	3	1	52.04	1.536 707 01	26	15	24	19.127	-17	41	42.52	1.669 113 96	
	12	11	51	18.865	2	33	4.03	1.540 615 48	27	15	29	24.121	-18	2	13.94	1.670 945 39	
	13	11	55	52.996	2	4	9.68	1.544 477 45	28	15	34	30.309	-18	22	16.05	1.672 734 48	
	14	12	0	27.066	1	35	9.73	1.548 292 63	29	15	39	37.691	-18	41	48.10	1.674 481 58	
	15	12	5	1.109	1	6	4.90	1.552 060 78	30	15	44	46.262	-19	0	49.34	1.676 187 08	
	16	12	9	35.160	0	36	55.94	1.555 781 73	Déc.	1	15	49	56.020	-19	19	19.02	1.677 851 36
	17	12	14	9.253	0	7	43.57	1.559 455 35		2	15	55	6.958	-19	37	16.44	1.679 474 75
	18	12	18	43.425	-	0	21	31.46	1.563 081 61	3	16	0	19.067	-19	54	40.89	1.681 057 54
	19	12	23	17.712	-	0	50	48.41	1.566 660 52	4	16	5	32.336	-20	11	31.68	1.682 599 91
20	12	27	52.150	-	1	20	6.54	1.570 192 18	5	16	10	46.747	-20	27	48.13	1.684 101 97	
21	12	32	26.776	-	1	49	25.12	1.573 676 69	6	16	16	2.281	-20	43	29.58	1.685 563 69	
22	12	37	1.627	-	2	18	43.38	1.577 114 26	7	16	21	18.917	-20	58	35.35	1.686 984 94	
23	12	41	36.740	-	2	48	0.59	1.580 505 06	8	16	26	36.628	-21	13	4.79	1.688 365 55	
24	12	46	12.150	-	3	17	15.98	1.583 849 35	9	16	31	55.388	-21	26	57.28	1.689 705 31	
25	12	50	47.896	-	3	46	28.79	1.587 147 35	10	16	37	15.166	-21	40	12.19	1.691 003 99	
26	12	55	24.013	-	4	15	38.27	1.590 399 33	11	16	42	35.929	-21	52	48.93	1.692 261 42	
27	13	0	0.539	-	4	44	43.66	1.593 605 56	12	16	47	57.644	-22	4	46.93	1.693 477 42	
28	13	4	37.510	-	5	13	44.19	1.596 766 31	13	16	53	20.269	-22	16	5.65	1.694 651 87	
29	13	9	14.965	-	5	42	39.09	1.599 881 87	14	16	58	43.765	-22	26	44.56	1.695 784 69	
30	13	13	52.941	-	6	11	27.61	1.602 952 52	15	17	4	8.086	-22	36	43.18	1.696 875 83	
31	13	18	31.476	-	6	40	8.97	1.605 978 55	16	17	9	33.185	-22	46	1.02	1.697 925 26	
Nov.	1	13	23	10.608	-	7	8	42.42	1.608 960 24	17	17	14	59.011	-22	54	37.66	1.698 933 03
	2	13	27	50.376	-	7	37	7.18	1.611 897 86	18	17	20	25.512	-23	2	32.67	1.699 899 17
	3	13	32	30.820	-	8	5	22.51	1.614 791 64	19	17	25	52.633	-23	9	45.66	1.700 823 78
	4	13	37	11.979	-	8	33	27.63	1.617 641 72	20	17	31	20.316	-23	16	16.29	1.701 706 98
	5	13	41	53.891	-	9	1	21.80	1.620 448 19	21	17	36	48.505	-23	22	4.21	1.702 548 92
	6	13	46	36.594	-	9	29	4.24	1.623 211 02	22	17	42	17.138	-23	27	9.12	1.703 349 78
	7	13	51	20.123	-	9	56	34.19	1.625 930 12	23	17	47	46.154	-23	31	30.77	1.704 109 78
	8	13	56	4.509	-	10	23	50.86	1.628 605 30	24	17	53	15.493	-23	35	8.92	1.704 829 14
	9	14	0	49.783	-	10	50	53.45	1.631 236 32	25	17	58	45.092	-23	38	3.36	1.705 508 13
	10	14	5	35.976	-	11	17	41.16	1.633 822 94	26	18	4	14.888	-23	40	13.93	1.706 147 04
	11	14	10	23.115	-	11	44	13.18	1.636 364 93	27	18	9	44.819	-23	41	40.51	1.706 746 19
12	14	15	11.228	-	12	10	28.72	1.638 862 09	28	18	15	14.823	-23	42	22.98	1.707 305 92	
13	14	20	0.342	-	12	36	26.95	1.641 314 24	29	18	20	44.838	-23	42	21.31	1.707 826 58	
14	14	24	50.483	-	13	2	7.08	1.643 721 30	30	18	26	14.803	-23	41	35.47	1.708 308 53	
15	14	29	41.674	-	13	27	28.29	1.646 083 19	31	18	31	44.655	-23	40	5.49	1.708 752 12	
16	14	34	33.938	-	13	52	29.79	1.648 399 93	32	18	37	14.335	-23	37	51.42	1.709 157 64	
17	14	39	27.295	-	14	17	10.76	1.650 671 55	33	18	42	43.778	-23	34	53.36	1.709 525 29	

## MARS 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	22	42	52.820	- 9	6	36.63	1.633 776 00	Févr.	15	0	48	47.908	5	3	9.57	1.943 281 12
	1	22	45	41.276	- 8	48	36.45	1.640 446 46		16	0	51	30.257	5	21	6.41	1.949 962 75
	2	22	48	29.455	- 8	30	32.37	1.647 122 43		17	0	54	12.645	5	38	59.38	1.956 637 95
	3	22	51	17.361	- 8	12	24.60	1.653 803 55		18	0	56	55.079	5	56	48.36	1.963 306 25
	4	22	54	4.996	- 7	54	13.33	1.660 489 51		19	0	59	37.569	6	14	33.20	1.969 967 12
	5	22	56	52.364	- 7	35	58.75	1.667 180 06		20	1	2	20.121	6	32	13.77	1.976 620 00
	6	22	59	39.470	- 7	17	41.04	1.673 875 02		21	1	5	2.742	6	49	49.93	1.983 264 30
	7	23	2	26.319	- 6	59	20.40	1.680 574 28		22	1	7	45.439	7	7	21.53	1.989 899 42
	8	23	5	12.916	- 6	40	57.01	1.687 277 81		23	1	10	28.218	7	24	48.43	1.996 524 70
	9	23	7	59.266	- 6	22	31.05	1.693 985 67		24	1	13	11.084	7	42	10.48	2.003 139 48
	10	23	10	45.374	- 6	4	2.74	1.700 697 94		25	1	15	54.043	7	59	27.55	2.009 743 07
	11	23	13	31.244	- 5	45	32.25	1.707 414 77		26	1	18	37.099	8	16	39.47	2.016 334 77
	12	23	16	16.883	- 5	26	59.77	1.714 136 30		27	1	21	20.257	8	33	46.11	2.022 913 88
	13	23	19	2.297	- 5	8	25.49	1.720 862 62		28	1	24	3.523	8	50	47.33	2.029 479 73
14	23	21	47.492	- 4	49	49.59	1.727 593 76	Mars	1	1	26	46.900	9	7	42.97	2.036 031 71	
15	23	24	32.479	- 4	31	12.23	1.734 329 67	2	1	29	30.395	9	24	32.91	2.042 569 28		
16	23	27	17.265	- 4	12	33.57	1.741 070 20	3	1	32	14.010	9	41	17.00	2.049 091 98		
17	23	30	1.863	- 3	53	53.78	1.747 815 10	4	1	34	57.751	9	57	55.10	2.055 599 46		
18	23	32	46.281	- 3	35	13.01	1.754 564 05	5	1	37	41.619	10	14	27.07	2.062 091 44		
19	23	35	30.531	- 3	16	31.42	1.761 316 69	6	1	40	25.617	10	30	52.77	2.068 567 75		
20	23	38	14.622	- 2	57	49.17	1.768 072 59	7	1	43	9.747	10	47	12.06	2.075 028 24		
21	23	40	58.562	- 2	39	6.42	1.774 831 29	8	1	45	54.012	11	3	24.77	2.081 472 86		
22	23	43	42.361	- 2	20	23.34	1.781 592 30	9	1	48	38.415	11	19	30.78	2.087 901 53		
23	23	46	26.026	- 2	1	40.10	1.788 355 11	10	1	51	22.959	11	35	29.95	2.094 314 20		
24	23	49	9.566	- 1	42	56.86	1.795 119 16	11	1	54	7.650	11	51	22.13	2.100 710 79		
25	23	51	52.987	- 1	24	13.80	1.801 883 89	12	1	56	52.494	12	7	7.22	2.107 091 19		
26	23	54	36.296	- 1	5	31.07	1.808 648 73	13	1	59	37.497	12	22	45.08	2.113 455 21		
27	23	57	19.499	- 0	46	48.87	1.815 413 06	14	2	2	22.666	12	38	15.60	2.119 802 64		
28	0	0	2.601	- 0	28	7.35	1.822 176 28	15	2	5	8.008	12	53	38.67	2.126 133 19		
29	0	2	45.609	- 0	9	26.70	1.828 937 79	16	2	7	53.528	13	8	54.17	2.132 446 49		
30	0	5	28.528	0	9	12.92	1.835 697 01	17	2	10	39.233	13	24	2.01	2.138 742 16		
31	0	8	11.363	0	27	51.32	1.842 453 40	18	2	13	25.127	13	39	2.06	2.145 019 74		
Févr.	1	0	10	54.120	0	46	28.36	1.849 206 47	19	2	16	11.216	13	53	54.21	2.151 278 74	
	2	0	13	36.806	1	5	3.84	1.855 955 80	20	2	18	57.502	14	8	38.36	2.157 518 63	
	3	0	16	19.426	1	23	37.62	1.862 701 04	21	2	21	43.990	14	23	14.38	2.163 738 85	
	4	0	19	1.987	1	42	9.53	1.869 441 94	22	2	24	30.682	14	37	42.17	2.169 938 80	
	5	0	21	44.494	2	0	39.39	1.876 178 31	23	2	27	17.582	14	52	1.60	2.176 117 86	
	6	0	24	26.953	2	19	7.05	1.882 910 04	24	2	30	4.690	15	6	12.56	2.182 275 37	
	7	0	27	9.368	2	37	32.33	1.889 637 10	25	2	32	52.010	15	20	14.93	2.188 410 62	
	8	0	29	51.746	2	55	55.06	1.896 359 46	26	2	35	39.542	15	34	8.59	2.194 522 89	
	9	0	32	34.090	3	14	15.08	1.903 077 15	27	2	38	27.289	15	47	53.44	2.200 611 46	
	10	0	35	16.409	3	32	32.22	1.909 790 15	28	2	41	15.252	16	1	29.34	2.206 675 58	
	11	0	37	58.709	3	50	46.32	1.916 498 43	29	2	44	3.432	16	14	56.20	2.212 714 57	
	12	0	40	40.999	4	8	57.25	1.923 201 88	30	2	46	51.830	16	28	13.91	2.218 727 80	
	13	0	43	23.289	4	27	4.86	1.929 900 33	31	2	49	40.446	16	41	22.35	2.224 714 75	
	14	0	46	5.589	4	45	9.01	1.936 593 52	Avril	1	2	52	29.279	16	54	21.43	2.230 674 99

## MARS 2017 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	2	55	18.325	17	7	11.03	2.236 608 22	Mai	18	5	8	11.593	23	41	10.65	2.475 354 94	
	3	2	58	7.582	17	19	51.03	2.242 514 20		19	5	11	7.633	23	45	5.06	2.479 666 49	
	4	3	0	57.046	17	32	21.33	2.248 392 82		20	5	14	3.693	23	48	46.97	2.483 935 19	
	5	3	3	46.715	17	44	41.79	2.254 243 95		21	5	16	59.764	23	52	16.36	2.488 160 42	
	6	3	6	36.587	17	56	52.32	2.260 067 55		22	5	19	55.841	23	55	33.23	2.492 341 52	
	7	3	9	26.661	18	8	52.81	2.265 863 54		23	5	22	51.917	23	58	37.57	2.496 477 80	
	8	3	12	16.939	18	20	43.15	2.271 631 86		24	5	25	47.985	24	1	29.38	2.500 568 56	
	9	3	15	7.420	18	32	23.25	2.277 372 39		25	5	28	44.036	24	4	8.67	2.504 613 11	
	10	3	17	58.105	18	43	53.02	2.283 085 00		26	5	31	40.061	24	6	35.46	2.508 610 86	
	11	3	20	48.997	18	55	12.37	2.288 769 50		27	5	34	36.048	24	8	49.75	2.512 561 28	
	12	3	23	40.095	19	6	21.22	2.294 425 68		28	5	37	31.984	24	10	51.55	2.516 464 00	
	13	3	26	31.400	19	17	19.50	2.300 053 25		29	5	40	27.856	24	12	40.87	2.520 318 76	
	14	3	29	22.912	19	28	7.13	2.305 651 88		30	5	43	23.651	24	14	17.72	2.524 125 41	
	15	3	32	14.631	19	38	44.03	2.311 221 20		31	5	46	19.359	24	15	42.08	2.527 883 89	
	16	3	35	6.555	19	49	10.12	2.316 760 80		Juin	1	5	49	14.970	24	16	53.98	2.531 594 18
	17	3	37	58.683	19	59	25.32	2.322 270 22			2	5	52	10.476	24	17	53.41	2.535 256 29
18	3	40	51.013	20	9	29.57	2.327 748 96	3	5		55	5.869	24	18	40.40	2.538 870 21		
19	3	43	43.542	20	19	22.77	2.333 196 49	4	5		58	1.142	24	19	14.97	2.542 435 95		
20	3	46	36.267	20	29	4.86	2.338 612 25	5	6		0	56.289	24	19	37.14	2.545 953 45		
21	3	49	29.186	20	38	35.76	2.343 995 62	6	6		3	51.304	24	19	46.95	2.549 422 68		
22	3	52	22.294	20	47	55.39	2.349 345 96	7	6		6	46.178	24	19	44.43	2.552 843 53		
23	3	55	15.590	20	57	3.68	2.354 662 57	8	6		9	40.905	24	19	29.62	2.556 215 90		
24	3	58	9.070	21	6	0.55	2.359 944 74	9	6		12	35.479	24	19	2.56	2.559 539 64		
25	4	1	2.730	21	14	45.94	2.365 191 74	10	6		15	29.892	24	18	23.30	2.562 814 55		
26	4	3	56.566	21	23	19.77	2.370 402 85	11	6	18	24.137	24	17	31.87	2.566 040 41			
27	4	6	50.575	21	31	42.00	2.375 577 41	12	6	21	18.206	24	16	28.31	2.569 216 96			
28	4	9	44.749	21	39	52.56	2.380 714 82	13	6	24	12.093	24	15	12.68	2.572 343 88			
29	4	12	39.081	21	47	51.40	2.385 814 61	14	6	27	5.790	24	13	45.02	2.575 420 81			
30	4	15	33.562	21	55	38.46	2.390 876 44	15	6	29	59.291	24	12	5.36	2.578 447 35			
Mai	1	4	18	28.181	22	3	13.67	2.395 900 08	16	6	32	52.590	24	10	13.76	2.581 423 05		
	2	4	21	22.930	22	10	36.97	2.400 885 39	17	6	35	45.680	24	8	10.26	2.584 347 41		
	3	4	24	17.800	22	17	48.28	2.405 832 28	18	6	38	38.557	24	5	54.91	2.587 219 89		
	4	4	27	12.785	22	24	47.56	2.410 740 70	19	6	41	31.214	24	3	27.76	2.590 039 89		
	5	4	30	7.878	22	31	34.74	2.415 610 63	20	6	44	23.647	24	0	48.87	2.592 806 78		
	6	4	33	3.073	22	38	9.77	2.420 442 02	21	6	47	15.850	23	57	58.30	2.595 519 91		
	7	4	35	58.367	22	44	32.60	2.425 234 80	22	6	50	7.816	23	54	56.12	2.598 178 63		
	8	4	38	53.755	22	50	43.21	2.429 988 88	23	6	52	59.537	23	51	42.41	2.600 782 35		
	9	4	41	49.231	22	56	41.55	2.434 704 14	24	6	55	51.004	23	48	17.24	2.603 330 53		
	10	4	44	44.791	23	2	27.61	2.439 380 43	25	6	58	42.205	23	44	40.69	2.605 822 76		
	11	4	47	40.430	23	8	1.34	2.444 017 54	26	7	1	33.129	23	40	52.83	2.608 258 77		
12	4	50	36.142	23	13	22.73	2.448 615 24	27	7	4	23.767	23	36	53.72	2.610 638 39			
13	4	53	31.922	23	18	31.75	2.453 173 23	28	7	7	14.110	23	32	43.42	2.612 961 56			
14	4	56	27.761	23	23	28.38	2.457 691 21	29	7	10	4.151	23	28	22.00	2.615 228 28			
15	4	59	23.656	23	28	12.61	2.462 168 79	30	7	12	53.886	23	23	49.53	2.617 438 60			
16	5	2	19.597	23	32	44.41	2.466 605 58	Juill.	1	7	15	43.309	23	19	6.08	2.619 592 56		
17	5	5	15.578	23	37	3.76	2.471 001 13		2	7	18	32.417	23	14	11.71	2.621 690 23		



## MARS 2017 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			
<b>Juill.</b>	3	7	21	21.205	23	9	6.52	2.623 731 62	<b>Août</b>	18	9	24	20.259	16	26	16.12	2.653 209 63	
	4	7	24	9.671	23	3	50.59	2.625 716 76		19	9	26	52.130	16	14	27.02	2.652 375 17	
	5	7	26	57.809	22	58	24.00	2.627 645 63		20	9	29	23.660	16	2	31.73	2.651 473 90	
	6	7	29	45.617	22	52	46.84	2.629 518 20		21	9	31	54.850	15	50	30.37	2.650 505 56	
	7	7	32	33.091	22	46	59.19	2.631 334 42		22	9	34	25.701	15	38	23.03	2.649 469 99	
	8	7	35	20.227	22	41	1.14	2.633 094 20		23	9	36	56.214	15	26	9.82	2.648 367 15	
	9	7	38	7.023	22	34	52.79	2.634 797 41		24	9	39	26.391	15	13	50.82	2.647 197 08	
	10	7	40	53.474	22	28	34.21	2.636 443 89		25	9	41	56.236	15	1	26.16	2.645 959 89	
	11	7	43	39.579	22	22	5.49	2.638 033 43		26	9	44	25.753	14	48	55.91	2.644 655 75	
	12	7	46	25.334	22	15	26.72	2.639 565 79		27	9	46	54.946	14	36	20.19	2.643 284 82	
	13	7	49	10.737	22	8	37.99	2.641 040 64		28	9	49	23.818	14	23	39.09	2.641 847 31	
	14	7	51	55.789	22	1	39.37	2.642 457 64		29	9	51	52.374	14	10	52.73	2.640 343 40	
	15	7	54	40.486	21	54	30.94	2.643 816 37		30	9	54	20.617	13	58	1.20	2.638 773 28	
	16	7	57	24.830	21	47	12.80	2.645 116 35		31	9	56	48.551	13	45	4.60	2.637 137 12	
	17	8	0	8.820	21	39	45.03	2.646 357 08		<b>Sept.</b>	1	9	59	16.180	13	32	3.05	2.635 435 08
	18	8	2	52.456	21	32	7.73	2.647 537 99		2	10	1	43.509	13	18	56.64	2.633 667 32	
	19	8	5	35.736	21	24	20.99	2.648 658 51		3	10	4	10.542	13	5	45.47	2.631 833 96	
20	8	8	18.659	21	16	24.91	2.649 718 05	4	10	6	37.283	12	52	29.64	2.629 935 12			
21	8	11	1.222	21	8	19.61	2.650 716 04	5	10	9	3.738	12	39	9.24	2.627 970 86			
22	8	13	43.419	21	0	5.19	2.651 652 00	6	10	11	29.913	12	25	44.36	2.625 941 21			
23	8	16	25.246	20	51	41.77	2.652 525 52	7	10	13	55.813	12	12	15.09	2.623 846 13			
24	8	19	6.697	20	43	9.45	2.653 336 29	8	10	16	21.447	11	58	41.51	2.621 685 52			
25	8	21	47.767	20	34	28.33	2.654 084 16	9	10	18	46.822	11	45	3.70	2.619 459 21			
26	8	24	28.455	20	25	38.49	2.654 769 06	10	10	21	11.946	11	31	21.76	2.617 166 93			
27	8	27	8.757	20	16	40.03	2.655 391 00	11	10	23	36.825	11	17	35.76	2.614 808 38			
28	8	29	48.675	20	7	33.05	2.655 950 07	12	10	26	1.465	11	3	45.80	2.612 383 19			
29	8	32	28.208	19	58	17.64	2.656 446 35	13	10	28	25.873	10	49	51.99	2.609 890 97			
30	8	35	7.358	19	48	53.91	2.656 879 97	14	10	30	50.050	10	35	54.42	2.607 331 34			
31	8	37	46.124	19	39	21.95	2.657 251 03	15	10	33	14.002	10	21	53.20	2.604 703 91			
<b>Août</b>	1	8	40	24.508	19	29	41.87	2.657 559 63	16	10	35	37.729	10	7	48.45	2.602 008 36		
2	8	43	2.511	19	19	53.78	2.657 805 83	17	10	38	1.235	9	53	40.26	2.599 244 45			
3	8	45	40.133	19	9	57.78	2.657 989 71	18	10	40	24.521	9	39	28.75	2.596 411 98			
4	8	48	17.376	18	59	53.97	2.658 111 31	19	10	42	47.592	9	25	14.00	2.593 510 89			
5	8	50	54.240	18	49	42.45	2.658 170 66	20	10	45	10.451	9	10	56.12	2.590 541 19			
6	8	53	30.728	18	39	23.34	2.658 167 73	21	10	47	33.103	8	56	35.20	2.587 502 97			
7	8	56	6.841	18	28	56.72	2.658 102 50	22	10	49	55.553	8	42	11.33	2.584 396 42			
8	8	58	42.581	18	18	22.71	2.657 974 87	23	10	52	17.807	8	27	44.62	2.581 221 76			
9	9	1	17.950	18	7	41.38	2.657 784 73	24	10	54	39.868	8	13	15.15	2.577 979 27			
10	9	3	52.953	17	56	52.84	2.657 531 87	25	10	57	1.743	7	58	43.03	2.574 669 24			
11	9	6	27.592	17	45	57.18	2.657 216 05	26	10	59	23.435	7	44	8.35	2.571 291 97			
12	9	9	1.873	17	34	54.49	2.656 836 96	27	11	1	44.950	7	29	31.22	2.567 847 78			
13	9	11	35.800	17	23	44.86	2.656 394 22	28	11	4	6.292	7	14	51.73	2.564 336 98			
14	9	14	9.377	17	12	28.39	2.655 887 39	29	11	6	27.467	7	0	9.98	2.560 759 88			
15	9	16	42.609	17	1	5.17	2.655 316 02	30	11	8	48.479	6	45	26.07	2.557 116 78			
16	9	19	15.499	16	49	35.31	2.654 679 60	<b>Oct.</b>	1	11	11	9.335	6	30	40.09	2.553 407 98		
17	9	21	48.049	16	37	58.92	2.653 977 63	2	11	13	30.039	6	15	52.12	2.549 633 76			

## MARS 2017 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	15	50.599	6	1	2.27	2.545 794 38	Nov.	18	13	2	41.864	- 5	29	32.63	2.300 088 02	
	4	11	18	11.022	5	46	10.61	2.541 890 05		19	13	5	2.017	- 5	44	9.95	2.293 321 25	
	5	11	20	31.315	5	31	17.22	2.537 920 95		20	13	7	22.276	- 5	58	44.79	2.286 497 97	
	6	11	22	51.486	5	16	22.17	2.533 887 16		21	13	9	42.644	- 6	13	17.05	2.279 618 79	
	7	11	25	11.545	5	1	25.55	2.529 788 69		22	13	12	3.123	- 6	27	46.63	2.272 684 31	
	8	11	27	31.500	4	46	27.43	2.525 625 46		23	13	14	23.716	- 6	42	13.43	2.265 695 18	
	9	11	29	51.359	4	31	27.89	2.521 397 32		24	13	16	44.426	- 6	56	37.35	2.258 652 07	
	10	11	32	11.129	4	16	27.01	2.517 104 05		25	13	19	5.258	- 7	10	58.30	2.251 555 62	
	11	11	34	30.814	4	1	24.90	2.512 745 38		26	13	21	26.214	- 7	25	16.19	2.244 406 53	
	12	11	36	50.419	3	46	21.65	2.508 321 06		27	13	23	47.299	- 7	39	30.90	2.237 205 45	
	13	11	39	9.946	3	31	17.36	2.503 830 86		28	13	26	8.518	- 7	53	42.37	2.229 953 05	
	14	11	41	29.400	3	16	12.14	2.499 274 58		29	13	28	29.877	- 8	7	50.50	2.222 650 00	
	15	11	43	48.784	3	1	6.09	2.494 652 12		30	13	30	51.381	- 8	21	55.21	2.215 296 90	
	16	11	46	8.102	2	45	59.29	2.489 963 42		Déc.	1	13	33	13.038	- 8	35	56.44	2.207 894 34
	17	11	48	27.358	2	30	51.86	2.485 208 54			2	13	35	34.856	- 8	49	54.09	2.200 442 80
	18	11	50	46.558	2	15	43.88	2.480 387 59		3	13	37	56.839	- 9	3	48.12	2.192 942 69	
	19	11	53	5.706	2	0	35.44	2.475 500 77		4	13	40	18.995	- 9	17	38.44	2.185 394 28	
20	11	55	24.806	1	45	26.64	2.470 548 38	5	13	42	41.327	- 9	31	24.97	2.177 797 77			
21	11	57	43.865	1	30	17.57	2.465 530 74	6	13	45	3.836	- 9	45	7.62	2.170 153 23			
22	12	0	2.886	1	15	8.33	2.460 448 24	7	13	47	26.526	- 9	58	46.29	2.162 460 74			
23	12	2	21.874	0	59	59.01	2.455 301 30	8	13	49	49.397	-10	12	20.89	2.154 720 35			
24	12	4	40.833	0	44	49.72	2.450 090 37	9	13	52	12.452	-10	25	51.31	2.146 932 18			
25	12	6	59.767	0	29	40.55	2.444 815 90	10	13	54	35.693	-10	39	17.45	2.139 096 38			
26	12	9	18.682	0	14	31.60	2.439 478 38	11	13	56	59.122	-10	52	39.23	2.131 213 22			
27	12	11	37.581	- 0	0	37.04	2.434 078 28	12	13	59	22.741	-11	5	56.55	2.123 283 02			
28	12	13	56.470	- 0	15	45.27	2.428 616 08	13	14	1	46.553	-11	19	9.32	2.115 306 20			
29	12	16	15.354	- 0	30	52.99	2.423 092 27	14	14	4	10.558	-11	32	17.45	2.107 283 22			
30	12	18	34.238	- 0	46	0.12	2.417 507 32	15	14	6	34.757	-11	45	20.84	2.099 214 63			
31	12	20	53.128	- 1	1	6.58	2.411 861 69	16	14	8	59.151	-11	58	19.40	2.091 101 00			
Nov.	1	12	23	12.033	- 1	16	12.27	2.406 155 83	17	14	11	23.740	-12	11	13.03	2.082 942 99		
	2	12	25	30.959	- 1	31	17.11	2.400 390 12	18	14	13	48.523	-12	24	1.63	2.074 741 27		
	3	12	27	49.914	- 1	46	21.04	2.394 564 91	19	14	16	13.501	-12	36	45.12	2.066 496 58		
	4	12	30	8.908	- 2	1	23.99	2.388 680 43	20	14	18	38.673	-12	49	23.38	2.058 209 66		
	5	12	32	27.949	- 2	16	25.88	2.382 736 84	21	14	21	4.039	-13	1	56.33	2.049 881 30		
	6	12	34	47.044	- 2	31	26.63	2.376 734 17	22	14	23	29.599	-13	14	23.86	2.041 512 31		
	7	12	37	6.198	- 2	46	26.16	2.370 672 41	23	14	25	55.353	-13	26	45.88	2.033 103 51		
	8	12	39	25.416	- 3	1	24.38	2.364 551 44	24	14	28	21.303	-13	39	2.31	2.024 655 73		
	9	12	41	44.701	- 3	16	21.19	2.358 371 18	25	14	30	47.450	-13	51	13.04	2.016 169 81		
	10	12	44	4.056	- 3	31	16.48	2.352 131 52	26	14	33	13.796	-14	3	18.00	2.007 646 58		
	11	12	46	23.485	- 3	46	10.16	2.345 832 46	27	14	35	40.343	-14	15	17.11	1.999 086 87		
	12	12	48	42.990	- 4	1	2.12	2.339 474 01	28	14	38	7.096	-14	27	10.28	1.990 491 48		
	13	12	51	2.577	- 4	15	52.28	2.333 056 29	29	14	40	34.058	-14	38	57.46	1.981 861 18		
	14	12	53	22.249	- 4	30	40.53	2.326 579 49	30	14	43	1.232	-14	50	38.57	1.973 196 65		
	15	12	55	42.009	- 4	45	26.79	2.320 043 90	31	14	45	28.622	-15	2	13.56	1.964 498 50		
	16	12	58	1.863	- 5	0	10.95	2.313 449 84	32	14	47	56.230	-15	13	42.36	1.955 767 24		
	17	13	0	21.813	- 5	14	52.93	2.306 797 72	33	14	50	24.056	-15	25	4.89	1.947 003 24		

## JUPITER 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	13	19	41.149	- 7	1	24.33	5.562 721 59	Févr.	15	13	27	22.856	- 7	35	16.72	4.849 360 34
	1	13	20	5.440	- 7	3	35.94	5.546 832 46		16	13	27	16.684	- 7	34	24.93	4.835 897 73
	2	13	20	29.176	- 7	5	43.99	5.530 897 73		17	13	27	9.811	- 7	33	29.10	4.822 596 89
	3	13	20	52.348	- 7	7	48.44	5.514 921 63		18	13	27	2.239	- 7	32	29.26	4.809 462 63
	4	13	21	14.951	- 7	9	49.27	5.498 908 37		19	13	26	53.971	- 7	31	25.42	4.796 499 76
	5	13	21	36.981	- 7	11	46.44	5.482 862 17		20	13	26	45.011	- 7	30	17.63	4.783 713 13
	6	13	21	58.432	- 7	13	39.95	5.466 787 22		21	13	26	35.362	- 7	29	5.89	4.771 107 60
	7	13	22	19.300	- 7	15	29.77	5.450 687 70		22	13	26	25.028	- 7	27	50.25	4.758 688 02
	8	13	22	39.580	- 7	17	15.89	5.434 567 69		23	13	26	14.014	- 7	26	30.73	4.746 459 26
	9	13	22	59.269	- 7	18	58.30	5.418 431 21		24	13	26	2.323	- 7	25	7.37	4.734 426 16
	10	13	23	18.361	- 7	20	36.97	5.402 282 22		25	13	25	49.963	- 7	23	40.19	4.722 593 56
	11	13	23	36.848	- 7	22	11.87	5.386 124 60		26	13	25	36.938	- 7	22	9.23	4.710 966 25
	12	13	23	54.724	- 7	23	42.99	5.369 962 19		27	13	25	23.259	- 7	20	34.55	4.699 548 96
	13	13	24	11.980	- 7	25	10.27	5.353 798 82		28	13	25	8.932	- 7	18	56.19	4.688 346 35
14	13	24	28.611	- 7	26	33.69	5.337 638 36	Mars	1	13	24	53.969	- 7	17	14.22	4.677 362 92	
15	13	24	44.609	- 7	27	53.22	5.321 484 78		2	13	24	38.382	- 7	15	28.70	4.666 603 03	
16	13	24	59.969	- 7	29	8.82	5.305 342 12		3	13	24	22.181	- 7	13	39.71	4.656 070 89	
17	13	25	14.685	- 7	30	20.49	5.289 214 57		4	13	24	5.379	- 7	11	47.31	4.645 770 49	
18	13	25	28.753	- 7	31	28.19	5.273 106 42		5	13	23	47.986	- 7	9	51.59	4.635 705 64	
19	13	25	42.168	- 7	32	31.91	5.257 022 06		6	13	23	30.014	- 7	7	52.61	4.625 880 00	
20	13	25	54.924	- 7	33	31.63	5.240 965 99		7	13	23	11.473	- 7	5	50.44	4.616 297 06	
21	13	26	7.016	- 7	34	27.33	5.224 942 82		8	13	22	52.374	- 7	3	45.14	4.606 960 19	
22	13	26	18.439	- 7	35	19.00	5.208 957 21		9	13	22	32.727	- 7	1	36.78	4.597 872 65	
23	13	26	29.188	- 7	36	6.61	5.193 013 92		10	13	22	12.544	- 6	59	25.43	4.589 037 63	
24	13	26	39.257	- 7	36	50.14	5.177 117 76		11	13	21	51.837	- 6	57	11.16	4.580 458 27	
25	13	26	48.642	- 7	37	29.58	5.161 273 63		12	13	21	30.620	- 6	54	54.05	4.572 137 66	
26	13	26	57.336	- 7	38	4.90	5.145 486 49		13	13	21	8.906	- 6	52	34.19	4.564 078 88	
27	13	27	5.335	- 7	38	36.08	5.129 761 36		14	13	20	46.710	- 6	50	11.66	4.556 284 99	
28	13	27	12.635	- 7	39	3.11	5.114 103 31	15	13	20	24.047	- 6	47	46.55	4.548 759 03		
29	13	27	19.232	- 7	39	25.96	5.098 517 44	16	13	20	0.930	- 6	45	18.95	4.541 504 00		
30	13	27	25.122	- 7	39	44.63	5.083 008 87	17	13	19	37.375	- 6	42	48.96	4.534 522 89		
31	13	27	30.304	- 7	39	59.10	5.067 582 72	18	13	19	13.397	- 6	40	16.68	4.527 818 61		
Févr.	1	13	27	34.776	- 7	40	9.38	5.052 244 08	19	13	18	49.012	- 6	37	42.19	4.521 394 02	
	2	13	27	38.539	- 7	40	15.46	5.036 997 98	20	13	18	24.234	- 6	35	5.60	4.515 251 90	
	3	13	27	41.592	- 7	40	17.36	5.021 849 36	21	13	17	59.080	- 6	32	27.00	4.509 394 96	
	4	13	27	43.937	- 7	40	15.09	5.006 803 10	22	13	17	33.566	- 6	29	46.49	4.503 825 82	
	5	13	27	45.573	- 7	40	8.66	4.991 863 96	23	13	17	7.708	- 6	27	4.17	4.498 547 01	
	6	13	27	46.501	- 7	39	58.09	4.977 036 59	24	13	16	41.524	- 6	24	20.15	4.493 560 94	
	7	13	27	46.720	- 7	39	43.36	4.962 325 57	25	13	16	15.031	- 6	21	34.53	4.488 869 94	
	8	13	27	46.228	- 7	39	24.50	4.947 735 38	26	13	15	48.247	- 6	18	47.41	4.484 476 18	
	9	13	27	45.024	- 7	39	1.49	4.933 270 46	27	13	15	21.194	- 6	15	58.92	4.480 381 69	
	10	13	27	43.108	- 7	38	34.35	4.918 935 21	28	13	14	53.891	- 6	13	9.19	4.476 588 32	
	11	13	27	40.479	- 7	38	3.06	4.904 734 04	29	13	14	26.360	- 6	10	18.33	4.473 097 70	
	12	13	27	37.137	- 7	37	27.64	4.890 671 43	30	13	13	58.624	- 6	7	26.48	4.469 911 18	
	13	13	27	33.085	- 7	36	48.10	4.876 751 87	31	13	13	30.705	- 6	4	33.79	4.467 029 87	
	14	13	27	28.324	- 7	36	4.45	4.862 979 95	Avril	1	13	13	2.624	- 6	1	40.39	4.464 454 60

## JUPITER 2017 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			
<b>Avril</b>	2	13	12	34.401	- 5	58	46.39	4.462 185 95	<b>Mai</b>	18	12	53	46.697	- 4	8	2.24	4.674 175 79	
	3	13	12	6.055	- 5	55	51.94	4.460 224 28		19	12	53	31.950	- 4	6	44.43	4.684 820 52	
	4	13	11	37.606	- 5	52	57.13	4.458 569 75		20	12	53	17.803	- 4	5	30.55	4.695 669 08	
	5	13	11	9.072	- 5	50	2.09	4.457 222 38		21	12	53	4.264	- 4	4	20.64	4.706 717 55	
	6	13	10	40.473	- 5	47	6.93	4.456 182 09		22	12	52	51.340	- 4	3	14.76	4.717 961 91	
	7	13	10	11.828	- 5	44	11.78	4.455 448 66		23	12	52	39.041	- 4	2	12.94	4.729 398 05	
	8	13	9	43.158	- 5	41	16.75	4.455 021 81		24	12	52	27.374	- 4	1	15.22	4.741 021 70	
	9	13	9	14.482	- 5	38	21.97	4.454 901 21		25	12	52	16.347	- 4	0	21.66	4.752 828 47	
	10	13	8	45.820	- 5	35	27.56	4.455 086 43		26	12	52	5.966	- 3	59	32.29	4.764 813 76	
	11	13	8	17.193	- 5	32	33.64	4.455 577 00		27	12	51	56.235	- 3	58	47.13	4.776 972 87	
	12	13	7	48.621	- 5	29	40.36	4.456 372 37		28	12	51	47.157	- 3	58	6.20	4.789 300 97	
	13	13	7	20.122	- 5	26	47.81	4.457 471 95		29	12	51	38.734	- 3	57	29.50	4.801 793 16	
	14	13	6	51.718	- 5	23	56.13	4.458 875 05		30	12	51	30.967	- 3	56	57.03	4.814 444 58	
	15	13	6	23.425	- 5	21	5.44	4.460 580 91		31	12	51	23.857	- 3	56	28.80	4.827 250 38	
	16	13	5	55.263	- 5	18	15.85	4.462 588 67		<b>Juin</b>	1	12	51	17.406	- 3	56	4.81	4.840 205 81
	17	13	5	27.250	- 5	15	27.48	4.464 897 37		2	12	51	11.617	- 3	55	45.06	4.853 306 18	
18	13	4	59.405	- 5	12	40.43	4.467 505 97	3	12	51	6.491	- 3	55	29.57	4.866 546 90			
19	13	4	31.745	- 5	9	54.82	4.470 413 30	4	12	51	2.030	- 3	55	18.34	4.879 923 46			
20	13	4	4.289	- 5	7	10.77	4.473 618 09	5	12	50	58.234	- 3	55	11.37	4.893 431 43			
21	13	3	37.054	- 5	4	28.37	4.477 118 95	6	12	50	55.104	- 3	55	8.66	4.907 066 42			
22	13	3	10.059	- 5	1	47.74	4.480 914 38	7	12	50	52.641	- 3	55	10.20	4.920 824 13			
23	13	2	43.323	- 4	59	8.99	4.485 002 71	8	12	50	50.844	- 3	55	15.99	4.934 700 30			
24	13	2	16.864	- 4	56	32.23	4.489 382 15	9	12	50	49.712	- 3	55	26.02	4.948 690 74			
25	13	1	50.703	- 4	53	57.59	4.494 050 70	10	12	50	49.243	- 3	55	40.28	4.962 791 28			
26	13	1	24.859	- 4	51	25.17	4.499 006 16	11	12	50	49.437	- 3	55	58.74	4.976 997 82			
27	13	0	59.352	- 4	48	55.12	4.504 246 08	12	12	50	50.291	- 3	56	21.40	4.991 306 26			
28	13	0	34.201	- 4	46	27.53	4.509 767 75	13	12	50	51.804	- 3	56	48.23	5.005 712 56			
29	13	0	9.422	- 4	44	2.52	4.515 568 24	14	12	50	53.973	- 3	57	19.21	5.020 212 67			
30	12	59	45.031	- 4	41	40.18	4.521 644 39	15	12	50	56.797	- 3	57	54.33	5.034 802 58			
<b>Mai</b>	1	12	59	21.041	- 4	39	20.59	4.527 992 90	16	12	51	0.275	- 3	58	33.56	5.049 478 25		
2	12	58	57.465	- 4	37	3.84	4.534 610 34	17	12	51	4.405	- 3	59	16.89	5.064 235 66			
3	12	58	34.318	- 4	34	50.01	4.541 493 23	18	12	51	9.186	- 4	0	4.31	5.079 070 74			
4	12	58	11.611	- 4	32	39.17	4.548 638 05	19	12	51	14.618	- 4	0	55.80	5.093 979 39			
5	12	57	49.359	- 4	30	31.41	4.556 041 27	20	12	51	20.701	- 4	1	51.35	5.108 957 45			
6	12	57	27.573	- 4	28	26.80	4.563 699 32	21	12	51	27.435	- 4	2	50.96	5.124 000 67			
7	12	57	6.268	- 4	26	25.42	4.571 608 67	22	12	51	34.818	- 4	3	54.62	5.139 104 71			
8	12	56	45.456	- 4	24	27.34	4.579 765 77	23	12	51	42.847	- 4	5	2.30	5.154 265 13			
9	12	56	25.147	- 4	22	32.64	4.588 167 06	24	12	51	51.520	- 4	6	13.97	5.169 477 40			
10	12	56	5.354	- 4	20	41.38	4.596 809 00	25	12	52	0.831	- 4	7	29.60	5.184 736 96			
11	12	55	46.086	- 4	18	53.64	4.605 688 00	26	12	52	10.774	- 4	8	49.16	5.200 039 24			
12	12	55	27.354	- 4	17	9.46	4.614 800 50	27	12	52	21.345	- 4	10	12.58	5.215 379 72			
13	12	55	9.167	- 4	15	28.91	4.624 142 91	28	12	52	32.537	- 4	11	39.85	5.230 754 00			
14	12	54	51.534	- 4	13	52.04	4.633 711 60	29	12	52	44.348	- 4	13	10.92	5.246 157 78			
15	12	54	34.462	- 4	12	18.89	4.643 502 92	30	12	52	56.773	- 4	14	45.76	5.261 586 91			
16	12	54	17.961	- 4	10	49.51	4.653 513 21	<b>Juill.</b>	1	12	53	9.808	- 4	16	24.34	5.277 037 37		
17	12	54	2.036	- 4	9	23.95	4.663 738 76	2	12	53	23.449	- 4	18	6.64	5.292 505 21			

