

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

# ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE  
DES TEMPS

2 0 1 8

edp sciences

**BUREAU DES LONGITUDES**

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

**OBSERVATOIRE DE PARIS**

**ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2018**

**CONNAISSANCE DES TEMPS**

## AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

### Publications éditées par EDP Sciences

*Annuaire du Bureau des longitudes*. Guide de données astronomiques 2018.

*Agenda astronomique pour 2018*.

*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 2018*.

### 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 2017

ISBN : 978-2-7598-2132-7

Le logiciel ecdt qui accompagne cet ouvrage est téléchargeable à l'adresse suivante :  
[laboutique.edpsciences.fr/produit/998/9782759821327/Ephemerides%20astronomiques%202018](http://laboutique.edpsciences.fr/produit/998/9782759821327/Ephemerides%20astronomiques%202018)

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

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

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

de fichiers électroniques accessibles à l'utilisateur.

– Un logiciel d'éphémérides électroniques *eCDT*, téléchargeable à l'adresse

[http://laboutique.edpsciences.fr/produit/998/9782759821327/Ephemerides%20astronomiques%202018?search\\_text=2018](http://laboutique.edpsciences.fr/produit/998/9782759821327/Ephemerides%20astronomiques%202018?search_text=2018).

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.

J. Laskar

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

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

M. Birlan

*Responsable de la publication*

J. Normand

*Responsable du logiciel*

*Collaboration technique* : J.-L. Simon, P. Rocher, J. Berthier, J. Normand, 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.

## ERRATA

### Connaissance des Temps 2017

– page I. 48 Table 2.2 et Fig. 2.1,  
*au lieu de* 2016, *lire* 2017.

– page I. 143 le saut de seconde,  
*au lieu de* 1<sup>er</sup> juillet 2015 à 0h UTC, *lire* 1<sup>er</sup> janvier 2017 à 0h UTC.

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

## Les serveurs sur Internet

**<http://www.imcce.fr>**

**<http://www.imcce.eu>**

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

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

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

## TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos . . . . .	I. iii
Préface . . . . .	I. v
Liste des acronymes . . . . .	I. vii
Notations . . . . .	I. ix
Errata . . . . .	I. ix
Les serveurs de l'IMCCE . . . . .	I. x
Table des matières . . . . .	I. xi
<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>	<b>I. 115</b>
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>	<b>I. 149</b>
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>	<b>I. 169</b>
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>	<b>I. 183</b>
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>	<b>I. 189</b>
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 2018</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
Hypériorion . . . . .	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 et

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

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

## 1.2. SYSTÈMES D'UNITÉS

### 1.2.1. Système fondamental

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

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

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

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

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

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

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

*Unité de longueur : le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de  $1/299\,792\,458$  seconde (17<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 étant le premier janvier 2000 à 12 heures de l'échelle de temps utilisée (*cf.* chapitre 2). Elle correspond au début du jour julien 2 451 545.0, et est désignée par J2000.0 (UAI, 1977). Dans la suite de cet ouvrage, nous la noterons J2000. Par définition, le début d'une année julienne est séparé de l'époque standard par un nombre entier d'années juliennes. Ainsi, le début de l'année julienne 1995, désigné par 1995.0, correspond au jour julien  $2\,451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75$ , soit le 1 janvier 1995 à 6 heures.

#### 1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

La table 1.6 fournit les valeurs des constantes astronomiques dans le système UAI 2009/2012 et dans les systèmes IERS2003 et IERS2010. Notons que la résolution B3 de l'UAI2015 statue des valeurs standards sur la constante héliocentrique, ainsi que sur celles concernant Jupiter et la Terre, en tronquant à la décimale où les valeurs sont identiques dans les échèles de temps TDB et TCB (Prsa et al. 2016). Ces valeurs seront utilisées lors des recherches concernant la dynamique des systèmes extrasolaires.

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

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

La table 1.7 donne les rapports de la masse du Soleil aux masses des planètes principales et de leurs satellites pour le système UAI 2009 et UAI 2012, et les éphémérides INPOP10a (Fienga, 2011).

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



*Masses des astéroïdes*

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

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

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

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

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

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

*Champ de gravitation des planètes et de la Lune*

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

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

où  $G$  désigne la constante de la gravitation universelle,  $m$  la masse du corps et  $a$  son rayon équatorial ;  $\lambda$ ,  $\varphi$  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 × 10 <sup>-10</sup>	
1-d(TDB)/d(TCB), $L_B$	1.550 519 768 × 10 <sup>-8</sup>	
TDB-TCB à T <sub>0</sub> , TDB <sub>0</sub>	-6.55 × 10 <sup>-5</sup>	
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 × 10 <sup>-11</sup> ± 67 × 10 <sup>-16</sup> 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 × 10 <sup>-8</sup> ± 2 × 10 <sup>-17</sup>	
Constante héliocentrique de la gravitation, $GS$	1.327 124 420 99 × 10 <sup>20</sup> ± 1 × 10 <sup>10</sup> m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> (TCB) 1.327 124 400 41 × 10 <sup>20</sup> ± 1 × 10 <sup>10</sup> 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 géopotential de la Terre, $J_2$		0.001 082 6359 ± 1 × 10 <sup>-10</sup>
Vitesse de changement du facteur d’ellipticité de la Terre, $\dot{J}_2$	-3.0 × 10 <sup>-9</sup> ± 6 × 10 <sup>-10</sup> cycles <sup>-1</sup>	
Constante géocentrique de la gravitation, $GM$	3.986 004 418 × 10 <sup>14</sup> m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> ± 8 × 10 <sup>5</sup> (TCB) 3.986 004 415 × 10 <sup>14</sup> m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> ± 8 × 10 <sup>5</sup> (TT) 3.986 004 356 × 10 <sup>14</sup> 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 INPOP10a. Les valeurs numériques entre parenthèses donnent les erreurs estimées.

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

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

		UAI 1976	Jacobson 2001 (a) Jacobson et al. 2006 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	$4.70 \times 10^{-5}$	$4.703 \times 10^{-5}$ (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 issus respectivement des théories VSOP2013 et TOP2013 (Simon et al, 2013) ; on peut les considérer comme des valeurs moyennes sur l'intervalle de temps [J2000–6000, J2000+6000] pour les planètes principales et sur [J2000–1000, J2000+1000] pour Pluton.

**Table 1.12.** Éléments orbitaux des planètes et de Pluton rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques J2000. La notation BTL représente le barycentre Terre-Lune.

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

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

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

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

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

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

Planètes	$P$ (jours)	$T$	
Mercure	87.969	58.646 225	( <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
Rhée	V	527.228	0.0003/0.0016	0.30/0.38	( $e$ )	4.520 275	Cassini	1672
Titan	VI	1 221.936	0.0286/0.0290	0.31/0.49	( $e$ )	15.947 382	Huygens	1655
Hypérion	VII	1 482.322	0.0736/0.1321	0.36/1.11	( $e$ )	21.309 641	Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.697	0.0270/0.0300	14.70/16.19	( $e$ )	79.369 244	Cassini	1671
Phœbé	IX	12 925	0.14/0.19 18	150.0/152.6	( $e^9$ )	548.57	Pickering	1898
<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
Naiade	III	48.233	0.000 33	4.75	( $e$ )	0.294 65	Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.069	0.000 16	0.54	( $e$ )	0.311 64	Voyager 2	1989
Despina	V	52.531	0.000 14	0.52	( $e$ )	0.334 90	Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.945	0.000 12	0.53	( $e$ )	0.428 85	Voyager 2	1989