## JUPITER 2017 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		
<b>Juill.</b>	3	12	53	37.693	- 4	19	52.61	5.307 986 63	<b>Août</b>	18	13	13	55.209	- 6	36	1.32	5.976 663 60
	4	12	53	52.533	- 4	21	42.22	5.323 477 90		19	13	14	31.956	- 6	39	55.31	5.989 117 22
	5	12	54	7.965	- 4	23	35.44	5.338 975 36		20	13	15	9.060	- 6	43	51.07	6.001 439 60
	6	12	54	23.983	- 4	25	32.22	5.354 475 44		21	13	15	46.513	- 6	47	48.54	6.013 628 04
	7	12	54	40.583	- 4	27	32.53	5.369 974 64		22	13	16	24.311	- 6	51	47.67	6.025 679 93
	8	12	54	57.758	- 4	29	36.32	5.385 469 51		23	13	17	2.447	- 6	55	48.43	6.037 592 74
	9	12	55	15.503	- 4	31	43.55	5.400 956 67		24	13	17	40.919	- 6	59	50.77	6.049 364 07
	10	12	55	33.811	- 4	33	54.17	5.416 432 80		25	13	18	19.722	- 7	3	54.66	6.060 991 66
	11	12	55	52.678	- 4	36	8.15	5.431 894 59		26	13	18	58.850	- 7	8	0.06	6.072 473 34
	12	12	56	12.098	- 4	38	25.44	5.447 338 79		27	13	19	38.299	- 7	12	6.94	6.083 807 08
	13	12	56	32.065	- 4	40	46.00	5.462 762 15		28	13	20	18.064	- 7	16	15.25	6.094 990 91
	14	12	56	52.577	- 4	43	9.78	5.478 161 45		29	13	20	58.140	- 7	20	24.97	6.106 022 98
	15	12	57	13.628	- 4	45	36.77	5.493 533 44		30	13	21	38.521	- 7	24	36.04	6.116 901 48
	16	12	57	35.216	- 4	48	6.92	5.508 874 84		31	13	22	19.201	- 7	28	48.43	6.127 624 68
	17	12	57	57.337	- 4	50	40.21	5.524 182 34		<b>Sept.</b> 1	13	23	0.175	- 7	33	2.08	6.138 190 91
	18	12	58	19.988	- 4	53	16.61	5.539 452 60		2	13	23	41.436	- 7	37	16.97	6.148 598 53
	19	12	58	43.166	- 4	55	56.10	5.554 682 17		3	13	24	22.980	- 7	41	33.04	6.158 845 99
20	12	59	6.867	- 4	58	38.63	5.569 867 55	4	13	25	4.801	- 7	45	50.24	6.168 931 77		
21	12	59	31.085	- 5	1	24.18	5.585 005 17	5	13	25	46.894	- 7	50	8.55	6.178 854 36		
22	12	59	55.814	- 5	4	12.70	5.600 091 38	6	13	26	29.255	- 7	54	27.90	6.188 612 32		
23	13	0	21.048	- 5	7	4.14	5.615 122 55	7	13	27	11.880	- 7	58	48.29	6.198 204 18		
24	13	0	46.778	- 5	9	58.44	5.630 095 04	8	13	27	54.765	- 8	3	9.65	6.207 628 46		
25	13	1	12.998	- 5	12	55.56	5.645 005 28	9	13	28	37.909	- 8	7	31.98	6.216 883 67		
26	13	1	39.702	- 5	15	55.44	5.659 849 83	10	13	29	21.308	- 8	11	55.25	6.225 968 22		
27	13	2	6.886	- 5	18	58.05	5.674 625 36	11	13	30	4.960	- 8	16	19.43	6.234 880 50		
28	13	2	34.545	- 5	22	3.35	5.689 328 68	12	13	30	48.862	- 8	20	44.49	6.243 618 78		
29	13	3	2.673	- 5	25	11.30	5.703 956 72	13	13	31	33.009	- 8	25	10.41	6.252 181 30		
30	13	3	31.264	- 5	28	21.86	5.718 506 55	14	13	32	17.397	- 8	29	37.14	6.260 566 22		
31	13	4	0.315	- 5	31	34.99	5.732 975 31	15	13	33	2.020	- 8	34	4.66	6.268 771 67		
<b>Août</b> 1	13	4	29.819	- 5	34	50.64	5.747 360 23	16	13	33	46.871	- 8	38	32.91	6.276 795 78		
2	13	4	59.769	- 5	38	8.79	5.761 658 64	17	13	34	31.946	- 8	43	1.84	6.284 636 67		
3	13	5	30.160	- 5	41	29.37	5.775 867 92	18	13	35	17.238	- 8	47	31.43	6.292 292 54		
4	13	6	0.987	- 5	44	52.34	5.789 985 53	19	13	36	2.745	- 8	52	1.61	6.299 761 62		
5	13	6	32.241	- 5	48	17.67	5.804 008 96	20	13	36	48.460	- 8	56	32.37	6.307 042 26		
6	13	7	3.918	- 5	51	45.29	5.817 935 78	21	13	37	34.381	- 9	1	3.67	6.314 132 94		
7	13	7	36.012	- 5	55	15.17	5.831 763 62	22	13	38	20.503	- 9	5	35.47	6.321 032 21		
8	13	8	8.516	- 5	58	47.26	5.845 490 12	23	13	39	6.822	- 9	10	7.74	6.327 738 78		
9	13	8	41.425	- 6	2	21.51	5.859 112 96	24	13	39	53.334	- 9	14	40.45	6.334 251 42		
10	13	9	14.735	- 6	5	57.88	5.872 629 83	25	13	40	40.033	- 9	19	13.56	6.340 569 02		
11	13	9	48.442	- 6	9	36.34	5.886 038 41	26	13	41	26.914	- 9	23	47.04	6.346 690 56		
12	13	10	22.542	- 6	13	16.85	5.899 336 37	27	13	42	13.972	- 9	28	20.85	6.352 615 06		
13	13	10	57.032	- 6	16	59.38	5.912 521 32	28	13	43	1.202	- 9	32	54.95	6.358 341 62		
14	13	11	31.909	- 6	20	43.90	5.925 590 83	29	13	43	48.597	- 9	37	29.30	6.363 869 40		
15	13	12	7.170	- 6	24	30.39	5.938 542 41	30	13	44	36.153	- 9	42	3.87	6.369 197 61		
16	13	12	42.810	- 6	28	18.82	5.951 373 49	<b>Oct.</b> 1	13	45	23.865	- 9	46	38.60	6.374 325 51		
17	13	13	18.825	- 6	32	9.14	5.964 081 45	2	13	46	11.727	- 9	51	13.46	6.379 252 41		

## JUPITER 2017 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	46	59.734	-9	55	48.41	6.383 977 66	Nov.	18	14	25	12.371	-13	19	30.52	6.373 015 19	
	4	13	47	47.884	-10	0	23.42	6.388 500 62		19	14	26	2.232	-13	23	35.64	6.367 742 61	
	5	13	48	36.172	-10	4	58.45	6.392 820 68		20	14	26	52.011	-13	27	39.44	6.362 259 08	
	6	13	49	24.597	-10	9	33.49	6.396 937 21		21	14	27	41.701	-13	31	41.89	6.356 565 48	
	7	13	50	13.155	-10	14	8.50	6.400 849 52		22	14	28	31.295	-13	35	42.97	6.350 662 80	
	8	13	51	1.845	-10	18	43.47	6.404 556 88		23	14	29	20.787	-13	39	42.63	6.344 552 08	
	9	13	51	50.663	-10	23	18.37	6.408 058 46		24	14	30	10.169	-13	43	40.85	6.338 234 44	
	10	13	52	39.606	-10	27	53.19	6.411 353 35		25	14	30	59.436	-13	47	37.60	6.331 711 06	
	11	13	53	28.669	-10	32	27.89	6.414 440 57		26	14	31	48.580	-13	51	32.85	6.324 983 17	
	12	13	54	17.846	-10	37	2.44	6.417 319 11		27	14	32	37.597	-13	55	26.57	6.318 052 07	
	13	13	55	7.131	-10	41	36.79	6.419 987 91		28	14	33	26.480	-13	59	18.73	6.310 919 09	
	14	13	55	56.518	-10	46	10.92	6.422 445 96		29	14	34	15.225	-14	3	9.30	6.303 585 58	
	15	13	56	46.004	-10	50	44.77	6.424 692 25		30	14	35	3.828	-14	6	58.28	6.296 052 95	
	16	13	57	35.581	-10	55	18.30	6.426 725 88		Déc.	1	14	35	52.284	-14	10	45.64	6.288 322 57
	17	13	58	25.248	-10	59	51.50	6.428 545 99			2	14	36	40.590	-14	14	31.37	6.280 395 79
	18	13	59	14.999	-11	4	24.32	6.430 151 83		3	14	37	28.742	-14	18	15.46	6.272 273 91	
	19	14	0	4.830	-11	8	56.74	6.431 542 78		4	14	38	16.733	-14	21	57.91	6.263 958 12	
20	14	0	54.737	-11	13	28.74	6.432 718 31	5	14	39	4.558	-14	25	38.70	6.255 449 54			
21	14	1	44.716	-11	18	0.27	6.433 677 99	6	14	39	52.208	-14	29	17.80	6.246 749 18			
22	14	2	34.761	-11	22	31.31	6.434 421 51	7	14	40	39.675	-14	32	55.18	6.237 858 04			
23	14	3	24.867	-11	27	1.84	6.434 948 64	8	14	41	26.953	-14	36	30.80	6.228 777 11			
24	14	4	15.028	-11	31	31.81	6.435 259 24	9	14	42	14.034	-14	40	4.64	6.219 507 43			
25	14	5	5.239	-11	36	1.20	6.435 353 25	10	14	43	0.913	-14	43	36.67	6.210 050 15			
26	14	5	55.493	-11	40	29.96	6.435 230 66	11	14	43	47.583	-14	47	6.88	6.200 406 48			
27	14	6	45.785	-11	44	58.06	6.434 891 54	12	14	44	34.040	-14	50	35.23	6.190 577 80			
28	14	7	36.109	-11	49	25.47	6.434 336 01	13	14	45	20.276	-14	54	1.72	6.180 565 57			
29	14	8	26.459	-11	53	52.14	6.433 564 24	14	14	46	6.286	-14	57	26.33	6.170 371 36			
30	14	9	16.831	-11	58	18.05	6.432 576 45	15	14	46	52.063	-15	0	49.04	6.159 996 88			
31	14	10	7.220	-12	2	43.16	6.431 372 91	16	14	47	37.599	-15	4	9.83	6.149 443 92			
Nov.	1	14	10	57.622	-12	7	7.44	6.429 953 92	17	14	48	22.887	-15	7	28.69	6.138 714 36		
	2	14	11	48.032	-12	11	30.86	6.428 319 79	18	14	49	7.919	-15	10	45.58	6.127 810 22		
	3	14	12	38.449	-12	15	53.41	6.426 470 82	19	14	49	52.686	-15	14	0.48	6.116 733 55		
	4	14	13	28.870	-12	20	15.06	6.424 407 28	20	14	50	37.180	-15	17	13.38	6.105 486 54		
	5	14	14	19.291	-12	24	35.80	6.422 129 36	21	14	51	21.394	-15	20	24.25	6.094 071 41		
	6	14	15	9.710	-12	28	55.62	6.419 637 17	22	14	52	5.319	-15	23	33.05	6.082 490 49		
	7	14	16	0.119	-12	33	14.50	6.416 930 72	23	14	52	48.947	-15	26	39.78	6.070 746 14		
	8	14	16	50.514	-12	37	32.40	6.414 009 97	24	14	53	32.273	-15	29	44.39	6.058 840 81		
	9	14	17	40.888	-12	41	49.29	6.410 874 80	25	14	54	15.288	-15	32	46.87	6.046 776 98		
	10	14	18	31.234	-12	46	5.13	6.407 525 12	26	14	54	57.986	-15	35	47.21	6.034 557 18		
	11	14	19	21.546	-12	50	19.90	6.403 960 87	27	14	55	40.362	-15	38	45.38	6.022 183 95		
	12	14	20	11.820	-12	54	33.55	6.400 182 05	28	14	56	22.411	-15	41	41.38	6.009 659 88		
	13	14	21	2.050	-12	58	46.05	6.396 188 74	29	14	57	4.126	-15	44	35.19	5.996 987 53		
	14	14	21	52.231	-13	2	57.38	6.391 981 14	30	14	57	45.504	-15	47	26.82	5.984 169 45		
	15	14	22	42.359	-13	7	7.52	6.387 559 53	31	14	58	26.537	-15	50	16.26	5.971 208 11		
	16	14	23	32.428	-13	11	16.44	6.382 924 31	32	14	59	7.219	-15	53	3.50	5.958 105 93		
	17	14	24	22.434	-13	15	24.11	6.378 075 99	33	14	59	47.541	-15	55	48.54	5.944 865 21		

## SATURNE 2017 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	22	17.917	-21	51	57.88	10.975 525 33	Févr.	15	17	41	48.843	-22	4	28.82	10.497 450 44
	1	17	22	47.344	-21	52	25.75	10.970 076 36		16	17	42	8.428	-22	4	34.59	10.482 825 36
	2	17	23	16.664	-21	52	53.08	10.964 378 08		17	17	42	27.694	-22	4	40.00	10.468 070 50
	3	17	23	45.872	-21	53	19.86	10.958 432 06		18	17	42	46.638	-22	4	45.06	10.453 189 43
	4	17	24	14.962	-21	53	46.08	10.952 239 98		19	17	43	5.255	-22	4	49.78	10.438 185 81
	5	17	24	43.931	-21	54	11.75	10.945 803 61		20	17	43	23.541	-22	4	54.18	10.423 063 40
	6	17	25	12.774	-21	54	36.86	10.939 124 82		21	17	43	41.490	-22	4	58.27	10.407 826 04
	7	17	25	41.489	-21	55	1.41	10.932 205 54		22	17	43	59.099	-22	5	2.05	10.392 477 65
	8	17	26	10.072	-21	55	25.40	10.925 047 73		23	17	44	16.361	-22	5	5.54	10.377 022 27
	9	17	26	38.518	-21	55	48.86	10.917 653 37		24	17	44	33.272	-22	5	8.74	10.361 464 04
	10	17	27	6.824	-21	56	11.79	10.910 024 40		25	17	44	49.826	-22	5	11.65	10.345 807 18
	11	17	27	34.983	-21	56	34.20	10.902 162 72		26	17	45	6.019	-22	5	14.27	10.330 056 07
	12	17	28	2.989	-21	56	56.10	10.894 070 15		27	17	45	21.847	-22	5	16.60	10.314 215 16
	13	17	28	30.835	-21	57	17.48	10.885 748 47		28	17	45	37.306	-22	5	18.64	10.298 289 02
14	17	28	58.515	-21	57	38.35	10.877 199 38	Mars	1	17	45	52.395	-22	5	20.39	10.282 282 30	
15	17	29	26.026	-21	57	58.69	10.868 424 57		2	17	46	7.113	-22	5	21.86	10.266 199 69	
16	17	29	53.361	-21	58	18.49	10.859 425 77		3	17	46	21.456	-22	5	23.05	10.250 045 92	
17	17	30	20.519	-21	58	37.76	10.850 204 73		4	17	46	35.423	-22	5	24.00	10.233 825 67	
18	17	30	47.494	-21	58	56.50	10.840 763 30		5	17	46	49.013	-22	5	24.71	10.217 543 60	
19	17	31	14.283	-21	59	14.71	10.831 103 40		6	17	47	2.220	-22	5	25.19	10.201 204 29	
20	17	31	40.882	-21	59	32.40	10.821 227 05		7	17	47	15.042	-22	5	25.47	10.184 812 25	
21	17	32	7.286	-21	59	49.59	10.811 136 39		8	17	47	27.474	-22	5	25.55	10.168 371 91	
22	17	32	33.490	-22	0	6.27	10.800 833 63		9	17	47	39.512	-22	5	25.42	10.151 887 62	
23	17	32	59.489	-22	0	22.45	10.790 321 09		10	17	47	51.154	-22	5	25.10	10.135 363 66	
24	17	33	25.278	-22	0	38.15	10.779 601 20		11	17	48	2.397	-22	5	24.58	10.118 804 28	
25	17	33	50.850	-22	0	53.38	10.768 676 50		12	17	48	13.240	-22	5	23.87	10.102 213 71	
26	17	34	16.200	-22	1	8.13	10.757 549 62		13	17	48	23.680	-22	5	22.95	10.085 596 17	
27	17	34	41.321	-22	1	22.41	10.746 223 33		14	17	48	33.717	-22	5	21.84	10.068 955 89	
28	17	35	6.207	-22	1	36.23	10.734 700 52	15	17	48	43.349	-22	5	20.55	10.052 297 17		
29	17	35	30.852	-22	1	49.57	10.722 984 19	16	17	48	52.575	-22	5	19.08	10.035 624 34		
30	17	35	55.251	-22	2	2.45	10.711 077 47	17	17	49	1.394	-22	5	17.45	10.018 941 81		
31	17	36	19.398	-22	2	14.86	10.698 983 62	18	17	49	9.803	-22	5	15.67	10.002 254 03		
Févr.	1	17	36	43.291	-22	2	26.78	10.686 705 99	19	17	49	17.799	-22	5	13.75	9.985 565 55	
	2	17	37	6.925	-22	2	38.24	10.674 248 01	20	17	49	25.380	-22	5	11.70	9.968 880 95	
	3	17	37	30.298	-22	2	49.23	10.661 613 17	21	17	49	32.544	-22	5	9.52	9.952 204 89	
	4	17	37	53.406	-22	2	59.77	10.648 804 97	22	17	49	39.287	-22	5	7.23	9.935 542 12	
	5	17	38	16.246	-22	3	9.87	10.635 826 95	23	17	49	45.606	-22	5	4.83	9.918 897 41	
	6	17	38	38.814	-22	3	19.55	10.622 682 59	24	17	49	51.500	-22	5	2.32	9.902 275 65	
	7	17	39	1.105	-22	3	28.81	10.609 375 35	25	17	49	56.965	-22	4	59.70	9.885 681 79	
	8	17	39	23.113	-22	3	37.68	10.595 908 62	26	17	50	2.000	-22	4	56.96	9.869 120 86	
	9	17	39	44.833	-22	3	46.16	10.582 285 73	27	17	50	6.603	-22	4	54.11	9.852 597 98	
	10	17	40	6.260	-22	3	54.25	10.568 509 94	28	17	50	10.776	-22	4	51.14	9.836 118 34	
	11	17	40	27.387	-22	4	1.95	10.554 584 48	29	17	50	14.518	-22	4	48.04	9.819 687 17	
	12	17	40	48.213	-22	4	9.25	10.540 512 57	30	17	50	17.831	-22	4	44.84	9.803 309 71	
	13	17	41	8.733	-22	4	16.16	10.526 297 40	31	17	50	20.716	-22	4	41.53	9.786 991 17	
	14	17	41	28.944	-22	4	22.68	10.511 942 25	Avril	1	17	50	23.174	-22	4	38.14	9.770 736 68

## SATURNE 2017 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	50	25.204	-22	4	34.68	9.754 551 26	Mai	18	17	44	44.489	-22	1	2.25	9.161 973 27	
	3	17	50	26.805	-22	4	31.15	9.738 439 81		19	17	44	29.063	-22	0	56.66	9.153 935 01	
	4	17	50	27.977	-22	4	27.57	9.722 407 10		20	17	44	13.384	-22	0	51.02	9.146 157 93	
	5	17	50	28.718	-22	4	23.94	9.706 457 78		21	17	43	57.461	-22	0	45.32	9.138 644 96	
	6	17	50	29.029	-22	4	20.24	9.690 596 42		22	17	43	41.302	-22	0	39.55	9.131 398 99	
	7	17	50	28.911	-22	4	16.48	9.674 827 49		23	17	43	24.916	-22	0	33.71	9.124 422 88	
	8	17	50	28.364	-22	4	12.66	9.659 155 41		24	17	43	8.313	-22	0	27.81	9.117 719 41	
	9	17	50	27.391	-22	4	8.76	9.643 584 57		25	17	42	51.504	-22	0	21.84	9.111 291 26	
	10	17	50	25.993	-22	4	4.79	9.628 119 34		26	17	42	34.499	-22	0	15.84	9.105 140 93	
	11	17	50	24.174	-22	4	0.76	9.612 764 05		27	17	42	17.304	-22	0	9.80	9.099 270 72	
	12	17	50	21.935	-22	3	56.67	9.597 523 08		28	17	41	59.929	-22	0	3.74	9.093 682 70	
	13	17	50	19.278	-22	3	52.52	9.582 400 81		29	17	41	42.379	-21	59	57.66	9.088 378 67	
	14	17	50	16.205	-22	3	48.32	9.567 401 63		30	17	41	24.663	-21	59	51.56	9.083 360 23	
	15	17	50	12.717	-22	3	44.08	9.552 529 97		31	17	41	6.789	-21	59	45.42	9.078 628 77	
	16	17	50	8.815	-22	3	39.81	9.537 790 29		Juin	1	17	40	48.767	-21	59	39.24	9.074 185 51
	17	17	50	4.501	-22	3	35.51	9.523 187 07			2	17	40	30.608	-21	59	33.02	9.070 031 58
18	17	49	59.774	-22	3	31.18	9.508 724 82	3	17		40	12.321	-21	59	26.75	9.066 167 98		
19	17	49	54.638	-22	3	26.82	9.494 408 08	4	17		39	53.917	-21	59	20.43	9.062 595 63		
20	17	49	49.092	-22	3	22.43	9.480 241 40	5	17		39	35.406	-21	59	14.08	9.059 315 41		
21	17	49	43.139	-22	3	18.01	9.466 229 38	6	17		39	16.798	-21	59	7.70	9.056 328 09		
22	17	49	36.780	-22	3	13.55	9.452 376 65	7	17		38	58.104	-21	59	1.30	9.053 634 42		
23	17	49	30.018	-22	3	9.04	9.438 687 86	8	17		38	39.331	-21	58	54.88	9.051 235 07		
24	17	49	22.858	-22	3	4.48	9.425 167 70	9	17		38	20.489	-21	58	48.46	9.049 130 66		
25	17	49	15.303	-22	2	59.86	9.411 820 88	10	17		38	1.587	-21	58	42.04	9.047 321 76		
26	17	49	7.360	-22	2	55.18	9.398 652 10	11	17		37	42.632	-21	58	35.62	9.045 808 92		
27	17	48	59.034	-22	2	50.44	9.385 666 01	12	17	37	23.633	-21	58	29.22	9.044 592 60			
28	17	48	50.330	-22	2	45.65	9.372 867 16	13	17	37	4.599	-21	58	22.82	9.043 673 26			
29	17	48	41.253	-22	2	40.84	9.360 259 95	14	17	36	45.538	-21	58	16.45	9.043 051 27			
30	17	48	31.807	-22	2	36.00	9.347 848 61	15	17	36	26.458	-21	58	10.08	9.042 727 00			
Mai	1	17	48	21.995	-22	2	31.14	9.335 637 15	16	17	36	7.368	-21	58	3.72	9.042 700 74		
	2	17	48	11.820	-22	2	26.26	9.323 629 44	17	17	35	48.280	-21	57	57.37	9.042 972 75		
	3	17	48	1.287	-22	2	21.35	9.311 829 16	18	17	35	29.201	-21	57	51.03	9.043 543 20		
	4	17	47	50.401	-22	2	16.41	9.300 239 86	19	17	35	10.145	-21	57	44.70	9.044 412 23		
	5	17	47	39.167	-22	2	11.41	9.288 864 98	20	17	34	51.121	-21	57	38.38	9.045 579 88		
	6	17	47	27.592	-22	2	6.37	9.277 707 90	21	17	34	32.142	-21	57	32.09	9.047 046 08		
	7	17	47	15.684	-22	2	1.27	9.266 771 90	22	17	34	13.218	-21	57	25.84	9.048 810 59		
	8	17	47	3.448	-22	1	56.11	9.256 060 25	23	17	33	54.359	-21	57	19.65	9.050 873 02		
	9	17	46	50.892	-22	1	50.90	9.245 576 13	24	17	33	35.575	-21	57	13.54	9.053 232 74		
	10	17	46	38.022	-22	1	45.64	9.235 322 72	25	17	33	16.873	-21	57	7.52	9.055 888 85		
	11	17	46	24.845	-22	1	40.34	9.225 303 16	26	17	32	58.261	-21	57	1.59	9.058 840 22		
12	17	46	11.366	-22	1	35.00	9.215 520 57	27	17	32	39.747	-21	56	55.76	9.062 085 50			
13	17	45	57.592	-22	1	29.63	9.205 978 03	28	17	32	21.342	-21	56	50.01	9.065 623 12			
14	17	45	43.529	-22	1	24.22	9.196 678 63	29	17	32	3.054	-21	56	44.34	9.069 451 42			
15	17	45	29.180	-22	1	18.78	9.187 625 43	30	17	31	44.895	-21	56	38.77	9.073 568 59			
16	17	45	14.554	-22	1	13.30	9.178 821 46	Juill.	1	17	31	26.875	-21	56	33.29	9.077 972 77		
17	17	44	59.654	-22	1	7.80	9.170 269 74		2	17	31	9.004	-21	56	27.91	9.082 662 04		



## SATURNE 2017 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	30	51.292	-21	56	22.66	9.087 634 41	Août	18	17	22	9.244	-21	56	45.54	9.576 523 70	
	4	17	30	33.747	-21	56	17.54	9.092 887 86		19	17	22	6.281	-21	56	54.00	9.591 504 83	
	5	17	30	16.378	-21	56	12.56	9.098 420 32		20	17	22	3.730	-21	57	2.86	9.606 607 04	
	6	17	29	59.192	-21	56	7.73	9.104 229 70		21	17	22	1.589	-21	57	12.13	9.621 825 55	
	7	17	29	42.198	-21	56	3.08	9.110 313 84		22	17	21	59.861	-21	57	21.79	9.637 155 50	
	8	17	29	25.402	-21	55	58.60	9.116 670 58		23	17	21	58.548	-21	57	31.83	9.652 591 93	
	9	17	29	8.812	-21	55	54.32	9.123 297 69		24	17	21	57.652	-21	57	42.25	9.668 129 90	
	10	17	28	52.433	-21	55	50.22	9.130 192 95		25	17	21	57.176	-21	57	53.05	9.683 764 44	
	11	17	28	36.273	-21	55	46.32	9.137 354 10		26	17	21	57.120	-21	58	4.22	9.699 490 63	
	12	17	28	20.339	-21	55	42.62	9.144 778 86		27	17	21	57.486	-21	58	15.77	9.715 303 61	
	13	17	28	4.636	-21	55	39.12	9.152 464 92		28	17	21	58.276	-21	58	27.71	9.731 198 54	
	14	17	27	49.174	-21	55	35.82	9.160 409 93		29	17	21	59.488	-21	58	40.04	9.747 170 66	
	15	17	27	33.960	-21	55	32.72	9.168 611 54		30	17	22	1.122	-21	58	52.75	9.763 215 27	
	16	17	27	19.002	-21	55	29.83	9.177 067 29		31	17	22	3.177	-21	59	5.86	9.779 327 69	
	17	17	27	4.308	-21	55	27.15	9.185 774 71		Sept.	1	17	22	5.651	-21	59	19.36	9.795 503 33
	18	17	26	49.888	-21	55	24.69	9.194 731 22		2	17	22	8.544	-21	59	33.23	9.811 737 62	
	19	17	26	35.751	-21	55	22.48	9.203 934 13		3	17	22	11.854	-21	59	47.49	9.828 026 07	
20	17	26	21.902	-21	55	20.53	9.213 380 62	4	17	22	15.578	-22	0	2.11	9.844 364 24			
21	17	26	8.349	-21	55	18.86	9.223 067 69	5	17	22	19.716	-22	0	17.08	9.860 747 77			
22	17	25	55.097	-21	55	17.49	9.232 992 17	6	17	22	24.267	-22	0	32.41	9.877 172 33			
23	17	25	42.151	-21	55	16.41	9.243 150 66	7	17	22	29.229	-22	0	48.06	9.893 633 69			
24	17	25	29.515	-21	55	15.64	9.253 539 58	8	17	22	34.603	-22	1	4.03	9.910 127 64			
25	17	25	17.194	-21	55	15.16	9.264 155 15	9	17	22	40.390	-22	1	20.32	9.926 649 98			
26	17	25	5.196	-21	55	14.98	9.274 993 48	10	17	22	46.589	-22	1	36.92	9.943 196 55			
27	17	24	53.527	-21	55	15.09	9.286 050 61	11	17	22	53.201	-22	1	53.83	9.959 763 13			
28	17	24	42.194	-21	55	15.50	9.297 322 50	12	17	23	0.226	-22	2	11.06	9.976 345 46			
29	17	24	31.202	-21	55	16.22	9.308 805 10	13	17	23	7.663	-22	2	28.60	9.992 939 19			
30	17	24	20.559	-21	55	17.26	9.320 494 36	14	17	23	15.509	-22	2	46.47	10.009 539 90			
31	17	24	10.268	-21	55	18.62	9.332 386 24	15	17	23	23.761	-22	3	4.66	10.026 143 05			
Août	1	17	24	0.335	-21	55	20.33	9.344 476 68	16	17	23	32.417	-22	3	23.15	10.042 744 03		
2	17	23	50.764	-21	55	22.38	9.356 761 65	17	17	23	41.475	-22	3	41.93	10.059 338 13			
3	17	23	41.559	-21	55	24.80	9.369 237 12	18	17	23	50.931	-22	4	1.00	10.075 920 57			
4	17	23	32.721	-21	55	27.58	9.381 899 06	19	17	24	0.784	-22	4	20.32	10.092 486 53			
5	17	23	24.254	-21	55	30.73	9.394 743 46	20	17	24	11.034	-22	4	39.89	10.109 031 20			
6	17	23	16.161	-21	55	34.26	9.407 766 33	21	17	24	21.679	-22	4	59.70	10.125 549 77			
7	17	23	8.444	-21	55	38.16	9.420 963 68	22	17	24	32.719	-22	5	19.73	10.142 037 48			
8	17	23	1.105	-21	55	42.44	9.434 331 58	23	17	24	44.152	-22	5	40.00	10.158 489 66			
9	17	22	54.147	-21	55	47.09	9.447 866 08	24	17	24	55.976	-22	6	0.48	10.174 901 68			
10	17	22	47.573	-21	55	52.10	9.461 563 27	25	17	25	8.188	-22	6	21.19	10.191 269 02			
11	17	22	41.386	-21	55	57.47	9.475 419 26	26	17	25	20.784	-22	6	42.11	10.207 587 25			
12	17	22	35.590	-21	56	3.21	9.489 430 13	27	17	25	33.762	-22	7	3.25	10.223 852 02			
13	17	22	30.189	-21	56	9.31	9.503 591 96	28	17	25	47.117	-22	7	24.59	10.240 059 04			
14	17	22	25.188	-21	56	15.78	9.517 900 77	29	17	26	0.846	-22	7	46.12	10.256 204 13			
15	17	22	20.590	-21	56	22.62	9.532 352 53	30	17	26	14.944	-22	8	7.83	10.272 283 17			
16	17	22	16.399	-21	56	29.86	9.546 943 12	Oct.	1	17	26	29.406	-22	8	29.71	10.288 292 13		
17	17	22	12.617	-21	56	37.49	9.561 668 30	2	17	26	44.230	-22	8	51.74	10.304 227 07			

## SATURNE 2017 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 26 59.411	-22 9 13.91	10.320 084 14	Nov.	18	17 44 5.069	-22 25 41.92	10.903 047 34	
	4	17 27 14.947	-22 9 36.20	10.335 859 56		19	17 44 32.934	-22 25 58.94	10.911 344 54	
	5	17 27 30.834	-22 9 58.59	10.351 549 66		20	17 45 0.966	-22 26 15.64	10.919 412 65	
	6	17 27 47.070	-22 10 21.06	10.367 150 81		21	17 45 29.159	-22 26 32.01	10.927 249 63	
	7	17 28 3.655	-22 10 43.62	10.382 659 44		22	17 45 57.507	-22 26 48.05	10.934 853 54	
	8	17 28 20.586	-22 11 6.24	10.398 071 99		23	17 46 26.005	-22 27 3.75	10.942 222 56	
	9	17 28 37.862	-22 11 28.94	10.413 384 86		24	17 46 54.646	-22 27 19.10	10.949 354 98	
	10	17 28 55.479	-22 11 51.71	10.428 594 42		25	17 47 23.424	-22 27 34.09	10.956 249 19	
	11	17 29 13.433	-22 12 14.56	10.443 696 93		26	17 47 52.334	-22 27 48.71	10.962 903 69	
	12	17 29 31.720	-22 12 37.47	10.458 688 61		27	17 48 21.370	-22 28 2.95	10.969 317 07	
	13	17 29 50.334	-22 13 0.44	10.473 565 56		28	17 48 50.528	-22 28 16.80	10.975 488 06	
	14	17 30 9.270	-22 13 23.44	10.488 323 85		29	17 49 19.802	-22 28 30.24	10.981 415 47	
	15	17 30 28.526	-22 13 46.46	10.502 959 49		30	17 49 49.191	-22 28 43.26	10.987 098 21	
	16	17 30 48.097	-22 14 9.48	10.517 468 48		Déc.	1	17 50 18.690	-22 28 55.86	10.992 535 29
	17	17 31 7.981	-22 14 32.48	10.531 846 82			2	17 50 48.296	-22 29 8.04	10.997 725 77
	18	17 31 28.175	-22 14 55.44	10.546 090 55		3	17 51 18.006	-22 29 19.80	11.002 668 74	
	19	17 31 48.677	-22 15 18.37	10.560 195 75		4	17 51 47.815	-22 29 31.16	11.007 363 27	
20	17 32 9.483	-22 15 41.25	10.574 158 58	5	17 52 17.717	-22 29 42.12	11.011 808 38			
21	17 32 30.590	-22 16 4.07	10.587 975 29	6	17 52 47.705	-22 29 52.67	11.016 003 00			
22	17 32 51.994	-22 16 26.83	10.601 642 23	7	17 53 17.773	-22 30 2.83	11.019 945 97			
23	17 33 13.691	-22 16 49.53	10.615 155 84	8	17 53 47.915	-22 30 12.56	11.023 636 09			
24	17 33 35.676	-22 17 12.15	10.628 512 66	9	17 54 18.126	-22 30 21.86	11.027 072 09			
25	17 33 57.943	-22 17 34.70	10.641 709 34	10	17 54 48.401	-22 30 30.72	11.030 252 76			
26	17 34 20.487	-22 17 57.16	10.654 742 64	11	17 55 18.737	-22 30 39.12	11.033 176 91			
27	17 34 43.302	-22 18 19.52	10.667 609 40	12	17 55 49.132	-22 30 47.06	11.035 843 43			
28	17 35 6.384	-22 18 41.76	10.680 306 56	13	17 56 19.579	-22 30 54.55	11.038 251 29			
29	17 35 29.727	-22 19 3.88	10.692 831 15	14	17 56 50.077	-22 31 1.58	11.040 399 57			
30	17 35 53.325	-22 19 25.85	10.705 180 31	15	17 57 20.619	-22 31 8.17	11.042 287 44			
31	17 36 17.175	-22 19 47.65	10.717 351 28	16	17 57 51.201	-22 31 14.30	11.043 914 20			
Nov.	1	17 36 41.272	-22 20 9.28	10.729 341 40	17	17 58 21.817	-22 31 19.99	11.045 279 24		
	2	17 37 5.614	-22 20 30.72	10.741 148 10	18	17 58 52.460	-22 31 25.24	11.046 382 08		
	3	17 37 30.196	-22 20 51.94	10.752 768 91	19	17 59 23.126	-22 31 30.05	11.047 222 35		
	4	17 37 55.017	-22 21 12.95	10.764 201 38	20	17 59 53.807	-22 31 34.42	11.047 799 80		
	5	17 38 20.073	-22 21 33.75	10.775 443 12	21	18 0 24.497	-22 31 38.35	11.048 114 29		
	6	17 38 45.362	-22 21 54.34	10.786 491 68	22	18 0 55.190	-22 31 41.84	11.048 165 81		
	7	17 39 10.878	-22 22 14.71	10.797 344 58	23	18 1 25.880	-22 31 44.88	11.047 954 45		
	8	17 39 36.615	-22 22 34.88	10.807 999 24	24	18 1 56.562	-22 31 47.47	11.047 480 41		
	9	17 40 2.568	-22 22 54.82	10.818 453 01	25	18 2 27.230	-22 31 49.60	11.046 744 00		
	10	17 40 28.730	-22 23 14.53	10.828 703 16	26	18 2 57.879	-22 31 51.26	11.045 745 65		
	11	17 40 55.096	-22 23 33.98	10.838 746 94	27	18 3 28.506	-22 31 52.46	11.044 485 86		
12	17 41 21.663	-22 23 53.16	10.848 581 58	28	18 3 59.107	-22 31 53.19	11.042 965 26			
13	17 41 48.426	-22 24 12.06	10.858 204 32	29	18 4 29.678	-22 31 53.46	11.041 184 52			
14	17 42 15.383	-22 24 30.66	10.867 612 45	30	18 5 0.215	-22 31 53.27	11.039 144 40			
15	17 42 42.529	-22 24 48.95	10.876 803 35	31	18 5 30.716	-22 31 52.64	11.036 845 67			
16	17 43 9.862	-22 25 6.92	10.885 774 42	32	18 6 1.173	-22 31 51.58	11.034 289 09			
17	17 43 37.377	-22 25 24.58	10.894 523 21	33	18 6 31.582	-22 31 50.10	11.031 475 36			

## URANUS 2017 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	16	52.338	7	28	5.25	19.732 558 9	Févr.	15	1	20	22.255	7	50	49.22	20.485 757 7
	1	1	16	52.692	7	28	9.78	19.749 494 0		16	1	20	30.801	7	51	42.26	20.499 799 7
	2	1	16	53.240	7	28	15.48	19.766 479 9		17	1	20	39.493	7	52	36.12	20.513 673 7
	3	1	16	53.982	7	28	22.35	19.783 510 9		18	1	20	48.328	7	53	30.81	20.527 376 0
	4	1	16	54.919	7	28	30.39	19.800 581 5		19	1	20	57.306	7	54	26.30	20.540 902 7
	5	1	16	56.050	7	28	39.60	19.817 686 0		20	1	21	6.422	7	55	22.59	20.554 250 1
	6	1	16	57.377	7	28	49.98	19.834 818 9		21	1	21	15.676	7	56	19.66	20.567 414 4
	7	1	16	58.900	7	29	1.54	19.851 974 8		22	1	21	25.064	7	57	17.49	20.580 391 8
	8	1	17	0.621	7	29	14.28	19.869 148 4		23	1	21	34.584	7	58	16.07	20.593 178 6
	9	1	17	2.540	7	29	28.21	19.886 334 5		24	1	21	44.232	7	59	15.38	20.605 771 1
	10	1	17	4.654	7	29	43.32	19.903 528 1		25	1	21	54.005	8	0	15.40	20.618 165 7
	11	1	17	6.963	7	29	59.61	19.920 724 1		26	1	22	3.902	8	1	16.10	20.630 358 8
	12	1	17	9.465	7	30	17.07	19.937 917 8		27	1	22	13.918	8	2	17.48	20.642 346 9
	13	1	17	12.156	7	30	35.67	19.955 104 3		28	1	22	24.053	8	3	19.51	20.654 126 5
14	1	17	15.035	7	30	55.40	19.972 278 9	Mars	1	1	22	34.306	8	4	22.18	20.665 694 4	
15	1	17	18.101	7	31	16.25	19.989 436 8		2	1	22	44.674	8	5	25.49	20.677 047 5	
16	1	17	21.354	7	31	38.21	20.006 573 0		3	1	22	55.157	8	6	29.43	20.688 182 9	
17	1	17	24.796	7	32	1.30	20.023 682 6		4	1	23	5.753	8	7	33.99	20.699 097 7	
18	1	17	28.425	7	32	25.50	20.040 760 7		5	1	23	16.459	8	8	39.16	20.709 789 4	
19	1	17	32.243	7	32	50.81	20.057 802 2		6	1	23	27.271	8	9	44.92	20.720 255 6	
20	1	17	36.249	7	33	17.25	20.074 802 1		7	1	23	38.186	8	10	51.25	20.730 494 1	
21	1	17	40.444	7	33	44.80	20.091 755 1		8	1	23	49.200	8	11	58.12	20.740 502 6	
22	1	17	44.826	7	34	13.46	20.108 656 1		9	1	24	0.309	8	13	5.51	20.750 279 1	
23	1	17	49.395	7	34	43.23	20.125 500 1		10	1	24	11.510	8	14	13.39	20.759 821 5	
24	1	17	54.150	7	35	14.11	20.142 281 7		11	1	24	22.800	8	15	21.76	20.769 128 0	
25	1	17	59.088	7	35	46.08	20.158 995 9		12	1	24	34.177	8	16	30.58	20.778 196 6	
26	1	18	4.208	7	36	19.12	20.175 637 5		13	1	24	45.641	8	17	39.85	20.787 025 2	
27	1	18	9.508	7	36	53.24	20.192 201 2		14	1	24	57.189	8	18	49.57	20.795 612 0	
28	1	18	14.986	7	37	28.41	20.208 681 9	15	1	25	8.821	8	19	59.71	20.803 954 9		
29	1	18	20.639	7	38	4.61	20.225 074 5	16	1	25	20.535	8	21	10.28	20.812 052 1		
30	1	18	26.467	7	38	41.84	20.241 373 8	17	1	25	32.329	8	22	21.26	20.819 901 4		
Févr.	31	1	18	32.467	7	39	20.09	20.257 574 9	18	1	25	44.201	8	23	32.64	20.827 501 1	
	1	1	18	38.639	7	39	59.34	20.273 672 8	19	1	25	56.148	8	24	44.40	20.834 849 1	
	2	1	18	44.983	7	40	39.58	20.289 662 6	20	1	26	8.168	8	25	56.54	20.841 943 5	
	3	1	18	51.497	7	41	20.83	20.305 539 8	21	1	26	20.256	8	27	9.03	20.848 782 6	
	4	1	18	58.181	7	42	3.06	20.321 299 8	22	1	26	32.412	8	28	21.86	20.855 364 4	
	5	1	19	5.034	7	42	46.28	20.336 938 1	23	1	26	44.630	8	29	35.00	20.861 687 1	
	6	1	19	12.053	7	43	30.48	20.352 450 7	24	1	26	56.907	8	30	48.43	20.867 749 1	
	7	1	19	19.237	7	44	15.63	20.367 833 3	25	1	27	9.241	8	32	2.14	20.873 548 6	
	8	1	19	26.580	7	45	1.74	20.383 082 1	26	1	27	21.629	8	33	16.10	20.879 084 0	
	9	1	19	34.081	7	45	48.76	20.398 193 2	27	1	27	34.068	8	34	30.29	20.884 353 8	
	10	1	19	41.736	7	46	36.68	20.413 162 8	28	1	27	46.556	8	35	44.70	20.889 356 6	
	11	1	19	49.542	7	47	25.48	20.427 987 2	29	1	27	59.092	8	36	59.33	20.894 091 0	
	12	1	19	57.498	7	48	15.14	20.442 662 6	30	1	28	11.675	8	38	14.16	20.898 556 1	
	13	1	20	5.602	7	49	5.66	20.457 185 4	31	1	28	24.303	8	39	29.18	20.902 750 7	
14	1	20	13.855	7	49	57.02	20.471 551 7	Avril	1	1	28	36.973	8	40	44.39	20.906 674 4	

## URANUS 2017 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	28	49.682	8	41	59.77	20.9103266	Mai	18	1	38	28.998	9	38	6.30	20.7874240
	3	1	29	2.424	8	43	15.29	20.9137068		19	1	38	40.540	9	39	11.95	20.7787479
	4	1	29	15.197	8	44	30.94	20.9168149		20	1	38	51.998	9	40	17.06	20.7698407
	5	1	29	27.996	8	45	46.68	20.9196507		21	1	39	3.370	9	41	21.60	20.7607045
	6	1	29	40.818	8	47	2.49	20.9222142		22	1	39	14.653	9	42	25.58	20.7513414
	7	1	29	53.660	8	48	18.35	20.9245051		23	1	39	25.846	9	43	28.98	20.7417535
	8	1	30	6.519	8	49	34.25	20.9265236		24	1	39	36.950	9	44	31.81	20.7319431
	9	1	30	19.395	8	50	50.17	20.9282695		25	1	39	47.962	9	45	34.05	20.7219129
	10	1	30	32.286	8	52	6.11	20.9297429		26	1	39	58.880	9	46	35.70	20.7116654
	11	1	30	45.190	8	53	22.05	20.9309437		27	1	40	9.701	9	47	36.76	20.7012036
	12	1	30	58.106	8	54	37.98	20.9318719		28	1	40	20.420	9	48	37.20	20.6905305
13	1	31	11.032	8	55	53.91	20.9325273	29	1	40	31.033	9	49	37.00	20.6796493		
14	1	31	23.965	8	57	9.80	20.9329101	30	1	40	41.537	9	50	36.13	20.6685632		
15	1	31	36.904	8	58	25.67	20.9330201	31	1	40	51.928	9	51	34.57	20.6572755		
16	1	31	49.846	8	59	41.48	20.9328574	Juin	1	1	41	2.205	9	52	32.31	20.6457894	
17	1	32	2.787	9	0	57.22	20.9324219	2	1	41	12.366	9	53	29.34	20.6341082		
18	1	32	15.724	9	2	12.88	20.9317138	3	1	41	22.412	9	54	25.66	20.6222350		
19	1	32	28.654	9	3	28.43	20.9307332	4	1	41	32.340	9	55	21.26	20.6101731		
20	1	32	41.574	9	4	43.87	20.9294801	5	1	41	42.151	9	56	16.13	20.5979255		
21	1	32	54.481	9	5	59.16	20.9279549	6	1	41	51.843	9	57	10.28	20.5854955		
22	1	33	7.372	9	7	14.29	20.9261576	7	1	42	1.414	9	58	3.69	20.5728861		
23	1	33	20.243	9	8	29.23	20.9240887	8	1	42	10.863	9	58	56.37	20.5601004		
24	1	33	33.094	9	9	43.99	20.9217485	9	1	42	20.188	9	59	48.30	20.5471416		
25	1	33	45.922	9	10	58.54	20.9191375	10	1	42	29.386	10	0	39.48	20.5340127		
26	1	33	58.727	9	12	12.87	20.9162564	11	1	42	38.456	10	1	29.89	20.5207169		
27	1	34	11.506	9	13	26.99	20.9131060	12	1	42	47.394	10	2	19.52	20.5072572		
28	1	34	24.259	9	14	40.89	20.9096873	13	1	42	56.198	10	3	8.35	20.4936368		
29	1	34	36.982	9	15	54.55	20.9060016	14	1	43	4.865	10	3	56.38	20.4798589		
30	1	34	49.670	9	17	7.96	20.9020503	15	1	43	13.393	10	4	43.59	20.4659266		
Mai	1	1	35	2.319	9	18	21.08	20.8978350	16	1	43	21.781	10	5	29.96	20.4518431	
2	1	35	14.925	9	19	33.90	20.8933573	17	1	43	30.026	10	6	15.49	20.4376118		
3	1	35	27.485	9	20	46.40	20.8886188	18	1	43	38.127	10	7	0.17	20.4232360		
4	1	35	39.995	9	21	58.54	20.8836214	19	1	43	46.085	10	7	43.99	20.4087191		
5	1	35	52.454	9	23	10.32	20.8783667	20	1	43	53.897	10	8	26.95	20.3940647		
6	1	36	4.860	9	24	21.73	20.8728565	21	1	44	1.564	10	9	9.05	20.3792765		
7	1	36	17.212	9	25	32.76	20.8670925	22	1	44	9.085	10	9	50.29	20.3643583		
8	1	36	29.508	9	26	43.39	20.8610764	23	1	44	16.457	10	10	30.67	20.3493141		
9	1	36	41.748	9	27	53.63	20.8548100	24	1	44	23.676	10	11	10.18	20.3341480		
10	1	36	53.930	9	29	3.47	20.8482948	25	1	44	30.740	10	11	48.79	20.3188645		
11	1	37	6.051	9	30	12.89	20.8415325	26	1	44	37.644	10	12	26.48	20.3034678		
12	1	37	18.110	9	31	21.90	20.8345250	27	1	44	44.386	10	13	3.24	20.2879626		
13	1	37	30.104	9	32	30.47	20.8272738	28	1	44	50.964	10	13	39.05	20.2723531		
14	1	37	42.030	9	33	38.59	20.8197807	29	1	44	57.377	10	14	13.91	20.2566438		
15	1	37	53.886	9	34	46.25	20.8120473	30	1	45	3.626	10	14	47.81	20.2408391		
16	1	38	5.667	9	35	53.44	20.8040756	Juill.	1	1	45	9.710	10	15	20.75	20.2249432	
17	1	38	17.372	9	37	0.13	20.7958672	2	1	45	15.630	10	15	52.73	20.2089604		

## URANUS 2017 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	°	'	"				
Juill.	3	1	45	21.384	10	16	23.76	20.192 895 0	Août	18	1	46	32.510	10	21	56.66	19.439 874 4	
	4	1	45	26.973	10	16	53.83	20.176 751 0		19	1	46	29.755	10	21	39.87	19.424 924 2	
	5	1	45	32.396	10	17	22.95	20.160 532 7		20	1	46	26.819	10	21	22.08	19.410 108 6	
	6	1	45	37.650	10	17	51.10	20.144 244 1		21	1	46	23.704	10	21	3.31	19.395 432 7	
	7	1	45	42.736	10	18	18.29	20.127 889 4		22	1	46	20.410	10	20	43.54	19.380 901 2	
	8	1	45	47.650	10	18	44.51	20.111 472 7		23	1	46	16.939	10	20	22.79	19.366 519 1	
	9	1	45	52.392	10	19	9.75	20.094 998 0		24	1	46	13.294	10	20	1.06	19.352 291 0	
	10	1	45	56.960	10	19	33.99	20.078 469 5		25	1	46	9.477	10	19	38.37	19.338 221 6	
	11	1	46	1.352	10	19	57.25	20.061 891 1		26	1	46	5.493	10	19	14.74	19.324 315 3	
	12	1	46	5.566	10	20	19.49	20.045 267 0		27	1	46	1.342	10	18	50.19	19.310 576 5	
	13	1	46	9.601	10	20	40.72	20.028 601 3		28	1	45	57.028	10	18	24.72	19.297 009 3	
	14	1	46	13.457	10	21	0.93	20.011 898 2		29	1	45	52.552	10	17	58.36	19.283 618 1	
	15	1	46	17.134	10	21	20.11	19.995 161 9		30	1	45	47.915	10	17	31.11	19.270 406 7	
	16	1	46	20.630	10	21	38.27	19.978 396 5		31	1	45	43.120	10	17	2.99	19.257 379 3	
	17	1	46	23.948	10	21	55.40	19.961 606 6		Sept.	1	1	45	38.167	10	16	34.00	19.244 539 7
	18	1	46	27.086	10	22	11.51	19.944 796 4		2	1	45	33.058	10	16	4.15	19.231 891 7	
	19	1	46	30.044	10	22	26.61	19.927 970 6		3	1	45	27.794	10	15	33.45	19.219 439 1	
20	1	46	32.823	10	22	40.70	19.911 133 9	4	1	45	22.377	10	15	1.90	19.207 185 5			
21	1	46	35.420	10	22	53.77	19.894 291 1	5	1	45	16.807	10	14	29.52	19.195 134 7			
22	1	46	37.833	10	23	5.82	19.877 447 2	6	1	45	11.088	10	13	56.30	19.183 290 1			
23	1	46	40.059	10	23	16.83	19.860 607 2	7	1	45	5.221	10	13	22.26	19.171 655 4			
24	1	46	42.096	10	23	26.79	19.843 776 2	8	1	44	59.209	10	12	47.42	19.160 233 9			
25	1	46	43.944	10	23	35.68	19.826 959 4	9	1	44	53.057	10	12	11.78	19.149 029 4			
26	1	46	45.601	10	23	43.51	19.810 161 7	10	1	44	46.768	10	11	35.39	19.138 045 3			
27	1	46	47.068	10	23	50.26	19.793 388 4	11	1	44	40.344	10	10	58.24	19.127 285 3			
28	1	46	48.348	10	23	55.95	19.776 644 1	12	1	44	33.789	10	10	20.37	19.116 753 1			
29	1	46	49.441	10	24	0.58	19.759 933 8	13	1	44	27.103	10	9	41.79	19.106 452 3			
30	1	46	50.348	10	24	4.17	19.743 262 3	14	1	44	20.290	10	9	2.51	19.096 386 7			
31	1	46	51.071	10	24	6.72	19.726 634 2	15	1	44	13.348	10	8	22.54	19.086 560 1			
Août	1	1	46	51.608	10	24	8.23	19.710 054 2	16	1	44	6.281	10	7	41.88	19.076 976 2		
2	1	46	51.962	10	24	8.71	19.693 526 8	17	1	43	59.089	10	7	0.54	19.067 638 6			
3	1	46	52.130	10	24	8.16	19.677 056 5	18	1	43	51.774	10	6	18.52	19.058 551 1			
4	1	46	52.114	10	24	6.58	19.660 648 0	19	1	43	44.341	10	5	35.85	19.049 717 1			
5	1	46	51.912	10	24	3.97	19.644 305 5	20	1	43	36.793	10	4	52.53	19.041 140 0			
6	1	46	51.524	10	24	0.34	19.628 033 6	21	1	43	29.134	10	4	8.60	19.032 823 1			
7	1	46	50.951	10	23	55.66	19.611 836 7	22	1	43	21.370	10	3	24.07	19.024 769 2			
8	1	46	50.190	10	23	49.96	19.595 719 0	23	1	43	13.505	10	2	38.98	19.016 981 4			
9	1	46	49.243	10	23	43.21	19.579 685 0	24	1	43	5.542	10	1	53.35	19.009 462 4			
10	1	46	48.111	10	23	35.43	19.563 738 9	25	1	42	57.485	10	1	7.20	19.002 214 6			
11	1	46	46.793	10	23	26.61	19.547 885 2	26	1	42	49.338	10	0	20.55	18.995 240 7			
12	1	46	45.292	10	23	16.77	19.532 128 3	27	1	42	41.103	9	59	33.43	18.988 542 7			
13	1	46	43.609	10	23	5.91	19.516 472 7	28	1	42	32.783	9	58	45.84	18.982 123 1			
14	1	46	41.746	10	22	54.03	19.500 922 8	29	1	42	24.382	9	57	57.82	18.975 983 8			
15	1	46	39.704	10	22	41.17	19.485 483 3	30	1	42	15.902	9	57	9.36	18.970 126 8			
16	1	46	37.484	10	22	27.31	19.470 158 8	Oct.	1	1	42	7.345	9	56	20.49	18.964 553 9		
17	1	46	35.086	10	22	12.48	19.454 954 2	2	1	41	58.715	9	55	31.23	18.959 266 8			

## URANUS 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	1	41	50.016	9	54	41.58	18.954 267 4	Nov.	18	1	35	2.438	9	16	13.68	19.048 809 8	
	4	1	41	41.250	9	53	51.57	18.949 557 0		19	1	34	54.877	9	15	31.38	19.057 741 2	
	5	1	41	32.423	9	53	1.22	18.945 137 2		20	1	34	47.433	9	14	49.79	19.066 937 7	
	6	1	41	23.538	9	52	10.55	18.941 009 4		21	1	34	40.108	9	14	8.90	19.076 396 1	
	7	1	41	14.602	9	51	19.59	18.937 175 2		22	1	34	32.905	9	13	28.74	19.086 113 0	
	8	1	41	5.618	9	50	28.38	18.933 635 9		23	1	34	25.827	9	12	49.33	19.096 084 9	
	9	1	40	56.590	9	49	36.93	18.930 393 0		24	1	34	18.876	9	12	10.67	19.106 308 2	
	10	1	40	47.523	9	48	45.27	18.927 448 1		25	1	34	12.054	9	11	32.79	19.116 779 4	
	11	1	40	38.418	9	47	53.43	18.924 802 6		26	1	34	5.364	9	10	55.69	19.127 494 5	
	12	1	40	29.278	9	47	1.41	18.922 458 0		27	1	33	58.809	9	10	19.38	19.138 449 9	
	13	1	40	20.104	9	46	9.22	18.920 415 8		28	1	33	52.392	9	9	43.89	19.149 641 6	
	14	1	40	10.899	9	45	16.89	18.918 677 3		29	1	33	46.117	9	9	9.23	19.161 065 6	
	15	1	40	1.668	9	44	24.42	18.917 243 8		30	1	33	39.986	9	8	35.42	19.172 718 0	
	16	1	39	52.413	9	43	31.83	18.916 116 3		Déc.	1	1	33	34.004	9	8	2.49	19.184 594 8
	17	1	39	43.140	9	42	39.15	18.915 295 7			2	1	33	28.174	9	7	30.45	19.196 691 9
	18	1	39	33.855	9	41	46.40	18.914 782 9			3	1	33	22.500	9	6	59.33	19.209 005 5
	19	1	39	24.562	9	40	53.62	18.914 578 3			4	1	33	16.983	9	6	29.14	19.221 531 7
20	1	39	15.267	9	40	0.83	18.914 682 4	5	1		33	11.625	9	5	59.90	19.234 266 8		
21	1	39	5.975	9	39	8.07	18.915 095 3	6	1		33	6.424	9	5	31.61	19.247 206 8		
22	1	38	56.690	9	38	15.37	18.915 817 1	7	1		33	1.382	9	5	4.27	19.260 348 1		
23	1	38	47.417	9	37	22.75	18.916 847 5	8	1	32	56.499	9	4	37.87	19.273 686 8			
24	1	38	38.158	9	36	30.23	18.918 186 3	9	1	32	51.778	9	4	12.42	19.287 219 0			
25	1	38	28.919	9	35	37.84	18.919 833 0	10	1	32	47.221	9	3	47.95	19.300 940 4			
26	1	38	19.701	9	34	45.60	18.921 787 0	11	1	32	42.831	9	3	24.45	19.314 846 9			
27	1	38	10.509	9	33	53.52	18.924 047 5	12	1	32	38.613	9	3	1.95	19.328 934 1			
28	1	38	1.346	9	33	1.64	18.926 613 7	13	1	32	34.568	9	2	40.48	19.343 197 4			
29	1	37	52.215	9	32	9.95	18.929 484 6	14	1	32	30.701	9	2	20.04	19.357 632 2			
30	1	37	43.119	9	31	18.49	18.932 659 2	15	1	32	27.014	9	2	0.66	19.372 233 6			
31	1	37	34.064	9	30	27.28	18.936 136 2	16	1	32	23.508	9	1	42.34	19.386 996 7			
Nov.	1	1	37	25.052	9	29	36.32	18.939 914 3	17	1	32	20.185	9	1	25.11	19.401 916 7		
	2	1	37	16.090	9	28	45.66	18.943 992 1	18	1	32	17.047	9	1	8.96	19.416 988 3		
	3	1	37	7.181	9	27	55.32	18.948 368 3	19	1	32	14.093	9	0	53.91	19.432 206 4		
	4	1	36	58.331	9	27	5.32	18.953 041 5	20	1	32	11.325	9	0	39.95	19.447 565 7		
	5	1	36	49.545	9	26	15.71	18.958 010 2	21	1	32	8.743	9	0	27.09	19.463 061 1		
	6	1	36	40.825	9	25	26.50	18.963 273 1	22	1	32	6.349	9	0	15.34	19.478 687 1		
	7	1	36	32.176	9	24	37.72	18.968 828 9	23	1	32	4.141	9	0	4.70	19.494 438 4		
	8	1	36	23.599	9	23	49.39	18.974 676 1	24	1	32	2.123	8	59	55.16	19.510 309 5		
	9	1	36	15.095	9	23	1.50	18.980 813 3	25	1	32	0.294	8	59	46.73	19.526 295 1		
	10	1	36	6.666	9	22	14.08	18.987 239 2	26	1	31	58.656	8	59	39.42	19.542 389 7		
	11	1	35	58.316	9	21	27.13	18.993 952 1	27	1	31	57.210	8	59	33.24	19.558 588 0		
	12	1	35	50.048	9	20	40.67	19.000 950 2	28	1	31	55.959	8	59	28.19	19.574 884 6		
	13	1	35	41.868	9	19	54.73	19.008 231 7	29	1	31	54.905	8	59	24.29	19.591 274 1		
	14	1	35	33.779	9	19	9.33	19.015 794 5	30	1	31	54.047	8	59	21.54	19.607 751 4		
	15	1	35	25.787	9	18	24.50	19.023 636 2	31	1	31	53.388	8	59	19.95	19.624 311 3		
	16	1	35	17.897	9	17	40.26	19.031 754 4	32	1	31	52.927	8	59	19.54	19.640 948 7		
	17	1	35	10.112	9	16	56.64	19.040 146 5	33	1	31	52.662	8	59	20.28	19.657 658 9		

## NEPTUNE 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	22	46	21.355	- 8	43	3.15	30.431 571 7	Févr.	15	22	51	41.200	- 8	10	17.90	30.905 181 0
	1	22	46	26.423	- 8	42	31.54	30.446 524 7		16	22	51	49.503	- 8	9	27.35	30.909 593 0
	2	22	46	31.595	- 8	41	59.30	30.461 323 0		17	22	51	57.835	- 8	8	36.63	30.913 724 1
	3	22	46	36.870	- 8	41	26.46	30.475 962 4		18	22	52	6.195	- 8	7	45.75	30.917 573 2
	4	22	46	42.246	- 8	40	53.01	30.490 438 3		19	22	52	14.582	- 8	6	54.73	30.921 139 0
	5	22	46	47.724	- 8	40	18.95	30.504 746 5		20	22	52	22.993	- 8	6	3.58	30.924 420 5
	6	22	46	53.302	- 8	39	44.30	30.518 883 1		21	22	52	31.427	- 8	5	12.32	30.927 416 6
	7	22	46	58.981	- 8	39	9.04	30.532 843 9		22	22	52	39.880	- 8	4	20.97	30.930 126 4
	8	22	47	4.761	- 8	38	33.18	30.546 625 4		23	22	52	48.350	- 8	3	29.53	30.932 549 0
	9	22	47	10.639	- 8	37	56.74	30.560 223 8		24	22	52	56.833	- 8	2	38.03	30.934 683 7
	10	22	47	16.616	- 8	37	19.72	30.573 635 7		25	22	53	5.328	- 8	1	46.48	30.936 529 8
	11	22	47	22.687	- 8	36	42.14	30.586 857 6		26	22	53	13.831	- 8	0	54.90	30.938 086 8
	12	22	47	28.851	- 8	36	4.03	30.599 886 3		27	22	53	22.341	- 8	0	3.30	30.939 354 2
	13	22	47	35.103	- 8	35	25.40	30.612 718 3		28	22	53	30.855	- 7	59	11.68	30.940 332 0
14	22	47	41.441	- 8	34	46.27	30.625 350 3	Mars	1	22	53	39.372	- 7	58	20.05	30.941 020 0	
15	22	47	47.864	- 8	34	6.64	30.637 779 0	2	22	53	47.892	- 7	57	28.42	30.941 418 4		
16	22	47	54.369	- 8	33	26.53	30.650 000 8	3	22	53	56.415	- 7	56	36.78	30.941 527 6		
17	22	48	0.958	- 8	32	45.91	30.662 012 3	4	22	54	4.938	- 7	55	45.16	30.941 348 0		
18	22	48	7.628	- 8	32	4.82	30.673 810 1	5	22	54	13.460	- 7	54	53.55	30.940 880 4		
19	22	48	14.381	- 8	31	23.23	30.685 390 5	6	22	54	21.979	- 7	54	1.99	30.940 125 5		
20	22	48	21.214	- 8	30	41.17	30.696 750 2	7	22	54	30.490	- 7	53	10.50	30.939 084 0		
21	22	48	28.127	- 8	29	58.63	30.707 885 7	8	22	54	38.992	- 7	52	19.09	30.937 757 1		
22	22	48	35.119	- 8	29	15.64	30.718 793 7	9	22	54	47.480	- 7	51	27.78	30.936 145 5		
23	22	48	42.188	- 8	28	32.19	30.729 470 8	10	22	54	55.953	- 7	50	36.59	30.934 250 1		
24	22	48	49.332	- 8	27	48.31	30.739 913 8	11	22	55	4.407	- 7	49	45.53	30.932 072 0		
25	22	48	56.549	- 8	27	4.01	30.750 119 5	12	22	55	12.842	- 7	48	54.60	30.929 611 9		
26	22	49	3.836	- 8	26	19.30	30.760 084 6	13	22	55	21.257	- 7	48	3.81	30.926 870 9		
27	22	49	11.191	- 8	25	34.20	30.769 806 3	14	22	55	29.651	- 7	47	13.16	30.923 849 7		
28	22	49	18.611	- 8	24	48.73	30.779 281 5	15	22	55	38.023	- 7	46	22.66	30.920 549 3		
29	22	49	26.093	- 8	24	2.90	30.788 507 4	16	22	55	46.373	- 7	45	32.31	30.916 970 6		
30	22	49	33.635	- 8	23	16.72	30.797 481 3	17	22	55	54.698	- 7	44	42.13	30.913 114 5		
31	22	49	41.236	- 8	22	30.20	30.806 200 7	18	22	56	2.998	- 7	43	52.12	30.908 982 0		
Févr.	1	22	49	48.893	- 8	21	43.34	30.814 663 2	19	22	56	11.271	- 7	43	2.30	30.904 574 1	
	2	22	49	56.607	- 8	20	56.15	30.822 866 6	20	22	56	19.514	- 7	42	12.68	30.899 892 1	
	3	22	50	4.376	- 8	20	8.64	30.830 808 8	21	22	56	27.725	- 7	41	23.28	30.894 937 0	
	4	22	50	12.199	- 8	19	20.81	30.838 488 1	22	22	56	35.902	- 7	40	34.12	30.889 710 1	
	5	22	50	20.075	- 8	18	32.66	30.845 902 6	23	22	56	44.042	- 7	39	45.21	30.884 212 9	
	6	22	50	28.003	- 8	17	44.22	30.853 050 9	24	22	56	52.141	- 7	38	56.56	30.878 446 6	
	7	22	50	35.980	- 8	16	55.51	30.859 931 5	25	22	57	0.199	- 7	38	8.20	30.872 412 9	
	8	22	50	44.002	- 8	16	6.54	30.866 543 0	26	22	57	8.212	- 7	37	20.12	30.866 113 3	
	9	22	50	52.066	- 8	15	17.33	30.872 884 2	27	22	57	16.179	- 7	36	32.35	30.859 549 8	
	10	22	51	0.169	- 8	14	27.92	30.878 953 8	28	22	57	24.098	- 7	35	44.88	30.852 724 2	
	11	22	51	8.309	- 8	13	38.29	30.884 750 4	29	22	57	31.970	- 7	34	57.72	30.845 638 7	
	12	22	51	16.482	- 8	12	48.48	30.890 272 7	30	22	57	39.793	- 7	34	10.86	30.838 295 5	
	13	22	51	24.689	- 8	11	58.47	30.895 519 5	31	22	57	47.568	- 7	33	24.32	30.830 697 4	
	14	22	51	32.929	- 8	11	8.28	30.900 489 4	Avril	1	22	57	55.292	- 7	32	38.11	30.822 846 7

## NEPTUNE 2017 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	58	2.964	- 7	31	52.24	30.814 746 4	Mai	18	23	2	31.026	- 7	5	45.42	30.225 200 1	
	3	22	58	10.580	- 7	31	6.74	30.806 399 3		19	23	2	34.549	- 7	5	25.99	30.209 025 3	
	4	22	58	18.137	- 7	30	21.62	30.797 808 2		20	23	2	37.957	- 7	5	7.29	30.192 771 8	
	5	22	58	25.633	- 7	29	36.90	30.788 976 0		21	23	2	41.248	- 7	4	49.32	30.176 444 2	
	6	22	58	33.065	- 7	28	52.60	30.779 905 6		22	23	2	44.423	- 7	4	32.07	30.160 046 8	
	7	22	58	40.430	- 7	28	8.73	30.770 599 8		23	23	2	47.483	- 7	4	15.55	30.143 584 3	
	8	22	58	47.729	- 7	27	25.28	30.761 061 3		24	23	2	50.428	- 7	3	59.74	30.127 061 5	
	9	22	58	54.960	- 7	26	42.27	30.751 293 1		25	23	2	53.259	- 7	3	44.64	30.110 483 2	
	10	22	59	2.123	- 7	25	59.69	30.741 297 8		26	23	2	55.975	- 7	3	30.27	30.093 854 4	
	11	22	59	9.217	- 7	25	17.55	30.731 078 2		27	23	2	58.576	- 7	3	16.62	30.077 180 2	
	12	22	59	16.241	- 7	24	35.84	30.720 637 0		28	23	3	1.059	- 7	3	3.72	30.060 465 8	
	13	22	59	23.196	- 7	23	54.59	30.709 977 0		29	23	3	3.422	- 7	2	51.57	30.043 716 3	
	14	22	59	30.080	- 7	23	13.80	30.699 101 1		30	23	3	5.662	- 7	2	40.20	30.026 936 7	
	15	22	59	36.891	- 7	22	33.47	30.688 011 9		31	23	3	7.780	- 7	2	29.60	30.010 131 9	
	16	22	59	43.628	- 7	21	53.62	30.676 712 3		Juin	1	23	3	9.774	- 7	2	19.77	29.993 306 8
	17	22	59	50.288	- 7	21	14.27	30.665 205 3			2	23	3	11.645	- 7	2	10.70	29.976 466 2
18	22	59	56.870	- 7	20	35.42	30.653 493 9	3	23		3	13.395	- 7	2	2.40	29.959 614 6		
19	23	0	3.372	- 7	19	57.09	30.641 581 0	4	23		3	15.024	- 7	1	54.84	29.942 756 7		
20	23	0	9.790	- 7	19	19.30	30.629 469 7	5	23		3	16.532	- 7	1	48.03	29.925 897 1		
21	23	0	16.124	- 7	18	42.05	30.617 163 2	6	23		3	17.922	- 7	1	41.97	29.909 040 2		
22	23	0	22.372	- 7	18	5.35	30.604 664 7	7	23		3	19.192	- 7	1	36.64	29.892 190 6		
23	23	0	28.531	- 7	17	29.22	30.591 977 7	8	23		3	20.343	- 7	1	32.06	29.875 352 5		
24	23	0	34.600	- 7	16	53.65	30.579 105 6	9	23		3	21.375	- 7	1	28.23	29.858 530 6		
25	23	0	40.581	- 7	16	18.64	30.566 051 9	10	23		3	22.287	- 7	1	25.14	29.841 729 2		
26	23	0	46.472	- 7	15	44.20	30.552 820 6	11	23		3	23.080	- 7	1	22.81	29.824 952 6		
27	23	0	52.273	- 7	15	10.32	30.539 415 6	12	23		3	23.751	- 7	1	21.23	29.808 205 4		
28	23	0	57.985	- 7	14	37.00	30.525 840 9	13	23		3	24.300	- 7	1	20.42	29.791 492 0		
29	23	1	3.605	- 7	14	4.28	30.512 100 8	14	23		3	24.727	- 7	1	20.36	29.774 816 7		
30	23	1	9.132	- 7	13	32.15	30.498 199 7	15	23		3	25.031	- 7	1	21.08	29.758 184 1		
Mai	1	23	1	14.563	- 7	13	0.64	30.484 141 9	16		23	3	25.212	- 7	1	22.55	29.741 598 8	
	2	23	1	19.893	- 7	12	29.76	30.469 931 6	17	23	3	25.270	- 7	1	24.79	29.725 065 2		
	3	23	1	25.123	- 7	11	59.54	30.455 573 3	18	23	3	25.206	- 7	1	27.78	29.708 588 0		
	4	23	1	30.249	- 7	11	29.96	30.441 071 0	19	23	3	25.020	- 7	1	31.51	29.692 171 9		
	5	23	1	35.272	- 7	11	1.05	30.426 428 9	20	23	3	24.715	- 7	1	35.98	29.675 821 7		
	6	23	1	40.192	- 7	10	32.78	30.411 651 2	21	23	3	24.292	- 7	1	41.17	29.659 542 3		
	7	23	1	45.007	- 7	10	5.17	30.396 741 9	22	23	3	23.752	- 7	1	47.08	29.643 338 6		
	8	23	1	49.719	- 7	9	38.21	30.381 705 0	23	23	3	23.095	- 7	1	53.71	29.627 215 8		
	9	23	1	54.328	- 7	9	11.90	30.366 544 5	24	23	3	22.321	- 7	2	1.07	29.611 178 9		
	10	23	1	58.832	- 7	8	46.25	30.351 264 5	25	23	3	21.427	- 7	2	9.17	29.595 233 0		
	11	23	2	3.233	- 7	8	21.25	30.335 868 8	26	23	3	20.413	- 7	2	18.02	29.579 383 1		
	12	23	2	7.528	- 7	7	56.93	30.320 361 6	27	23	3	19.278	- 7	2	27.61	29.563 634 1		
	13	23	2	11.718	- 7	7	33.27	30.304 746 7	28	23	3	18.022	- 7	2	37.95	29.547 990 8		
	14	23	2	15.800	- 7	7	10.30	30.289 028 3	29	23	3	16.646	- 7	2	49.01	29.532 457 7		
	15	23	2	19.774	- 7	6	48.02	30.273 210 3	30	23	3	15.153	- 7	3	0.80	29.517 039 4		
	16	23	2	23.637	- 7	6	26.44	30.257 296 8	Juill.	1	23	3	13.543	- 7	3	13.29	29.501 740 1	
17	23	2	27.388	- 7	6	5.57	30.241 292 1	2		23	3	11.820	- 7	3	26.47	29.486 564 3		



**NEPTUNE 2017 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			
<b>Juill.</b>	3	23	3	9.984	- 7	3	40.34	29.471 516 0	<b>Août</b>	18	23	0	2.484	- 7	24	33.90	28.983 412 8	
	4	23	3	8.038	- 7	3	54.88	29.456 599 5		19	22	59	56.741	- 7	25	10.73	28.978 471 5	
	5	23	3	5.981	- 7	4	10.09	29.441 818 8		20	22	59	50.956	- 7	25	47.78	28.973 813 1	
	6	23	3	3.816	- 7	4	25.96	29.427 177 8		21	22	59	45.128	- 7	26	25.06	28.969 439 3	
	7	23	3	1.542	- 7	4	42.50	29.412 680 7		22	22	59	39.260	- 7	27	2.54	28.965 352 1	
	8	23	2	59.160	- 7	4	59.70	29.398 331 2		23	22	59	33.354	- 7	27	40.21	28.961 552 9	
	9	23	2	56.670	- 7	5	17.55	29.384 133 4		24	22	59	27.415	- 7	28	18.04	28.958 043 1	
	10	23	2	54.072	- 7	5	36.07	29.370 091 2		25	22	59	21.445	- 7	28	56.02	28.954 823 8	
	11	23	2	51.367	- 7	5	55.24	29.356 208 3		26	22	59	15.449	- 7	29	34.11	28.951 896 0	
	12	23	2	48.554	- 7	6	15.06	29.342 488 6		27	22	59	9.429	- 7	30	12.30	28.949 260 7	
	13	23	2	45.635	- 7	6	35.52	29.328 936 1		28	22	59	3.389	- 7	30	50.57	28.946 918 6	
	14	23	2	42.611	- 7	6	56.61	29.315 554 7		29	22	58	57.330	- 7	31	28.92	28.944 870 2	
	15	23	2	39.482	- 7	7	18.33	29.302 348 2		30	22	58	51.256	- 7	32	7.32	28.943 116 2	
	16	23	2	36.252	- 7	7	40.66	29.289 320 6		31	22	58	45.167	- 7	32	45.78	28.941 656 9	
	17	23	2	32.921	- 7	8	3.57	29.276 475 9		<b>Sept.</b>	1	22	58	39.066	- 7	33	24.26	28.940 492 7
	18	23	2	29.494	- 7	8	27.07	29.263 818 2		2	22	58	32.954	- 7	34	2.78	28.939 623 9	
	19	23	2	25.971	- 7	8	51.12	29.251 351 5		3	22	58	26.832	- 7	34	41.32	28.939 050 8	
20	23	2	22.354	- 7	9	15.74	29.239 080 0	4	22	58	20.703	- 7	35	19.86	28.938 773 3			
21	23	2	18.645	- 7	9	40.91	29.227 007 9	5	22	58	14.568	- 7	35	58.40	28.938 791 7			
22	23	2	14.842	- 7	10	6.64	29.215 139 3	6	22	58	8.429	- 7	36	36.92	28.939 105 9			
23	23	2	10.946	- 7	10	32.93	29.203 478 2	7	22	58	2.288	- 7	37	15.40	28.939 716 0			
24	23	2	6.956	- 7	10	59.78	29.192 028 6	8	22	57	56.148	- 7	37	53.82	28.940 622 0			
25	23	2	2.873	- 7	11	27.18	29.180 794 2	9	22	57	50.014	- 7	38	32.17	28.941 824 0			
26	23	1	58.699	- 7	11	55.12	29.169 778 7	10	22	57	43.888	- 7	39	10.40	28.943 321 9			
27	23	1	54.436	- 7	12	23.58	29.158 985 5	11	22	57	37.774	- 7	39	48.52	28.945 115 8			
28	23	1	50.087	- 7	12	52.54	29.148 417 9	12	22	57	31.674	- 7	40	26.50	28.947 205 7			
29	23	1	45.655	- 7	13	21.98	29.138 078 9	13	22	57	25.591	- 7	41	4.34	28.949 591 5			
30	23	1	41.143	- 7	13	51.88	29.127 971 6	14	22	57	19.527	- 7	41	42.02	28.952 273 3			
31	23	1	36.554	- 7	14	22.23	29.118 099 0	15	22	57	13.481	- 7	42	19.55	28.955 250 7			
<b>Août</b>	1	23	1	31.889	- 7	14	53.02	29.108 463 6	16	22	57	7.455	- 7	42	56.92	28.958 523 5		
2	23	1	27.150	- 7	15	24.24	29.099 068 4	17	22	57	1.450	- 7	43	34.12	28.962 091 2			
3	23	1	22.338	- 7	15	55.87	29.089 916 0	18	22	56	55.468	- 7	44	11.13	28.965 953 0			
4	23	1	17.456	- 7	16	27.92	29.081 008 8	19	22	56	49.512	- 7	44	47.94	28.970 108 3			
5	23	1	12.503	- 7	17	0.37	29.072 349 5	20	22	56	43.585	- 7	45	24.52	28.974 555 8			
6	23	1	7.482	- 7	17	33.22	29.063 940 5	21	22	56	37.691	- 7	46	0.85	28.979 294 4			
7	23	1	2.393	- 7	18	6.46	29.055 784 2	22	22	56	31.832	- 7	46	36.92	28.984 322 6			
8	23	0	57.237	- 7	18	40.09	29.047 883 0	23	22	56	26.014	- 7	47	12.69	28.989 638 9			
9	23	0	52.016	- 7	19	14.08	29.040 239 1	24	22	56	20.238	- 7	47	48.16	28.995 241 4			
10	23	0	46.731	- 7	19	48.43	29.032 854 9	25	22	56	14.508	- 7	48	23.30	29.001 128 5			
11	23	0	41.385	- 7	20	23.11	29.025 732 8	26	22	56	8.825	- 7	48	58.11	29.007 298 0			
12	23	0	35.981	- 7	20	58.12	29.018 875 1	27	22	56	3.191	- 7	49	32.59	29.013 748 0			
13	23	0	30.521	- 7	21	33.43	29.012 284 1	28	22	55	57.609	- 7	50	6.71	29.020 476 4			
14	23	0	25.008	- 7	22	9.01	29.005 962 2	29	22	55	52.079	- 7	50	40.47	29.027 480 8			
15	23	0	19.446	- 7	22	44.87	28.999 911 7	30	22	55	46.603	- 7	51	13.87	29.034 759 2			
16	23	0	13.837	- 7	23	20.97	28.994 135 1	<b>Oct.</b>	1	22	55	41.183	- 7	51	46.89	29.042 309 0		
17	23	0	8.183	- 7	23	57.32	28.988 634 7	2	22	55	35.820	- 7	52	19.53	29.050 127 9			

## NEPTUNE 2017 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance	
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua	
Oct.	3	22	55	30.515	-	7	52	51.76	29.058	213	5					
	4	22	55	25.270	-	7	53	23.58	29.066	563	3					
	5	22	55	20.089	-	7	53	54.97	29.075	174	8					
	6	22	55	14.974	-	7	54	25.91	29.084	045	5					
	7	22	55	9.929	-	7	54	56.38	29.093	173	0					
	8	22	55	4.956	-	7	55	26.36	29.102	554	8					
	9	22	55	0.059	-	7	55	55.84	29.112	188	6					
	10	22	54	55.240	-	7	56	24.81	29.122	071	8					
	11	22	54	50.498	-	7	56	53.27	29.132	202	1					
	12	22	54	45.836	-	7	57	21.21	29.142	576	7					
	13	22	54	41.252	-	7	57	48.64	29.153	193	1					
	14	22	54	36.749	-	7	58	15.55	29.164	048	4					
	15	22	54	32.326	-	7	58	41.94	29.175	139	5					
	16	22	54	27.987	-	7	59	7.78	29.186	463	3					
	17	22	54	23.734	-	7	59	33.05	29.198	016	4					
	18	22	54	19.569	-	7	59	57.75	29.209	795	3					
	19	22	54	15.496	-	8	0	21.85	29.221	796	2					
20	22	54	11.518	-	8	0	45.34	29.234	015	4						
21	22	54	7.637	-	8	1	8.20	29.246	449	0						
22	22	54	3.855	-	8	1	30.42	29.259	092	7						
23	22	54	0.174	-	8	1	52.00	29.271	942	6						
24	22	53	56.595	-	8	2	12.93	29.284	994	3						
25	22	53	53.119	-	8	2	33.20	29.298	243	5						
26	22	53	49.747	-	8	2	52.82	29.311	686	1						
27	22	53	46.480	-	8	3	11.78	29.325	317	4						
28	22	53	43.318	-	8	3	30.08	29.339	133	3						
29	22	53	40.262	-	8	3	47.70	29.353	129	1						
30	22	53	37.312	-	8	4	4.65	29.367	300	4						
31	22	53	34.471	-	8	4	20.92	29.381	642	7						
Nov.	1	22	53	31.738	-	8	4	36.49	29.396	151	6					
2	22	53	29.117	-	8	4	51.36	29.410	822	6						
3	22	53	26.609	-	8	5	5.50	29.425	651	3						
4	22	53	24.218	-	8	5	18.91	29.440	633	4						
5	22	53	21.944	-	8	5	31.57	29.455	764	6						
6	22	53	19.790	-	8	5	43.48	29.471	040	7						
7	22	53	17.756	-	8	5	54.65	29.486	457	4						
8	22	53	15.841	-	8	6	5.07	29.502	010	5						
9	22	53	14.045	-	8	6	14.77	29.517	695	6						
10	22	53	12.366	-	8	6	23.73	29.533	508	3						
11	22	53	10.805	-	8	6	31.96	29.549	444	0						
12	22	53	9.363	-	8	6	39.44	29.565	497	9						
13	22	53	8.041	-	8	6	46.18	29.581	665	1						
14	22	53	6.841	-	8	6	52.15	29.597	940	6						
15	22	53	5.766	-	8	6	57.34	29.614	319	4						
16	22	53	4.816	-	8	7	1.75	29.630	796	1						
17	22	53	3.994	-	8	7	5.37	29.647	365	5						
Nov.	18	22	53	3.301	-	8	7	8.19	29.664	022	2					
19	22	53	2.737	-	8	7	10.21	29.680	760	7						
20	22	53	2.303	-	8	7	11.43	29.697	575	7						
21	22	53	1.998	-	8	7	11.86	29.714	461	6						
22	22	53	1.823	-	8	7	11.49	29.731	412	9						
23	22	53	1.776	-	8	7	10.34	29.748	424	2						
24	22	53	1.857	-	8	7	8.40	29.765	489	9						
25	22	53	2.067	-	8	7	5.68	29.782	604	7						
26	22	53	2.403	-	8	7	2.18	29.799	762	9						
27	22	53	2.868	-	8	6	57.89	29.816	959	3						
28	22	53	3.459	-	8	6	52.82	29.834	188	4						
29	22	53	4.179	-	8	6	46.96	29.851	445	0						
30	22	53	5.028	-	8	6	40.30	29.868	723	8						
Déc.	1	22	53	6.007	-	8	6	32.83	29.886	019	7					
2	22	53	7.118	-	8	6	24.56	29.903	327	6						
3	22	53	8.361	-	8	6	15.47	29.920	642	6						
4	22	53	9.736	-	8	6	5.58	29.937	960	0						
5	22	53	11.241	-	8	5	54.90	29.955	274	8						
6	22	53	12.875	-	8	5	43.44	29.972	582	3						
7	22	53	14.636	-	8	5	31.22	29.989	877	7						
8	22	53	16.521	-	8	5	18.24	30.007	155	9						
9	22	53	18.529	-	8	5	4.51	30.024	412	0						
10	22	53	20.663	-	8	4	50.02	30.041	640	8						
11	22	53	22.921	-	8	4	34.76	30.058	837	1						
12	22	53	25.306	-	8	4	18.72	30.075	995	4						
13	22	53	27.818	-	8	4	1.92	30.093	110	5						
14	22	53	30.457	-	8	3	44.33	30.110	176	9						
15	22	53	33.223	-	8	3	25.97	30.127	189	3						
16	22	53	36.117	-	8	3	6.84	30.144	142	1						
17	22	53	39.137	-	8	2	46.95	30.161	029	9						
18	22	53	42.282	-	8	2	26.30	30.177	847	4						
19	22	53	45.551	-	8	2	4.90	30.194	589	3						
20	22	53	48.943	-	8	1	42.77	30.211	250	1						
21	22	53	52.456	-	8	1	19.92	30.227	824	6						
22	22	53	56.087	-	8	0	56.35	30.244	307	7						
23	22	53	59.837	-	8	0	32.07	30.260	694	1						
24	22	54	3.703	-	8	0	7.08	30.276	978	8						
25	22	54	7.685	-	7	59	41.39	30.293	157	0						
26	22	54	11.781	-	7	59	15.01	30.309	223	6						
27	22	54	15.993	-	7	58	47.93	30.325	174	1						
28	22	54	20.319	-	7	58	20.15	30.341	003	6						
29	22	54	24.760	-	7	57	51.67	30.356	707	8						
30	22	54	29.316	-	7	57	22.50	30.372	282	3						
31	22	54	33.987	-	7	56	52.64	30.387	722	9						
32	22	54	38.770	-	7	56	22.10	30.403	025	4						
33	22	54	43.662	-	7	55	50.92	30.418	185	9						



# 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 2017 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	19	11	47.779	-21	23	12.22	34.217 730 95	Juill.	3	19	17	47.906	-21	26	56.28	32.350 172 81
	4	19	12	22.989	-21	22	34.44	34.226 531 18		7	19	17	23.057	-21	28	5.80	32.346 801 72
	8	19	12	58.284	-21	21	55.51	34.230 626 60		11	19	16	58.096	-21	29	15.70	32.348 073 81
	12	19	13	33.530	-21	21	15.65	34.230 034 51		15	19	16	33.163	-21	30	25.69	32.353 994 88
	16	19	14	8.602	-21	20	35.12	34.224 783 68		19	19	16	8.399	-21	31	35.50	32.364 564 87
Févr.	20	19	14	43.375	-21	19	54.16	34.214 901 41	23	19	15	43.953	-21	32	44.83	32.379 771 03	
	24	19	15	17.720	-21	19	13.04	34.200 427 50	27	19	15	19.983	-21	33	53.41	32.399 565 83	
	28	19	15	51.501	-21	18	32.05	34.181 429 90	31	19	14	56.640	-21	35	0.98	32.423 855 18	
	1	19	16	24.582	-21	17	51.47	34.158 009 09	Août	4	19	14	34.066	-21	36	7.27	32.452 517 94
	5	19	16	56.833	-21	17	11.57	34.130 304 86	8	19	14	12.389	-21	37	12.07	32.485 421 16	
Mars	9	19	17	28.133	-21	16	32.62	34.098 484 67	12	19	13	51.733	-21	38	15.15	32.522 426 30	
	13	19	17	58.377	-21	15	54.90	34.062 721 03	16	19	13	32.217	-21	39	16.28	32.563 390 36	
	17	19	18	27.458	-21	15	18.66	34.023 182 67	20	19	13	13.966	-21	40	15.25	32.608 157 83	
	21	19	18	55.270	-21	14	44.19	33.980 049 32	24	19	12	57.103	-21	41	11.85	32.656 537 29	
	25	19	19	21.706	-21	14	11.75	33.933 523 71	28	19	12	41.742	-21	42	5.90	32.708 298 50	
Avril	1	19	19	46.660	-21	13	41.62	33.883 837 88	Sept.	1	19	12	27.979	-21	42	57.23	32.763 191 84
	5	19	20	10.036	-21	13	14.03	33.831 256 32	5	19	12	15.897	-21	43	45.71	32.820 963 36	
	9	19	20	31.754	-21	12	49.21	33.776 061 34	9	19	12	5.568	-21	44	31.19	32.881 360 01	
	13	19	20	51.747	-21	12	27.37	33.718 529 04	13	19	11	57.060	-21	45	13.55	32.944 131 89	
	17	19	21	9.955	-21	12	8.71	33.658 926 11	17	19	11	50.441	-21	45	52.65	33.009 018 46	
Mai	21	19	21	26.313	-21	11	53.43	33.597 524 25	21	19	11	45.775	-21	46	28.39	33.075 728 73	
	25	19	21	40.764	-21	11	41.71	33.534 610 99	25	19	11	43.112	-21	47	0.69	33.143 943 96	
	29	19	21	53.253	-21	11	33.72	33.470 494 73	29	19	11	42.482	-21	47	29.46	33.213 337 31	
	2	19	22	3.738	-21	11	29.57	33.405 507 40	Oct.	3	19	11	43.900	-21	47	54.67	33.283 588 19
	6	19	22	12.197	-21	11	29.38	33.339 985 66	7	19	11	47.373	-21	48	16.26	33.354 386 09	
Juin	10	19	22	18.622	-21	11	33.22	33.274 247 09	11	19	11	52.901	-21	48	34.19	33.425 433 25	
	14	19	22	23.010	-21	11	41.15	33.208 592 20	15	19	12	0.486	-21	48	48.44	33.496 426 66	
	18	19	22	25.358	-21	11	53.22	33.143 319 96	19	19	12	10.122	-21	48	58.97	33.567 040 51	
	22	19	22	25.668	-21	12	9.47	33.078 735 48	23	19	12	21.787	-21	49	5.81	33.636 934 87	
	26	19	22	23.952	-21	12	29.88	33.015 156 16	27	19	12	35.444	-21	49	8.97	33.705 775 32	
Juillet	30	19	22	20.232	-21	12	54.43	32.952 911 55	31	19	12	51.041	-21	49	8.49	33.773 243 94	
	4	19	22	14.555	-21	13	23.04	32.892 323 09	Nov.	4	19	13	8.518	-21	49	4.42	33.839 044 18
	8	19	22	6.979	-21	13	55.63	32.833 679 86	8	19	13	27.812	-21	48	56.80	33.902 901 04	
	12	19	21	57.563	-21	14	32.10	32.777 247 59	12	19	13	48.864	-21	48	45.69	33.964 541 44	
	16	19	21	46.371	-21	15	12.31	32.723 282 89	16	19	14	11.606	-21	48	31.18	34.023 677 74	
Août	20	19	21	33.470	-21	15	56.15	32.672 041 19	20	19	14	35.958	-21	48	13.36	34.080 022 08	
	24	19	21	18.935	-21	16	43.43	32.623 780 69	24	19	15	1.824	-21	47	52.35	34.133 304 50	
	28	19	21	2.856	-21	17	33.98	32.578 761 32	28	19	15	29.098	-21	47	28.28	34.183 281 81	
	1	19	20	45.339	-21	18	27.56	32.537 222 94	Dec.	2	19	15	57.672	-21	47	1.29	34.229 741 03
	5	19	20	26.505	-21	19	23.95	32.499 362 25	6	19	16	27.435	-21	46	31.53	34.272 498 14	
Sept.	9	19	20	6.468	-21	20	22.92	32.465 348 59	10	19	16	58.285	-21	45	59.15	34.311 376 74	
	13	19	19	45.347	-21	21	24.21	32.435 336 84	14	19	17	30.113	-21	45	24.33	34.346 193 02	
	17	19	19	23.259	-21	22	27.58	32.409 474 75	18	19	18	2.798	-21	44	47.27	34.376 773 75	
	21	19	19	0.329	-21	23	32.76	32.387 906 70	22	19	18	36.210	-21	44	8.17	34.402 973 48	
	25	19	18	36.692	-21	24	39.47	32.370 770 28	26	19	19	10.212	-21	43	27.26	34.424 679 95	
29	19	18	12.500	-21	25	47.41	32.358 172 19	30	19	19	44.669	-21	42	44.78	34.441 817 11		