**Table 1.14.** (fin).

Nom	N°	$a$ ( $10^3$ km)	$e$	$I$ (degrés)	$P$ (jours)	Découverte	
<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) <sup>(6)</sup>	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
Callirrhoe	XVII	23 498	0.206	143.49	56.96	282.84	767.94	1999	1/04/01	M2001-Y16
Cylléné	XLVIII	23 545	0.412	141.01	208.38	258.94	738.07	2003	10/06/03	M2003-G09
Aché	XLIII	23 712	0.149	164.59	190.35	353.53	745.94	2002	14/07/04	M2004-D43
Pasithée	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isonoé	XXVI	23 795	0.296	165.88	145.64	149.81	749.88	2000	18/10/01	M2002-A12
Eurydomé	XXXII	23 831	0.326	150.43	254.92	306.71	751.57	2001	22/11/02	M2003-A21
Aoidé	XLI	24 010	0.519	160.66	104.71	200.60	760.08	2003	27/12/03	M2004-B43
Erinomé	XXV	24 062	0.192	162.95	355.99	321.69	762.55	2000	18/10/01	M2001-W33
Spondé	XXXVI	24 356	0.483	155.09	81.02	128.13	776.52	2001	10/06/03	M2003-E05
Autonoé	XXVIII	24 413	0.459	152.06	57.62	273.23	779.27	2001	22/11/02	M2002-V03
Hégémoné	XXXIX	24 448	0.264	152.62	235.38	327.61	780.96	2003	10/06/03	M2003-E24
Eukéladé	XLVII	24 491	0.345	163.38	344.76	218.73	783.03	2003	10/06/03	M2003-E29
Coré	XLIX	24 974	0.222	140.89	124.42	339.81	806.29	2003	10/06/03	M2003-G10
Dia	LI	12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	CBET4075
S/2003 J 2		28 494	0.380	151.83	167.11	4.73	982.61	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 3		18 291	0.241	143.73	98.23	240.36	505.36	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 4		23 196	0.204	144.86	193.98	190.71	721.71	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 5		24 020	0.210	165.01	122.05	198.68	760.51	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 9		22 382	0.269	164.46	327.85	61.47	684.05	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 10		24 185	0.214	164.09	185.20	173.41	768.36	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 12		18 952	0.376	145.76	23.36	62.94	532.99	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 15		22 012	0.113	140.85	41.58	243.05	667.17	2003	10/06/03	M2003-G17
S/2003 J 16		20 434	0.269	148.62	82.43	23.62	596.76	2003	10/06/03	M2003-G18

Table 1.15. (suite).

Nom	N°	$a$ ( $10^3$ km)	$e$	$I$ (degrés)	$\omega$ (degrés)	$\Omega$ (degrés)	$P$ (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
<b>Jupiter</b>										
S/2003 J 18		20 219	0.104	146.37	98.15	215.50	587.38	2017	4/09/17	M2017-L09
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
S/2010 J 1		23 252	0.320	163.22	225.37	322.11	724.34	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2010 J 2		20 253	0.308	150.36	70.76	35.04	588.82	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2011 J 1		22 290	0.250	163.58	111.14	303.17	679.93	2011	14/03/12	CBET3002
S/2011 J 2		23 401	0.332	148.77	341.94	105.25	731.32	2017	4/09/17	M2017-L10
S/2016 J 1		20 595	0.140	139.84	328.15	293.76	603.83	2017	4/09/17	M2017-L08
S/2017 J 1		23 484	0.397	149.20	79.73	326.77	735.21	2017	4/09/17	M2017-L47
<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