## CÉRÈS 2017 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		
<b>Janv.</b>	0	1	33	39.034	1	35	18.68	2.447 692 01	<b>Juill.</b>	3	5	45	15.904	23	31	15.75	3.661 823 36
	4	1	35	13.677	2	4	3.45	2.499 329 96		7	5	52	34.782	23	40	34.86	3.644 998 11
	8	1	37	7.632	2	34	2.32	2.551 496 80		11	5	59	53.823	23	48	41.79	3.626 291 35
	12	1	39	19.892	3	5	7.01	2.603 978 95		15	6	7	12.776	23	55	37.44	3.605 721 45
	16	1	41	49.495	3	37	9.93	2.656 597 76		19	6	14	31.361	24	1	22.97	3.583 295 92
<b>Févr.</b>	20	1	44	35.607	4	10	4.40	2.709 188 01	<b>Août</b>	23	6	21	49.216	24	5	59.75	3.559 020 37
	24	1	47	37.465	4	43	44.21	2.761 580 77		27	6	29	5.907	24	9	29.38	3.532 918 12
	28	1	50	54.316	5	18	3.35	2.813 603 65		31	6	36	21.030	24	11	53.68	3.505 035 18
	1	1	54	25.390	5	52	55.87	2.865 086 15		4	6	43	34.256	24	13	14.73	3.475 420 99
	5	1	58	9.879	6	28	15.77	2.915 868 21		8	6	50	45.291	24	13	34.95	3.444 117 40
<b>Mars</b>	9	2	2	6.968	7	3	57.14	2.965 816 60	<b>Sept.</b>	12	6	57	53.854	24	12	57.05	3.411 155 54
	13	2	6	15.934	7	39	54.56	3.014 827 54		16	7	4	59.628	24	11	24.08	3.376 556 03
	17	2	10	36.192	8	16	3.26	3.062 806 87		20	7	12	2.209	24	8	59.43	3.340 337 51
	21	2	15	7.234	8	52	18.81	3.109 654 32		24	7	19	1.119	24	5	46.83	3.302 537 55
	25	2	19	48.580	9	28	36.91	3.155 263 74		28	7	25	55.898	24	1	50.20	3.263 216 00
<b>Avril</b>	1	2	24	39.738	10	4	53.23	3.199 527 10	<b>Oct.</b>	1	7	32	46.158	23	57	13.72	3.222 438 87
	5	2	29	40.178	10	41	3.29	3.242 343 43		5	7	39	31.553	23	52	1.88	3.180 266 03
	9	2	34	49.363	11	17	2.59	3.283 637 07		9	7	46	11.746	23	46	19.51	3.136 748 49
	13	2	40	6.833	11	52	46.99	3.323 357 47		13	7	52	46.358	23	40	11.84	3.091 925 73
	17	2	45	32.238	12	28	12.80	3.361 459 88		17	7	59	14.902	23	33	44.61	3.045 837 49
<b>Mai</b>	21	2	51	5.288	13	3	16.59	3.397 892 42	<b>Nov.</b>	21	8	5	36.800	23	27	3.98	2.998 544 10
	25	2	56	45.707	13	37	55.04	3.432 595 30		25	8	11	51.483	23	20	16.35	2.950 129 11
	29	3	2	33.198	14	12	4.78	3.465 503 57		29	8	17	58.434	23	13	28.30	2.900 684 84
	1	3	8	27.411	14	45	42.30	3.496 556 31		3	8	23	57.171	23	6	46.71	2.850 300 52
	6	3	14	27.968	15	18	44.04	3.525 716 49		7	8	29	47.211	23	0	18.82	2.799 058 81
<b>Juin</b>	10	3	20	34.555	15	51	6.68	3.552 969 48	<b>Déc.</b>	11	8	35	28.013	22	54	12.36	2.747 031 46
	14	3	26	46.941	16	22	47.30	3.578 304 36		15	8	40	58.883	22	48	35.72	2.694 293 16
	18	3	33	4.939	16	53	43.20	3.601 701 68		19	8	46	19.009	22	43	37.75	2.640 943 18
	22	3	39	28.366	17	23	51.82	3.623 133 37		23	8	51	27.564	22	39	27.45	2.587 106 26
	26	3	45	57.009	17	53	10.58	3.642 563 59		27	8	56	23.754	22	36	13.91	2.532 918 81
<b>Juillet</b>	30	3	52	30.589	18	21	36.85	3.659 957 83	<b>Janv.</b>	31	9	1	6.799	22	34	6.29	2.478 518 86
	4	3	59	8.780	18	49	7.89	3.675 303 50		4	9	5	35.904	22	33	13.96	2.424 040 79
	8	4	5	51.306	19	15	41.25	3.688 610 38		8	9	9	50.189	22	33	46.62	2.369 611 35
	12	4	12	37.964	19	41	14.78	3.699 889 42		12	9	13	48.576	22	35	54.48	2.315 363 55
	16	4	19	28.583	20	5	46.61	3.709 142 88		16	9	17	29.837	22	39	47.80	2.261 461 28
<b>Sept.</b>	20	4	26	22.986	20	29	15.01	3.716 363 67	<b>Févr.</b>	20	9	20	52.732	22	45	36.26	2.208 097 42
	24	4	33	20.969	20	51	38.34	3.721 535 06		24	9	23	56.061	22	53	28.72	2.155 479 78
	28	4	40	22.248	21	12	54.96	3.724 640 06		28	9	26	38.664	23	3	33.05	2.103 821 57
	1	4	47	26.479	21	33	3.24	3.725 681 08		2	9	28	59.406	23	15	56.04	2.053 335 26
	5	4	54	33.362	21	52	1.77	3.724 683 88		6	9	30	57.112	23	30	43.39	2.004 227 95
<b>Oct.</b>	9	5	1	42.660	22	9	49.46	3.721 673 92	<b>Mars</b>	10	9	32	30.459	23	47	59.63	1.956 715 18
	13	5	8	54.170	22	26	25.51	3.716 668 47		14	9	33	38.078	24	7	47.01	1.911 046 04
	17	5	16	7.683	22	41	49.34	3.709 674 38		18	9	34	18.778	24	30	4.32	1.867 496 47
	21	5	23	22.958	22	56	0.52	3.700 688 40		22	9	34	31.654	24	54	46.43	1.826 350 72
	25	5	30	39.672	23	8	58.75	3.689 705 18		26	9	34	16.138	25	21	44.00	1.787 889 89
<b>Nov.</b>	29	5	37	57.440	23	20	43.82	3.676 738 17	<b>Juillet</b>	30	9	33	32.033	25	50	43.37	1.752 381 03

## PALLAS 2017 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		
<b>Janv.</b>	0	22	3	20.450	- 6	30	9.25	3.714 898 48	<b>Juill.</b>	3	2	13	16.029	1	9	0.99	3.010 377 12
	4	22	8	2.633	- 6	27	20.09	3.755 307 06		7	2	18	17.733	0	57	0.83	2.950 407 49
	8	22	12	50.606	- 6	23	3.62	3.793 579 47		11	2	23	13.856	0	42	31.28	2.889 964 21
	12	22	17	43.856	- 6	17	24.94	3.829 629 90		15	2	28	3.820	0	25	24.89	2.829 168 95
	16	22	22	41.975	- 6	10	28.86	3.863 388 84		19	2	32	46.936	0	5	33.79	2.768 147 18
<b>Févr.</b>	20	22	27	44.636	- 6	2	19.82	3.894 779 13	23	2	37	22.388	- 0	17	10.10	2.707 044 08	
	24	22	32	51.516	- 5	53	2.28	3.923 714 27	27	2	41	49.318	- 0	42	54.39	2.646 032 39	
	28	22	38	2.270	- 5	42	40.81	3.950 109 69	31	2	46	6.920	- 1	11	45.82	2.585 295 19	
	1	22	43	16.537	- 5	31	20.20	3.973 890 02	<b>Août</b>	4	2	50	14.396	- 1	43	50.66	2.525 005 93
	5	22	48	33.943	- 5	19	5.40	3.995 000 73	8	2	54	10.886	- 2	19	14.93	2.465 330 71	
<b>Mars</b>	9	22	53	54.156	- 5	6	1.30	4.013 413 81	12	2	57	55.428	- 2	58	4.38	2.406 432 97	
	13	22	59	16.936	- 4	52	12.44	4.029 114 73	16	3	1	26.922	- 3	40	24.32	2.348 482 94	
	17	23	4	42.104	- 4	37	43.08	4.042 081 08	20	3	4	44.127	- 4	26	18.93	2.291 672 80	
	21	23	10	9.487	- 4	22	37.47	4.052 280 74	24	3	7	45.784	- 5	15	50.09	2.236 221 65	
	25	23	15	38.885	- 4	7	0.02	4.059 681 19	28	3	10	30.713	- 6	8	56.94	2.182 356 75	
<b>Avril</b>	1	23	21	10.071	- 3	50	55.33	4.064 257 66	<b>Sept.</b>	1	3	12	57.796	- 7	5	36.12	2.130 294 33
	5	23	26	42.795	- 3	34	28.24	4.066 004 54	5	3	15	5.898	- 8	5	41.83	2.080 240 27	
	9	23	32	16.840	- 3	17	43.45	4.064 942 72	9	3	16	53.846	- 9	9	5.43	2.032 393 70	
	13	23	37	52.069	- 3	0	45.38	4.061 103 47	13	3	18	20.390	-10	15	34.97	1.986 955 30	
	17	23	43	28.395	- 2	43	38.16	4.054 509 03	17	3	19	24.262	-11	24	53.74	1.944 141 16	
<b>Mai</b>	21	23	49	5.731	- 2	26	25.96	4.045 171 73	21	3	20	4.368	-12	36	38.84	1.904 180 50	
	25	23	54	43.959	- 2	9	13.14	4.033 101 48	25	3	20	19.933	-13	50	21.24	1.867 291 52	
	29	0	0	22.923	- 1	52	4.30	4.018 313 29	29	3	20	10.502	-15	5	26.66	1.833 663 77	
	2	0	6	2.431	- 1	35	4.30	4.000 840 09	<b>Oct.</b>	3	3	19	35.897	-16	21	16.28	1.803 455 33
	6	0	11	42.314	- 1	18	17.92	3.980 741 21	7	3	18	36.223	-17	37	7.28	1.776 795 35	
<b>Juin</b>	10	0	17	22.473	- 1	1	49.61	3.958 083 62	11	3	17	11.856	-18	52	13.22	1.753 790 75	
	14	0	23	2.854	- 0	45	43.63	3.932 924 11	15	3	15	23.564	-20	5	43.56	1.734 538 71	
	18	0	28	43.390	- 0	30	4.31	3.905 308 97	19	3	13	12.767	-21	16	44.28	1.719 116 62	
	22	0	34	23.980	- 0	14	56.24	3.875 280 48	23	3	10	41.636	-22	24	20.78	1.707 558 40	
	26	0	40	4.474	- 0	0	24.30	3.842 884 07	27	3	7	52.991	-23	27	41.17	1.699 844 22	
<b>Juillet</b>	30	0	45	44.668	0	13	26.28	3.808 181 43	31	3	4	50.159	-24	25	58.60	1.695 904 54	
	4	0	51	24.369	0	26	30.34	3.771 260 77	<b>Nov.</b>	4	3	1	36.833	-25	18	32.95	1.695 628 87
	8	0	57	3.453	0	38	43.02	3.732 216 89	8	2	58	16.910	-26	4	51.48	1.698 880 31	
	12	1	2	41.824	0	49	59.59	3.691 132 92	12	2	54	54.491	-26	44	27.92	1.705 512 76	
	16	1	8	19.371	1	0	15.14	3.648 081 04	16	2	51	33.973	-27	17	3.11	1.715 361 54	
<b>Sept.</b>	20	1	13	55.937	1	9	24.48	3.603 129 20	20	2	48	19.878	-27	42	27.06	1.728 228 33	
	24	1	19	31.299	1	17	21.97	3.556 346 62	24	2	45	16.549	-28	0	39.53	1.743 884 05	
	28	1	25	5.165	1	24	1.60	3.507 818 99	28	2	42	27.915	-28	11	49.18	1.762 080 12	
	1	1	30	37.232	1	29	17.34	3.457 657 76	<b>Déc.</b>	2	2	39	57.323	-28	16	11.93	1.782 561 08
	5	1	36	7.268	1	33	3.50	3.405 982 11	6	2	37	47.458	-28	14	8.66	1.805 081 06	
<b>Oct.</b>	9	1	41	35.057	1	35	14.44	3.352 898 41	10	2	36	0.462	-28	6	2.21	1.829 417 37	
	13	1	47	0.354	1	35	44.23	3.298 502 84	14	2	34	38.138	-27	52	16.82	1.855 355 57	
	17	1	52	22.852	1	34	26.55	3.242 886 94	18	2	33	41.886	-27	33	19.00	1.882 674 85	
	21	1	57	42.162	1	31	14.58	3.186 144 39	22	2	33	12.595	-27	9	36.95	1.911 152 17	
	25	2	2	57.793	1	26	1.07	3.128 385 68	26	2	33	10.638	-26	41	39.49	1.940 570 61	
29	2	8	9.235	1	18	38.81	3.069 747 85	30	2	33	35.909	-26	9	54.93	1.970 727 73		

## JUNON 2017 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		
<b>Janv.</b>	0	17	13	40.363	-12	50	2.76	4.198 868 66	<b>Juill.</b>	3	18	40	2.418	- 5	2	27.99	2.096 215 33
	4	17	19	9.405	-12	52	12.74	4.173 522 94		7	18	36	30.223	- 5	11	1.35	2.091 120 75
	8	17	24	36.347	-12	53	13.40	4.145 596 62		11	18	33	0.644	- 5	21	41.94	2.090 348 84
	12	17	30	0.798	-12	53	4.90	4.115 162 01		15	18	29	36.710	- 5	34	23.15	2.093 843 32
	16	17	35	22.409	-12	51	47.55	4.082 278 85		19	18	26	21.370	- 5	48	57.02	2.101 525 03
<b>Févr.</b>	20	17	40	40.787	-12	49	21.70	4.046 993 37	23	18	23	17.519	- 6	5	14.27	2.113 284 05	
	24	17	45	55.465	-12	45	47.79	4.009 356 17	27	18	20	27.909	- 6	23	4.14	2.128 960 29	
	28	17	51	5.929	-12	41	6.50	3.969 434 07	31	18	17	54.914	- 6	42	14.60	2.148 341 79	
	1	17	56	11.640	-12	35	18.78	3.927 311 65	<b>Août</b>	4	18	15	40.429	- 7	2	33.18	2.171 191 53
	5	18	1	12.076	-12	28	25.89	3.883 094 03		8	18	13	45.924	- 7	23	47.55	2.197 265 85
9	18	6	6.774	-12	20	29.40	3.836 892 69	12		18	12	12.518	- 7	45	45.87	2.226 322 75	
13	18	10	55.302	-12	11	30.99	3.788 806 64	16		18	11	1.067	- 8	8	16.86	2.258 124 16	
17	18	15	37.187	-12	1	32.38	3.738 921 85	20		18	10	12.252	- 8	31	9.82	2.292 427 36	
<b>Mars</b>	21	18	20	11.873	-11	50	35.45	3.687 328 52	24	18	9	46.538	- 8	54	14.30	2.328 967 10	
	25	18	24	38.746	-11	38	42.35	3.634 131 57	28	18	9	44.062	- 9	17	20.20	2.367 461 08	
	1	18	28	57.160	-11	25	55.58	3.579 455 12	<b>Sept.</b>	1	18	10	4.623	- 9	40	18.17	2.407 633 39
	5	18	33	6.480	-11	12	17.97	3.523 444 28		5	18	10	47.805	-10	2	59.79	2.449 228 00
	9	18	37	6.140	-10	57	52.68	3.466 249 85		9	18	11	53.056	-10	25	17.51	2.492 011 20
13	18	40	55.600	-10	42	42.91	3.408 009 06	13		18	13	19.792	-10	47	4.65	2.535 770 82	
17	18	44	34.260	-10	26	51.96	3.348 848 05	17		18	15	7.458	-11	8	15.04	2.580 299 87	
<b>Avril</b>	21	18	48	1.437	-10	10	23.39	3.288 897 76	21	18	17	15.467	-11	28	42.82	2.625 379 52	
	25	18	51	16.375	- 9	53	21.12	3.228 304 31	25	18	19	43.100	-11	48	22.39	2.670 786 27	
	29	18	54	18.283	- 9	35	49.53	3.167 234 36	29	18	22	29.514	-12	7	8.70	2.716 310 56	
	2	18	57	6.385	- 9	17	53.53	3.105 877 47	<b>Oct.</b>	3	18	25	33.818	-12	24	57.25	2.761 766 32
	6	18	59	39.999	- 8	59	38.32	3.044 428 87		7	18	28	55.126	-12	41	44.05	2.806 991 13
10	19	1	58.475	- 8	41	9.23	2.983 069 74	11		18	32	32.631	-12	57	25.59	2.851 844 62	
14	19	4	1.105	- 8	22	31.79	2.921 972 58	15		18	36	25.636	-13	11	58.58	2.896 188 47	
18	19	5	47.112	- 8	3	51.96	2.861 317 78	19		18	40	33.466	-13	25	19.79	2.939 870 94	
<b>Mai</b>	22	19	7	15.675	- 7	45	16.24	2.801 301 76	23	18	44	55.385	-13	37	26.16	2.982 736 52	
	26	19	8	25.974	- 7	26	51.85	2.742 143 63	27	18	49	30.597	-13	48	14.97	3.024 642 40	
	30	19	9	17.282	- 7	8	46.67	2.684 085 94	<b>Nov.</b>	31	18	54	18.297	-13	57	43.83	3.065 465 49
	4	19	9	49.054	- 6	51	9.00	2.627 375 68		4	18	59	17.713	-14	5	50.76	3.105 104 07
	8	19	10	0.869	- 6	34	7.17	2.572 242 15		8	19	4	28.158	-14	12	34.01	3.143 475 85
12	19	9	52.336	- 6	17	49.75	2.518 907 10	12		19	9	49.065	-14	17	51.98	3.180 497 99	
16	19	9	23.112	- 6	2	25.74	2.467 598 77	16		19	15	19.889	-14	21	43.08	3.216 071 15	
<b>Juin</b>	20	19	8	32.969	- 5	48	4.65	2.418 558 44	20	19	21	0.032	-14	24	5.92	3.250 091 99	
	24	19	7	21.859	- 5	34	56.49	2.372 044 25	24	19	26	48.854	-14	24	59.44	3.282 468 00	
	28	19	5	50.058	- 5	23	11.59	2.328 327 62	28	19	32	45.710	-14	24	22.89	3.313 123 72	
	1	19	3	58.258	- 5	12	59.99	2.287 669 32	<b>Déc.</b>	2	19	38	49.982	-14	22	15.88	3.342 003 06
	5	19	1	47.483	- 5	4	30.77	2.250 295 46		6	19	45	1.130	-14	18	38.25	3.369 068 21
9	18	59	18.976	- 4	57	52.25	2.216 410 32	10		19	51	18.727	-14	13	29.88	3.394 280 56	
13	18	56	34.228	- 4	53	11.97	2.186 206 20	14		19	57	42.373	-14	6	50.69	3.417 583 15	
17	18	53	35.026	- 4	50	36.56	2.159 866 90	18		20	4	11.614	-13	58	40.88	3.438 914 33	
21	18	50	23.501	- 4	50	11.57	2.137 566 86	22	20	10	45.963	-13	49	0.98	3.458 222 51		
25	18	47	2.211	- 4	42	1.07	2.119 462 28	26	20	17	24.927	-13	37	51.87	3.475 471 15		
29	18	43	34.129	- 4	56	6.84	2.105 662 81	30	20	24	8.038	-13	25	14.76	3.490 642 29		



## VESTA 2017 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		
<b>Janv.</b>	0	8	20	4.912	21	32	2.07	1.582 290 92	<b>Juill.</b>	3	9	48	5.728	18	12	34.54	3.011 188 53
	4	8	16	35.907	21	56	20.38	1.561 254 14		7	9	55	2.408	17	37	25.53	3.038 902 86
	8	8	12	47.168	22	21	16.05	1.544 567 97		11	10	2	1.325	17	1	13.92	3.065 186 39
	12	8	8	42.896	22	46	23.47	1.532 369 13		15	10	9	2.298	16	24	1.70	3.090 031 02
	16	8	4	27.663	23	11	16.97	1.524 749 96		19	10	16	5.203	15	45	50.91	3.113 418 45
<b>Févr.</b>	20	8	0	6.466	23	35	31.40	1.521 772 03	23	10	23	9.914	15	6	43.88	3.135 314 83	
	24	7	55	44.744	23	58	43.17	1.523 452 36	27	10	30	16.236	14	26	43.45	3.155 684 39	
	28	7	51	28.179	24	20	31.64	1.529 745 77	31	10	37	23.945	13	45	52.72	3.174 510 96	
	1	7	47	22.400	24	40	40.23	1.540 539 74	<b>Août</b>	4	10	44	32.880	13	4	14.67	3.191 796 60
	5	7	43	32.653	24	58	57.19	1.555 650 70		8	10	51	42.958	12	21	52.15	3.207 547 79
9	7	40	3.431	25	15	15.68	1.574 840 66	12		10	58	54.167	11	38	47.87	3.221 768 16	
13	7	36	58.341	25	29	32.88	1.597 849 20	16		11	6	6.541	10	55	4.53	3.234 450 34	
17	7	34	20.271	25	41	48.84	1.624 412 64	20		11	13	20.104	10	10	45.10	3.245 570 25	
<b>Mars</b>	21	7	32	11.511	25	52	5.75	1.654 257 46	24	11	20	34.808	9	25	53.00	3.255 101 45	
	25	7	30	33.747	26	0	27.53	1.687 093 89	28	11	27	50.566	8	40	31.95	3.263 034 36	
	1	7	29	28.039	26	6	59.33	1.722 615 25	<b>Sept.</b>	1	11	35	7.327	7	54	45.61	3.269 377 59
	5	7	28	54.781	26	11	47.06	1.760 499 43		5	11	42	25.106	7	8	37.42	3.274 145 03
	9	7	28	53.654	26	14	56.84	1.800 426 87		9	11	49	43.972	6	22	10.67	3.277 349 42
13	7	29	23.797	26	16	34.19	1.842 107 30	13		11	57	4.043	5	35	28.56	3.278 991 67	
17	7	30	24.110	26	16	43.57	1.885 284 23	17		12	4	25.414	4	48	34.49	3.279 055 57	
<b>Avril</b>	21	7	31	53.399	26	15	28.50	1.929 720 96	21	12	11	48.104	4	1	32.36	3.277 521 75	
	25	7	33	50.403	26	12	51.74	1.975 189 55	25	12	19	12.083	3	14	26.37	3.274 386 76	
	29	7	36	13.793	26	8	55.48	2.021 464 70	29	12	26	37.339	2	27	20.67	3.269 664 19	
	2	7	39	2.111	26	3	41.52	2.068 319 57	<b>Oct.</b>	3	12	34	3.906	1	40	19.21	3.263 375 07
	6	7	42	13.705	25	57	11.33	2.115 540 94		7	12	41	31.866	0	53	25.74	3.255 540 72
10	7	45	46.857	25	49	25.72	2.162 950 61	11		12	49	1.345	0	6	43.83	3.246 171 56	
14	7	49	39.961	25	40	24.83	2.210 402 14	15		12	56	32.446	-0	39	42.78	3.235 259 34	
18	7	53	51.573	25	30	8.36	2.257 764 37	19		13	4	5.181	-1	25	49.87	3.222 792 77	
<b>Mai</b>	22	7	58	20.379	25	18	35.80	2.304 912 10	23	13	11	39.502	-2	11	32.95	3.208 775 61	
	26	8	3	5.157	25	5	46.63	2.351 717 90	27	13	19	15.361	-2	56	47.54	3.193 228 05	
	30	8	8	4.699	24	51	40.49	2.398 047 99	31	13	26	52.741	-3	41	29.39	3.176 179 34	
	4	8	13	17.718	24	36	17.32	2.443 776 40	<b>Nov.</b>	4	13	34	31.661	-4	25	34.52	3.157 660 85
	8	8	18	42.941	24	19	37.00	2.488 807 75		8	13	42	12.187	-5	8	59.22	3.137 694 97
12	8	24	19.242	24	1	39.22	2.533 070 27	12		13	49	54.353	-5	51	39.73	3.116 283 76	
16	8	30	5.652	23	42	23.65	2.576 501 57	16		13	57	38.090	-6	33	31.84	3.093 425 53	
20	8	36	1.328	23	21	50.03	2.619 039 66	20		14	5	23.254	-7	14	31.14	3.069 133 60	
<b>Juin</b>	24	8	42	5.524	22	59	58.26	2.660 616 17	24	14	13	9.681	-7	54	33.31	3.043 437 17	
	28	8	48	17.502	22	36	48.65	2.701 151 38	28	14	20	57.223	-8	33	34.30	3.016 375 58	
	1	8	54	36.465	22	12	21.99	2.740 568 41	2	14	28	45.757	-9	11	30.44	2.987 992 26	
	5	9	1	1.612	21	46	39.25	2.778 816 91	6	14	36	35.206	-9	48	18.47	2.958 323 40	
	9	9	7	32.267	21	19	41.31	2.815 865 68	10	14	44	25.464	-10	23	55.25	2.927 384 22	
13	9	14	7.877	20	51	29.05	2.851 689 81	14	14	52	16.303	-10	58	17.33	2.895 184 28		
17	9	20	47.993	20	22	3.41	2.886 261 97	18	15	0	7.396	-11	31	21.16	2.861 747 84		
21	9	27	32.235	19	51	25.46	2.919 546 01	22	15	7	58.386	-12	3	3.44	2.827 115 12		
25	9	34	20.233	19	19	36.66	2.951 491 52	26	15	15	48.913	-12	33	21.28	2.791 337 12		
29	9	41	11.549	18	46	38.95	2.982 048 39	30	15	23	38.643	-13	2	12.29	2.754 470 37		

# SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS .....	II. 98
DÉIMOS.....	II. 106

## PHOBOS 2017

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	"	"
<b>Janv.</b>	1 4	7.460	2.690	<b>Janv.</b>	16 11	6.879	1.539	<b>Janv.</b>	31 19	6.342	3.067
	1 11	7.456	0.837		16 19	7.008	2.570		<b>Févr.</b>	1 3	5.918
	1 19	7.703	1.882		17 3	6.614	3.408	1 10		6.276	2.188
	2 3	7.375	2.787		17 10	6.866	1.646	1 18		6.290	3.146
	2 10	7.453	0.953		17 18	6.956	2.665	2 2		5.835	3.868
	2 18	7.656	1.992		18 2	6.527	3.483	2 9		6.255	2.282
	3 2	7.287	2.883		18 9	6.849	1.753	2 17		6.235	3.223
	3 9	7.445	1.069		18 17	6.901	2.758	3 1		5.752	3.921
	3 17	7.605	2.101		19 1	6.438	3.555	3 8		6.231	2.375
	4 1	7.196	2.976		19 8	6.829	1.858	3 16		6.179	3.297
	4 8	7.435	1.184		19 16	6.843	2.848	4 0		5.668	3.971
	4 16	7.551	2.208		20 0	6.347	3.625	4 7		6.205	2.465
	5 0	7.103	3.067		20 7	6.807	1.961	4 15		6.121	3.369
	5 7	7.421	1.298		20 15	6.783	2.937	4 23		5.582	4.018
	5 15	7.494	2.313		20 23	6.255	3.692	5 6		6.177	2.554
	5 23	7.008	3.155		21 6	6.782	2.063	5 14		6.061	3.438
6 6	7.404	1.411	21 14	6.721	3.024	5 22	5.496	4.063			
6 14	7.435	2.416	21 22	6.161	3.756	6 5	6.147	2.641			
6 22	6.911	3.240	22 5	6.754	2.164	6 13	6.000	3.505			
7 5	7.383	1.524	22 13	6.657	3.108	6 21	5.408	4.104			
7 13	7.372	2.517	22 21	6.066	3.818	7 4	6.114	2.726			
7 21	6.812	3.322	23 4	6.723	2.263	7 12	5.938	3.569			
8 4	7.359	1.635	23 12	6.591	3.190	7 20	5.320	4.143			
8 12	7.307	2.617	23 20	5.969	3.876	8 3	6.080	2.809			
8 20	6.711	3.402	24 3	6.690	2.360	8 11	5.874	3.631			
9 3	7.332	1.745	24 11	6.523	3.269	8 19	5.231	4.179			
9 11	7.240	2.714	24 19	5.871	3.932	9 2	6.044	2.890			
9 19	6.608	3.479	25 2	6.655	2.455	9 10	5.809	3.690			
10 2	7.302	1.854	25 10	6.453	3.346	9 18	5.142	4.212			
10 10	7.170	2.809	25 18	5.772	3.984	10 1	6.007	2.969			
10 18	6.504	3.553	26 1	6.617	2.549	10 9	5.742	3.747			
11 1	7.268	1.961	26 9	6.381	3.420	10 17	5.052	4.242			
11 9	7.097	2.902	26 17	5.672	4.034	11 0	5.967	3.046			
11 17	6.397	3.624	27 0	6.576	2.640	11 8	5.674	3.801			
12 0	7.232	2.066	27 8	6.308	3.492	11 16	4.961	4.269			
12 8	7.022	2.992	27 16	5.571	4.081	11 23	5.926	3.120			
12 16	6.289	3.693	27 23	6.534	2.730	12 7	5.606	3.852			
12 23	7.193	2.171	28 7	6.233	3.561	12 15	4.870	4.293			
13 7	6.945	3.080	28 15	5.469	4.124	12 22	5.883	3.192			
13 15	6.180	3.758	28 22	6.489	2.817	13 6	5.536	3.901			
13 22	7.151	2.273	29 6	6.156	3.628	13 14	4.778	4.315			
14 6	6.865	3.166	29 14	5.366	4.165	13 21	5.839	3.262			
14 14	6.069	3.820	29 21	6.442	2.903	14 5	5.465	3.947			
14 21	7.106	2.374	30 5	6.078	3.692	14 13	4.686	4.333			
15 5	6.784	3.249	30 13	5.263	4.202	14 20	5.793	3.330			
15 13	5.957	3.879	30 20	6.393	2.986	15 4	5.393	3.990			
15 20	7.058	2.473	31 4	5.998	3.753	15 12	4.594	4.349			
16 4	6.700	3.330	31 12	5.158	4.237	15 19	5.746	3.395			

## PHOBOS 2017

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	"	"
<b>Févr.</b>	16	3	5.320	4.031	<b>Mars</b>	3	10	5.243	2.856	<b>Mars</b>	18	18	4.836	3.662
	16	10	5.725	2.586		3	18	5.206	3.622		19	2	4.455	4.031
	16	18	5.697	3.458		4	2	4.784	4.115		19	9	4.847	3.068
	17	2	5.247	4.068		4	9	5.225	2.924		19	17	4.803	3.691
	17	9	5.703	2.667		4	17	5.164	3.667		20	1	4.404	4.035
	17	17	5.647	3.518		5	1	4.721	4.133		20	8	4.835	3.119
	18	1	5.173	4.103		5	8	5.206	2.989		20	16	4.770	3.719
	18	8	5.679	2.746		5	16	5.121	3.710		21	0	4.353	4.036
	18	16	5.596	3.576		6	0	4.657	4.149		21	7	4.822	3.168
	19	0	5.098	4.136		6	7	5.186	3.052		21	15	4.737	3.743
19	7	5.654	2.823	6	15	5.078	3.749	21	23	4.301	4.034			
19	15	5.544	3.631	6	23	4.594	4.162	22	6	4.808	3.215			
19	23	5.022	4.165	7	6	5.164	3.113	22	14	4.703	3.766			
20	6	5.628	2.899	7	14	5.033	3.787	22	22	4.249	4.030			
20	14	5.490	3.684	7	22	4.530	4.173	23	5	4.794	3.260			
20	22	4.946	4.192	8	5	5.142	3.172	23	13	4.668	3.785			
21	5	5.599	2.971	8	13	4.988	3.821	23	21	4.197	4.024			
21	13	5.436	3.734	8	21	4.465	4.181	24	4	4.779	3.302			
21	21	4.870	4.215	9	4	5.118	3.228	24	12	4.633	3.802			
22	4	5.570	3.042	9	12	4.942	3.853	24	20	4.145	4.014			
22	12	5.381	3.782	9	20	4.401	4.186	25	3	4.763	3.341			
22	20	4.793	4.236	10	3	5.094	3.283	25	11	4.598	3.817			
23	3	5.539	3.111	10	11	4.896	3.883	25	19	4.092	4.003			
23	11	5.324	3.827	10	19	4.336	4.189	26	2	4.746	3.379			
23	19	4.715	4.255	11	2	5.068	3.334	26	10	4.562	3.829			
24	2	5.507	3.177	11	10	4.849	3.910	26	18	4.039	3.989			
24	10	5.267	3.870	11	18	4.271	4.189	27	1	4.729	3.414			
24	18	4.637	4.270	12	1	5.042	3.384	27	9	4.525	3.839			
25	1	5.473	3.241	12	9	4.801	3.934	27	17	3.986	3.972			
25	9	5.209	3.910	12	17	4.205	4.186	28	0	4.711	3.446			
25	17	4.559	4.283	13	0	5.015	3.431	28	8	4.488	3.846			
26	0	5.438	3.302	13	8	4.753	3.956	28	16	3.932	3.953			
26	8	5.150	3.947	13	16	4.140	4.181	28	23	4.693	3.476			
26	16	4.481	4.293	13	23	4.987	3.475	29	7	4.451	3.850			
26	23	5.402	3.362	14	7	4.705	3.975	29	15	3.879	3.931			
27	7	5.091	3.982	14	15	4.074	4.173	29	22	4.674	3.504			
27	15	4.402	4.300	14	22	4.958	3.517	30	6	4.413	3.852			
27	22	5.365	3.419	15	6	4.656	3.991	30	14	3.825	3.907			
28	6	5.030	4.014	15	14	4.008	4.162	30	21	4.654	3.529			
28	14	4.323	4.304	15	21	4.928	3.557	31	5	4.375	3.852			
<b>Mars</b>	28	21	5.327	3.473	16	5	4.606	4.005	31	12	4.588	2.984		
	1	5	4.970	4.043	16	13	3.943	4.149	31	20	4.634	3.551		
	1	13	4.244	4.306	16	20	4.898	3.595	<b>Avril</b>	1	4	4.336	3.849	
	1	20	5.287	3.526	17	4	4.556	4.017		1	11	4.587	3.028	
	2	4	4.908	4.069	17	11	4.868	2.958		1	19	4.613	3.572	
	2	12	4.165	4.305	17	19	4.867	3.629		2	3	4.297	3.843	
	2	19	5.247	3.575	18	3	4.506	4.025	2	10	4.585	3.070		
	3	3	4.846	4.093	18	10	4.858	3.014	2	18	4.591	3.589		

## PHOBOS 2017

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	"	"
<b>Avril</b>	3	2	4.258	3.835	<b>Avril</b>	18	9	4.434	3.057	<b>Mai</b>	3	17	4.439	3.124
	3	9	4.582	3.110		18	17	4.454	3.414		4	1	4.153	3.101
	3	17	4.569	3.604		19	1	4.144	3.511		4	8	4.407	2.915
	4	1	4.218	3.825		19	8	4.440	3.079		4	16	4.432	3.108
	4	8	4.579	3.147		19	16	4.441	3.412		5	0	4.127	3.063
	4	16	4.547	3.617		20	0	4.112	3.485		5	7	4.419	2.920
	5	0	4.178	3.812		20	7	4.445	3.099		5	15	4.425	3.089
	5	7	4.575	3.182		20	15	4.427	3.408		5	23	4.100	3.022
	5	15	4.524	3.627		20	23	4.080	3.457		6	6	4.431	2.922
	5	23	4.137	3.796		21	6	4.449	3.117		6	14	4.416	3.069
	6	6	4.570	3.215		21	14	4.413	3.401		6	22	4.072	2.979
	6	14	4.500	3.635		21	22	4.047	3.426		7	5	4.441	2.922
	6	22	4.096	3.778		22	5	4.453	3.132		7	13	4.407	3.045
	7	5	4.565	3.245		22	13	4.397	3.392		7	21	4.043	2.935
	7	13	4.476	3.640		22	21	4.014	3.393		8	4	4.451	2.920
	7	21	4.055	3.758		23	4	4.455	3.145		8	12	4.397	3.020
	8	4	4.559	3.272		23	12	4.381	3.381		8	19	4.203	2.614
	8	12	4.451	3.643		23	20	3.980	3.358		9	3	4.460	2.915
8	20	4.013	3.736	24	3	4.458	3.155	9	11	4.385	2.992			
9	3	4.553	3.297	24	11	4.364	3.367	9	18	4.230	2.629			
9	11	4.426	3.643	24	19	3.945	3.321	10	2	4.468	2.908			
9	19	3.970	3.711	25	2	4.459	3.163	10	10	4.373	2.963			
10	2	4.546	3.320	25	10	4.347	3.351	10	17	4.257	2.643			
10	10	4.400	3.641	25	18	3.910	3.282	11	1	4.475	2.898			
10	18	3.928	3.684	26	1	4.460	3.168	11	9	4.359	2.931			
11	1	4.538	3.341	26	9	4.328	3.332	11	16	4.283	2.654			
11	9	4.374	3.636	26	16	4.280	2.789	12	0	4.481	2.886			
11	17	3.885	3.654	27	0	4.460	3.171	12	8	4.344	2.896			
12	0	4.530	3.358	27	8	4.309	3.311	12	15	4.308	2.662			
12	8	4.347	3.629	27	15	4.298	2.813	12	23	4.486	2.872			
12	16	3.841	3.622	27	23	4.460	3.172	13	7	4.329	2.860			
12	23	4.521	3.374	28	7	4.290	3.288	13	14	4.332	2.668			
13	7	4.320	3.619	28	14	4.316	2.835	13	22	4.490	2.855			
13	14	4.396	2.908	28	22	4.458	3.170	14	6	4.312	2.822			
13	22	4.511	3.387	29	6	4.269	3.262	14	13	4.355	2.672			
14	6	4.292	3.607	29	13	4.333	2.855	14	21	4.492	2.836			
14	13	4.405	2.943	29	21	4.456	3.166	15	5	4.293	2.782			
14	21	4.501	3.397	30	5	4.247	3.234	15	12	4.378	2.673			
15	5	4.264	3.593	30	12	4.349	2.871	15	20	4.494	2.815			
15	12	4.413	2.975	30	20	4.453	3.159	16	4	4.274	2.739			
15	20	4.491	3.405	<b>Mai</b>	1	4	4.225	3.204	16	11	4.399	2.672		
16	4	4.234	3.576		1	11	4.364	2.886	16	19	4.495	2.791		
16	11	4.421	3.004		1	19	4.449	3.150	17	3	4.253	2.695		
16	19	4.479	3.411		2	3	4.202	3.172	17	10	4.420	2.668		
17	3	4.205	3.557		2	10	4.379	2.898	17	18	4.494	2.765		
17	10	4.428	3.032	2	18	4.444	3.138	18	2	4.231	2.649			
17	18	4.467	3.414	3	2	4.178	3.138	18	9	4.439	2.663			
18	2	4.175	3.535	3	9	4.393	2.908	18	17	4.492	2.737			

## PHOBOS 2017

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	"	"
<b>Mai</b>	19	1	4.208	2.601	<b>Juin</b>	3	8	4.561	2.298	<b>Juin</b>	18	16	4.652	1.651
	19	8	4.457	2.654		3	16	4.574	2.217		18	23	4.402	1.888
	19	16	4.489	2.707		3	23	4.246	2.196		19	7	4.699	1.813
	20	0	4.183	2.551		4	7	4.579	2.272		19	15	4.642	1.597
	20	7	4.474	2.643		4	15	4.569	2.172		19	22	4.441	1.865
	20	15	4.484	2.675		4	22	4.285	2.188		20	6	4.713	1.772
	20	23	4.157	2.500		5	6	4.596	2.244		20	14	4.629	1.540
	21	6	4.490	2.630		5	14	4.562	2.126		20	21	4.478	1.840
	21	14	4.479	2.640		5	21	4.323	2.179		21	5	4.725	1.729
	21	21	4.202	2.424		6	5	4.611	2.214		21	13	4.615	1.483
	22	5	4.505	2.615		6	13	4.553	2.078		21	20	4.514	1.812
	22	13	4.471	2.604		6	20	4.360	2.167		22	4	4.735	1.684
	22	20	4.237	2.429		7	4	4.625	2.182		22	12	4.598	1.424
	23	4	4.519	2.597		7	12	4.542	2.028		22	19	4.548	1.783
	23	12	4.463	2.566	7	19	4.396	2.153	23	3	4.743	1.638		
	23	19	4.270	2.431	8	3	4.637	2.148	23	11	4.580	1.364		
	24	3	4.531	2.577	8	11	4.530	1.976	23	18	4.580	1.751		
	24	11	4.453	2.525	8	18	4.430	2.136	24	2	4.749	1.590		
	24	18	4.302	2.431	9	2	4.648	2.112	24	10	4.559	1.304		
	25	2	4.542	2.555	9	10	4.515	1.923	24	17	4.610	1.717		
	25	10	4.442	2.483	9	17	4.462	2.117	25	1	4.753	1.540		
	25	17	4.334	2.428	10	1	4.656	2.074	25	9	4.536	1.242		
	26	1	4.552	2.531	10	9	4.499	1.869	25	16	4.638	1.682		
	26	9	4.429	2.439	10	16	4.493	2.097	26	0	4.755	1.489		
	26	16	4.364	2.423	11	0	4.663	2.034	26	8	4.511	1.179		
	27	0	4.560	2.504	11	8	4.481	1.813	26	15	4.665	1.645		
	27	8	4.414	2.392	11	15	4.523	2.073	26	23	4.755	1.436		
	27	15	4.393	2.415	11	23	4.669	1.992	27	7	4.483	1.115		
27	23	4.567	2.475	12	7	4.461	1.756	27	14	4.689	1.605			
28	7	4.398	2.345	12	14	4.551	2.048	27	22	4.753	1.382			
28	14	4.421	2.405	12	22	4.672	1.948	28	5	4.320	1.679			
28	22	4.573	2.445	13	6	4.439	1.697	28	13	4.712	1.564			
29	6	4.381	2.295	13	13	4.577	2.021	28	21	4.748	1.326			
29	13	4.448	2.393	13	21	4.673	1.903	29	4	4.366	1.653			
29	21	4.577	2.412	14	5	4.415	1.637	29	12	4.732	1.521			
30	5	4.362	2.244	14	12	4.602	1.991	29	20	4.741	1.270			
30	12	4.473	2.378	14	20	4.673	1.856	30	3	4.410	1.625			
30	20	4.580	2.377	15	4	4.389	1.576	30	11	4.751	1.477			
31	4	4.341	2.191	15	11	4.625	1.959	30	19	4.732	1.212			
31	11	4.497	2.362	15	19	4.671	1.807	<b>Juill.</b>	1	2	4.452	1.595		
<b>Juin</b>	31	19	4.581	2.340	16	2	4.277	1.945	1	10	4.767	1.430		
	1	3	4.319	2.136	16	10	4.646	1.926	1	18	4.721	1.153		
	1	10	4.520	2.342	16	18	4.666	1.757	2	1	4.493	1.563		
	1	18	4.580	2.301	17	1	4.320	1.928	2	9	4.781	1.382		
	2	2	4.295	2.080	17	9	4.666	1.890	2	17	4.707	1.093		
	2	9	4.541	2.321	17	17	4.660	1.705	3	0	4.532	1.529		
	2	17	4.578	2.260	18	0	4.362	1.909	3	8	4.793	1.333		
	3	0	4.206	2.200	18	8	4.684	1.853	3	16	4.691	1.032		

## PHOBOS 2017

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	"	"
<b>Juill.</b>	3	23	4.568	1.493	<b>Juill.</b>	19	7	4.866	0.699	<b>Août</b>	3	15	4.544	-0.336
	4	7	4.803	1.282		19	15	4.643	0.317		3	22	4.846	0.439
	4	15	4.673	0.970		19	22	4.745	0.974		4	6	4.861	0.020
	4	22	4.603	1.456		20	6	4.865	0.638		4	13	4.508	0.771
	5	6	4.811	1.230		20	14	4.613	0.251		4	21	4.863	0.379
	5	14	4.653	0.907		20	21	4.770	0.923		5	5	4.847	-0.045
	5	21	4.636	1.416		21	5	4.861	0.577		5	12	4.551	0.719
	6	5	4.816	1.176		21	13	4.580	0.184		5	20	4.876	0.317
	6	13	4.630	0.843		21	20	4.794	0.870		6	4	4.830	-0.111
	6	20	4.667	1.375		22	4	4.855	0.515		6	11	4.591	0.665
7	4	4.819	1.121	22	11	4.417	1.114	6	19	4.887	0.255			
7	12	4.605	0.779	22	19	4.814	0.816	7	3	4.810	-0.178			
7	19	4.696	1.332	23	3	4.846	0.452	7	10	4.630	0.611			
8	3	4.820	1.065	23	10	4.464	1.071	7	18	4.896	0.192			
8	11	4.577	0.714	23	18	4.833	0.760	8	2	4.788	-0.244			
8	18	4.722	1.287	24	2	4.835	0.388	8	9	4.666	0.555			
9	2	4.819	1.007	24	9	4.508	1.027	8	17	4.902	0.128			
9	10	4.547	0.648	24	17	4.849	0.704	9	1	4.764	-0.311			
9	17	4.747	1.240	25	1	4.821	0.324	9	8	4.699	0.497			
10	1	4.815	0.949	25	8	4.551	0.980	9	16	4.905	0.064			
10	8	4.368	1.401	25	16	4.863	0.646	10	0	4.736	-0.377			
10	16	4.769	1.192	26	0	4.805	0.259	10	7	4.730	0.439			
11	0	4.809	0.889	26	7	4.591	0.932	10	15	4.906	-0.001			
11	7	4.415	1.367	26	15	4.874	0.587	10	23	4.706	-0.444			
11	15	4.789	1.143	26	23	4.786	0.194	11	6	4.759	0.379			
11	23	4.800	0.828	27	6	4.628	0.883	11	14	4.904	-0.067			
12	6	4.460	1.330	27	14	4.883	0.527	11	22	4.674	-0.510			
12	14	4.807	1.092	27	22	4.765	0.128	12	5	4.785	0.319			
12	22	4.789	0.767	28	5	4.664	0.832	12	13	4.900	-0.133			
13	5	4.503	1.291	28	13	4.889	0.466	12	21	4.639	-0.576			
13	13	4.823	1.039	28	21	4.741	0.062	13	4	4.809	0.257			
13	21	4.776	0.705	29	4	4.697	0.780	13	12	4.893	-0.199			
14	4	4.544	1.251	29	12	4.893	0.405	13	20	4.601	-0.642			
14	12	4.836	0.986	29	20	4.714	-0.004	14	3	4.830	0.194			
14	20	4.760	0.641	30	3	4.728	0.726	14	11	4.883	-0.266			
15	3	4.583	1.209	30	11	4.894	0.342	14	19	4.561	-0.708			
15	11	4.847	0.931	30	19	4.685	-0.070	15	2	4.848	0.131			
15	19	4.741	0.578	31	2	4.757	0.671	15	10	4.871	-0.333			
16	2	4.620	1.165	31	10	4.892	0.279	15	18	4.518	-0.773			
16	10	4.855	0.874	31	18	4.654	-0.137	16	1	4.864	0.067			
16	18	4.721	0.513	<b>Août</b>	1	1	4.783	0.615	16	9	4.856	-0.400		
17	1	4.654	1.120		1	9	4.888	0.215	16	16	4.545	0.468		
17	9	4.861	0.817		1	17	4.620	-0.203	17	0	4.878	0.002		
17	17	4.697	0.448		2	0	4.806	0.558	17	8	4.838	-0.467		
18	0	4.687	1.073		2	8	4.882	0.151	17	15	4.586	0.409		
18	8	4.865	0.758	2	16	4.583	-0.270	17	23	4.889	-0.063			
18	16	4.672	0.383	2	23	4.828	0.499	18	7	4.818	-0.534			
18	23	4.717	1.025	3	7	4.873	0.086	18	14	4.624	0.349			

## PHOBOS 2017

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	"	"
<b>Août</b>	18 22	4.897	-0.129	<b>Sept.</b>	3 6	4.671	-1.207	<b>Sept.</b>	18 13	4.827	-0.783
	19 6	4.795	-0.601		3 13	4.767	-0.235		18 21	4.825	-1.363
	19 13	4.660	0.289		3 21	4.888	-0.782		19 5	4.450	-1.839
	19 21	4.902	-0.196		4 5	4.634	-1.272		19 12	4.840	-0.856
	20 5	4.770	-0.668		4 12	4.790	-0.304		19 20	4.806	-1.432
	20 12	4.694	0.227		4 20	4.880	-0.852		20 4	4.402	-1.899
	20 20	4.905	-0.263		5 4	4.595	-1.336		20 11	4.850	-0.929
	21 4	4.742	-0.735		5 11	4.811	-0.374		20 19	4.785	-1.500
	21 11	4.725	0.164		5 19	4.870	-0.921		21 3	4.351	-1.957
	21 19	4.906	-0.330		6 3	4.554	-1.399		21 10	4.857	-1.003
	22 3	4.711	-0.801		6 10	4.829	-0.444		21 18	4.762	-1.568
	22 10	4.753	0.100		6 18	4.857	-0.990		22 2	4.298	-2.013
	22 18	4.903	-0.398	7 2	4.510	-1.462	22 9	4.862	-1.076		
	23 2	4.678	-0.867	7 9	4.844	-0.514	22 17	4.736	-1.635		
	23 9	4.779	0.035	7 17	4.841	-1.059	23 1	4.242	-2.069		
	23 17	4.899	-0.466	8 1	4.464	-1.524	23 8	4.865	-1.149		
	24 1	4.642	-0.933	8 8	4.857	-0.585	23 16	4.707	-1.701		
	24 8	4.802	-0.030	8 16	4.822	-1.128	23 23	4.680	-0.585		
	24 16	4.891	-0.534	9 0	4.415	-1.585	24 7	4.865	-1.222		
	25 0	4.604	-0.998	9 7	4.867	-0.656	24 15	4.676	-1.767		
	25 7	4.823	-0.097	9 15	4.801	-1.196	24 22	4.708	-0.660		
	25 15	4.881	-0.602	9 23	4.364	-1.645	25 6	4.862	-1.294		
	25 23	4.563	-1.063	10 6	4.875	-0.727	25 14	4.642	-1.831		
26 6	4.842	-0.163	10 14	4.777	-1.263	25 21	4.733	-0.735			
26 14	4.868	-0.670	10 21	4.634	-0.206	26 5	4.856	-1.367			
26 22	4.519	-1.127	11 5	4.879	-0.798	26 13	4.606	-1.895			
27 5	4.857	-0.231	11 13	4.751	-1.330	26 20	4.756	-0.810			
27 13	4.852	-0.738	11 20	4.667	-0.277	27 4	4.849	-1.438			
27 21	4.473	-1.190	12 4	4.882	-0.869	27 12	4.568	-1.957			
28 4	4.870	-0.299	12 12	4.722	-1.397	27 19	4.776	-0.886			
28 12	4.834	-0.806	12 19	4.697	-0.348	28 3	4.838	-1.510			
28 20	4.425	-1.252	13 3	4.881	-0.940	28 11	4.527	-2.018			
29 3	4.881	-0.367	13 11	4.691	-1.463	28 18	4.794	-0.962			
29 11	4.813	-0.874	13 18	4.725	-0.419	29 2	4.825	-1.580			
29 18	4.613	0.100	14 2	4.878	-1.011	29 10	4.484	-2.079			
30 2	4.889	-0.436	14 10	4.657	-1.528	29 17	4.810	-1.037			
30 10	4.790	-0.941	14 17	4.751	-0.491	30 1	4.810	-1.651			
30 17	4.649	0.035	15 1	4.873	-1.082	30 9	4.438	-2.137			
31 1	4.894	-0.505	15 9	4.621	-1.592	30 16	4.823	-1.113			
31 9	4.764	-1.008	15 16	4.774	-0.564	<b>Oct.</b> 1 0	4.792	-1.720			
<b>Sept.</b>	31 16	4.682	-0.031	16 0	4.865	-1.153	1 8	4.390	-2.195		
	1 0	4.897	-0.574	16 8	4.582	-1.655	1 15	4.833	-1.189		
	1 8	4.735	-1.075	16 15	4.794	-0.636	1 23	4.771	-1.789		
	1 15	4.713	-0.099	16 23	4.854	-1.224	2 7	4.340	-2.251		
	1 23	4.896	-0.643	17 7	4.540	-1.718	2 14	4.841	-1.264		
	2 7	4.704	-1.141	17 14	4.812	-0.709	2 22	4.748	-1.856		
	2 14	4.741	-0.166	17 22	4.841	-1.294	3 6	4.288	-2.306		
	2 22	4.894	-0.713	18 6	4.497	-1.779	3 13	4.846	-1.339		



## PHOBOS 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	3 21	4.723	-1.923	Oct.	19 5	4.001	-2.820	Nov.	3 12	4.799	-2.497
	4 5	4.233	-2.359		19 12	4.830	-1.965		3 20	4.425	-2.989
	4 12	4.849	-1.414		19 20	4.561	-2.512		4 3	4.818	-1.895
	4 20	4.695	-1.989		20 3	4.749	-1.349		4 11	4.784	-2.567
	5 4	4.177	-2.411		20 11	4.822	-2.038		4 19	4.381	-3.040
	5 11	4.850	-1.488		20 19	4.523	-2.571		5 2	4.830	-1.976
	5 19	4.665	-2.054		21 2	4.768	-1.430		5 10	4.767	-2.634
	6 3	4.118	-2.461		21 10	4.811	-2.110		5 18	4.335	-3.089
	6 10	4.847	-1.562		21 18	4.483	-2.628		6 1	4.841	-2.056
	6 18	4.632	-2.118		22 1	4.786	-1.510		6 9	4.748	-2.701
	7 1	4.716	-0.966		22 9	4.798	-2.181		6 17	4.287	-3.136
	7 9	4.843	-1.636		22 17	4.441	-2.684		7 0	4.849	-2.135
	7 17	4.597	-2.181		23 0	4.801	-1.590		7 8	4.726	-2.766
	8 0	4.740	-1.045		23 8	4.783	-2.251		7 16	4.238	-3.182
	8 8	4.836	-1.709		23 16	4.396	-2.739		7 23	4.855	-2.213
	8 16	4.559	-2.242		23 23	4.813	-1.670		8 7	4.703	-2.829
8 23	4.761	-1.123	24 7	4.766	-2.320	8 15	4.186	-3.225			
9 7	4.826	-1.781	24 15	4.349	-2.791	8 22	4.859	-2.291			
9 15	4.520	-2.302	24 22	4.824	-1.749	9 6	4.677	-2.891			
9 22	4.779	-1.201	25 6	4.746	-2.388	9 14	4.132	-3.266			
10 6	4.814	-1.852	25 14	4.301	-2.842	9 21	4.860	-2.367			
10 14	4.477	-2.361	25 21	4.832	-1.828	10 5	4.649	-2.951			
10 21	4.795	-1.279	26 5	4.724	-2.455	10 13	4.077	-3.305			
11 5	4.799	-1.923	26 13	4.250	-2.892	10 20	4.860	-2.443			
11 13	4.433	-2.418	26 20	4.837	-1.905	11 4	4.619	-3.010			
11 20	4.809	-1.357	27 4	4.699	-2.520	11 12	4.019	-3.342			
12 4	4.782	-1.993	27 12	4.197	-2.939	11 19	4.857	-2.517			
12 12	4.387	-2.474	27 19	4.840	-1.983	12 3	4.587	-3.067			
12 19	4.820	-1.435	28 3	4.673	-2.584	12 11	3.960	-3.377			
13 3	4.763	-2.061	28 11	4.142	-2.984	12 18	4.852	-2.590			
13 11	4.338	-2.529	28 18	4.841	-2.059	13 2	4.553	-3.122			
13 18	4.828	-1.512	29 2	4.644	-2.647	13 10	3.899	-3.409			
14 2	4.741	-2.129	29 10	4.085	-3.028	13 17	4.845	-2.662			
14 10	4.287	-2.582	29 17	4.840	-2.135	14 1	4.517	-3.175			
14 17	4.835	-1.589	30 1	4.613	-2.708	14 8	4.819	-2.028			
15 1	4.717	-2.196	30 9	4.026	-3.069	14 16	4.836	-2.733			
15 9	4.234	-2.633	30 16	4.836	-2.209	15 0	4.479	-3.227			
15 16	4.839	-1.666	31 0	4.579	-2.767	15 7	4.837	-2.111			
16 0	4.691	-2.261	31 8	3.966	-3.109	15 15	4.825	-2.802			
16 8	4.179	-2.682	31 15	4.831	-2.283	15 23	4.439	-3.276			
16 15	4.840	-1.742	31 23	4.544	-2.825	16 6	4.853	-2.193			
16 23	4.662	-2.326	Nov.	1 6	4.767	-1.648	16 14	4.811	-2.870		
17 7	4.121	-2.730		1 14	4.822	-2.356	16 22	4.397	-3.323		
17 14	4.839	-1.817		1 22	4.506	-2.882	17 5	4.867	-2.275		
17 22	4.630	-2.389		2 5	4.786	-1.731	17 13	4.796	-2.936		
18 6	4.062	-2.776	2 13	4.812	-2.427	17 21	4.353	-3.369			
18 13	4.836	-1.891	2 21	4.467	-2.936	18 4	4.879	-2.356			
18 21	4.597	-2.451	3 4	4.803	-1.813	18 12	4.778	-3.000			

**PHOBOS 2017**

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	4.308	-3.412	Déc.	4	3	4.986	-2.960	Déc.	19	11	4.849	-3.913
	19	3	4.888	-2.435		4	11	4.771	-3.517		19	19	4.176	-4.062
	19	11	4.759	-3.063		4	19	4.184	-3.798		20	2	5.147	-3.521
	19	19	4.260	-3.453		5	2	4.992	-3.034		20	10	4.825	-3.954
	20	2	4.896	-2.514		5	10	4.747	-3.569		20	17	5.104	-2.899
	20	10	4.737	-3.125		5	18	4.132	-3.824		21	1	5.151	-3.585
	20	18	4.210	-3.492		6	1	4.995	-3.106		21	9	4.799	-3.992
	21	1	4.902	-2.591		6	9	4.722	-3.619		21	16	5.135	-2.982
	21	9	4.714	-3.184		6	17	4.079	-3.848		22	0	5.153	-3.647
	21	17	4.159	-3.528		7	0	4.996	-3.177		22	8	4.772	-4.027
	22	0	4.905	-2.667		7	8	4.694	-3.667		22	15	5.164	-3.064
	22	8	4.688	-3.242		7	16	4.025	-3.869		22	23	5.153	-3.707
	22	16	4.106	-3.562		7	23	4.996	-3.245		23	7	4.743	-4.060
	22	23	4.907	-2.742		8	7	4.665	-3.713		23	14	5.192	-3.145
	23	7	4.661	-3.297		8	14	4.967	-2.611		23	22	5.152	-3.765
	23	15	4.051	-3.594		8	22	4.994	-3.312		24	6	4.712	-4.090
	23	22	4.906	-2.816		9	6	4.634	-3.756		24	13	5.218	-3.224
	24	6	4.631	-3.351		9	13	4.992	-2.695		24	21	5.149	-3.820
	24	14	3.995	-3.623		9	21	4.990	-3.378		25	5	4.679	-4.117
	24	21	4.904	-2.888		10	5	4.601	-3.797		25	12	5.242	-3.301
	25	5	4.600	-3.403		10	12	5.015	-2.778		25	20	5.144	-3.873
	25	13	3.936	-3.650		10	20	4.984	-3.441		26	4	4.644	-4.141
	25	20	4.899	-2.959		11	4	4.566	-3.835		26	11	5.265	-3.376
26	4	4.567	-3.453	11	11	5.036	-2.859	26	19	5.137	-3.923			
26	11	4.876	-2.321	11	19	4.976	-3.502	27	3	4.608	-4.162			
26	19	4.893	-3.028	12	3	4.530	-3.871	27	10	5.286	-3.449			
27	3	4.531	-3.500	12	10	5.055	-2.940	27	18	5.128	-3.971			
27	10	4.897	-2.405	12	18	4.966	-3.561	28	2	4.570	-4.181			
27	18	4.884	-3.095	13	2	4.491	-3.904	28	9	5.306	-3.520			
28	2	4.494	-3.546	13	9	5.073	-3.018	28	17	5.118	-4.017			
28	9	4.915	-2.488	13	17	4.955	-3.618	29	1	4.531	-4.196			
28	17	4.874	-3.161	14	1	4.452	-3.935	29	8	5.324	-3.589			
29	1	4.455	-3.589	14	8	5.089	-3.095	29	16	5.106	-4.059			
29	8	4.932	-2.570	14	16	4.942	-3.673	30	0	4.489	-4.208			
29	16	4.862	-3.225	15	0	4.410	-3.963	30	7	5.340	-3.656			
30	0	4.414	-3.630	15	7	5.103	-3.171	30	15	5.092	-4.099			
30	7	4.947	-2.650	15	15	4.927	-3.726	30	23	4.446	-4.218			
30	15	4.847	-3.288	15	23	4.366	-3.988	31	6	5.355	-3.721			
30	23	4.372	-3.668	16	6	5.115	-3.245	31	14	5.077	-4.137			
Déc.	1	6	4.959	-2.730	16	14	4.910	-3.776	31	21	5.260	-3.100		
	1	14	4.831	-3.348	16	22	4.321	-4.011	Janv.	1	5	5.368	-3.784	
	1	22	4.327	-3.704	17	5	5.126	-3.316		1	13	5.060	-4.171	
	2	5	4.970	-2.808	17	13	4.891	-3.824		1	20	5.301	-3.184	
	2	13	4.813	-3.406	17	21	4.274	-4.031		2	4	5.379	-3.844	
	2	21	4.281	-3.738	18	4	5.135	-3.387		2	12	5.041	-4.203	
	3	4	4.979	-2.885	18	12	4.871	-3.870	2	19	5.340	-3.266		
	3	12	4.793	-3.463	18	20	4.226	-4.048	3	3	5.389	-3.902		
	3	20	4.233	-3.769	19	3	5.142	-3.455	3	11	5.020	-4.232		

## DÉIMOS 2017

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	"	"
<b>Janv.</b>	1	22	18.522	6.472	<b>Mars</b>	3	16	12.691	9.290	<b>Mai</b>	3	10	11.093	7.569
	3	4	18.585	6.012		4	23	12.175	9.836		4	16	11.095	7.390
	4	11	18.019	7.100		6	5	12.388	9.522		5	23	11.076	7.470
	5	17	18.157	6.661		7	11	12.521	9.164		7	5	11.122	7.328
	6	23	18.192	6.178		8	18	12.070	9.707		8	12	11.039	7.329
	8	6	17.680	7.272		10	0	12.251	9.391		9	18	11.129	7.222
	9	12	17.791	6.814		11	7	11.739	9.846		11	0	11.146	7.083
	10	18	17.793	6.317		12	13	11.966	9.571		12	7	11.116	7.075
	12	1	17.341	7.411		13	19	12.118	9.245		13	13	11.177	6.970
	13	7	17.417	6.937		15	2	11.669	9.705		14	19	11.169	6.836
	14	14	16.848	7.967		16	8	11.867	9.422		16	2	11.186	6.816
	15	20	16.996	7.520		17	14	11.985	9.092		17	8	11.222	6.716
	17	2	17.045	7.036		18	21	11.604	9.552		18	15	11.172	6.622
18	9	16.533	8.061	20	3	11.768	9.262	19	21	11.251	6.554			
19	15	16.650	7.606	21	10	11.329	9.635	21	3	11.262	6.459			
20	22	16.031	8.558	22	16	11.539	9.387	22	10	11.257	6.353			
22	4	16.214	8.133	23	22	11.674	9.096	23	16	11.313	6.290			
23	10	16.305	7.660	25	5	11.298	9.466	24	22	11.297	6.200			
24	17	15.742	8.617	26	11	11.477	9.217	26	5	11.338	6.082			
25	23	15.899	8.177	27	17	11.582	8.918	27	11	11.367	6.023			
27	6	15.238	9.055	29	0	11.269	9.292	28	17	11.329	5.941			
28	12	15.458	8.650	30	6	11.418	9.035	30	0	11.410	5.808			
29	18	15.580	8.197	31	13	11.049	9.321	31	6	11.418	5.756			
31	1	14.985	9.078	<b>Avril</b>	1	19	11.243	9.107	<b>Juin</b>	1	13	11.425	5.556	
<b>Févr.</b>	1	7	15.171		8.659	3	1	11.359		8.848	2	19	11.478	5.532
	2	13	15.265	8.198	4	8	11.055	9.132	4	1	11.461	5.488		
	3	20	14.732	9.075	5	14	11.215	8.914	5	8	11.507	5.273		
	5	2	14.886	8.650	6	20	11.304	8.654	6	14	11.538	5.257		
	6	9	14.265	9.445	8	3	11.060	8.935	7	20	11.498	5.219		
	7	15	14.477	9.057	9	9	11.191	8.716	9	3	11.584	4.990		
	8	21	14.604	8.617	10	16	10.892	8.911	10	9	11.590	4.980		
	10	4	14.043	9.416	11	22	11.066	8.733	11	15	11.531	4.953		
	11	10	14.228	9.015	13	4	11.167	8.509	12	22	11.650	4.706		
	12	17	13.587	9.728	14	11	10.927	8.704	14	4	11.638	4.705		
	13	23	13.827	9.368	15	17	11.073	8.521	15	11	11.676	4.400		
	15	5	13.977	8.957	16	23	11.143	8.298	16	17	11.711	4.423		
	16	12	13.404	9.673	18	6	10.964	8.489	17	23	11.676	4.431		
17	18	13.610	9.301	19	12	11.077	8.305	19	6	11.748	4.109			
19	0	13.732	8.884	20	18	11.122	8.082	20	12	11.762	4.142			
20	7	13.223	9.597	22	1	10.997	8.266	21	18	11.708	4.159			
21	13	13.397	9.221	23	7	11.084	8.083	23	1	11.812	3.822			
22	20	12.816	9.847	24	14	10.902	8.185	24	7	11.806	3.862			
24	2	13.042	9.511	25	20	11.032	8.040	25	13	11.733	3.891			
25	8	13.187	9.122	27	2	11.088	7.855	26	20	11.866	3.534			
26	15	12.669	9.754	28	9	10.963	7.953	28	2	11.843	3.586			
27	21	12.866	9.407	29	15	11.063	7.806	29	9	11.888	3.180			
<b>Mars</b>	1	4	12.281	9.948	30	21	11.092	7.625	30	15	11.915	3.251		
	2	10	12.528	9.645	<b>Mai</b>	2	4	11.022	7.714	<b>Juill.</b>	1	21	11.871	3.312

**DÉIMOS 2017****X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est***

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"
<b>Juill.</b>	3	4	11.946	<b>Sept.</b>	1	21	12.106	<b>Nov.</b>	1	15	11.550
	4	10	11.953		3	4	11.959		2	21	11.709
	5	16	11.893		4	10	12.056		4	4	11.387
	6	23	11.994		5	16	12.087		5	10	11.597
	8	5	11.984		6	23	11.960		6	17	11.190
	9	11	11.907		8	5	12.045		7	23	11.451
	10	18	12.033		9	11	12.067		9	5	11.652
	12	0	12.008		10	18	11.958		10	12	11.272
	13	7	12.039		12	0	12.032		11	18	11.523
	14	13	12.065		13	7	11.825		13	0	11.709
	15	19	12.022		14	13	11.952		14	7	11.361
	17	2	12.080		15	19	12.017		15	13	11.599
	18	8	12.088		17	2	11.827		16	19	11.771
	19	14	12.032		18	8	11.946		18	2	11.458
	20	21	12.110		19	14	11.998		19	8	11.680
	22	3	12.105		20	21	11.830		20	15	11.286
	23	9	12.032		22	3	11.936		21	21	11.558
	24	16	12.133		23	10	11.670		23	3	11.770
	25	22	12.114		24	16	11.829		24	10	11.407
	27	5	12.117		25	22	11.926		25	16	11.669
	28	11	12.151		27	5	11.680		26	22	11.863
	29	17	12.116		28	11	11.828		28	5	11.539
<b>Août</b>	31	0	12.141	<b>Oct.</b>	29	17	11.915		29	11	11.785
	1	6	12.159		1	0	11.688	<b>Déc.</b>	30	18	11.380
	2	12	12.113		2	6	11.828		2	0	11.679
	3	19	12.156		3	13	11.507		3	6	11.909
	5	1	12.163		4	19	11.699		4	13	11.544
	6	7	12.102		6	1	11.825		5	19	11.826
	7	14	12.166		7	8	11.528		7	1	12.044
	8	20	12.159		8	14	11.707		8	8	11.715
	10	3	12.122		9	20	11.824		9	14	11.986
	11	9	12.169		11	3	11.549		10	20	12.184
	12	15	12.150		12	9	11.717		12	3	11.901
	13	22	12.133		13	16	11.351		13	9	12.153
	15	4	12.166		14	22	11.570		14	16	11.790
	16	10	12.136		16	4	11.728		15	22	12.096
	17	17	12.135		17	11	11.384		17	4	12.332
	18	23	12.159		18	17	11.595		18	11	12.013
	20	6	12.058		19	23	11.739		19	17	12.302
	21	12	12.135		21	6	11.423		20	23	12.523
	22	18	12.146		22	12	11.619		22	6	12.248
	24	1	12.064		23	18	11.754		23	12	12.524
	25	7	12.129		25	1	11.461		24	18	12.723
	26	13	12.129		26	7	11.647		26	1	12.499
	27	20	12.066		27	14	11.267		27	7	12.754
	29	2	12.119		28	20	11.503		28	14	12.449
	30	9	11.956		30	2	11.677		29	20	12.761
	31	15	12.061		31	9	11.324		31	2	13.002

## DÉIMOS 2017

---

**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	"	"
<b>Janv.</b>	1 9	12.743	-10.503	<b>Janv.</b>	3 21	13.261	-10.173				
	2 15	13.040	-10.366		5 4	13.054	-10.608				

---

# SATELLITES DE JUPITER

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

IO .....	II. 110
EUROPE .....	II. 114
GANYMÈDE .....	II. 116
CALLISTO .....	II. 117

## IO 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	16	-95.921	41.770	Févr.	11	9	-108.526	46.190	Mars	24	1	-118.076	51.595	
	2	13	96.846	-42.304		12	6	109.782	-46.979		24	22	118.957	-52.335	
	3	10	-96.159	42.211		13	3	-109.138	46.917		25	19	-118.176	52.199	
	4	8	97.359	-42.035		14	0	110.128	-47.597		26	16	118.750	-52.803	
	5	5	-96.949	42.058		14	21	-109.245	47.437		27	14	-118.358	51.730	
	6	2	97.923	-42.621		15	19	110.847	-47.370		28	11	119.285	-52.498	
	6	23	-97.250	42.535		16	16	-110.242	47.325		29	8	-118.559	52.380	
	7	21	98.395	-42.328		17	13	111.279	-48.036		30	5	119.178	-53.010	
	8	18	-97.996	42.356		18	10	-110.446	47.898		31	2	-118.254	52.807	
	9	15	99.023	-42.950		19	8	111.850	-47.745		Avril	1	0	119.462	-52.595
	10	12	-98.360	42.869		20	5	-111.291	47.718		1	21	-118.797	52.499	
	11	9	99.172	-43.372		21	2	112.378	-48.463		2	18	119.454	-53.151	
	12	7	-99.059	42.664		21	23	-111.589	48.342		3	15	-118.597	52.971	
	13	4	100.136	-43.288		22	21	112.790	-48.101		4	13	119.492	-52.627	
14	1	-99.493	43.217	23	18	-112.272	48.091	5	10	-118.882	52.550				
14	22	100.348	-43.748	24	15	113.409	-48.869	6	7	119.585	-53.227				
15	20	-100.132	42.980	25	12	-112.671	48.769	7	4	-118.787	53.067				
16	17	101.264	-43.637	26	9	113.530	-49.430	8	1	119.161	-53.596				
17	14	-100.637	43.574	27	7	-113.174	48.439	8	23	-118.821	52.536				
18	11	101.543	-44.135	28	4	114.364	-49.252	9	20	119.562	-53.233				
19	9	-101.212	43.303	Mars	1	1	-113.671	49.169	10	17	-118.830	53.096			
20	6	102.395	-43.991		1	22	114.581	-49.864	11	14	119.241	-53.645			
21	3	-101.795	43.940		2	19	-113.669	49.691	12	11	-118.316	53.419			
22	0	102.745	-44.531		3	17	115.227	-49.604	13	9	119.394	-53.173			
22	22	-102.292	43.631	4	14	-114.587	49.542	14	6	-118.721	53.056				
23	19	103.531	-44.354	5	11	115.539	-50.265	15	3	119.172	-53.624				
24	16	-102.951	44.312	6	8	-114.685	50.115	16	0	-118.314	53.422				
25	13	103.955	-44.936	7	6	115.992	-49.921	16	22	119.076	-53.043				
26	10	-103.129	44.796	8	3	-115.398	49.877	17	19	-118.470	52.949				
27	8	104.657	-44.718	9	0	116.402	-50.633	18	16	118.957	-53.535				
28	5	-104.108	44.691	9	21	-115.600	50.503	19	13	-118.163	53.354				
29	2	105.157	-45.345	10	18	116.303	-51.131	20	10	118.331	-53.792				
29	23	-104.366	45.219	11	16	-116.104	50.173	21	8	-118.074	52.776				
30	21	105.773	-45.086	12	13	117.152	-50.959	22	5	118.600	-53.379				
31	18	-105.250	45.070	13	10	-116.408	50.850	23	2	-117.875	53.222				
Févr.	1	15	106.353	-45.758	14	7	117.154	-51.508	23	23	118.072	-53.673			
	2	12	-105.593	45.647	15	5	-116.684	50.421	24	20	-117.167	53.434			
	3	10	106.862	-45.450	16	2	117.787	-51.240	25	18	118.108	-53.158			
	4	7	-106.375	45.449	16	23	-117.093	51.151	26	15	-117.446	53.024			
	5	4	107.525	-46.169	17	20	117.885	-51.836	27	12	117.681	-53.490			
	6	1	-106.804	46.075	18	17	-116.986	51.657	28	9	-116.842	53.274			
	6	22	107.699	-46.690	19	15	118.289	-51.469	29	7	117.488	-52.875			
	7	20	-107.468	45.823	20	12	-117.654	51.401	30	4	-116.895	52.766			
	8	17	108.674	-46.579	21	9	118.490	-52.115	Mai	1	1	117.159	-53.244		
	9	14	-107.988	46.499	22	6	-117.647	51.955	1	22	-116.393	53.054			
10	11	108.929	-47.145	23	4	118.660	-51.645	2	20	116.751	-52.535				

## IO 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	3	17	-116.222	52.448	Juin	13	9	-105.438	48.461	Juill.	24	2	-94.279	42.692	
	4	14	116.522	-52.940		14	6	104.910	-48.515		24	23	93.434	-42.537	
	5	11	-115.821	52.774		15	4	-104.845	47.723		25	21	-93.807	42.047	
	6	8	115.777	-53.105		16	1	104.670	-47.937		26	18	93.257	-42.022	
	7	6	-115.446	52.081		16	22	-104.410	47.919		27	15	-93.474	42.204	
	8	3	115.773	-52.582		17	19	103.893	-47.971		28	12	92.625	-42.042	
	9	0	-115.145	52.443		18	16	-103.475	47.877		29	10	-92.995	41.557	
	9	21	115.128	-52.783		19	14	103.569	-47.360		30	7	92.439	-41.523	
	10	18	-114.326	52.561		20	11	-103.379	47.372		31	4	-92.700	41.726	
	11	16	114.930	-52.177		21	8	102.865	-47.420		Août	1	1	91.843	-41.555
	12	13	-114.368	52.062		22	5	-102.514	47.354			1	23	-92.222	41.080
	13	10	114.380	-52.412		23	3	102.473	-46.782			2	20	91.652	-41.034
	14	7	-113.651	52.217		24	0	-102.344	46.820			3	17	-91.958	41.257
	15	5	113.996	-51.726		24	21	101.838	-46.866			4	14	91.095	-41.078
	16	2	-113.509	51.640		25	18	-101.550	46.827			5	11	-91.223	41.219
	16	23	113.543	-51.996		26	16	101.380	-46.202			6	9	90.903	-40.557
17	20	-112.885	51.828	27	13	-101.319	46.269	7	6	-91.248		40.797			
18	18	112.991	-51.238	28	10	100.811	-46.309	8	3	90.378		-40.610			
19	15	-112.569	51.178	29	7	-100.588	46.298	9	0	-90.546		40.769			
20	12	112.630	-51.541	30	5	100.303	-45.627	9	22	90.187		-40.089			
21	9	-112.044	51.401	Juill.	1	2	-100.301	45.719	10	19		-90.572	40.347		
22	6	111.769	-51.606		1	23	99.796	-45.754	11	16		89.697	-40.153		
23	4	-111.569	50.684		2	20	-99.634	45.770	12	13		-89.897	40.327		
24	1	111.649	-51.052		3	18	99.239	-45.053	13	11		89.511	-39.633		
24	22	-111.133	50.939		4	15	-99.303	45.174	14	8		-89.929	39.907		
25	19	110.882	-51.150	5	12	98.792	-45.201	15	5	89.047	-39.704				
26	16	-110.199	50.959	6	9	-98.692	45.243	16	2	-89.283	39.895				
27	14	110.613	-50.533	7	7	98.201	-44.488	17	0	88.868	-39.187				
28	11	-110.168	50.449	8	4	-98.320	44.633	17	21	-89.322	39.476				
29	8	109.932	-50.662	9	1	97.810	-44.654	18	18	88.434	-39.267				
30	5	-109.326	50.501	9	22	-97.766	44.721	19	15	-88.698	39.470				
Juin	31	3	109.530	-49.990	10	19	96.936	-44.594	20	13	88.265	-38.752			
	1	0	-109.155	49.933	11	17	-97.363	44.099	21	10	-88.748	39.055			
	1	21	108.939	-50.150	12	14	96.845	-44.111	22	7	87.854	-38.838			
	2	18	-108.401	50.017	13	11	-96.858	44.203	23	4	-88.149	39.056			
	3	16	108.414	-49.427	14	8	96.028	-44.071	24	2	87.697	-38.327			
	4	13	-108.110	49.400	15	6	-96.429	43.572	24	23	-88.211	38.644			
	5	10	107.905	-49.617	16	3	95.908	-43.577	25	20	87.313	-38.420			
	6	7	-107.441	49.514	17	0	-95.974	43.693	26	17	-87.631	38.649			
	7	5	107.270	-48.850	17	21	95.138	-43.552	27	15	87.171	-37.914			
	8	2	-107.035	48.850	18	19	-95.526	43.055	28	12	-87.707	38.241			
	8	23	106.846	-49.069	19	16	94.993	-43.049	29	9	86.807	-38.012			
	9	20	-106.448	48.993	20	13	-95.113	43.188	30	6	-87.149	38.252			
	10	17	105.914	-49.048	21	10	94.274	-43.041	31	4	86.680	-37.511			
	11	15	-105.946	48.291	22	8	-94.649	42.545	Sept.	1	1	-87.242	37.849		
	12	12	105.763	-48.506	23	5	94.111	-42.531		1	22	86.339	-37.614		



## IO 2017

## 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	19	-86.698	37.863	Oct.	13	13	-84.411	33.790	Nov.	23	7	-86.564	30.537	
	3	17	86.230	-37.118		14	10	83.600	-33.549		24	4	86.307	-30.473	
	4	14	-86.810	37.465		15	8	-84.355	33.278		25	1	-86.725	30.787	
	5	11	85.906	-37.225		16	5	83.776	-33.124		25	22	86.289	-30.662	
	6	8	-86.285	37.484		17	2	-84.404	33.500		26	20	-86.982	30.328	
	7	6	85.815	-36.735		17	23	83.615	-33.265		27	17	86.768	-30.279	
	8	3	-86.416	37.091		18	21	-84.379	32.996		28	14	-87.157	30.584	
	9	0	85.511	-36.847		19	18	83.815	-32.845		29	11	86.768	-30.475	
	9	21	-85.902	37.111		20	15	-84.435	33.219		30	9	-87.436	30.128	
	10	19	85.442	-36.362		21	12	83.666	-32.989		Déc.	1	6	87.264	-30.091
	11	16	-86.054	36.724		22	10	-84.436	32.720			2	3	-87.629	30.390
	12	13	85.152	-36.477		23	7	83.896	-32.574			3	0	87.282	-30.295
	13	10	-85.557	36.748		24	4	-84.499	32.943			3	22	-87.926	29.934
	14	8	85.103	-35.998		25	1	83.757	-32.721			4	19	87.802	-29.913
	15	5	-85.731	36.367		25	23	-84.531	32.452		5	16	-88.137	30.203	
16	2	84.831	-36.117	26	20	84.011	-32.310	6	13	87.841	-30.126				
16	23	-85.242	36.392	27	17	-84.603	32.676	7	11	-88.452	29.748				
17	21	84.805	-35.644	28	14	83.884	-32.461	8	8	88.375	-29.741				
18	18	-85.440	36.017	29	12	-84.659	32.189	9	5	-88.685	30.026				
19	15	84.546	-35.765	30	9	84.167	-32.055	10	2	88.435	-29.964				
20	12	-84.966	36.046	Nov.	31	6	-84.739	32.415	11	0	-89.016	29.570			
21	10	84.542	-35.298		1	3	84.051	-32.209	11	21	88.990	-29.580			
22	7	-85.188	35.677		2	1	-84.824	31.934	12	18	-89.269	29.857			
23	4	84.299	-35.423		2	22	84.357	-31.806	13	15	89.074	-29.813			
24	2	-84.967	35.121		3	19	-84.914	32.161	14	13	-89.616	29.401			
24	23	84.321	-34.963	4	16	84.254	-31.964	15	10	89.640	-29.426				
25	20	-84.969	35.343	5	14	-85.024	31.684	16	7	-89.896	29.699				
26	17	84.089	-35.089	6	11	84.588	-31.566	17	4	89.749	-29.671				
27	15	-84.777	34.796	7	8	-85.122	31.913	18	2	-90.254	29.240				
28	12	84.134	-34.635	8	5	84.497	-31.727	18	23	90.332	-29.284				
29	9	-84.788	35.018	9	3	-85.260	31.441	19	20	-90.558	29.549				
Oct.	30	6	83.917	-34.765	10	0	84.854	-31.332	20	17	90.468	-29.540			
	1	4	-84.621	34.477	10	21	-85.369	31.674	21	15	-90.927	29.089			
	2	1	83.989	-34.317	11	18	84.776	-31.498	22	12	91.060	-29.150			
	2	22	-84.639	34.699	12	16	-85.531	31.205	23	9	-91.263	29.411			
	3	19	83.782	-34.448	13	13	85.161	-31.106	24	6	91.224	-29.420			
	4	17	-84.503	34.168	14	10	-85.651	31.440	25	4	-91.638	28.947			
	5	14	83.878	-34.006	15	7	85.097	-31.277	26	1	91.828	-29.027			
	6	11	-84.529	34.390	16	5	-85.840	30.975	26	22	-92.002	29.282			
	7	8	83.684	-34.141	17	2	85.504	-30.887	27	19	92.024	-29.311			
	8	6	-84.417	33.864	17	23	-85.972	31.215	28	17	-92.382	28.815			
	9	3	83.807	-33.705	18	20	85.454	-31.064	29	14	92.631	-28.913			
	10	0	-84.451	34.086	19	18	-86.184	30.752	30	11	-92.783	29.165			
	10	21	83.624	-33.841	20	15	85.888	-30.677	31	8	92.859	-29.213			
	11	19	-84.370	33.568	21	12	-86.328	30.996	Janv.	1	6	-93.164	28.694		
	12	16	83.771	-33.410	22	9	85.853	-30.859		2	3	93.472	-28.812		

**IO 2017****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	"	"
<b>Janv.</b>	3	0	-93.598	29.059	<b>Janv.</b>	4	19	-93.978	28.583	<b>Janv.</b>	6	13	-94.453	28.965
	3	21	93.736	-29.127		5	16	94.347	-28.721		7	10	94.649	-29.054

## EUROPE 2017

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	-154.012	68.397	Mars	22	10	186.036	-83.361	Juin	10	6	-168.625	79.297	
	3	8	152.146	-67.373		24	5	-189.420	84.847		12	1	167.878	-78.268	
	5	2	-155.602	69.143		25	23	186.585	-83.985		13	20	-167.134	77.997	
	6	21	153.722	-68.100		27	18	-189.892	85.450		15	14	166.200	-77.657	
	8	16	-157.489	69.275		29	13	187.375	-83.739		17	9	-165.297	77.305	
	10	10	155.266	-68.827		Avril	31	7	-190.137		85.964	19	3	164.423	-76.984
	12	5	-159.246	70.112			2	2	187.708		-84.272	20	22	-163.468	76.600
	14	0	157.178	-68.947			3	20	-190.254		86.408	22	17	163.021	-75.735
	15	18	-160.946	70.929			5	15	187.894		-84.736	24	11	-161.537	75.838
	17	13	158.897	-69.770			7	9	-190.140		86.755	26	6	161.378	-75.109
19	7	-162.606	71.758	9	4		187.878	-85.107	Juill.	28	1	-160.093	74.560		
21	2	160.584	-70.596	10	23		-190.322	86.259		29	19	159.746	-74.479		
22	21	-164.710	71.987	12	17		187.718	-85.406		1	14	-158.325	73.857		
24	15	162.230	-71.423	14	12		-189.974	86.489		3	8	158.019	-73.789		
26	10	-166.506	72.902	16	6		187.362	-85.608		5	3	-156.564	73.145		
28	5	164.287	-71.611	18	1	-189.502	86.642	6		22	156.780	-72.616			
29	23	-168.250	73.805	19	19	186.864	-85.735	8		17	-155.078	71.846			
31	18	166.068	-72.526	21	14	-188.805	86.691	10		11	155.223	-71.990			
Févr.	2	12	-169.926	74.712	23	8	186.175	-85.763		12	6	-153.492	71.199		
	4	7	167.795	-73.439	25	3	-188.003	86.669		14	0	153.674	-71.360		
	6	2	-172.056	74.973	26	21	185.354	-85.717	15	19	-151.837	70.509			
	7	20	169.468	-74.351	28	16	-186.976	86.537	17	14	152.449	-70.184			
	9	15	-173.808	75.947	30	11	184.810	-84.859	19	9	-150.474	69.259			
	11	10	171.440	-74.524	Mai	2	5	-185.861	86.341	21	3	151.076	-69.621		
	13	4	-175.495	76.904		4	0	183.838	-84.725	22	22	-149.014	68.642		
	14	23	173.177	-75.498		5	19	-184.880	85.299	24	16	149.621	-69.002		
	16	17	-177.084	77.856		7	13	182.690	-84.495	26	11	-147.546	68.009		
	18	12	174.831	-76.458		9	8	-183.633	85.021	28	6	148.570	-67.901		
20	7	-178.975	78.045	11		2	181.460	-84.212	30	1	-146.301	66.801			
22	1	176.401	-77.404	12		21	-182.202	84.648	31	19	147.298	-67.349			
23	20	-180.557	79.028	14		15	180.068	-83.839	Août	2	14	-145.033	66.243		
25	14	177.876	-78.332	16		10	-180.717	84.228		4	8	146.017	-66.788		
27	9	-182.046	79.980	18		4	178.614	-83.421		6	3	-143.701	65.644		
Mars	1	3	179.248	-79.234	19	23	-179.062	83.717		7	22	145.104	-65.729		
	2	22	-183.391	80.903	21	18	177.397	-82.246		9	17	-142.672	64.518		
	4	17	180.957	-79.349	23	12	-177.368	83.168		11	11	144.007	-65.233		
	6	11	-184.642	81.790	25	7	175.923	-81.801		13	6	-141.541	63.991		
	8	6	182.252	-80.247	27	2	-175.895	81.882		15	1	143.066	-64.150		
	10	0	-185.719	82.630	28	20	174.314	-81.278		16	19	-140.386	63.444		
	11	19	183.411	-81.102	30	15	-174.209	81.317		18	14	142.147	-63.715		
	13	14	-187.085	82.644	Juin	1	9	172.678	-80.729	20	9	-139.559	62.386		
	15	8	184.440	-81.912		3	4	-172.396	80.682	22	3	141.143	-63.224		
	17	3	-188.011	83.439		4	22	170.926	-80.109	23	22	-138.597	61.906		
18	21	185.308	-82.664	6		17	-170.570	80.022	25	17	140.459	-62.240			
20	16	-188.822	84.181	8		12	169.549	-78.866	27	11	-137.583	61.391			