**Table 1.15.** (fin).

Nom	N°	$a$ ( $10^3$ km)	$e$	$I$ (degrés)	$\omega$ (degrés)	$\Omega$ (degrés)	$P$ (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
<b>Saturne</b>										
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Fornjot	XLII	24 484	0.166	167.88	331.86	271.23	1 430.37	2004	14/02/06	M2006-C74
Polydeuces	XXXIV							2004		IAUC 8432
S/2004 S 3		140.58					0.621	2004		IAUC 8432
S/2004 S 4								2004		IAUC 8401
S/2004 S 7		20 577	0.554	165.60	100.47	346.26	1 101.99	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 12		19 906	0.396	164.04	96.53	313.62	1 048.54	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 13		18 056	0.261	167.38	6.32	221.46	905.85	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 17		19 099	0.226	166.88	175.79	19.99	985.45	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2006 S 1		18 930	0.130	154.23	138.79	340.70	972.41	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2006 S 3		21 076	0.471	150.82	190.86	220.51	1 142.37	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2007 S 2		16 523	0.218	176.68	62.04	113.11	792.96	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2007 S 3		19 179	0.151	177.01	284.03	96.94	991.66	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2009 S 1		117						2009		IAUC 9091
<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)	( $10^{24}$ 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
Mercury	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°	<i>m</i>		<i>Gm</i> (m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> )
		(masse solaire)	(masse planète)	
<b>Terre</b>				
Lune		3.694 3037×10 <sup>-8</sup>	1.230 0038×10 <sup>-2</sup>	4.902 8006×10 <sup>12</sup>
<b>Mars</b>				
Phobos		5.12×10 <sup>-15</sup>	1.58×10 <sup>-8</sup>	8.47×10 <sup>5</sup>
Déimos		1.13×10 <sup>-15</sup>	3.5×10 <sup>-9</sup>	1.20×10 <sup>5</sup>
<b>Jupiter</b>				
Métis	XVI	4.8×10 <sup>-14</sup>	5×10 <sup>-11</sup>	6.3×10 <sup>6</sup>
Adrastéia	XV	9.5×10 <sup>-15</sup>	1×10 <sup>-11</sup>	1.3×10 <sup>6</sup>
Amalthée	V	3.6×10 <sup>-12</sup>	3.8×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>8</sup>
Thébé	XIV	3.8×10 <sup>-13</sup>	4×10 <sup>-10</sup>	5.1×10 <sup>7</sup>
Io	I	4.49×10 <sup>-8</sup>	4.705×10 <sup>-5</sup>	5.96×10 <sup>12</sup>
Europe	II	2.41×10 <sup>-8</sup>	2.527×10 <sup>-5</sup>	3.20×10 <sup>12</sup>
Ganymède	III	7.45×10 <sup>-8</sup>	7.804×10 <sup>-5</sup>	9.89×10 <sup>12</sup>
Callisto	IV	5.41×10 <sup>-8</sup>	5.668×10 <sup>-5</sup>	7.18×10 <sup>12</sup>
Léda	XIII	2.9×10 <sup>-15</sup>	3×10 <sup>-12</sup>	3.8×10 <sup>5</sup>
Himalia	VI	4.8×10 <sup>-12</sup>	5.0×10 <sup>-9</sup>	6.3×10 <sup>8</sup>
Lysithéa	X	3.8×10 <sup>-14</sup>	4×10 <sup>-11</sup>	5.1×10 <sup>6</sup>
Elara	VII	3.8×10 <sup>-13</sup>	4×10 <sup>-10</sup>	5.1×10 <sup>7</sup>
Ananké	XII	1.9×10 <sup>-14</sup>	2×10 <sup>-11</sup>	2.5×10 <sup>6</sup>
Carmé	XI	4.8×10 <sup>-14</sup>	5×10 <sup>-11</sup>	6.3×10 <sup>6</sup>
Pasiphaé	VIII	9.5×10 <sup>-14</sup>	1×10 <sup>-10</sup>	1.3×10 <sup>7</sup>
Sinopé	IX	3.8×10 <sup>-14</sup>	4×10 <sup>-11</sup>	5.1×10 <sup>6</sup>
<b>Saturne</b>				
Anneaux C		4.9×10 <sup>-13</sup>	1.7×10 <sup>-9</sup>	6.4×10 <sup>7</sup>
Anneaux B		1.2×10 <sup>-11</sup>	4.2×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>9</sup>
Anneaux A		3.1×10 <sup>-12</sup>	1.1×10 <sup>-8</sup>	4.2×10 <sup>8</sup>
Mimas	I	2.29×10 <sup>-11</sup>	8.00×10 <sup>-8</sup>	3.04×10 <sup>9</sup>
Encelade	II	3.7×10 <sup>-11</sup>	1.3×10 <sup>-7</sup>	4.9×10 <sup>9</sup>
Téthys	III	3.4×10 <sup>-10</sup>	1.2×10 <sup>-6</sup>	4.5×10 <sup>10</sup>
Dioné	IV	5.29×10 <sup>-10</sup>	1.85×10 <sup>-6</sup>	7.0×10 <sup>10</sup>
Rhéa	V	1.16×10 <sup>-9</sup>	4.06×10 <sup>-6</sup>	1.54×10 <sup>11</sup>
Titan	VI	6.7652×10 <sup>-8</sup>	2.3670×10 <sup>-4</sup>	8.9782×10 <sup>12</sup>
Hypérior	VII	8.6×10 <sup>-12</sup>	3×10 <sup>-8</sup>	1.1×10 <sup>9</sup>