## EUROPE 2017

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	"	"
<b>Août</b>	29	6	139.636	-61.808	<b>Oct.</b>	12	18	-132.433	53.411	<b>Nov.</b>	26	5	138.372	-49.435
	31	1	-137.001	60.418		14	12	134.588	-54.594		28	0	-137.669	48.381
<b>Sept.</b>	1	19	138.773	-61.357	16	7	-132.439	53.186	29	19	139.229	-48.732		
	3	14	-136.184	59.970	18	2	134.764	-53.796	<b>Déc.</b>	1	13	-138.438	48.329	
	5	9	138.309	-60.435	19	20	-132.386	52.927		3	8	139.878	-48.641	
	7	4	-135.615	58.983		21	15	134.725	-53.547		5	3	-139.416	47.642
	8	22	137.613	-60.036		23	10	-132.703	52.155		6	22	140.767	-47.924
	10	17	-134.989	58.599		25	5	134.946	-52.740		8	16	-140.377	47.644
	12	12	137.173	-59.104		26	23	-132.837	51.950		10	11	141.595	-47.883
	14	6	-134.312	58.182		28	18	135.064	-52.533		12	5	-141.253	47.615
	16	1	136.641	-58.755		30	13	-133.193	51.164		14	0	142.415	-47.834
	17	20	-134.002	57.276	<b>Nov.</b>	1	7	135.145	-52.295		15	19	-142.536	47.001
	19	14	136.041	-58.358		3	2	-133.511	51.011		17	14	143.515	-47.162
	21	9	-133.514	56.920		4	21	135.611	-51.551		19	8	-143.604	47.028
	23	4	135.861	-57.512		6	15	-133.756	50.823		21	3	144.522	-47.171
	24	23	-133.237	56.004		8	10	135.853	-51.357		22	22	-144.901	46.399
	26	17	135.424	-57.164		10	5	-134.408	50.110		24	16	145.430	-47.154
	28	12	-132.934	55.704		12	0	136.360	-50.599		26	11	-146.164	46.486
	30	7	135.280	-56.309		13	18	-134.836	49.971		28	6	146.830	-46.550
<b>Oct.</b>	2	1	-132.575	55.372		15	13	136.768	-50.449		30	0	-147.427	46.581
	3	20	135.006	-56.007		17	8	-135.529	49.246		31	19	147.934	-46.598
	5	15	-132.571	54.535		19	3	137.315	-49.678	<b>Janv.</b>	2	14	-148.919	45.992
	7	10	134.897	-55.141		20	21	-136.139	49.157		4	9	149.318	-45.975
	9	4	-132.398	54.258		22	16	137.895	-49.574		6	3	-150.383	46.154
	10	23	134.784	-54.884		24	10	-136.717	49.051		7	22	150.622	-46.091

## GANYMÈDE 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			Date			Date				
Mois	j	h	Mois	j	h	Mois	j	h		
		"			"			"		
<b>Janv.</b>	3	2	244.718	-107.620	<b>Mai</b>	8	4	-293.262	134.317	
	6	16	-247.996	108.724		11	18	290.513	-133.205	
	10	6	250.138	-109.439		15	7	-288.861	132.989	
	13	20	-253.585	110.646		18	21	285.893	-131.748	
	17	10	255.805	-111.416		22	11	-284.162	130.836	
	21	0	-259.353	112.697		26	1	280.963	-129.463	
	24	14	261.691	-113.557		29	14	-278.924	128.959	
	28	4	-265.197	114.858	<b>Juin</b>	2	4	275.477	-127.443	
	31	18	267.627	-115.803			5	18	-273.649	126.423
<b>Févr.</b>	4	8	-271.081	117.120			9	8	270.065	-124.815
	7	22	273.505	-118.128		12	22	-268.220	123.779	
	11	11	-276.635	119.962		16	12	264.563	-122.101	
	15	1	278.954	-120.998		20	1	-262.558	121.502	
	18	15	-282.324	122.364		23	16	259.138	-119.380	
	22	5	284.347	-123.336		27	5	-257.156	118.763	
	25	19	-287.557	124.675		30	19	253.662	-117.096	
<b>Mars</b>	1	8	289.033	-126.128	<b>Juill.</b>	4	9	-251.929	116.056	
	4	22	-292.099	127.466		7	23	248.568	-114.434	
	8	12	293.459	-128.247		11	13	-246.924	113.405	
	12	1	-295.873	130.023		15	3	243.676	-111.813	
		15	15	296.918		-130.707		18	17	-242.232
	19	5	-299.101	131.737		22	8	239.194	-108.864	
	22	19	299.724	-132.260		25	21	-237.814	108.375	
	26	8	-301.194	133.677		29	12	234.911	-106.426	
	29	22	301.383	-134.037	<b>Août</b>	2	2	-233.913	105.629	
	2	11	-302.264	135.182		5	16	230.977	-104.091	
	6	1	301.942	-135.321		9	6	-230.178	103.361	
	9	15	-302.597	135.663		12	20	227.435	-101.877	
	13	4	301.373	-136.074		16	10	-226.748	101.172	
	16	18	-301.668	136.227		20	0	224.222	-99.752	
	20	8	300.094	-135.773		23	14	-223.689	99.084	
	23	21	-299.713	136.274		27	5	221.571	-97.377	
	27	11	297.637	-135.547		30	19	-221.213	96.749	
<b>Mai</b>	1	0	-296.766	135.782	<b>Sept.</b>	3	9	219.116	-95.464	
	4	14	294.332	-134.852			6	23	-219.000	94.906
	10	13	216.965	-93.619		28	12	-214.660	89.528	
	14	3	-217.104	93.135	<b>Oct.</b>	2	3	213.361	-87.995	
	17	18	215.429	-91.527			5	17	-214.042	87.647
	21	8	-215.805	91.118			9	7	212.844	-86.559
	24	22	214.107	-89.895		12	21	-213.662	86.229	
	16	12	212.818	-84.810		16	12	212.818	-84.810	
	20	2	-213.834	84.513		20	2	-213.834	84.513	
	23	16	213.049	-83.533		23	16	213.049	-83.533	
	27	6	-214.290	83.286		27	6	-214.290	83.286	
	30	20	213.570	-82.305		30	20	213.570	-82.305	
	3	11	-215.240	81.726	<b>Nov.</b>	7	1	214.737	-80.792	
	7	1	214.737	-80.792			10	15	-216.439	80.655
	10	15	-216.439	80.655			14	5	216.098	-79.744
	14	5	216.098	-79.744			17	20	-218.122	79.224
	17	20	-218.122	79.224			21	10	218.089	-78.395
	21	10	218.089	-78.395		25	0	-220.066	78.296	
	25	0	-220.066	78.296		28	14	220.273	-77.531	
	28	14	220.273	-77.531	<b>Déc.</b>	2	4	-222.386	77.449	
	2	4	-222.386	77.449			5	19	222.997	-76.324
	5	19	222.997	-76.324			9	9	-225.319	76.277
	9	9	-225.319	76.277		12	23	225.968	-75.641	
	12	23	225.968	-75.641		16	13	-228.522	75.651	
	16	13	-228.522	75.651		20	3	229.265	-75.040	
	20	3	229.265	-75.040		23	18	-232.221	74.652	
	23	18	-232.221	74.652		27	8	233.205	-74.107	
	27	8	233.205	-74.107		30	22	-236.203	74.249	
	30	22	-236.203	74.249	<b>Janv.</b>	3	12	237.394	-73.766	
	7	2	-240.535	73.959			7	2	-240.535	73.959
	10	16	241.988	-73.573			10	16	241.988	-73.573

## CALLISTO 2017

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	"	"
<b>Janv.</b>	1	7	-430.741	186.335	<b>Mai</b>	14	11	-510.548	231.046	<b>Sept.</b>	25	14	-379.324	156.304
	9	18	440.144	-189.177		22	20	499.352	-226.848		<b>Oct.</b>	4	1	375.443
	18	2	-453.752	193.729		31	2	-489.840	222.934	12	10	-377.044	149.843	
	26	11	463.509	-197.842	<b>Juin</b>	8	12	477.624	-217.514	20	22	374.758	-145.792	
<b>Févr.</b>	3	19	-477.933	203.104		16	19	-467.361	212.580	29	7	-378.496	143.844	
	12	4	487.335	-207.591		25	5	455.044	-206.863	<b>Nov.</b>	6	19	377.881	-140.113
	20	11	-500.888	213.433	<b>Juill.</b>	3	12	-445.269	201.920		15	4	-383.731	138.592
	28	20	508.827	-217.880		11	23	433.783	-195.977		23	15	384.533	-135.439
<b>Mars</b>	9	2	-519.731	223.583	20	7	-425.395	191.095	<b>Déc.</b>	2	0	-392.762	134.439	
	17	10	524.364	-227.574	28	17	415.134	-185.811		10	12	395.172	-131.285	
		25	16	-531.398	231.936	<b>Août</b>	6	2	-408.451	181.120		18	21	-405.626
<b>Avril</b>	3	0	531.601	-234.186	14		13	399.806	-175.962	27	8	409.646	-128.408	
	11	6	-533.538	236.338	22		21	-395.030	172.176	<b>Janv.</b>	4	17	-422.318	128.483
	19	15	529.355	-236.013	31		8	387.882	-167.382		13	3	427.654	-126.992
	27	20	-525.941	236.030	<b>Sept.</b>	8	17	-385.258	163.905					
<b>Mai</b>	6	5	517.657	-233.532		17	5	379.936	-159.265					



# SATELLITES DE SATURNE

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

MIMAS .....	II. 120
ENCELADE .....	II. 126
TÉTHYS .....	II. 130
DIONÉ .....	II. 133
RHÉA .....	II. 135
TITAN .....	II. 136
HYPÉRIION .....	II. 137
JAPET .....	II. 137



## MIMAS 2017

## 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	22.850	-0.559	Janv.	22	15	-23.985	1.171	Févr.	12	20	23.926	-0.723
	1	22	-23.407	2.953		23	3	23.090	-2.718		13	8	-24.163	3.702
	2	9	22.829	-1.722		23	14	-23.953	2.341		13	19	23.996	-1.957
	2	20	-23.728	1.132		24	1	23.313	-0.770		14	6	-24.488	1.781
	3	7	22.753	0.207		24	13	-23.670	3.491		14	18	23.793	-3.172
	3	19	-23.629	2.262		25	0	23.308	-1.969		15	5	-24.412	2.991
	4	6	22.909	-0.963		25	11	-24.048	1.625		15	16	24.078	-1.194
	4	17	-23.683	0.416		25	23	23.037	-3.148		16	3	-24.462	1.038
	5	5	22.804	-2.125		26	10	-23.929	2.794		16	15	24.053	-2.427
	5	16	-23.747	1.559		26	21	23.412	-1.208		17	2	-24.556	2.265
	6	3	22.873	-0.197		27	8	-24.038	0.898		17	13	24.048	-0.425
	6	15	-23.566	2.688		27	20	23.317	-2.406		18	1	-24.385	3.470
	7	2	22.944	-1.371		28	7	-24.083	2.083		18	12	24.200	-1.670
	7	13	-23.760	0.845		28	18	23.402	-0.440		18	23	-24.593	1.524
	8	1	22.755	-2.531		29	6	-23.875	3.249		19	11	24.078	-2.899
8	12	-23.741	1.989	29	17	23.484	-1.651	19	22	-24.591	2.750			
8	23	22.969	-0.607	30	4	-24.132	1.359	20	9	24.234	-0.904			
9	11	-23.476	3.115	30	16	23.300	-2.846	20	21	-24.325	3.949			
9	22	22.956	-1.782	31	3	-24.089	2.543	21	8	24.290	-2.148			
10	9	-23.812	1.279	31	14	23.537	-0.886	21	19	-24.692	2.014			
10	20	22.878	0.161	Févr.	1	1	-24.075	0.625	22	7	24.071	-3.371		
11	8	-23.709	2.422		1	13	23.529	-2.097	22	18	-24.594	3.236		
11	19	23.042	-1.022		2	0	-24.199	1.823	23	5	24.390	-1.387		
12	6	-23.777	0.560		2	12	23.254	-3.287	23	16	-24.684	1.266		
12	18	22.944	-2.197		2	23	-24.066	3.005	24	4	24.349	-2.629		
13	5	-23.837	1.716	3	10	23.645	-1.337	24	15	-24.758	2.506			
13	16	23.013	-0.255	3	21	-24.202	1.091	25	2	24.379	-0.618			
14	4	-23.650	2.858	4	9	23.547	-2.546	25	14	-24.562	3.722			
14	15	23.092	-1.441	4	20	-24.236	2.290	26	1	24.515	-1.874			
15	2	-23.861	1.000	5	7	23.648	-0.569	26	12	-24.814	1.762			
15	14	22.908	-2.614	5	19	-24.012	3.468	27	0	24.374	-3.111			
16	1	-23.837	2.157	6	6	23.726	-1.792	27	11	-24.789	2.999			
16	12	23.124	-0.677	6	17	-24.300	1.562	27	22	24.569	-1.110			
17	0	-23.564	3.295	7	5	23.535	-2.997	28	10	-24.493	4.208			
17	11	23.117	-1.864	7	16	-24.243	2.759	28	21	24.606	-2.364			
17	22	-23.919	1.444	8	3	23.792	-1.028	Mars	1	8	-24.910	2.260		
18	10	22.846	-3.033	8	14	-24.258	0.824		1	20	24.364	-3.594		
18	21	-23.809	2.600	9	2	23.778	-2.250		2	7	-24.785	3.494		
19	8	23.211	-1.104	9	13	-24.369	2.036		2	18	24.727	-1.606		
19	19	-23.895	0.721	10	0	23.746	-0.257		3	5	-24.922	1.508		
20	7	23.116	-2.290	10	12	-24.219	3.230	3	17	24.663	-2.856			
20	18	-23.950	1.891	10	23	23.909	-1.491	4	4	-24.970	2.761			
21	5	23.190	-0.336	11	10	-24.388	1.300	4	15	24.736	-0.839			
21	17	-23.753	3.045	11	22	23.801	-2.710	5	3	-24.743	3.987			
22	4	23.272	-1.535	12	9	-24.407	2.513	5	14	24.850	-2.104			

## MIMAS 2017

## X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grands 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	-25.048	2.012	Mars	27	6	25.907	-1.652	Avril	17	11	-26.431	3.148
	6	13	24.683	-3.349		27	18	-25.280	4.827		17	22	26.923	-1.339
	7	0	-24.994	3.261		28	5	25.914	-2.938		18	10	-26.209	4.445
	7	11	24.926	-1.343		28	16	-25.786	2.823		18	21	27.058	-2.655
	7	23	-24.664	4.478		29	4	25.630	-4.193		19	8	-26.494	2.359
	8	10	24.937	-2.605		29	15	-25.613	4.098		19	20	26.893	-3.943
	8	21	-25.138	2.518		30	2	26.070	-2.187		20	7	-26.457	3.680
	9	9	24.667	-3.841		30	13	-25.830	2.049		20	18	27.131	-1.900
	9	20	-24.980	3.761		31	1	25.964	-3.465		21	6	-26.110	4.961
	10	7	25.081	-1.850		31	12	-25.837	3.347		21	17	27.144	-3.208
10	18	-25.173	1.761	Avril	31	23	26.117	-1.426	22	4	-26.593	2.897		
11	6	24.988	-3.107		1	11	-25.548	4.610	22	16	26.855	-4.481		
11	17	-25.190	3.026		1	22	26.189	-2.723	23	3	-26.432	4.207		
12	4	25.114	-1.085		2	9	-25.950	2.579	23	14	27.287	-2.459		
12	16	-24.928	4.260		2	21	25.968	-3.990	24	1	-26.614	2.098		
13	3	25.199	-2.359		3	8	-25.842	3.869	24	13	27.176	-3.757		
13	14	-25.292	2.274		3	19	26.306	-1.969	25	0	-26.641	3.432		
14	2	25.000	-3.609		4	6	-25.952	1.796	25	11	27.323	-1.701		
14	13	-25.203	3.533		4	18	26.263	-3.258	25	23	-26.353	4.727		
15	0	25.300	-1.600		5	5	-26.026	3.108	26	10	27.390	-3.017		
15	11	-25.283	1.508	5	16	26.314	-1.206	26	21	-26.735	2.639			
15	23	25.279	-2.870	6	4	-25.800	4.387	27	9	27.153	-4.300			
16	10	-25.372	2.787	6	15	26.449	-2.512	27	20	-26.635	3.962			
16	22	24.973	-4.109	7	2	-26.098	2.330	28	7	27.496	-2.265			
17	9	-25.176	4.038	7	14	26.289	-3.791	28	18	-26.714	1.833			
17	20	25.448	-2.118	8	1	-26.055	3.634	29	6	27.438	-3.570			
18	7	-25.431	2.026	8	12	26.527	-1.755	29	17	-26.804	3.177			
18	19	25.319	-3.381	9	0	-25.711	4.899	30	4	27.495	-1.505			
19	6	-25.412	3.301	9	11	26.545	-3.054	30	16	-26.575	4.486			
19	17	25.507	-1.357	9	22	-26.199	2.863	Mai	1	3	27.615	-2.827		
20	5	-25.108	4.541	10	10	26.266	-4.320	1	14	-26.858	2.377			
20	16	25.556	-2.638	10	21	-26.037	4.157	2	2	27.429	-4.119			
21	3	-25.539	2.545	11	8	26.693	-2.304	2	13	-26.818	3.710			
21	15	25.319	-3.891	11	19	-26.230	2.076	3	0	27.685	-2.072			
22	2	-25.411	3.813	12	7	26.592	-3.594	3	12	-26.460	5.002			
22	13	25.684	-1.882	12	18	-26.252	3.394	3	23	27.677	-3.385			
23	0	-25.556	1.775	13	5	26.732	-1.545	4	10	-26.947	2.916			
23	12	25.624	-3.158	13	17	-25.969	4.675	4	22	27.362	-4.660			
23	23	-25.607	3.064	14	4	26.810	-2.853	5	9	-26.778	4.236			
24	10	25.702	-1.119	14	15	-26.355	2.613	5	20	27.817	-2.638			
24	22	-25.367	4.322	15	3	26.589	-4.131	6	7	-26.959	2.107			
25	9	25.820	-2.410	15	14	-26.256	3.922	6	19	27.680	-3.937			
25	20	-25.692	2.299	16	1	26.920	-2.100	7	6	-26.981	3.451			
26	8	25.649	-3.676	16	12	-26.344	1.818	7	17	27.850	-1.880			
26	19	-25.632	3.582	17	0	26.878	-3.400	8	5	-26.680	4.755			

## MIMAS 2017

## 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	16	27.892	-3.198	Mai	29	21	-27.250	4.191	Juin	20	2	28.280	-4.659	
	9	3	-27.069	2.648		30	8	28.538	-2.983		20	13	-27.489	3.463	
	9	15	27.625	-4.481		30	19	-27.447	2.044		21	0	28.687	-2.649	
	10	2	-26.959	3.979		31	7	28.318	-4.269		21	11	-27.479	1.311	
	10	13	27.996	-2.447		31	18	-27.441	3.389		21	23	28.511	-3.922	
	11	0	-27.038	1.832		Juin	1	5	28.565		-2.224	22	10	-27.582	2.644
	11	12	27.907	-3.753			1	17	-27.102		4.692	22	21	28.629	-1.880
	11	23	-27.122	3.184			2	4	28.524		-3.530	23	9	-27.349	3.943
	12	10	27.992	-1.687			2	15	-27.512		2.571	23	20	28.634	-3.169
	12	22	-26.880	4.499			3	3	28.170		-4.796	24	7	-27.552	1.815
13	9	28.082	-3.010	3	14		-27.370	3.900	24	19	28.325	-4.421			
13	20	-27.168	2.373	4	1		28.621	-2.778	25	6	-27.518	3.133			
14	8	27.862	-4.299	4	12		-27.463	1.742	25	17	28.646	-2.405			
14	19	-27.118	3.714	5	0		28.445	-4.067	26	5	-27.151	4.411			
15	6	28.149	-2.255	5	11		-27.518	3.090	26	16	28.517	-3.677			
15	18	-26.742	5.010	5	22	28.610	-2.016	27	3	-27.565	2.311				
16	5	28.107	-3.566	6	10	-27.238	4.399	27	14	28.547	-1.633				
16	16	-27.240	2.910	6	21	28.613	-3.322	28	2	-27.396	3.610				
17	4	27.755	-4.837	7	8	-27.546	2.266	28	13	28.599	-2.919				
17	15	-27.056	4.235	7	20	28.302	-4.591	29	0	-27.488	1.480				
18	2	28.245	-2.819	8	7	-27.464	3.599	29	12	28.338	-4.172				
18	13	-27.243	2.092	8	18	28.672	-2.566	29	23	-27.519	2.796				
19	1	28.071	-4.115	9	5	-27.453	1.433	30	10	28.571	-2.152				
19	12	-27.254	3.440	9	17	28.541	-3.856	30	22	-27.217	4.074				
19	23	28.276	-2.062	10	4	-27.569	2.782	Juill.	1	9	28.491	-3.422			
20	11	-26.935	4.747	10	15	28.622	-1.800		1	20	-27.519	1.970			
20	22	28.280	-3.377	11	3	-27.349	4.096		2	8	28.099	-4.652			
21	9	-27.334	2.629	11	14	28.670	-3.106		2	19	-27.415	3.269			
21	21	27.972	-4.654	12	1	-27.552	1.954		3	6	28.532	-2.660			
22	8	-27.209	3.962	12	13	28.404	-4.378		3	17	-27.396	1.139			
22	19	28.381	-2.626	13	0	-27.531	3.289		4	5	28.321	-3.911			
23	6	-27.295	1.805	13	11	28.691	-2.345		4	16	-27.491	2.450			
23	18	28.252	-3.925	13	23	-27.174	4.581		5	3	28.463	-1.888			
24	5	-27.366	3.158	14	10	28.604	-3.636		5	15	-27.255	3.730			
24	16	28.374	-1.865	14	21	-27.591	2.467	6	2	28.432	-3.155				
25	4	-27.105	4.474	15	8	28.602	-1.576	6	13	-27.444	1.624				
25	15	28.424	-3.182	15	20	-27.433	3.784	7	1	28.092	-4.386				
26	2	-27.403	2.340	16	7	28.696	-2.882	7	12	-27.407	2.920				
26	14	28.160	-4.464	16	18	-27.530	1.635	7	23	28.433	-2.388				
27	1	-27.338	3.680	17	6	28.474	-4.155	8	11	-27.040	4.177				
27	12	28.488	-2.427	17	17	-27.570	2.970	8	22	28.273	-3.638				
28	0	-26.941	4.975	18	4	28.677	-2.118	9	9	-27.435	2.099				
28	11	28.403	-3.731	18	16	-27.275	4.267	9	20	28.321	-1.613				
28	22	-27.452	2.869	19	3	28.635	-3.408	10	8	-27.267	3.377				
29	9	28.444	-1.663	19	14	-27.586	2.145	10	19	28.343	-2.877				

## MIMAS 2017

## 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	-27.340	1.272	Août	1	11	27.594	-2.095	Août	22	16	-26.310	1.189
	11	18	28.055	-4.106		1	23	-26.606	3.543		23	3	26.501	-1.079
	12	5	-27.370	2.564		2	10	27.421	-3.300		23	15	-26.190	2.371
	12	16	28.301	-2.105		2	21	-26.908	1.524		24	2	26.498	-2.260
	13	4	-27.072	3.821		3	8	27.444	-1.314		24	13	-26.153	0.396
	13	15	28.195	-3.352		3	20	-26.778	2.750		25	1	26.206	-3.413
	14	2	-27.350	1.742		4	7	27.454	-2.531		25	12	-26.219	1.585
	14	13	28.148	-1.327		4	18	-26.764	0.712		25	23	26.408	-1.480
	15	1	-27.250	3.017		5	6	27.165	-3.718		26	11	-25.992	2.753
	15	12	28.223	-2.587		5	17	-26.828	1.948		26	22	26.299	-2.648
	15	23	-27.207	0.916		6	4	27.373	-1.753		27	9	-26.129	0.797
	16	11	27.990	-3.815		6	16	-26.581	3.158		27	20	26.200	-0.695
	16	22	-27.305	2.202		7	3	27.266	-2.956		28	8	-26.089	1.974
	17	9	28.139	-1.812		7	14	-26.755	1.142		28	19	26.275	-1.872
	17	21	-27.077	3.458		8	1	27.177	-0.969		29	7	-25.758	3.125
18	8	28.088	-3.056	8	13	-26.701	2.363	29	18	26.061	-3.027			
18	19	-27.236	1.380	9	0	27.254	-2.182	30	5	-26.065	1.190			
19	7	27.731	-4.264	9	12	-26.339	3.553	30	16	26.133	-1.090			
19	18	-27.206	2.651	9	23	27.033	-3.368	31	4	-25.921	2.354			
20	5	28.073	-2.285	10	10	-26.698	1.562	31	15	26.103	-2.257			
20	17	-26.853	3.886	10	21	27.126	-1.401	Sept.	1	2	-25.922	0.405		
21	4	27.897	-3.512	11	9	-26.529	2.768		1	14	25.788	-3.397		
21	15	-27.212	1.835	11	20	27.088	-2.601		2	1	-25.964	1.577		
22	2	27.944	-1.507	12	7	-26.574	0.758		2	12	26.028	-1.478		
22	14	-27.056	3.088	12	19	26.755	-3.769		3	0	-25.717	2.727		
23	1	27.951	-2.747	13	6	-26.596	1.973	3	11	25.895	-2.633			
23	12	-27.094	1.015	13	17	27.028	-1.823	3	22	-25.887	0.795			
24	0	27.653	-3.955	14	5	-26.314	3.162	4	9	25.835	-0.694			
24	11	-27.135	2.279	14	16	26.878	-3.008	4	21	-25.826	1.956			
24	22	27.892	-1.972	15	3	-26.542	1.174	5	8	25.886	-1.859			
25	10	-26.855	3.513	15	14	26.853	-1.040	5	19	-25.692	0.015			
25	21	27.776	-3.196	16	2	-26.451	2.375	6	7	25.652	-3.001			
26	8	-27.090	1.464	16	13	26.886	-2.236	6	18	-25.814	1.180			
26	19	27.719	-1.191	17	0	-26.367	0.373	7	5	25.758	-1.077			
27	7	-27.007	2.712	17	12	26.625	-3.405	7	17	-25.652	2.329			
27	18	27.786	-2.427	17	23	-26.466	1.581	8	4	25.708	-2.232			
28	5	-26.924	0.646	18	10	26.777	-1.456	8	15	-25.685	0.403			
28	17	27.550	-3.633	18	22	-26.265	2.767	9	3	25.377	-3.361			
29	4	-27.035	1.903	19	9	26.699	-2.639	9	14	-25.706	1.559			
29	15	27.683	-1.648	19	20	-26.360	0.785	10	1	25.647	-1.454			
30	3	-26.830	3.134	20	8	26.330	-3.790	10	13	-25.445	2.695			
30	14	27.628	-2.869	20	19	-26.348	1.981	11	0	25.498	-2.598			
31	1	-26.941	1.089	21	6	26.658	-1.862	11	11	-25.641	0.786			
31	13	27.273	-4.056	21	18	-26.038	3.150	11	22	25.466	-0.670			
Août	1	0	-26.930	2.332	22	5	26.472	-3.031	12	10	-25.563	1.932		

## MIMAS 2017

## 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	25.501	-1.825	Oct.	4	2	-24.918	0.734	Oct.	25	7	23.661	-1.070
	13	8	-25.458	0.012		4	13	24.405	-0.510		25	19	-24.057	2.538
	13	20	25.255	-2.957		5	1	-24.818	1.849		26	6	23.528	-2.190
	14	7	-25.561	1.163		5	12	24.426	-1.644		26	17	-24.297	0.715
	14	18	25.385	-1.044		5	23	-24.764	-0.018		27	4	23.515	-0.291
	15	6	-25.387	2.298	6	11	24.177	-2.759	27	16	-24.201	1.815		
	15	17	25.322	-2.190	6	22	-24.838	1.102	28	3	23.563	-1.421		
	16	4	-25.443	0.393	7	9	24.333	-0.866	28	14	-24.161	-0.021		
	16	16	24.981	-3.309	7	21	-24.650	2.208	29	2	23.347	-2.535		
	17	3	-25.449	1.536	8	8	24.266	-1.994	29	13	-24.234	1.086		
	17	14	25.271	-1.413	8	19	-24.744	0.352	30	0	23.478	-0.645		
	18	2	-25.179	2.659	9	7	23.930	-3.099	30	12	-24.056	2.180		
	18	13	25.112	-2.548	9	18	-24.730	1.467	30	23	23.442	-1.771		
	19	0	-25.394	0.770	10	5	24.235	-1.219	31	10	-24.156	0.353		
	19	11	25.100	-0.630	10	17	-24.456	2.564	31	22	23.144	-2.878		
	19	23	-25.305	1.903	11	4	24.080	-2.340	Nov.	1	9	-24.146	1.456	
	20	10	25.125	-1.776	11	15	-24.696	0.721		1	20	23.417	-0.999	
20	21	-25.222	0.004	12	2	24.084	-0.439	2		8	-23.887	2.544		
21	9	24.873	-2.900	12	14	-24.595	1.829	2		19	23.298	-2.121		
21	20	-25.312	1.142	13	1	24.111	-1.570	3		6	-24.125	0.727		
22	7	25.019	-0.995	13	12	-24.548	-0.026	3	17	23.272	-0.221			
22	19	-25.129	2.266	14	0	23.870	-2.683	4	5	-24.034	1.826			
23	6	24.949	-2.133	14	11	-24.620	1.088	4	16	23.333	-1.352			
23	17	-25.203	0.380	14	22	24.022	-0.792	5	3	-23.995	-0.004			
24	5	24.605	-3.246	15	10	-24.434	2.188	5	15	23.133	-2.469			
24	16	-25.199	1.511	15	21	23.962	-1.918	6	2	-24.070	1.102			
25	3	24.907	-1.357	16	8	-24.532	0.344	6	13	23.249	-0.577			
25	15	-24.924	2.623	16	20	23.636	-3.023	7	1	-23.898	2.195			
26	2	24.745	-2.485	17	7	-24.518	1.453	7	12	23.228	-1.705			
26	13	-25.152	0.752	17	18	23.934	-1.144	7	23	-23.996	0.374			
27	0	24.745	-0.574	18	6	-24.247	2.545	8	11	22.947	-2.815			
27	12	-25.055	1.875	18	17	23.789	-2.264	8	22	-23.990	1.476			
27	23	24.766	-1.714	19	4	-24.488	0.713	9	9	23.203	-0.933			
28	10	-24.989	-0.007	19	15	23.786	-0.365	9	21	-23.738	2.564			
28	22	24.513	-2.832	20	3	-24.389	1.817	10	8	23.101	-2.058			
29	9	-25.070	1.121	20	14	23.822	-1.495	10	19	-23.973	0.752			
29	20	24.667	-0.934	21	1	-24.347	-0.027	11	6	23.059	-0.157			
30	8	-24.883	2.234	21	13	23.593	-2.607	11	18	-23.887	1.851			
30	19	24.596	-2.067	22	0	-24.418	1.082	12	5	23.136	-1.290			
Oct.	1	6	-24.968	0.365	22	11	23.736	-0.718	12	16	-23.847	0.025		
	1	18	24.254	-3.175	22	23	-24.236	2.179	13	4	22.953	-2.410		
	2	5	-24.958	1.486	23	10	23.686	-1.843	13	15	-23.926	1.131		
	2	16	24.560	-1.291	23	21	-24.335	0.344	14	2	23.051	-0.516		
	3	4	-24.682	2.590	24	9	23.374	-2.948	14	14	-23.760	2.225		
	3	15	24.400	-2.415	24	20	-24.322	1.449	15	1	23.047	-1.648		

## MIMAS 2017

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	-23.857	0.407	Déc.	2	12	-23.423	2.718	Déc.	19	11	-23.491	2.212
	16	0	22.784	-2.761		2	23	22.709	-1.934		19	22	22.651	-1.160
	16	11	-23.856	1.510		3	10	-23.651	0.912		20	9	-23.456	0.383
	16	22	23.022	-0.877		3	21	22.614	-0.023		20	21	22.552	-2.305
	17	10	-23.611	2.599		4	9	-23.580	2.018		21	8	-23.554	1.509
	17	21	22.937	-2.005		4	20	22.742	-1.170		21	19	22.568	-0.392
	18	8	-23.843	0.790		5	7	-23.540	0.194		22	7	-23.412	2.619
	18	19	22.877	-0.101		5	19	22.612	-2.303		22	18	22.647	-1.549
	19	7	-23.762	1.890		6	6	-23.632	1.309		23	5	-23.512	0.798
	19	18	22.971	-1.238		6	17	22.657	-0.399		23	17	22.468	-2.689
20	5	-23.722	0.067	7	5	-23.483	2.411	24	4	-23.530	1.921			
20	17	22.805	-2.362	7	16	22.704	-1.544	24	15	22.624	-0.785			
21	4	-23.805	1.174	8	3	-23.577	0.594	25	3	-23.308	3.026			
21	15	22.886	-0.465	8	15	22.494	-2.673	25	14	22.621	-1.940			
22	3	-23.645	2.270	9	2	-23.589	1.708	26	1	-23.544	1.214			
22	14	22.899	-1.600	9	13	22.679	-0.777	26	13	22.361	-3.073			
23	1	-23.740	0.454	10	1	-23.362	2.804	27	0	-23.482	2.334			
23	13	22.654	-2.719	10	12	22.645	-1.920	27	11	22.658	-1.180			
24	0	-23.744	1.560	10	23	-23.590	0.997	27	22	-23.452	0.501			
24	11	22.873	-0.830	11	11	22.356	-3.042	28	10	22.574	-2.331			
24	23	-23.505	2.650	11	22	-23.524	2.107	28	21	-23.552	1.633			
25	10	22.806	-1.963	12	9	22.679	-1.157	29	8	22.579	-0.415			
25	21	-23.735	0.843	12	20	-23.485	0.281	29	20	-23.410	2.748			
26	8	22.729	-0.056	13	8	22.566	-2.296	30	7	22.670	-1.578			
26	20	-23.660	1.946	13	19	-23.580	1.401	30	18	-23.517	0.923			
27	7	22.840	-1.197	14	6	22.595	-0.387	31	6	22.504	-2.723			
27	18	-23.619	0.123	14	18	-23.435	2.507	31	17	-23.536	2.052			
28	6	22.692	-2.326	15	5	22.658	-1.538	Janv.	1	4	22.650	-0.816		
28	17	-23.706	1.234	15	16	-23.531	0.688		1	16	-23.314	3.161		
29	4	22.754	-0.425	16	4	22.464	-2.673		2	3	22.660	-1.976		
29	16	-23.553	2.332	16	15	-23.548	1.806	2	14	-23.558	1.347			
30	3	22.785	-1.565	17	2	22.633	-0.772	3	2	22.412	-3.115			
30	14	-23.646	0.516	17	14	-23.324	2.906	3	13	-23.496	2.472			
Déc.	1	2	22.557	-2.689	18	1	22.616	-1.921	4	0	22.700	-1.219		
	1	13	-23.655	1.625	18	12	-23.555	1.097	4	11	-23.475	0.635		
2	0	22.759	-0.796	19	0	22.342	-3.049	4	23	22.627	-2.375			

## ENCELADE 2017

## 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	"	"
<b>Janv.</b>	1	13	29.877	-2.482	<b>Févr.</b>	1	9	-30.594	1.920	<b>Mars</b>	4	5	31.985	-2.163
	2	5	-29.756	1.077		2	2	30.522	-3.630		4	22	-31.889	3.409
	2	22	29.871	-2.749		2	18	-30.644	2.207		5	14	32.056	-2.473
	3	14	-29.807	1.347		3	11	30.500	-3.909		6	7	-31.898	3.720
	4	7	29.858	-3.013		4	3	-30.682	2.494		6	23	32.115	-2.787
	4	23	-29.847	1.617		4	19	30.754	-1.572		7	16	-31.892	4.030
	5	16	29.832	-3.279		5	12	-30.709	2.781		8	8	32.159	-3.101
	6	8	-29.879	1.887		6	4	30.828	-1.861		9	0	-32.174	1.606
	7	1	29.798	-3.544		6	21	-30.724	3.068		9	17	32.190	-3.417
	7	17	-29.900	2.157		7	13	30.890	-2.151		10	9	-32.271	1.921
8	10	29.752	-3.810	8	6	-30.729	3.353	11	2	32.205	-3.733			
9	2	-29.913	2.426	8	22	30.939	-2.442	11	18	-32.355	2.240			
9	18	30.016	-1.515	9	15	-30.721	3.642	12	11	32.207	-4.049			
10	11	-29.914	2.697	10	7	30.978	-2.733	13	3	-32.424	2.560			
11	3	30.061	-1.788	11	0	-30.701	3.929	13	20	32.192	-4.365			
11	20	-29.905	2.966	11	16	31.004	-3.025	14	12	-32.478	2.882			
12	12	30.097	-2.060	12	8	-31.000	1.574	15	4	32.533	-1.927			
13	5	-29.886	3.237	13	1	31.021	-3.316	15	21	-32.516	3.203			
13	21	30.123	-2.333	13	17	-31.075	1.867	16	13	32.624	-2.252			
14	14	-29.856	3.504	14	10	31.024	-3.608	17	6	-32.541	3.525			
15	6	30.139	-2.607	15	2	-31.140	2.164	17	22	32.700	-2.577			
15	22	-30.044	1.188	15	19	31.014	-3.901	18	15	-32.550	3.848			
16	15	30.143	-2.880	16	11	-31.193	2.460	19	7	32.761	-2.903			
17	7	-30.106	1.465	17	3	31.237	-1.532	20	0	-32.545	4.169			
18	0	30.138	-3.153	17	20	-31.235	2.758	20	16	32.804	-3.228			
18	16	-30.159	1.742	18	12	31.324	-1.828	21	8	-32.852	1.708			
19	9	30.123	-3.424	19	5	-31.262	3.056	22	1	32.835	-3.556			
20	1	-30.200	2.019	19	21	31.400	-2.129	22	17	-32.951	2.039			
20	18	30.096	-3.697	20	14	-31.278	3.354	23	10	32.848	-3.884			
21	10	-30.232	2.296	21	6	31.463	-2.430	24	2	-33.035	2.370			
22	2	30.295	-1.380	21	23	-31.280	3.653	24	19	32.847	-4.212			
22	19	-30.253	2.574	22	15	31.515	-2.732	25	11	-33.103	2.700			
23	11	30.362	-1.661	23	8	-31.271	3.949	26	3	33.099	-1.730			
24	4	-30.265	2.850	24	0	31.552	-3.035	26	20	-33.156	3.034			
24	20	30.415	-1.940	24	16	-31.551	1.561	27	12	33.205	-2.066			
25	13	-30.264	3.129	25	9	31.577	-3.338	28	5	-33.192	3.368			
26	5	30.460	-2.221	26	1	-31.640	1.867	28	21	33.294	-2.404			
26	22	-30.253	3.407	26	18	31.589	-3.642	29	14	-33.212	3.703			
27	14	30.494	-2.502	27	10	-31.717	2.174	30	6	33.368	-2.739			
28	7	-30.230	3.685	28	3	31.589	-3.944	30	23	-33.214	4.038			
28	23	30.519	-2.783	28	19	-31.778	2.481	31	15	33.424	-3.078			
29	15	-30.461	1.349	<b>Mars</b>	1	12	31.573	-4.249	<b>Avril</b>	1	8	-33.200	4.373	
30	8	30.531	-3.065		2	4	-31.829	2.790		2	0	33.464	-3.417	
31	0	-30.533	1.635		2	20	31.899	-1.850		2	16	-33.554	1.873	
31	17	30.532	-3.347		3	13	-31.865	3.099		3	9	33.486	-3.758	

## ENCELADE 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	4	1	-33.652	2.215	Mai	4	21	35.142	-3.194	Juin	4	17	-36.067	3.811
	4	18	33.490	-4.096		5	14	-34.969	4.575		5	9	36.039	-2.730
	5	10	-33.730	2.560		6	6	35.160	-3.565		6	2	-36.003	4.189
	6	3	33.477	-4.437		6	22	-35.322	1.960		6	18	36.036	-3.113
	6	19	-33.791	2.905		7	15	35.156	-3.935		7	11	-35.917	4.565
	7	11	33.785	-1.915		8	7	-35.398	2.335		8	3	36.012	-3.493
	8	4	-33.834	3.251		9	0	35.133	-4.303		8	19	-36.217	1.874
	8	20	33.884	-2.263		9	16	-35.451	2.707		9	12	35.964	-3.874
	9	13	-33.858	3.595		10	9	35.087	-4.672		10	4	-36.249	2.259
	10	5	33.965	-2.614		11	1	-35.485	3.082		10	21	35.892	-4.251
	10	22	-33.866	3.941		11	17	35.410	-2.033		11	13	-36.259	2.643
	11	14	34.027	-2.964		12	10	-35.497	3.456		12	6	35.797	-4.627
	12	7	-33.855	4.287		13	2	35.481	-2.412		12	22	-36.247	3.024
	12	23	34.071	-3.315		13	19	-35.489	3.829		13	14	36.065	-1.913
	13	15	-34.151	1.744		14	11	35.530	-2.786		14	7	-36.212	3.405
	14	8	34.098	-3.664		15	4	-35.458	4.202		14	23	36.091	-2.298
	15	0	-34.251	2.099		15	20	35.558	-3.164		15	16	-36.153	3.783
	15	17	34.105	-4.016		16	13	-35.405	4.573		16	8	36.093	-2.682
	16	9	-34.334	2.454		17	5	35.564	-3.541		17	1	-36.072	4.160
	17	2	34.093	-4.367		17	21	-35.738	1.927		17	17	36.073	-3.064
	17	18	-34.398	2.810		18	14	35.548	-3.917		18	10	-35.968	4.530
	18	10	34.348	-1.800		19	6	-35.803	2.304		19	2	36.030	-3.444
	19	3	-34.446	3.165		19	23	35.509	-4.292		19	18	-36.251	1.831
	19	19	34.448	-2.158		20	15	-35.846	2.685		20	11	35.964	-3.821
	20	12	-34.472	3.523		21	8	35.449	-4.666		21	3	-36.265	2.214
	21	4	34.531	-2.519		22	0	-35.867	3.065		21	20	35.875	-4.196
	21	21	-34.479	3.879		22	16	35.752	-1.995		22	12	-36.258	2.596
	22	13	34.594	-2.880		23	9	-35.866	3.445		23	5	35.767	-4.565
	23	6	-34.466	4.237		24	1	35.813	-2.377		23	21	-36.226	2.975
	23	22	34.640	-3.241		24	18	-35.840	3.822		24	13	36.013	-1.846
	24	14	-34.714	1.649		25	10	35.849	-2.760		25	6	-36.173	3.352
	25	7	34.664	-3.603		26	3	-35.794	4.199		25	22	36.021	-2.228
25	23	-34.816	2.014	26	19	35.863	-3.142	26	15	-36.097	3.725			
26	16	34.669	-3.965	27	12	-35.725	4.574	27	7	36.007	-2.608			
27	8	-34.899	2.380	28	4	35.854	-3.524	28	0	-36.002	4.095			
28	1	34.652	-4.327	28	20	-36.044	1.901	28	16	35.968	-2.983			
28	17	-34.962	2.746	29	13	35.821	-3.900	29	9	-35.883	4.463			
29	10	34.617	-4.685	30	5	-36.093	2.285	30	1	35.910	-3.358			
30	2	-35.004	3.113	30	22	35.767	-4.279	30	17	-36.139	1.763			
30	18	34.966	-2.084	31	14	-36.121	2.669	Juill.	1	10	35.829	-3.730		
Mai	1	11	-35.026	3.479	Juin	1	7	35.690	-4.654	2	2	-36.137	2.142	
	2	3	35.046	-2.453		1	23	-36.125	3.052	2	19	35.728	-4.098	
	2	20	-35.027	3.846		2	15	35.977	-1.959	3	11	-36.113	2.515	
	3	12	35.105	-2.824		3	8	-36.107	3.430	4	4	35.603	-4.464	
	4	5	-35.009	4.209		4	0	36.019	-2.345	4	20	-36.067	2.888	



## ENCELADE 2017

## 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	"	"
<b>Juill.</b>	5	12	35.816	-1.746	<b>Août</b>	5	8	-34.958	2.004	<b>Sept.</b>	5	4	33.051	-2.147
	6	5	-35.999	3.258		6	1	34.492	-3.843		5	21	-33.127	3.608
	6	21	35.809	-2.122		6	17	-34.895	2.348		6	13	32.966	-2.455
	7	14	-35.911	3.626		7	10	34.339	-4.173		7	6	-32.975	3.909
	8	6	35.782	-2.492		8	2	-34.812	2.690		7	22	32.869	-2.762
	8	23	-35.800	3.990		8	18	34.490	-1.517		8	14	-33.108	1.375
	9	15	35.733	-2.862		9	11	-34.712	3.027		9	7	32.758	-3.066
	10	8	-35.669	4.350		10	3	34.449	-1.860		9	23	-33.058	1.685
	11	0	35.663	-3.230		10	20	-34.595	3.361		10	16	32.634	-3.367
	11	16	-35.887	1.658		11	12	34.390	-2.201		11	8	-32.994	1.989
	12	9	35.571	-3.594		12	5	-34.461	3.689		12	1	32.496	-3.664
	13	1	-35.873	2.026		12	21	34.312	-2.538		12	17	-32.917	2.294
	13	18	35.456	-3.954		13	14	-34.310	4.016		13	10	32.344	-3.958
	14	10	-35.837	2.394		14	6	34.219	-2.872		14	2	-32.826	2.595
	15	3	35.323	-4.311		14	22	-34.443	1.399		14	18	32.486	-1.423
15	19	-35.780	2.759	15	15	34.108	-3.202	15	11	-32.722	2.893			
16	11	35.488	-1.602	16	7	-34.401	1.736	16	3	32.437	-1.725			
17	4	-35.703	3.121	17	0	33.982	-3.527	16	20	-32.604	3.187			
17	20	35.473	-1.969	17	16	-34.339	2.067	17	12	32.374	-2.027			
18	13	-35.604	3.477	18	9	33.839	-3.851	18	5	-32.474	3.479			
19	5	35.435	-2.334	19	1	-34.263	2.398	18	21	32.298	-2.325			
19	22	-35.486	3.832	19	18	33.679	-4.169	19	14	-32.332	3.767			
20	14	35.377	-2.695	20	10	-34.170	2.724	20	6	32.209	-2.621			
21	7	-35.348	4.183	21	2	33.852	-1.553	20	22	-32.432	1.273			
21	23	35.299	-3.053	21	19	-34.063	3.047	21	15	32.105	-2.913			
22	15	-35.513	1.507	22	11	33.800	-1.879	22	7	-32.388	1.572			
23	8	35.201	-3.405	23	4	-33.938	3.368	23	0	31.991	-3.202			
24	0	-35.489	1.867	23	20	33.732	-2.206	23	16	-32.332	1.867			
24	17	35.084	-3.756	24	13	-33.798	3.683	24	9	31.864	-3.489			
25	9	-35.445	2.226	25	5	33.649	-2.529	25	1	-32.263	2.160			
26	2	34.947	-4.103	25	22	-33.643	3.996	25	18	31.727	-3.773			
26	18	-35.381	2.580	26	14	33.550	-2.849	26	10	-32.182	2.448			
27	10	35.049	-1.412	27	6	-33.789	1.418	27	2	31.819	-1.277			
28	3	-35.300	2.930	27	23	33.435	-3.166	27	19	-32.089	2.736			
28	19	35.025	-1.768	28	15	-33.739	1.741	28	11	31.780	-1.571			
29	12	-35.198	3.278	29	8	33.305	-3.479	29	4	-31.984	3.021			
30	4	34.983	-2.123	30	0	-33.673	2.061	29	20	31.727	-1.862			
30	21	-35.077	3.623	30	17	33.160	-3.789	30	13	-31.868	3.303			
31	13	34.921	-2.474	31	9	-33.593	2.378	<b>Oct.</b>	1	5	31.663	-2.148		
<b>Août</b>	1	6	-34.938	3.964	<b>Sept.</b>	1	2	33.004	-4.092	1	22	-31.739	3.582	
1	22	34.843	-2.821	1	18	-33.496	2.690	2	14	31.588	-2.434			
2	14	-35.032	1.306	2	10	33.173	-1.517	3	7	-31.600	3.857			
3	7	34.744	-3.166	3	3	-33.387	3.000	3	23	31.500	-2.717			
3	23	-35.004	1.657	3	19	33.119	-1.833	4	15	-31.751	1.415			
4	16	34.627	-3.506	4	12	-33.263	3.306	5	8	31.400	-2.999			

## ENCELADE 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	6	0	-31.709	1.699	Nov.	5	4	-30.502	2.347	Déc.	5	8	-29.804	2.875
	6	17	31.288	-3.276		5	21	29.961	-3.818		6	0	29.531	-1.716
	7	9	-31.653	1.983		6	13	-30.444	2.611		6	17	-29.756	3.129
	8	2	31.166	-3.551		7	5	30.120	-1.449		7	9	29.530	-1.976
	8	18	-31.587	2.264		7	22	-30.376	2.872		8	2	-29.698	3.382
	9	11	31.033	-3.824		8	14	30.101	-1.716		8	18	29.520	-2.235
	10	3	-31.509	2.544		9	7	-30.298	3.132		9	11	-29.631	3.634
	10	19	31.168	-1.375		9	23	30.074	-1.981		10	3	29.502	-2.491
	11	12	-31.419	2.818		10	16	-30.209	3.388		10	20	-29.554	3.883
	12	4	31.130	-1.658		11	8	30.035	-2.245		11	12	29.474	-2.748
	12	21	-31.320	3.092		12	1	-30.113	3.644		12	4	-29.744	1.606
	13	13	31.082	-1.938		12	17	29.987	-2.507		12	21	29.437	-3.004
	14	6	-31.210	3.363		13	10	-30.008	3.897		13	13	-29.756	1.866
	14	22	31.022	-2.217		14	2	29.930	-2.768		14	6	29.390	-3.258
	15	15	-31.089	3.633		14	18	-30.206	1.573		14	22	-29.759	2.123
16	7	30.952	-2.490	15	11	29.862	-3.025	15	15	29.333	-3.510			
17	0	-30.958	3.899	16	3	-30.189	1.836	16	7	-29.753	2.381			
17	16	30.871	-2.763	16	20	29.785	-3.283	17	0	29.268	-3.762			
18	8	-31.139	1.501	17	12	-30.162	2.098	17	16	-29.737	2.638			
19	1	30.779	-3.034	18	5	29.699	-3.538	18	9	29.194	-4.013			
19	17	-31.100	1.777	18	21	-30.126	2.358	19	1	-29.711	2.894			
20	10	30.677	-3.303	19	14	29.604	-3.792	19	17	29.436	-1.726			
21	2	-31.052	2.049	20	6	-30.081	2.615	20	10	-29.676	3.146			
21	19	30.563	-3.569	20	22	29.760	-1.453	21	2	29.451	-1.987			
22	11	-30.993	2.321	21	15	-30.027	2.872	21	19	-29.633	3.399			
23	4	30.440	-3.833	22	7	29.754	-1.717	22	11	29.456	-2.246			
23	20	-30.923	2.591	23	0	-29.964	3.128	23	4	-29.581	3.652			
24	12	30.593	-1.427	23	16	29.739	-1.979	23	20	29.452	-2.506			
25	5	-30.843	2.860	24	9	-29.891	3.383	24	13	-29.520	3.903			
25	21	30.565	-1.700	25	1	29.715	-2.237	25	5	29.439	-2.761			
26	14	-30.752	3.123	25	18	-29.808	3.635	25	21	-29.709	1.641			
27	6	30.525	-1.973	26	10	29.682	-2.497	26	14	29.416	-3.018			
27	23	-30.652	3.387	27	3	-29.717	3.885	27	6	-29.735	1.901			
28	15	30.474	-2.242	27	19	29.639	-2.754	27	23	29.384	-3.274			
29	8	-30.542	3.648	28	11	-29.911	1.588	28	15	-29.752	2.161			
30	0	30.414	-2.511	29	4	29.586	-3.011	29	8	29.343	-3.530			
30	17	-30.424	3.906	29	20	-29.910	1.847	30	0	-29.761	2.418			
31	9	30.343	-2.774	30	13	29.523	-3.264	30	17	29.291	-3.783			
Nov.	1	1	-30.619	1.549	Déc.	1	5	-29.897	2.107	Janv.	31	9	-29.759	2.678
	1	18	30.262	-3.038		1	22	29.453	-3.517		1	2	29.231	-4.036
	2	10	-30.589	1.817		2	14	-29.875	2.365		1	18	-29.748	2.935
	3	3	30.172	-3.300		3	7	29.373	-3.769		2	10	29.473	-1.760
3	19	-30.550	2.084	3	23	-29.844	2.622							
4	12	30.072	-3.560	4	16	29.284	-4.019							

## TÉTHYS 2017

## 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	"	"	
<b>Janv.</b>	1	16	-36.903	2.955	<b>Févr.</b>	13	4	38.404	-3.575	<b>Mars</b>	27	15	-41.179	2.455	
	2	14	37.002	-1.403		14	2	-38.571	1.963		28	14	41.206	-3.371	
	3	13	-37.019	2.192		15	1	38.603	-2.810		29	13	-41.126	4.279	
	4	12	36.966	-2.977		16	0	-38.544	3.635		30	11	41.380	-2.583	
	5	10	-37.056	1.420		16	22	38.725	-2.033		31	10	-41.382	3.497	
	6	9	37.086	-2.214		17	21	-38.750	2.870		<b>Avril</b>	1	9	41.303	-4.417
	7	8	-37.022	3.000		18	20	38.692	-3.716			2	7	-41.566	2.709
	8	6	37.129	-1.444		19	18	-38.881	2.094			3	6	41.570	-3.638
	9	5	-37.146	2.237		20	17	38.905	-2.949			4	4	-41.674	1.913
	10	4	37.101	-3.029		21	16	-38.840	3.786			5	3	41.764	-2.851
	11	2	-37.194	1.463		22	14	39.045	-2.169		6	2	-41.741	3.769	
	12	1	37.228	-2.266		23	13	-39.062	3.020		7	0	41.882	-2.055	
	13	0	-37.169	3.053		24	12	38.997	-3.869		7	23	-41.944	2.981	
	13	22	37.281	-1.495		25	10	-39.210	2.244		8	22	41.921	-3.924	
14	21	-37.302	2.289	26	9	39.225	-3.102	9	20	-42.073	2.184				
15	20	37.260	-3.091	27	8	-39.151	3.953	10	19	42.134	-3.136				
16	18	-37.362	1.516	28	6	39.383	-2.324	11	18	-42.087	4.063				
17	17	37.396	-2.326	<b>Mars</b>	1	5	-39.387	3.183	12	16	42.270	-2.336			
18	16	-37.342	3.118		2	4	39.316	-4.043	13	15	-42.312	3.275			
19	14	37.459	-1.556		3	2	-39.551	2.407	14	14	42.251	-4.226			
20	13	-37.486	2.353	4	1	39.563	-3.274	15	12	-42.461	2.477				
21	12	37.441	-3.163	5	0	-39.469	4.135	16	11	42.484	-3.438				
22	10	-37.556	1.582	5	22	39.736	-2.499	17	10	-42.409	4.376				
23	9	37.588	-2.395	6	21	-39.725	3.363	18	8	42.645	-2.635				
24	8	-37.540	3.197	7	19	39.833	-1.715	19	7	-42.652	3.589				
25	6	37.662	-1.624	8	18	-39.906	2.586	20	6	42.562	-4.542				
26	5	-37.695	2.432	9	17	39.906	-3.468	21	4	-42.824	2.790				
27	4	37.648	-3.245	10	15	-40.013	1.800	22	3	42.816	-3.753				
28	2	-37.773	1.661	11	14	40.096	-2.692	23	1	-42.920	1.985				
29	1	37.810	-2.476	12	13	-40.076	3.561	24	0	42.999	-2.953				
30	0	-37.757	3.288	13	11	40.209	-1.905	24	23	-42.966	3.916				
30	22	37.895	-1.704	14	10	-40.274	2.784	25	21	43.105	-2.148				
31	21	-37.924	2.523	15	9	40.254	-3.679	26	20	-43.158	3.116				
<b>Févr.</b>	1	20	37.881	-3.338	16	7	-40.399	1.998	27	19	43.119	-4.089			
	2	18	-38.015	1.751	17	6	40.461	-2.901	28	17	-43.274	2.308			
	3	17	38.055	-2.573	18	5	-40.429	3.782	<b>Mai</b>	29	16	43.322	-3.292		
	4	16	-37.997	3.388	19	3	40.594	-2.110		30	15	-43.248	4.253		
	5	14	38.152	-1.801	20	2	-40.647	3.005		1	13	43.447	-2.484		
	6	13	-38.176	2.622	21	1	40.605	-3.904		2	12	-43.460	3.455		
	7	12	38.135	-3.450	21	23	-40.791	2.218		3	11	43.382	-4.440		
	8	10	-38.280	1.849	22	22	40.832	-3.126	4	9	-43.597	2.648			
	9	9	38.321	-2.684	23	21	-40.780	4.021	5	8	43.603	-3.641			
	10	8	-38.260	3.503	24	19	40.987	-2.336	6	7	-43.493	4.608			
	11	6	38.429	-1.911	25	18	-41.015	3.243	7	5	43.748	-2.832			
	12	5	-38.453	2.737	26	17	40.959	-4.149	8	4	-43.726	3.809			

## TÉTHYS 2017

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	"	"	
<b>Mai</b>	9	2	43.820	-2.017	<b>Juin</b>	20	13	-44.790	1.921	<b>Août</b>	2	1	43.160	-4.240	
	10	1	-43.883	3.001		21	12	44.805	-2.949		2	23	-43.286	2.410	
	11	0	43.841	-4.003		22	11	-44.701	3.960		3	22	43.175	-3.392	
	11	22	-43.967	2.184		23	9	44.781	-2.108		4	21	-42.973	4.346	
	12	21	44.008	-3.190		24	8	-44.762	3.119		5	19	43.114	-2.537	
	13	20	-43.943	4.177		25	7	44.644	-4.144		6	18	-42.996	3.499	
	14	18	44.100	-2.373		26	5	-44.746	2.277		7	16	42.973	-1.684	
	15	17	-44.122	3.368		27	4	44.714	-3.308		8	15	-42.943	2.648	
	16	16	44.032	-4.370		28	3	-44.559	4.307		9	14	42.805	-3.614	
	17	14	-44.225	2.552		29	1	44.706	-2.466		10	12	-42.810	1.796	
	18	13	44.222	-3.558		30	0	-44.642	3.467		11	11	42.762	-2.763	
	19	12	-44.108	4.552		30	23	44.472	-4.487		12	10	-42.610	3.712	
	20	10	44.334	-2.741		<b>Juill.</b>	1	21	-44.644		2.625	13	8	42.638	-1.911
	21	9	-44.305	3.742			2	20	44.558		-3.650	14	7	-42.572	2.863
	22	8	44.175	-4.744			3	19	-44.367		4.641	15	6	42.416	-3.816
	23	6	-44.427	2.925		4	17	44.567	-2.808		16	4	-42.456	2.010	
	24	5	44.384	-3.935		5	16	-44.464	3.804		17	3	42.385	-2.969	
25	3	-44.471	2.096	6	14	44.498	-1.955	18	2	-42.211	3.900				
26	2	44.515	-3.117	7	13	-44.482	2.962	19	0	42.275	-2.119				
27	1	-44.434	4.118	8	12	44.350	-3.974	19	23	-42.188	3.052				
27	23	44.570	-2.291	9	10	-44.423	2.114	20	22	42.007	-4.000				
28	22	-44.575	3.299	10	9	44.377	-3.130	21	20	-42.086	2.202				
29	21	44.485	-4.317	11	8	-44.230	4.125	22	19	41.992	-3.155				
30	19	-44.642	2.468	12	6	44.328	-2.278	23	18	-41.800	4.069				
31	18	44.633	-3.499	13	5	-44.262	3.281	24	16	41.895	-2.303				
<b>Juin</b>	1	17	-44.507	4.494	14	4	44.094	-4.280	25	15	-41.792	3.225			
	2	15	44.707	-2.671	15	2	-44.221	2.431	26	14	41.588	-4.159			
	3	14	-44.666	3.675	16	1	44.138	-3.437	27	12	-41.706	2.377			
	4	13	44.523	-4.697	17	0	-43.945	4.423	28	11	41.587	-3.316			
	5	11	-44.753	2.848	17	22	44.106	-2.589	29	10	-41.382	4.222			
	6	10	44.689	-3.874	18	21	-43.996	3.575	30	8	41.507	-2.464			
	7	8	-44.761	2.016	19	20	43.791	-4.571	31	7	-41.388	3.380			
	8	7	44.782	-3.047	20	18	-43.971	2.727	<b>Sept.</b>	1	6	41.166	-4.298		
	9	6	-44.698	4.054	21	17	43.852	-3.726		2	4	-41.316	2.533		
	10	4	44.797	-2.213	22	15	-43.868	1.875		3	3	41.180	-3.457		
	11	3	-44.801	3.227	23	14	43.835	-2.879	4	1	-41.166	1.686			
	12	2	44.687	-4.246	24	13	-43.691	3.851	5	0	41.118	-2.608			
	13	0	-44.824	2.392	25	11	43.738	-2.027	5	23	-40.978	3.514			
	13	23	44.799	-3.419	26	10	-43.683	3.004	6	21	40.974	-1.763			
	14	22	-44.661	4.426	27	9	43.523	-3.996	7	20	-40.921	2.670			
	15	20	44.833	-2.583	28	7	-43.595	2.151	8	19	40.776	-3.579			
	16	19	-44.782	3.599	29	6	43.522	-3.149	9	17	-40.784	1.825			
17	18	44.625	-4.613	30	5	-43.347	4.108	10	16	40.727	-2.737				
18	16	-44.823	2.762	31	3	43.442	-2.293	11	15	-40.574	3.627				
19	15	44.753	-3.785	<b>Août</b>	1	2	-43.355	3.261	12	13	40.596	-1.894			

## TÉTHYS 2017

## 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.	13	12	-40.529	2.787	Oct.	21	7	-38.109	4.045	Nov.	28	1	-36.896	2.524	
	14	11	40.378	-3.688		22	5	38.214	-2.405		29	0	36.849	-3.330	
	15	9	-40.403	1.943		23	4	-38.135	3.231		29	23	-36.727	4.120	
	16	8	40.338	-2.850		24	3	37.965	-4.065		30	21	36.838	-2.534	
	17	7	-40.178	3.723		25	1	-38.081	2.412		Déc.	1	20	-36.795	3.329
	18	5	40.218	-2.008		26	0	37.993	-3.252			2	19	36.679	-4.130
	19	4	-40.146	2.886		26	23	-37.837	4.069			3	17	-36.786	2.534
	20	3	39.983	-3.780		27	21	37.943	-2.434			4	16	36.751	-3.342
	21	1	-40.034	2.046		28	20	-37.869	3.258			5	15	-36.634	4.124
	22	0	39.955	-2.946		29	19	37.707	-4.082			6	13	36.745	-2.548
22	23	-39.794	3.808	30	17	-37.820	2.441	7	12	-36.710		3.337			
23	21	39.846	-2.104	31	16	37.743	-3.273	8	11	36.601		-4.139			
24	20	-39.772	2.974	Nov.	1	15	-37.584	4.086	9	9		-36.707	2.545		
25	19	39.600	-3.855		2	13	37.700	-2.458	10	8		36.677	-3.355		
26	17	-39.672	2.138		3	12	-37.624	3.278	11	7	-36.574	4.132			
27	16	39.584	-3.022	4	11	37.472	-4.097	12	5	36.674	-2.563				
28	15	-39.420	3.881	5	9	-37.584	2.462	13	4	-36.654	3.349				
29	13	39.490	-2.183	6	8	37.514	-3.292	14	3	36.547	-4.150				
30	12	-39.408	3.051	7	7	-37.361	4.095	15	1	-36.656	2.560				
Oct.	1	11	39.236	-3.916	8	5	37.478	-2.481	16	0	36.631	-3.369			
	2	9	-39.319	2.217	9	4	-37.406	3.290	16	23	-36.538	4.147			
	3	8	39.229	-3.087	10	3	37.259	-4.109	17	21	36.636	-2.577			
	4	7	-39.062	3.939	11	1	-37.375	2.478	18	20	-36.623	3.368			
	5	5	39.148	-2.255	12	0	37.307	-3.306	19	19	36.524	-4.162			
	6	4	-39.059	3.110	12	23	-37.164	4.101	20	17	-36.632	2.582			
	7	3	38.891	-3.969	13	21	37.278	-2.498	21	16	36.612	-3.383			
	8	1	-38.979	2.279	14	20	-37.215	3.300	22	15	-36.528	4.167			
	9	0	38.894	-3.143	15	19	37.073	-4.117	23	13	36.626	-2.596			
	9	23	-38.720	3.984	16	17	-37.191	2.495	24	12	-36.618	3.388			
10	21	38.819	-2.315	17	16	37.125	-3.315	25	11	36.530	-4.182				
11	20	-38.730	3.157	18	15	-36.993	4.108	26	9	-36.633	2.605				
12	19	38.561	-4.011	19	13	37.102	-2.511	27	8	36.625	-3.406				
13	17	-38.661	2.331	20	12	-37.051	3.310	28	7	-36.543	4.189				
14	16	38.574	-3.189	21	11	36.912	-4.121	29	5	36.644	-2.623				
15	15	-38.403	4.018	22	9	-37.031	2.509	30	4	-36.640	3.412				
16	13	38.508	-2.366	23	8	36.974	-3.321	Janv.	31	3	36.563	-4.208			
17	12	-38.422	3.196	24	7	-36.847	4.115		1	1	-36.662	2.632			
18	11	38.250	-4.044	25	5	36.956	-2.521		2	0	36.664	-3.435			
19	9	-38.361	2.373	26	4	-36.910	3.322		2	23	-36.587	4.216			
20	8	38.272	-3.226	27	3	36.781	-4.123		3	21	36.689	-2.657			

## DIONÉ 2017

## 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	"	"
<b>Janv.</b>	1	23	47.420	-3.394	<b>Mars</b>	4	14	-50.611	4.300	<b>Mai</b>	5	4	55.910	-5.061
	3	8	-47.255	3.725		5	23	50.894	-4.573		6	13	-55.729	5.527
	4	17	47.459	-3.939		7	8	-50.773	4.971		7	22	55.990	-5.884
	6	2	-47.280	4.274		8	17	51.042	-5.235		9	6	-56.003	3.961
	7	11	47.478	-4.490		10	2	-50.896	5.642		10	15	56.307	-4.325
	8	20	-47.285	4.826		11	10	51.387	-3.731		12	0	-56.145	4.794
	10	4	47.662	-3.003		12	19	-51.297	4.139		13	9	56.421	-5.160
	11	13	-47.528	3.339		14	4	51.599	-4.416		14	18	-56.217	5.629
	12	22	47.746	-3.558		15	13	-51.484	4.823		16	3	56.463	-5.997
	14	7	-47.603	3.902		16	22	51.767	-5.106		17	11	-56.471	4.049
	15	16	47.814	-4.118		18	7	-51.629	5.517		18	20	56.763	-4.436
	17	1	-47.652	4.469		19	16	51.897	-5.802		20	5	-56.577	4.895
	18	10	47.863	-4.682		21	0	-52.007	4.004		21	14	56.833	-5.280
	19	19	-47.676	5.032		22	9	52.322	-4.295		22	23	-56.609	5.744
21	3	48.095	-3.195	23	18	-52.208	4.715	24	8	56.826	-6.120			
22	12	-47.962	3.542	25	3	52.507	-5.009	25	16	-56.846	4.165			
23	21	48.209	-3.773	26	12	-52.368	5.430	27	1	57.110	-4.548			
25	6	-48.065	4.120	27	21	52.648	-5.730	28	10	-56.902	5.018			
26	15	48.295	-4.348	29	5	-52.730	3.903	29	19	57.136	-5.401			
28	0	-48.140	4.702	30	14	53.044	-4.218	31	4	-56.881	5.867			
29	9	48.360	-4.929	<b>Avril</b>	31	23	-52.947	4.640	<b>Juin</b>	1	12	57.296	-3.815	
30	17	-48.383	3.207		2	8	53.239	-4.951		2	21	-57.100	4.277	
1	2	48.645	-3.442		3	17	-53.113	5.383		4	6	57.344	-4.672	
2	11	-48.524	3.798		5	2	53.389	-5.688		5	15	-57.105	5.137	
3	20	48.779	-4.037		6	10	-53.447	3.853		7	0	57.317	-5.521	
5	5	-48.643	4.395		7	19	53.775	-4.168		8	9	-57.031	5.992	
6	14	48.887	-4.634		9	4	-53.663	4.609		9	17	57.460	-3.927	
7	23	-48.739	4.997		10	13	53.970	-4.927		11	2	-57.228	4.393	
9	8	48.966	-5.233		11	22	-53.830	5.368		12	11	57.455	-4.789	
10	16	-49.035	3.505		13	7	54.111	-5.692		13	20	-57.183	5.241	
12	1	49.303	-3.745		14	15	-54.152	3.827		15	5	57.370	-5.643	
13	10	-49.193	4.120		16	0	54.476	-4.161		16	14	-57.059	6.091	
14	19	49.455	-4.359		17	9	-54.364	4.607		17	22	57.487	-4.042	
16	4	-49.321	4.736		18	18	54.668	-4.940		19	7	-57.238	4.490	
17	13	49.578	-4.983	20	3	-54.516	5.390	20	16	57.429	-4.888			
18	22	-49.420	5.361	21	12	54.800	-5.726	22	1	-57.136	5.342			
20	6	49.879	-3.488	22	21	-54.609	6.179	23	10	57.295	-5.731			
21	15	-49.780	3.863	24	5	55.148	-4.190	24	18	-57.186	3.727			
23	0	50.065	-4.120	25	14	-55.024	4.638	26	3	57.393	-4.126			
24	9	-49.949	4.503	26	23	55.317	-4.987	27	12	-57.113	4.570			
25	18	50.219	-4.761	28	8	-55.162	5.443	28	21	57.280	-4.968			
27	3	-50.082	5.149	29	17	55.424	-5.792	30	6	-56.961	5.409			
28	12	50.338	-5.408	<b>Mai</b>	1	1	-55.451	3.888	<b>Juill.</b>	1	15	57.094	-5.801	
30	1	-50.411	3.640		2	10	55.762	-4.243		2	23	-56.990	3.787	
3	5	50.709	-3.913		3	19	-55.622	4.704		4	8	57.172	-4.185	

## DIONÉ 2017

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	"	"
<b>Juill.</b>	5	17	-56.862	4.623	<b>Sept.</b>	5	7	52.626	-4.832	<b>Nov.</b>	5	22	-47.855	5.071
	7	2	57.015	-5.015		6	16	-52.237	5.155		7	6	48.135	-3.272
	8	11	-56.664	5.445		8	0	52.485	-3.223		8	15	-47.877	3.533
	9	20	56.784	-5.832		9	9	-52.150	3.545		10	0	47.995	-3.813
	11	4	-56.674	3.816		10	18	52.234	-3.881		11	9	-47.725	4.077
	12	13	56.831	-4.218		12	3	-51.880	4.196		12	18	47.840	-4.348
	13	22	-56.509	4.634		13	12	51.942	-4.527		14	3	-47.552	4.608
	15	7	56.631	-5.027		14	21	-51.569	4.836		15	12	47.662	-4.878
	16	16	-56.273	5.439		16	6	51.613	-5.157		16	21	-47.360	5.137
	18	1	56.364	-5.823		17	14	-51.445	3.232		18	5	47.671	-3.355
	19	9	-56.253	3.811		18	23	51.539	-3.559		19	14	-47.418	3.608
	20	18	56.392	-4.204		20	8	-51.198	3.868		20	23	47.560	-3.884
	22	3	-56.051	4.610		21	17	51.275	-4.185		22	8	-47.301	4.140
	23	12	56.158	-4.994		23	2	-50.913	4.491		23	17	47.430	-4.413
	24	21	-55.786	5.397		24	11	50.977	-4.801		25	2	-47.161	4.667
	26	5	56.057	-3.364		25	20	-50.601	5.096		26	11	47.282	-4.935
	27	14	-55.742	3.768		27	4	50.859	-3.213		27	20	-47.002	5.184
	28	23	55.862	-4.146		28	13	-50.538	3.506		29	4	47.324	-3.423
30	8	-55.510	4.544	29	22	50.626	-3.826	30	13	-47.094	3.672			
31	17	55.609	-4.916	<b>Oct.</b>	1	7	-50.288	4.112	<b>Déc.</b>	1	22	47.246	-3.950	
<b>Août</b>	2	2	-55.217	5.302	2	16	50.364	-4.421	3	7	-47.006	4.200		
	3	10	55.484	-3.291	4	1	-50.008	4.706	4	16	47.148	-4.467		
	4	19	-55.149	3.670	5	10	50.071	-5.010	6	1	-46.899	4.725		
	6	4	55.265	-4.054	6	18	-49.902	3.123	7	10	47.034	-4.985		
	7	13	-54.907	4.425	8	3	50.005	-3.437	8	19	-46.774	5.243		
	8	22	54.988	-4.794	9	12	-49.694	3.714	10	3	47.110	-3.486		
	10	7	-54.605	5.166	10	21	49.776	-4.020	11	12	-46.895	3.738		
	11	16	54.658	-5.524	12	6	-49.456	4.299	12	21	47.064	-4.011		
	13	0	-54.509	3.539	13	15	49.525	-4.594	14	6	-46.840	4.262		
	14	9	54.611	-3.906	15	0	-49.188	4.874	15	15	47.002	-4.530		
	15	18	-54.251	4.264	16	9	49.251	-5.157	17	0	-46.767	4.785		
	17	3	54.331	-4.630	17	17	-49.122	3.303	18	9	46.922	-5.046		
	18	12	-53.945	4.983	19	2	49.237	-3.600	19	18	-46.672	5.304		
	19	21	53.997	-5.337	20	11	-48.926	3.872	21	2	47.029	-3.557		
	21	5	-53.823	3.358	21	20	49.027	-4.166	22	11	-46.827	3.811		
	22	14	53.918	-3.715	23	5	-48.708	4.434	23	20	47.017	-4.085		
	23	23	-53.565	4.070	24	14	48.789	-4.722	25	5	-46.810	4.333		
	25	8	53.642	-4.414	25	23	-48.462	4.988	26	14	46.984	-4.609		
26	17	-53.261	4.765	27	7	48.723	-3.167	27	23	-46.770	4.858			
28	2	53.319	-5.101	28	16	-48.446	3.433	29	8	46.934	-5.128			
29	10	-53.103	3.136	30	1	48.562	-3.723	<b>Janv.</b>	30	17	-46.712	5.384		
30	19	53.210	-3.493	31	10	-48.268	3.986		1	1	47.078	-3.643		
<b>Sept.</b>	1	4	-52.857	3.819	<b>Nov.</b>	1	19		48.375	-4.274	2	10	-46.899	3.906
	2	13	52.941	-4.171		3	4		-48.069	4.531	3	19	47.101	-4.173
	3	22	-52.569	4.494		4	13		48.165	-4.814	5	4	-46.906	4.438

## RHÉA 2017

## 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	"	"	
<b>Janv.</b>	3 0	-66.164	5.088	<b>Avril</b>	14 17	75.730	-5.967	<b>Juill.</b>	25 7	-78.218	6.472	
	5 6	66.176	-4.626		17 0	-75.968	7.518		27 13	77.920	-6.097	
	7 13	-66.283	5.857		19 6	76.150	-7.191		29 19	-77.838	5.686	
	9 19	66.318	-5.416		21 12	-76.583	6.821	<b>Août</b>	1 1	77.519	-5.299	
	12 1	-66.573	4.937		23 18	76.738	-6.497		3 8	-77.275	6.885	
	14 7	66.597	-4.481		26 0	-77.116	6.117		5 14	76.947	-6.498	
	16 14	-66.756	5.740		28 6	77.263	-5.796		7 20	-76.874	6.070	
	18 20	66.816	-5.296	<b>Mai</b>	30 13	-77.488	7.406		10 2	76.532	-5.665	
	21 2	-67.087	4.816		2 19	77.622	-7.096		12 8	-76.426	5.248	
	23 9	67.030	-6.117		5 1	-78.006	6.730		14 14	76.046	-4.836	
<b>Févr.</b>	25 15	-67.341	5.647		7 7	78.120	-6.409		16 21	-75.809	6.361	
	27 21	67.421	-5.214		9 13	-78.461	6.061		19 3	75.465	-5.960	
	30 3	-67.722	4.747		11 20	78.364	-7.750		21 9	-75.350	5.511	
	1 10	67.705	-6.061		14 2	-78.727	7.385		23 15	74.968	-5.090	
	3 16	-68.030	5.610		16 8	78.811	-7.094		25 22	-74.694	6.580	
		5 22	68.140	-5.176		18 14	-79.134	6.732		28 4	74.353	-6.155
		8 5	-68.332	6.472		20 20	79.175	-6.418	<b>Sept.</b>	30 10	-74.223	5.701
	10 11	68.471	-6.069		23 2	-79.476	6.067	1 16		73.865	-5.261	
	12 17	-68.830	5.610		25 8	79.486	-5.757	3 22		-73.731	4.802	
	14 23	68.953	-5.191		27 15	-79.584	7.439	6 5	73.212	-6.279		
<b>Mars</b>	17 6	-69.181	6.527	<b>Juin</b>	29 21	79.617	-7.135		8 11	-73.109	5.805	
	19 12	69.339	-6.121		1 3	-79.870	6.782		10 17	72.749	-5.356	
	21 18	-69.712	5.668		3 9	79.835	-6.473		12 23	-72.621	4.898	
	24 0	69.869	-5.274		5 15	-80.057	6.116		15 6	72.105	-6.324	
	26 7	-70.108	6.625		7 21	79.997	-5.795		17 12	-72.007	5.836	
		28 13	70.282	-6.236		10 4	-80.017	7.510		19 18	71.667	-5.396
		2 19	-70.686	5.800		12 10	79.951	-7.190		22 0	-71.542	4.908
	5 1	70.852	-5.403		14 16	-80.136	6.824		24 7	71.036	-6.305	
	7 8	-71.098	6.804		16 22	80.036	-6.519		26 13	-70.958	5.817	
	9 14	71.297	-6.417		19 4	-80.175	6.152		28 19	70.633	-5.355	
<b>Avril</b>	11 20	-71.720	5.988		21 10	80.026	-5.825	<b>Oct.</b>	1 1	-70.508	4.871	
	14 2	71.889	-5.621		23 16	-80.140	5.462		3 8	70.040	-6.230	
	16 9	-72.147	7.041		25 23	79.829	-7.198		5 14	-69.975	5.732	
	18 15	72.352	-6.669		28 5	-79.914	6.826		7 20	69.652	-5.274	
	20 21	-72.793	6.265		30 11	79.754	-6.491	10 2	-69.560	4.773		
		23 3	72.975	-5.900	<b>Juill.</b>	2 17	-79.817	6.118		12 9	69.116	-6.104
	25 9	-73.375	5.479	4 23		79.589	-5.781		14 15	-69.066	5.614	
	27 16	73.440	-7.007	7 5		-79.622	5.399		16 21	68.766	-5.141	
	29 22	-73.878	6.604	9 12		79.232	-7.096		19 3	-68.685	4.629	
	1 4	74.063	-6.253	11 18		-79.262	6.727		21 10	68.291	-5.953	
	3 10	-74.486	5.853		14 0	79.012	-6.364		23 16	-68.247	5.442	
	5 17	74.506	-7.408		16 6	-79.010	5.965		25 22	67.968	-4.969	
	7 23	-74.945	7.030		18 12	78.732	-5.619		28 5	-67.786	6.226	
	10 5	75.137	-6.684		20 18	-78.691	5.216		30 11	67.560	-5.752	
	12 11	-75.565	6.292		23 1	78.236	-6.875	<b>Nov.</b>	1 17	-67.527	5.250	



## RHÉA 2017

## 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	"	"
<b>Nov.</b>	3	23	67.277	-4.768	<b>Nov.</b>	28	21	-65.931	6.255	<b>Déc.</b>	23	18	65.460	-6.023
	6	6	-67.144	6.005	<b>Déc.</b>	1	3	65.808	-5.784		26	0	-65.607	5.514
	8	12	66.926	-5.543		3	9	-65.871	5.282		28	7	65.392	-6.750
	10	18	-66.922	5.025		5	16	65.586	-6.511		30	13	-65.589	6.244
	13	1	66.563	-6.283		7	22	-65.707	5.994	<b>Janv.</b>	1	19	65.567	-5.794
	15	7	-66.609	5.779		10	4	65.594	-5.543		4	1	-65.732	5.301
	17	13	66.412	-5.305		12	10	-65.685	5.027		6	8	65.582	-6.537
	19	19	-66.419	4.783		14	17	65.457	-6.257		8	14	-65.799	6.032
	22	2	66.132	-6.045		16	23	-65.601	5.754		10	20	65.792	-5.604
	24	8	-66.183	5.526		19	5	65.508	-5.297		13	3	-65.855	6.785
	26	14	66.005	-5.058		21	12	-65.492	6.469		15	9	65.885	-6.351

## TITAN 2017

## 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	"	"
<b>Janv.</b>	3	20	148.894	-12.861	<b>Mai</b>	11	16	176.747	-18.025	<b>Sept.</b>	15	23	162.398	-14.297
	11	21	-158.430	13.250		19	15	-188.489	16.882		23	23	-169.714	13.972
	19	21	150.640	-13.894		27	13	179.221	-17.189	<b>Oct.</b>	1	22	158.331	-13.445
	27	22	-160.687	14.171	<b>Juin</b>	4	12	-190.421	16.288		9	23	-165.538	14.014
<b>Févr.</b>	4	22	153.181	-15.232		12	10	180.311	-16.396		17	22	154.685	-13.469
	12	22	-163.846	14.338		20	9	-190.816	15.669		25	23	-161.999	13.708
	20	22	156.538	-15.782		28	8	179.793	-16.866	<b>Nov.</b>	2	23	151.623	-14.384
	28	22	-167.683	14.922	<b>Juill.</b>	6	7	-189.545	16.151		11	0	-159.141	14.261
<b>Mars</b>	8	21	160.557	-15.557		14	5	178.004	-15.656		18	23	149.464	-13.921
	16	22	-172.004	16.008		22	4	-187.002	14.954		27	0	-157.250	13.553
	24	21	164.780	-17.045		30	3	174.940	-15.406	<b>Déc.</b>	5	0	148.067	-14.509
<b>Avril</b>	1	21	-176.645	16.453	<b>Août</b>	7	2	-183.305	14.573		13	1	-156.184	13.873
	9	20	169.145	-17.804		15	1	171.098	-14.664		21	1	147.562	-15.076
	17	19	-181.264	16.189		23	0	-178.968	13.668		29	2	-156.060	14.218
	25	18	173.314	-17.732		31	0	166.751	-14.729	<b>Janv.</b>	6	2	147.961	-15.720
<b>Mai</b>	3	17	-185.353	16.361	<b>Sept.</b>	7	23	-174.319	13.476		14	3	-156.875	14.688

## HYPÉRION 2017

**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	"	"
<b>Janv.</b>	10	22	-199.924	25.455	<b>Mai</b>	29	5	201.260	-11.632	<b>Oct.</b>	14	8	-214.919	25.036
	21	22	171.418	-8.434	<b>Juin</b>	8	12	-246.465	30.471		25	10	170.647	-9.315
<b>Févr.</b>	1	6	-205.545	26.519		19	10	202.383	-10.800	<b>Nov.</b>	4	20	-209.626	24.209
	12	6	174.860	-10.156		29	16	-245.148	30.105		15	22	166.777	-9.641
	22	13	-211.695	27.650	<b>Juill.</b>	10	14	201.134	-9.250		26	10	-206.534	24.086
<b>Mars</b>	5	12	180.393	-11.021		20	20	-241.356	28.281	<b>Déc.</b>	7	10	163.755	-10.777
	15	19	-219.636	28.224		31	19	196.174	-8.550		18	0	-205.965	24.016
	26	17	185.775	-12.250	<b>Août</b>	11	3	-236.139	28.015		29	0	162.666	-12.720
<b>Avril</b>	6	0	-229.094	28.840		22	3	190.011	-7.769	<b>Janv.</b>	8	14	-206.987	24.593
	16	22	192.039	-11.920	<b>Sept.</b>	1	11	-228.021	26.971		19	13	164.095	-13.934
	27	5	-236.168	30.342		12	12	183.628	-7.981		30	3	-210.150	24.111
<b>Mai</b>	8	2	198.104	-11.978		22	21	-220.576	26.116	<b>Févr.</b>	10	0	166.664	-15.395
	18	8	-242.227	29.950	<b>Oct.</b>	3	22	176.483	-8.923					

## JAPET 2017

**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	"	"
<b>Janv.</b>	9	13	426.657	-97.869	<b>Juin</b>	17	12	515.795	-113.768	<b>Nov.</b>	23	15	426.886	-89.739
<b>Févr.</b>	18	22	-471.608	104.291	<b>Juill.</b>	26	4	-529.754	120.788	<b>Janv.</b>	3	8	-448.947	88.519
<b>Mars</b>	31	4	477.058	-101.934	<b>Sept.</b>	3	22	473.572	-106.739					
<b>Mai</b>	9	9	-533.287	115.718	<b>Oct.</b>	13	17	-469.297	104.690					



# SATELLITES D'URANUS

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

MIRANDA .....	II. 140
ARIEL .....	II. 144
UMBRIEL .....	II. 147
TITANIA .....	II. 149
OBÉRON .....	II. 150

## MIRANDA 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	12	-2.296	8.774	Févr.	2	7	1.936	-8.570	Mars	6	3	-2.355	8.319
	2	5	2.328	-8.742		3	0	-1.959	8.585		6	20	2.390	-8.282
	2	22	-2.347	8.750		3	17	1.990	-8.556		7	13	-2.409	8.294
	3	15	2.382	-8.718		4	10	-2.012	8.568		8	6	2.441	-8.256
	4	8	-2.399	8.725		5	3	2.044	-8.541		8	23	-2.462	8.266
	5	1	2.435	-8.691		5	20	-2.066	8.551		9	16	2.494	-8.228
	5	18	-2.451	8.700		6	13	2.098	-8.523		10	9	-2.515	8.237
	6	11	2.486	-8.662		7	6	-2.117	8.533		11	2	2.546	-8.200
	7	4	-2.503	8.672		7	23	2.152	-8.504		11	18	-1.790	8.412
	7	21	2.538	-8.632		8	16	-2.170	8.514		12	11	1.823	-8.388
	8	14	-2.554	8.642		9	9	2.206	-8.483		13	4	-1.847	8.402
9	7	2.586	-8.602	10	2	-2.222	8.494	13	21	1.881	-8.378			
10	0	-2.605	8.610	10	19	2.257	-8.460	14	14	-1.901	8.391			
10	17	2.636	-8.570	11	12	-2.275	8.472	15	7	1.938	-8.365			
11	10	-2.656	8.577	12	5	2.309	-8.436	16	0	-1.958	8.378			
12	3	2.685	-8.538	12	22	-2.328	8.448	16	17	1.995	-8.351			
12	20	-2.704	8.541	13	15	2.359	-8.412	17	10	-2.014	8.366			
13	13	2.735	-8.503	14	8	-2.381	8.422	18	3	2.050	-8.335			
14	5	-1.992	8.720	15	1	2.411	-8.386	18	20	-2.071	8.350			
14	22	2.026	-8.694	15	18	-2.432	8.394	19	13	2.106	-8.318			
15	15	-2.045	8.705	16	11	2.462	-8.359	20	6	-2.128	8.333			
16	8	2.082	-8.676	17	4	-2.482	8.365	20	23	2.161	-8.301			
17	1	-2.099	8.687	17	21	2.514	-8.330	21	16	-2.185	8.313			
17	18	2.136	-8.658	18	14	-2.532	8.335	22	9	2.217	-8.282			
18	11	-2.153	8.670	19	7	2.565	-8.299	23	2	-2.241	8.293			
19	4	2.188	-8.636	20	0	-2.581	8.305	23	19	2.273	-8.262			
19	21	-2.207	8.650	20	17	2.616	-8.266	24	12	-2.295	8.270			
20	14	2.240	-8.615	21	9	-1.869	8.484	25	5	2.330	-8.239			
21	7	-2.260	8.628	22	2	1.905	-8.457	25	22	-2.350	8.247			
22	0	2.291	-8.593	22	19	-1.924	8.472	26	15	2.386	-8.215			
22	17	-2.313	8.603	23	12	1.958	-8.443	27	8	-2.404	8.224			
23	10	2.343	-8.569	24	5	-1.980	8.459	28	1	2.442	-8.188			
24	3	-2.365	8.578	24	22	2.013	-8.427	28	18	-2.460	8.199			
24	20	2.395	-8.544	25	15	-2.035	8.443	29	11	2.497	-8.161			
25	13	-2.414	8.551	26	8	2.066	-8.413	30	3	-1.720	8.376			
26	6	2.447	-8.517	27	1	-2.089	8.424	30	20	1.756	-8.350			
26	23	-2.465	8.523	27	18	2.120	-8.395	31	13	-1.781	8.369			
27	16	2.498	-8.488	28	11	-2.143	8.406	31	6	1.815	-8.342			
28	9	-2.514	8.495	Mars	1	4	2.175	-8.376	Avril	1	23	-1.840	8.360	
29	2	2.549	-8.456		1	21	-2.195	8.385		2	16	1.873	-8.334	
29	19	-2.564	8.464	2	14	2.230	-8.356	3	9	-1.899	8.349			
30	12	2.599	-8.424	3	7	-2.248	8.364	4	2	1.933	-8.324			
31	5	-2.614	8.433	4	0	2.284	-8.333	4	19	-1.958	8.337			
31	22	2.646	-8.391	4	17	-2.301	8.343	5	12	1.993	-8.311			
Févr.	1	15	-2.664	8.399	5	10	2.337	-8.308	6	5	-2.015	8.324		

## MIRANDA 2017

## 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	22	2.053	-8.297	Mai	8	17	-1.763	8.400	Juin	9	13	2.414	-8.338
	7	15	-2.074	8.309		9	10	1.800	-8.378		10	5	-1.547	8.570
	8	8	2.112	-8.281		10	3	-1.828	8.394		10	22	1.586	-8.548
	9	1	-2.132	8.295		10	20	1.866	-8.371		11	15	-1.620	8.571
	9	18	2.170	-8.263		11	13	-1.892	8.388		12	8	1.658	-8.550
	10	11	-2.191	8.278		12	6	1.933	-8.363		13	1	-1.691	8.570
	11	4	2.229	-8.244		12	23	-1.957	8.379		13	18	1.731	-8.550
	11	21	-2.251	8.258		13	16	1.999	-8.352		14	11	-1.763	8.568
	12	14	2.286	-8.224		14	9	-2.023	8.370		15	4	1.805	-8.547
	13	7	-2.311	8.237		15	2	2.064	-8.339		15	21	-1.833	8.566
	14	0	2.345	-8.203		15	19	-2.089	8.358		16	14	1.878	-8.542
	14	17	-2.370	8.215		16	12	2.129	-8.326		17	7	-1.905	8.561
	15	10	2.403	-8.181		17	5	-2.155	8.344		18	0	1.951	-8.535
16	3	-2.427	8.190	17	22	2.193	-8.312	18	17	-1.978	8.555			
16	20	2.463	-8.157	18	15	-2.222	8.327	19	10	2.022	-8.526			
17	12	-1.667	8.372	19	8	2.259	-8.296	20	3	-2.052	8.547			
18	5	1.705	-8.352	20	1	-2.288	8.310	20	20	2.094	-8.516			
18	22	-1.728	8.369	20	18	2.325	-8.279	21	13	-2.125	8.536			
19	15	1.768	-8.345	21	11	-2.352	8.290	22	6	2.165	-8.506			
20	8	-1.790	8.363	22	4	2.392	-8.259	22	23	-2.197	8.522			
21	1	1.830	-8.338	22	21	-2.417	8.269	23	16	2.238	-8.493			
21	18	-1.852	8.356	23	13	1.587	-8.454	24	9	-2.270	8.508			
22	11	1.891	-8.328	24	6	-1.613	8.475	25	2	2.310	-8.478			
23	4	-1.915	8.347	24	23	1.656	-8.453	25	19	-2.340	8.492			
23	21	1.953	-8.318	25	16	-1.682	8.474	26	12	2.384	-8.461			
24	14	-1.978	8.336	26	9	1.725	-8.451	27	5	-2.412	8.474			
25	7	2.013	-8.308	27	2	-1.752	8.473	27	21	1.533	-8.664			
26	0	-2.041	8.323	27	19	1.792	-8.447	28	14	-1.562	8.687			
26	17	2.076	-8.295	28	12	-1.822	8.468	29	7	1.608	-8.666			
27	10	-2.103	8.308	29	5	1.861	-8.441	30	0	-1.638	8.690			
28	3	2.139	-8.280	29	22	-1.892	8.462	Juill.	30	17	1.684	-8.667		
28	20	-2.163	8.292	30	15	1.930	-8.436		1	10	-1.714	8.691		
29	13	2.202	-8.264	31	8	-1.961	8.453		2	3	1.757	-8.666		
30	6	-2.225	8.275	Juin	1	1	1.999		-8.428	2	20	-1.791	8.690	
30	23	2.265	-8.245		1	18	-2.030		8.443	3	13	1.833	-8.664	
Mai	1	16	-2.286	8.258	2	11	2.069	-8.418	4	6	-1.867	8.686		
	2	9	2.327	-8.224	3	4	-2.097	8.432	4	23	1.908	-8.661		
	3	2	-2.349	8.239	3	21	2.140	-8.405	5	16	-1.942	8.680		
	3	19	2.389	-8.203	4	14	-2.166	8.420	6	9	1.983	-8.655		
	4	12	-2.411	8.217	5	7	2.209	-8.391	7	2	-2.017	8.672		
	5	5	2.449	-8.180	6	0	-2.234	8.407	7	19	2.060	-8.647		
	5	21	-1.632	8.409	6	17	2.278	-8.374	8	12	-2.090	8.664		
	6	14	1.668	-8.385	7	10	-2.303	8.391	9	5	2.136	-8.637		
	7	7	-1.698	8.406	8	3	2.347	-8.356	9	22	-2.165	8.654		
	8	0	1.734	-8.383	8	20	-2.373	8.373	10	15	2.212	-8.624		

## MIRANDA 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
<b>Juill.</b>	11	8	-2.240	8.643	<b>Août</b>	12	3	2.088	-8.914	<b>Sept.</b>	12	22	-1.910	9.183
	12	1	2.286	-8.609		12	20	-2.120	8.932		13	15	1.951	-9.156
	12	18	-2.315	8.629		13	13	2.168	-8.903		14	8	-1.988	9.174
	13	11	2.360	-8.593		14	6	-2.198	8.921		15	1	2.031	-9.147
	14	4	-2.390	8.612		14	23	2.246	-8.890		15	18	-2.066	9.163
	14	21	2.433	-8.577		15	16	-2.276	8.909		16	11	2.110	-9.135
	15	13	-1.523	8.816		16	9	2.323	-8.874		17	4	-2.142	9.152
	16	6	1.563	-8.795		17	2	-2.355	8.894		17	21	2.189	-9.120
	16	23	-1.601	8.820		17	19	2.400	-8.857		18	14	-2.219	9.138
	17	16	1.642	-8.799		18	12	-2.433	8.876		19	7	2.266	-9.104
	18	9	-1.677	8.821		19	5	2.475	-8.840		20	0	-2.297	9.122
	19	2	1.721	-8.801		19	21	-1.538	9.082		20	17	2.340	-9.085
	19	19	-1.755	8.821		20	14	1.580	-9.061		21	10	-2.374	9.104
	20	12	1.800	-8.799		21	7	-1.620	9.085		22	3	2.416	-9.065
	21	5	-1.831	8.820		22	0	1.662	-9.063		22	20	-2.450	9.082
	21	22	1.879	-8.795		22	17	-1.698	9.085		23	13	2.490	-9.045
	22	15	-1.909	8.817		23	10	1.744	-9.063		24	6	-2.525	9.058
23	8	1.957	-8.790	24	3	-1.779	9.083	24	22	1.592	-9.250			
24	1	-1.987	8.812	24	20	1.825	-9.060	25	15	-1.632	9.272			
24	18	2.032	-8.782	25	13	-1.857	9.082	26	8	1.673	-9.249			
25	11	-2.066	8.804	26	6	1.906	-9.055	27	1	-1.709	9.269			
26	4	2.110	-8.773	26	23	-1.938	9.077	27	18	1.754	-9.245			
26	21	-2.144	8.794	27	16	1.985	-9.048	28	11	-1.788	9.264			
27	14	2.186	-8.764	28	9	-2.018	9.070	29	4	1.833	-9.238			
28	7	-2.221	8.781	29	2	2.063	-9.039	29	21	-1.865	9.259			
29	0	2.263	-8.752	29	19	-2.098	9.061	<b>Oct.</b>	30	14	1.911	-9.229		
29	17	-2.298	8.767	30	12	2.141	-9.028		1	7	-1.943	9.250		
30	10	2.341	-8.738	31	5	-2.178	9.048		2	0	1.988	-9.218		
31	3	-2.372	8.752	31	22	2.219	-9.017		2	17	-2.021	9.239		
31	20	2.418	-8.721	<b>Sept.</b>	1	15	-2.255		9.033	3	10	2.062	-9.205	
<b>Août</b>	1	13	-2.448		8.734	2	8	2.297	-9.003	4	3	-2.099	9.225	
	2	5	1.532		-8.930	3	1	-2.333	9.017	4	20	2.138	-9.191	
	2	22	-1.565		8.955	3	18	2.376	-8.986	5	13	-2.175	9.209	
	3	15	1.612		-8.932	4	11	-2.408	9.000	6	6	2.213	-9.176	
	4	8	-1.645		8.958	5	4	2.454	-8.966	6	23	-2.249	9.189	
	5	1	1.692		-8.933	5	21	-2.484	8.980	7	16	2.289	-9.157	
	5	18	-1.726		8.959	6	13	1.552	-9.170	8	9	-2.323	9.169	
	6	11	1.770		-8.933	7	6	-1.586	9.195	9	2	2.363	-9.136	
	7	4	-1.807		8.958	7	23	1.632	-9.170	9	19	-2.394	9.148	
	7	21	1.849		-8.931	8	16	-1.668	9.196	10	12	2.437	-9.112	
	8	14	-1.887		8.954	9	9	1.713	-9.169	11	5	-2.466	9.125	
	9	7	1.928		-8.928	10	2	-1.749	9.194	11	22	2.510	-9.086	
	10	0	-1.965		8.947	10	19	1.791	-9.166	12	15	-2.538	9.100	
	10	17	2.008		-8.923	11	12	-1.830	9.189	13	7	1.621	-9.285	
	11	10	-2.044		8.940	12	5	1.871	-9.162	14	0	-1.657	9.310	

## MIRANDA 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	14 17	1.699	-9.280	Nov.	14 3	-2.294	9.137	Déc.	14 12	1.892	-9.034
	15 10	-1.735	9.303		14 20	2.333	-9.099		15 5	-1.926	9.048
	16 3	1.773	-9.273		15 13	-2.360	9.110		15 22	1.956	-9.014
	16 20	-1.812	9.293		16 6	2.399	-9.070		16 15	-1.988	9.025
	17 13	1.849	-9.264		16 23	-2.426	9.082		17 8	2.020	-8.992
	18 6	-1.887	9.283		17 16	2.462	-9.039		18 1	-2.050	9.001
	18 23	1.925	-9.254		18 9	-2.492	9.051		18 18	2.084	-8.966
	19 16	-1.960	9.269		19 2	2.527	-9.006		19 11	-2.110	8.977
	20 9	2.001	-9.240		19 18	-1.643	9.233	20 4	2.146	-8.939	
	21 2	-2.034	9.254		20 11	1.677	-9.203	20 21	-2.172	8.950	
	21 19	2.075	-9.224	21 4	-1.713	9.220	21 14	2.207	-8.910		
	22 12	-2.106	9.239	21 21	1.746	-9.190	22 7	-2.233	8.922		
	23 5	2.148	-9.204	22 14	-1.783	9.206	23 0	2.265	-8.880		
	23 22	-2.178	9.221	23 7	1.816	-9.176	23 17	-2.294	8.892		
	24 15	2.221	-9.184	24 0	-1.849	9.190	24 10	2.324	-8.848		
	25 8	-2.251	9.201	24 17	1.886	-9.160	25 3	-2.354	8.859		
	26 1	2.290	-9.162	25 10	-1.917	9.172	25 20	2.382	-8.817		
	26 18	-2.323	9.178	26 3	1.954	-9.141	26 13	-2.412	8.824		
	27 11	2.360	-9.138	26 20	-1.983	9.154	27 6	2.441	-8.783		
	28 4	-2.393	9.152	27 13	2.021	-9.119	27 22	-1.598	8.991		
	28 21	2.428	-9.114	28 6	-2.049	9.134	28 15	1.629	-8.962		
29 14	-2.462	9.124	28 23	2.087	-9.096	29 8	-1.660	8.976			
30 7	2.497	-9.086	29 16	-2.116	9.111	30 1	1.693	-8.946			
31 0	-2.530	9.095	30 9	2.149	-9.072	30 18	-1.722	8.959			
31 16	1.626	-9.275	Déc.	1 2	-2.182	9.085	31 11	1.757	-8.928		
Nov.	1 9	-1.661	9.293	1 19	2.214	-9.046	Janv.	1 4	-1.784	8.943	
	2 2	1.702	-9.266	2 12	-2.246	9.058		1 21	1.818	-8.908	
	2 19	-1.734	9.284	3 5	2.277	-9.020		2 14	-1.847	8.923	
	3 12	1.776	-9.255	3 22	-2.308	9.028		3 7	1.880	-8.887	
	4 5	-1.807	9.274	4 15	2.340	-8.991		4 0	-1.909	8.901	
	4 22	1.847	-9.241	5 8	-2.371	8.997		4 17	1.939	-8.865	
	5 15	-1.879	9.261	6 1	2.403	-8.959		5 10	-1.971	8.878	
	6 8	1.919	-9.226	6 18	-2.430	8.966		6 3	1.999	-8.841	
	7 1	-1.952	9.245	7 11	2.465	-8.925	6 20	-2.031	8.853		
	7 18	1.988	-9.210	8 4	-2.490	8.932	7 13	2.059	-8.817		
	8 11	-2.023	9.227	8 20	1.634	-9.102	8 6	-2.089	8.825		
	9 4	2.058	-9.192	9 13	-1.663	9.119	8 23	2.119	-8.790		
	9 21	-2.093	9.207	10 6	1.699	-9.086	9 16	-2.148	8.797		
	10 14	2.127	-9.173	10 23	-1.730	9.105	10 9	2.179	-8.761		
	11 7	-2.161	9.184	11 16	1.765	-9.070	11 2	-2.205	8.769		
	12 0	2.197	-9.151	12 9	-1.797	9.088	11 19	2.238	-8.730		
	12 17	-2.229	9.161	13 2	1.828	-9.053					
	13 10	2.265	-9.126	13 19	-1.862	9.068					



## ARIEL 2017

## 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	"	"
<b>Janv.</b>	1 1	-3.051	12.971	<b>Févr.</b>	26 18	2.809	-12.447	<b>Avril</b>	24 11	-2.629	12.302
	2 7	2.890	-13.000		28 0	-2.607	12.466		25 17	2.455	-12.345
	3 14	-3.405	12.841		<b>Mars</b>	1 7	3.166		-12.334	27 0	-3.011
	4 20	3.247	-12.885	2 13		-2.966	12.372	28 6	2.848	-12.267	
	6 2	-3.048	12.913	3 19		2.807	-12.410	29 12	-2.636	12.309	
	7 8	2.880	-12.943	5 1	-2.604	12.433	<b>Mai</b>	30 18	2.469	-12.353	
	8 15	-3.400	12.781	6 8	3.158	-12.300		2 0	-2.254	12.382	
	9 21	3.236	-12.830	7 14	-2.967	12.338		3 7	2.857	-12.276	
	11 3	-3.041	12.854	8 20	2.799	-12.381		4 13	-2.654	12.320	
	12 9	2.875	-12.886	10 2	-2.602	12.402		5 19	2.476	-12.368	
	13 15	-2.671	12.896	11 9	3.159	-12.269	7 1	-2.268	12.396		
	14 22	3.230	-12.770	12 15	-2.960	12.310	8 8	2.876	-12.289		
	16 4	-3.030	12.800	13 21	2.800	-12.350	9 14	-2.664	12.336		
	17 10	2.869	-12.828	15 3	-2.596	12.378	10 20	2.495	-12.384		
	18 16	-2.667	12.840	16 10	3.160	-12.239	12 2	-2.277	12.417		
	19 23	3.219	-12.716	17 16	-2.962	12.283	13 9	2.896	-12.303		
	21 5	-3.024	12.741	18 22	2.795	-12.328	14 15	-2.684	12.355		
	22 11	2.859	-12.776	20 4	-2.597	12.352	15 21	2.507	-12.406		
23 17	-2.659	12.783	21 10	2.427	-12.385	17 3	-2.296	12.437			
25 0	3.213	-12.661	22 17	-2.963	12.258	18 10	2.912	-12.326			
26 6	-3.013	12.690	23 23	2.798	-12.307	19 16	-2.704	12.374			
27 12	2.852	-12.718	25 5	-2.594	12.336	20 22	2.528	-12.429			
28 18	-2.651	12.734	26 11	2.427	-12.364	22 4	-2.309	12.466			
30 1	3.203	-12.604	27 18	-2.964	12.243	23 11	2.936	-12.345			
31 7	-3.008	12.637	29 0	2.800	-12.287	24 17	-2.723	12.402			
<b>Févr.</b>	1 13	2.843	-12.670	30 6	-2.598	12.320	25 23	2.549	-12.453		
	2 19	-2.642	12.679	31 12	2.427	-12.354	27 5	-2.332	12.494		
	4 2	3.196	-12.556	<b>Avril</b>	1 19	-2.968	12.224	28 12	2.958	-12.374	
	5 8	-2.998	12.583		3 1	2.803	-12.278	29 18	-2.747	12.426	
	6 14	2.838	-12.619		4 7	-2.599	12.306	31 0	2.570	-12.487	
	7 20	-2.635	12.634	5 13	2.432	-12.344	<b>Juin</b>	1 6	-2.352	12.524	
	9 3	3.186	-12.503	6 20	-2.972	12.217		2 13	2.987	-12.402	
	10 9	-2.993	12.538	8 2	2.807	-12.264		3 19	-2.770	12.461	
	11 15	2.827	-12.570	9 8	-2.604	12.303		5 1	2.594	-12.516	
	12 21	-2.630	12.588	10 14	2.432	-12.336		6 7	-2.375	12.562	
	14 4	3.180	-12.459	11 21	-2.983	12.208	7 13	2.194	-12.603		
	15 10	-2.982	12.490	13 3	2.814	-12.262	8 20	-2.800	12.493		
	16 16	2.823	-12.528	14 9	-2.608	12.296	10 2	2.620	-12.555		
	17 22	-2.619	12.543	15 15	2.441	-12.337	11 8	-2.399	12.596		
	19 5	3.176	-12.414	16 22	-2.988	12.203	12 14	2.220	-12.645		
	20 11	-2.978	12.449	18 4	2.825	-12.259	13 21	-2.826	12.527		
	21 17	2.813	-12.485	19 10	-2.617	12.299	15 3	2.651	-12.592		
	22 23	-2.617	12.504	20 16	2.444	-12.337	16 9	-2.427	12.639		
24 6	3.166	-12.372	21 23	-3.003	12.204	17 15	2.242	-12.684			
25 12	-2.975	12.408	23 5	2.831	-12.260	18 22	-2.859	12.568			

## ARIEL 2017

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	"	"
<b>Juin</b>	20	4	2.676	-12.631	<b>Août</b>	15	21	-2.868	13.205	<b>Oct.</b>	11	14	3.089	-13.562
	21	10	-2.459	12.680		17	3	2.675	-13.266		12	20	-2.858	13.614
	22	16	2.273	-12.730		18	9	-2.445	13.317		14	2	2.663	-13.658
	23	23	-2.888	12.607		19	15	2.249	-13.366		15	8	-2.430	13.690
	25	5	2.712	-12.674		20	22	-2.907	13.246		16	15	3.118	-13.564
	26	11	-2.485	12.724		22	4	2.721	-13.314		17	21	-2.884	13.610
	27	17	2.305	-12.775		23	10	-2.482	13.361		19	3	2.695	-13.658
	29	0	-2.925	12.650		24	16	2.294	-13.410		20	9	-2.456	13.684
	30	6	2.740	-12.717		25	23	-2.950	13.290		21	16	3.147	-13.557
<b>Juill.</b>	1	12	-2.522	12.770		27	5	2.757	-13.354		22	22	-2.912	13.605
	2	18	2.332	-12.823		28	11	-2.528	13.405		24	4	2.718	-13.648
	4	1	-2.962	12.692		29	17	2.329	-13.453		25	10	-2.488	13.678
	5	7	2.777	-12.763	<b>Sept.</b>	31	0	-2.994	13.328		26	17	3.164	-13.545
	6	13	-2.551	12.817		1	6	2.801	-13.395		27	23	-2.939	13.592
	7	19	2.370	-12.871		2	12	-2.563	13.444		29	5	2.745	-13.636
	9	1	-2.136	12.910		3	18	2.375	-13.493		30	11	-2.507	13.662
	10	8	2.817	-12.808		5	1	-3.030	13.365	<b>Nov.</b>	31	18	3.190	-13.529
	11	14	-2.589	12.866		6	7	2.845	-13.429		2	0	-2.955	13.574
	12	20	2.400	-12.922		7	13	-2.607	13.481		3	6	2.770	-13.616
	14	2	-2.175	12.960		8	19	2.410	-13.531		4	12	-2.533	13.644
	15	9	2.849	-12.858		10	2	-3.075	13.396		5	19	3.202	-13.507
	16	15	-2.628	12.912		11	8	2.879	-13.464	7	1	-2.979	13.550	
	17	21	2.439	-12.973		12	14	-2.649	13.512	8	7	2.783	-13.594	
	19	3	-2.205	13.014		13	20	2.452	-13.563	9	13	-2.555	13.618	
	20	10	2.892	-12.902		15	3	-3.108	13.426	10	20	3.221	-13.480	
	21	16	-2.662	12.965		16	9	2.922	-13.490	12	2	-2.989	13.524	
	22	22	2.477	-13.021		17	15	-2.683	13.543	13	8	2.804	-13.563	
	24	4	-2.246	13.066		18	21	2.494	-13.589	14	14	-2.569	13.590	
	25	11	2.928	-12.954		20	4	-3.149	13.450	15	21	3.235	-13.446	
	26	17	-2.704	13.011		21	10	2.955	-13.517	17	3	-3.006	13.491	
	27	23	2.514	-13.076		22	16	-2.724	13.564	18	9	2.815	-13.533	
	29	5	-2.283	13.115		23	22	2.528	-13.617	19	15	-2.588	13.553	
	30	12	2.972	-13.001		25	5	-3.185	13.467	20	22	3.242	-13.413	
	31	18	-2.741	13.064		26	11	2.994	-13.536	22	4	-3.018	13.452	
<b>Août</b>	2	0	2.554	-13.122		27	17	-2.757	13.587	23	10	2.829	-13.495	
	3	6	-2.322	13.171		28	23	2.566	-13.632	24	16	-2.597	13.517	
	4	13	3.012	-13.045	<b>Oct.</b>	30	6	-3.218	13.486	25	23	3.252	-13.369	
	5	19	-2.785	13.111		1	12	3.028	-13.548	27	5	-3.024	13.415	
	7	1	2.594	-13.175		2	18	-2.796	13.600	28	11	2.839	-13.449	
	8	7	-2.360	13.217		4	0	2.599	-13.649	29	17	-2.610	13.475	
	9	14	3.055	-13.095		5	6	-2.362	13.676	<b>Déc.</b>	1	0	3.255	-13.329
	10	20	-2.824	13.156		6	13	3.061	-13.562		2	6	-3.032	13.366
	12	2	2.638	-13.222		7	19	-2.826	13.607		3	12	2.846	-13.408
	13	8	-2.401	13.270		9	1	2.636	-13.657		4	18	-2.617	13.425
	14	14	2.207	-13.315		10	7	-2.396	13.688		6	1	3.262	-13.281

**ARIEL 2017**


---

**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	"	"
<b>Déc.</b>	7	7	-3.035	13.322	<b>Déc.</b>	18	15	2.857	-13.252	<b>Déc.</b>	29	23	-2.626	13.159
	8	13	2.850	-13.355		19	21	-2.629	13.274		31	6	3.253	-13.006
	9	19	-2.624	13.381		21	4	3.257	-13.120	<b>Janv.</b>	1	12	-3.031	13.046
	11	2	3.261	-13.227		22	10	-3.039	13.161		2	18	2.846	-13.081
	12	8	-3.040	13.269		23	16	2.852	-13.195		4	0	-2.628	13.102
	13	14	2.853	-13.307		24	22	-2.632	13.217		5	7	3.242	-12.949
	14	20	-2.626	13.325		26	5	3.255	-13.065		6	13	-3.029	12.986
	16	3	3.263	-13.177		27	11	-3.033	13.103		7	19	2.844	-13.024
	17	9	-3.038	13.214		28	17	2.854	-13.140		9	1	-2.619	13.045

---

## UMBRIEL 2017

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
<b>Janv.</b>	1 21	-4.152	18.041	<b>Avril</b>	5 3	3.652	-17.182	<b>Juill.</b>	7 9	-3.902	17.760
	3 23	4.185	-18.086		7 5	-3.936	17.041		9 10	3.243	-17.997
	6 1	-4.459	17.903		9 7	3.982	-17.099		11 12	-3.576	17.898
	8 3	4.495	-17.935		11 8	-3.630	17.102		13 14	3.659	-17.983
	10 4	-4.152	17.913		13 10	3.680	-17.162		15 16	-3.982	17.872
	12 6	4.195	-17.944		15 12	-3.962	17.032		17 17	3.340	-18.110
	14 8	-4.460	17.769		17 14	4.016	-17.080		19 19	-3.660	18.008
	16 9	3.890	-17.938		19 15	-3.654	17.102		21 21	3.754	-18.097
	18 11	-4.153	17.783		21 17	3.720	-17.160		23 22	-3.334	18.133
	20 13	4.200	-17.804		23 19	-3.988	17.031		26 0	3.437	-18.226
22 15	-4.453	17.642	25 20	3.412	-17.228	28 2	-3.747	18.121			
24 16	3.900	-17.804	27 22	-3.685	17.112	30 4	3.857	-18.209			
26 18	-4.148	17.653	30 0	3.758	-17.173	<b>Août</b>	1 5	-3.422	18.244		
28 20	4.205	-17.677	2 2	-4.024	17.044		3 7	3.536	-18.349		
30 22	-4.448	17.512	4 3	3.457	-17.253		5 9	-3.842	18.224		
<b>Févr.</b>	1 23	3.906	-17.682	6 5	-3.716	17.134	7 11	3.958	-18.323		
	4 1	-4.143	17.531	8 7	3.808	-17.205	9 12	-3.519	18.355		
	6 3	4.210	-17.555	10 8	-3.406	17.211	11 14	3.633	-18.463		
	8 4	-3.838	17.533	12 10	3.498	-17.296	13 16	-3.944	18.325		
	10 6	3.912	-17.573	14 12	-3.764	17.166	15 17	3.310	-18.587		
	12 8	-4.139	17.409	16 14	3.858	-17.247	17 19	-3.619	18.453		
	14 10	4.214	-17.449	18 15	-3.450	17.256	19 21	3.730	-18.575		
	16 11	-3.839	17.422	20 17	3.549	-17.350	21 23	-4.055	18.421		
	18 13	3.911	-17.471	22 19	-3.821	17.207	24 0	3.402	-18.694		
	20 15	-4.142	17.301	24 21	3.908	-17.307	26 2	-3.729	18.550		
22 17	4.220	-17.351	26 22	-3.511	17.309	28 4	3.831	-18.673			
24 18	-3.840	17.319	29 0	3.601	-17.414	30 6	-4.160	18.508			
26 20	3.914	-17.384	31 2	-3.887	17.268	<b>Sept.</b>	1 7	3.501	-18.791		
28 22	-4.155	17.203	2 3	3.281	-17.516		3 9	-3.843	18.637		
<b>Mars</b>	3 0	4.218	-17.265	4 5	-3.580		17.376	5 11	3.921	-18.757	
	5 1	-3.853	17.233	6 7	3.658	-17.492	7 12	-3.513	18.749		
	7 3	3.920	-17.302	8 9	-3.962	17.336	9 14	3.599	-18.869		
	9 5	-4.166	17.121	10 10	3.338	-17.597	11 16	-3.945	18.717		
	11 6	3.615	-17.329	12 12	-3.656	17.460	13 18	4.022	-18.824		
	13 8	-3.873	17.159	14 14	3.720	-17.570	15 19	-3.621	18.822		
	15 10	3.922	-17.234	16 15	-3.339	17.571	17 21	3.691	-18.933		
	17 12	-4.189	17.053	18 17	3.406	-17.686	19 23	-4.049	18.781		
	19 13	3.622	-17.266	20 19	-3.732	17.550	22 1	4.118	-18.871		
	21 15	-3.890	17.107	22 21	3.795	-17.658	24 2	-3.717	18.886		
23 17	3.935	-17.174	24 22	-3.419	17.675	26 4	3.791	-18.974			
25 18	-3.589	17.144	27 0	3.476	-17.778	28 6	-4.141	18.827			
27 20	3.632	-17.221	29 2	-3.816	17.655	30 8	4.211	-18.906			
29 22	-3.913	17.065	1 4	3.881	-17.749	<b>Oct.</b>	2 9	-3.809	18.924		
<b>Avril</b>	1 0	3.954	-17.127	3 5	-3.492		17.784	4 11	3.886	-18.998	
	3 1	-3.609	17.119	5 7	3.565		-17.880	6 13	-4.222	18.859	

## UMBRIEL 2017

---

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.	8	14	3.556	-19.074	Nov.	12	20	-4.151	18.786	Déc.	18	1	3.669	-18.565
	10	16	-3.889	18.943		14	22	4.242	-18.863		20	3	-3.978	18.388
	12	18	3.979	-19.010		16	23	-3.815	18.819		22	5	4.032	-18.433
	14	20	-4.294	18.860		19	1	3.912	-18.898		24	7	-4.327	18.244
	16	21	3.647	-19.078		21	3	-4.201	18.701		26	8	3.696	-18.431
	18	23	-3.963	18.940		23	5	4.283	-18.775		28	10	-3.996	18.260
Nov.	21	1	4.059	-19.000	25	6	-3.872	18.725	Janv.	30	12	4.048	-18.291	
	23	3	-4.361	18.841	27	8	3.948	-18.807		1	14	-4.335	18.113	
	25	4	3.733	-19.063	29	10	-4.250	18.600		3	15	3.722	-18.291	
	27	6	-4.025	18.910	Déc.	1	12	4.314		-18.668	5	17	-3.999	18.126
	29	8	4.134	-18.976		3	13	-3.917		18.625	7	19	4.069	-18.152
	31	10	-4.426	18.797	5	15	3.980	-18.692		9	20	-3.660	18.122	
	2	11	3.799	-19.029	7	17	-4.288	18.489		11	22	3.735	-18.155	
	4	13	-4.090	18.860	9	19	4.340	-18.550		14	0	-4.003	17.988	
	6	15	4.198	-18.927	11	20	-3.952	18.508		16	2	4.083	-18.013	
	8	16	-3.751	18.896	13	22	4.006	-18.567						
10	18	3.863	-18.976	16	0	-4.315	18.373							

---



## OBÉRON 2017

---

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	"	"
<b>Janv.</b> 1 20	-9.155	39.660	<b>Mai</b> 16 10	-7.611	37.907	<b>Sept.</b> 21 8	8.575	-41.423
8 14	9.336	-39.360	23 4	7.857	-37.988	28 1	-8.199	41.550
15 7	-8.992	39.245	29 21	-7.533	38.181	<b>Oct.</b> 4 19	8.592	-41.595
22 1	9.147	-38.921	<b>Juin</b> 5 15	7.813	-38.254	11 12	-8.277	41.692
28 18	-8.794	38.838	12 8	-7.496	38.540	18 6	8.591	-41.656
<b>Févr.</b> 4 12	8.998	-38.497	19 2	7.777	-38.610	25 0	-8.776	41.610
11 5	-8.591	38.470	25 20	-7.934	38.848	31 17	8.597	-41.568
17 23	8.813	-38.149	<b>Juill.</b> 2 13	7.817	-39.002	<b>Nov.</b> 7 11	-8.754	41.527
24 16	-8.388	38.145	9 7	-7.917	39.291	14 4	8.551	-41.392
<b>Mars</b> 3 10	8.677	-37.877	16 0	7.828	-39.452	20 22	-8.675	41.317
10 3	-8.194	37.893	22 18	-7.919	39.739	<b>Déc.</b> 27 15	8.527	-41.101
16 21	8.505	-37.682	29 11	7.905	-39.928	4 9	-8.559	41.004
23 14	-8.034	37.699	<b>Août</b> 5 5	-7.939	40.195	11 3	8.890	-40.648
30 8	8.361	-37.588	11 22	7.943	-40.397	17 20	-8.418	40.600
<b>Avril</b> 6 1	-7.874	37.617	18 16	-8.003	40.606	24 14	8.787	-40.254
12 19	8.209	-37.570	25 9	8.002	-40.850	31 7	-8.251	40.158
19 12	-7.779	37.610	<b>Sept.</b> 1 3	-8.051	40.999	<b>Janv.</b> 7 1	8.613	-39.827
26 6	8.070	-37.636	4 11	-26.331	-4.741	13 19	-8.552	39.584
<b>Mai</b> 2 23	-7.661	37.712	7 20	8.037	-41.231	20 12	8.431	-39.411
9 17	7.951	-37.771	14 14	-8.155	41.310	27 6	-8.358	39.145

---

# CALENDRIER

Notations :

**D** : Date, jour du mois.

**JOUR** : Jour de la semaine.

**JJ** : Jour Julien à 12h.

**JDA** : Jour de l'année.



## CALENDRIER 2017

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	Dim	2457755	1	1	Mer	2457786	32	1	Mer	2457814	60
2	Lun	7756	2	2	Jeu	7787	33	2	Jeu	7815	61
3	Mar	7757	3	3	Ven	7788	34	3	Ven	7816	62
4	Mer	7758	4	4	Sam	7789	35	4	Sam	7817	63
5	Jeu	7759	5	5	Dim	7790	36	5	Dim	7818	64
6	Ven	7760	6	6	Lun	7791	37	6	Lun	7819	65
7	Sam	7761	7	7	Mar	7792	38	7	Mar	7820	66
8	Dim	7762	8	8	Mer	7793	39	8	Mer	7821	67
9	Lun	7763	9	9	Jeu	7794	40	9	Jeu	7822	68
10	Mar	7764	10	10	Ven	7795	41	10	Ven	7823	69
11	Mer	7765	11	11	Sam	7796	42	11	Sam	7824	70
12	Jeu	7766	12	12	Dim	7797	43	12	Dim	7825	71
13	Ven	7767	13	13	Lun	7798	44	13	Lun	7826	72
14	Sam	7768	14	14	Mar	7799	45	14	Mar	7827	73
15	Dim	7769	15	15	Mer	7800	46	15	Mer	7828	74
16	Lun	7770	16	16	Jeu	7801	47	16	Jeu	7829	75
17	Mar	7771	17	17	Ven	7802	48	17	Ven	7830	76
18	Mer	7772	18	18	Sam	7803	49	18	Sam	7831	77
19	Jeu	7773	19	19	Dim	7804	50	19	Dim	7832	78
20	Ven	7774	20	20	Lun	7805	51	20	Lun	7833	79
21	Sam	7775	21	21	Mar	7806	52	21	Mar	7834	80
22	Dim	7776	22	22	Mer	7807	53	22	Mer	7835	81
23	Lun	7777	23	23	Jeu	7808	54	23	Jeu	7836	82
24	Mar	7778	24	24	Ven	7809	55	24	Ven	7837	83
25	Mer	7779	25	25	Sam	7810	56	25	Sam	7838	84
26	Jeu	7780	26	26	Dim	7811	57	26	Dim	7839	85
27	Ven	7781	27	27	Lun	7812	58	27	Lun	7840	86
28	Sam	7782	28	28	Mar	7813	59	28	Mar	7841	87
29	Dim	7783	29					29	Mer	7842	88
30	Lun	7784	30					30	Jeu	7843	89
31	Mar	7785	31					31	Ven	7844	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	Sam	2457845	91	1	Lun	2457875	121	1	Jeu	2457906	152
2	Dim	7846	92	2	Mar	7876	122	2	Ven	7907	153
3	Lun	7847	93	3	Mer	7877	123	3	Sam	7908	154
4	Mar	7848	94	4	Jeu	7878	124	4	Dim	7909	155
5	Mer	7849	95	5	Ven	7879	125	5	Lun	7910	156
6	Jeu	7850	96	6	Sam	7880	126	6	Mar	7911	157
7	Ven	7851	97	7	Dim	7881	127	7	Mer	7912	158
8	Sam	7852	98	8	Lun	7882	128	8	Jeu	7913	159
9	Dim	7853	99	9	Mar	7883	129	9	Ven	7914	160
10	Lun	7854	100	10	Mer	7884	130	10	Sam	7915	161
11	Mar	7855	101	11	Jeu	7885	131	11	Dim	7916	162
12	Mer	7856	102	12	Ven	7886	132	12	Lun	7917	163
13	Jeu	7857	103	13	Sam	7887	133	13	Mar	7918	164
14	Ven	7858	104	14	Dim	7888	134	14	Mer	7919	165
15	Sam	7859	105	15	Lun	7889	135	15	Jeu	7920	166
16	Dim	7860	106	16	Mar	7890	136	16	Ven	7921	167
17	Lun	7861	107	17	Mer	7891	137	17	Sam	7922	168
18	Mar	7862	108	18	Jeu	7892	138	18	Dim	7923	169
19	Mer	7863	109	19	Ven	7893	139	19	Lun	7924	170
20	Jeu	7864	110	20	Sam	7894	140	20	Mar	7925	171
21	Ven	7865	111	21	Dim	7895	141	21	Mer	7926	172
22	Sam	7866	112	22	Lun	7896	142	22	Jeu	7927	173
23	Dim	7867	113	23	Mar	7897	143	23	Ven	7928	174
24	Lun	7868	114	24	Mer	7898	144	24	Sam	7929	175
25	Mar	7869	115	25	Jeu	7899	145	25	Dim	7930	176
26	Mer	7870	116	26	Ven	7900	146	26	Lun	7931	177
27	Jeu	7871	117	27	Sam	7901	147	27	Mar	7932	178
28	Ven	7872	118	28	Dim	7902	148	28	Mer	7933	179
29	Sam	7873	119	29	Lun	7903	149	29	Jeu	7934	180
30	Dim	7874	120	30	Mar	7904	150	30	Ven	7935	181
				31	Mer	7905	151				





# INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

---

*Directeur :* Daniel HESTROFFER  
*Directeur adjoint :* Florent DELEFLIE

## CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

*Astronomes :* Jean-Eudes ARLOT, (ÉMÉRITE)  
Daniel HESTROFFER,  
William THUILLOT.

*Astronomes adjoints :* Florent DELEFLIE,  
Pascal DESCAMPS,  
Valéry LAINEY,  
Lucie MAQUET,  
Jérémy VAUBAILLON.

## CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

*Directeurs de recherche :* François COLAS,  
Jacques LASKAR.

*Chargés de recherche :* Alain ALBOUY,  
Philippe ROBUTEL,  
David SAUZIN.

## CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

*Professeurs :* Alain CHENCINER,  
Jacques FEJOZ,  
Alain VIENNE.

*Maîtres de conférences :* Gwenaél BOUÉ,  
Marc FOUCHARD,  
Laurent NIEDERMAN,  
Nicolas RAMBAUX,  
Stéfan RENNER.

## CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

*Ingénieurs de recherche :* Jérôme BERTHIER,  
Mirel BIRLAN,  
Mickaël GASTINEAU,  
Frédéric VACHIER.

*Ingénieurs d'études :* Pedro DAVID,  
Sébastien LOUVEL (CDD),  
Hervé MANCHE,  
Mokhtar SADJI.

*Assistants ingénieurs :* Rachida AMHIDEZ.

## 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,  
Erica HELIMHAJA,  
Djamila HOUBI,  
Agnès PATU.

## ÉTUDIANTS pour l'année 2016

*Thésitifs :* Pierre AUCLAIR-DESROTOUT,  
Farida BAIDOLDA,  
Marcelo CAETANO,  
Thibaut CASTAN,  
Yann DUCHEMIN,  
Bogdan DUMITRU,  
Auriane EGAL,  
Nathan HARA,  
Fatoumata KEBE,  
Irina KOVALENKO,  
Adrien LEULEU,  
Shan-Na LI,

Myriam PAJUELO,  
William POLYCARPE,  
Alexandre POUSSE,  
Melanie SAILLENFEST,  
Éléonore SAQUET,  
Delphine THOMASSON,  
Thimothée VAILLANT.

*Post doctorants :*

Kevin BAILLÉ,  
Josselin DESMARS,  
Siegfried EGGL,  
Maria KUDRYASHOVA,  
Jessica MASSETI,  
Frédéric PIERRET.

## BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

---

### Bureau pour l'année 2016

<i>Président :</i>	Claude BOUCHER
<i>Vice-Président :</i>	Noël DIMARCO
<i>Secrétaire :</i>	Marie-Françoise LALANCETTE

### MEMBRES TITULAIRES

Jean KOVALEVSKY(\*), membre de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

Nicole CAPITAINE, 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, observatoire de Paris.

Claude BOUCHER, ingénieur des Ponts, Eaux et Forêts.

François MIGNARD, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.

Anny CAZENAVE, membre de l'Académie des sciences, directrice adjointe du LEGOS, observatoire de Midi-Pyrénées.

### MEMBRES TITULAIRES HONORAIRES

Bernard GUINOT, Correspondant de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de Paris.

Roger CAYREL, Correspondant de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de Paris.

### MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

---

(\*) Au titre de l'Académie des sciences.

(\*) Au titre de l'Académie des sciences.

Bruno FRACHON, directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Daniel HESTROFFER (°), astronome, directeur de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Mioara MANDEA, responsable de la thématique Terre solide, Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science au CNES.

Denis PRIOU, directeur de la recherche et de l'enseignement à l'Institut national de l'information géographique et forestière.

Jacques PARENT DU CHÂTELET, directeur adjoint de la recherche à Météo France.

Anne-Marie MAINGUY, Haute conseillère à l'ONERA, Présidente de la section I de l'Académie de l'Air et de l'Espace.

### 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, directeur de recherche au CNRS, IMCCE.

Victor BRUMBERG, professeur, Institut d'astronomie appliquée, Saint-Pétersbourg.

Jean-Claude HUSSON, membre de l'Académie de l'air et de l'espace, ancien président directeur général d'Alcatel Espace.

Jean-Louis SIMON, astronome, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Georges BALMINO, ingénieur émérite CNES, ancien directeur exécutif du GRGS, observatoire Midi-Pyrénées.

Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.

Pascal WILLIS, ingénieur général des Ponts 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, membre de l'Académie de marine, ingénieur général de l'Armement, ancien directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Frédérique RÉMY, directeur de recherche au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.

Chantal BALKOWSKI, astronome, observatoire de Paris.

Véronique DEHANT, géophysicienne, chef de section, observatoire royal de Belgique.

Michel DIAMENT, institut de physique du globe de Paris.

Annie SOURIAU-THEVENARD, directrice de recherche émérite au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.

Alessandro MORBIDELLI, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur.

---

(°) Au titre de l'Observatoire de Paris



Patrick CHARLOT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Bordeaux .  
Terry QUINN, directeur honoraire du BIPM.  
Luc BLANCHET, directeur de recherche au CNRS, Institut d'astrophysique de Paris.  
Pierre BRIOLE, directeur de recherche au CNRS, École normale supérieure.  
Marie-Françoise 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.

#### **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.

# ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 1 7

Cet ouvrage d'éphémérides destiné aux astronomes, aux professeurs et aux étudiants est divisé en deux parties.

La première partie donne l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées. On y trouve aussi les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie et à l'usage du logiciel accompagnant l'ouvrage.

La deuxième partie donne pour l'année en cours, sous forme d'éphémérides tabulées, le Temps sidéral, les nutations en longitude et en obliquité, les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'UAI (angle de rotation de la Terre, équation des origines, coordonnées du pôle céleste intermédiaire, angle  $s$ ) et les coordonnées du Soleil, de la Lune et des planètes. Elle donne aussi les coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des élongations des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus.

À partir de 2008, les éphémérides utilisées pour le calcul des positions des satellites des planètes Mars, Jupiter et Uranus sont désormais calculées à partir d'une nouvelle approche entièrement numérique basée sur le logiciel NOE (Numerical Orbit and Ephemerides) développé à l'IMCCE. Ce nouveau modèle dynamique et les éphémérides associées font l'objet du chapitre 7.

Des éphémérides électroniques accompagnent l'ouvrage et constituent maintenant les éphémérides de précision proprement dites. Elles permettent de calculer, d'une manière interactive, non seulement toutes les variables tabulées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi les coordonnées horizontales et les levers et couchers des astres. Elles sont donc bien adaptées à la préparation d'observations.

La *Connaissance des Temps* a été créée en 1679 par Joachim Dalancé. Cette édition, publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795, est la 339<sup>e</sup> d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.



9 782759 820528

29 euros

978-2-7598-2052-8

[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

edp sciences