**Table 1.18.** (fin).

Nom	N°	<i>m</i>		<i>Gm</i> (m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> )
		(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	$15.15 \times 10^{-10}$	$3.471 \times 10^{-5}$	$201.1 \times 10^9$
Naïade	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	$1.08 \times 10^{-8}$	$2.09 \times 10^{-4}$	$1.428 \times 10^{12}$
Néréide	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
Télésto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6
Calypso	XIV	9.5±4	15.0 - 8.0 - 8.0			18.5	0.8
Dioné	IV	560±5	560 - 560 - 560	1.052	1.4	10.4	0.55
Hélène	XII	16	17.5 - - -			17	0.5

**Table 1.19.** (fin).

Nom	N°	$a_s$ (km)	$a_1$ $a_2$ $a_3$ (km)	Masse ( $10^{21}$ kg)	$\rho$ ( $10^3$ kg/m <sup>3</sup> )	$m_v$	Albédo géométrique
<b>Saturne</b>							
Rh�a	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
Hypérion	VII	133±8	164 - 130 - 107	0.017	1.7	14.19	0.19/0.25
Japet	VIII	718±8	718 - 718 - 718	1.59	1.3	10.2/11.9	0.5 <sup>(1)</sup>
Ph�eb�e	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>	
Desd�emone	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>							
Nai�ade	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 :

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

*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.
- Esposito, L.W., Dilley, J.P., Fountain, J.W. : 1980, Photometry and polarimetry of Saturn's rings from Pioneer Saturn, *J. Geophys. Res.* **85**, 5948.
- Esposito, L.W., Cuzzi, J.N., et al. : 1984, Saturn's rings, in *Saturn*, T. Gehrels and M.S. Matthews eds., 473.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feibelman, W.A. : 1967, Concerning the "D" ring of Saturn, *Nature* **214**, 793.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Les solutions planétaires de l'IMCCE, bilan et perspectives. *Notes scientifiques et techniques de l'Institut de mécanique céleste* S81.
- Fienga, A., Laskar, J., et al. : 2011, The INPOP10a planetary ephemeris and its applications in fundamental physics, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **111**, 363.
- Fountain, J.W., Larson, S.M. : 1978, Saturn's ring and nearby faint satellites, *Icarus* **36**, 92.
- French, R.G., Elliot, J.L., et al. : 1988, Uranian ring orbits from Earth-based and Voyager, occultation observations, *Icarus* **73**, 349.
- Fukushima, T. : 1990, System of astronomical units and constants, *IAU-WGRS/SGAC Circ.* **13**.
- Fukushima, T. : 2000, Report on astronomical constants, Proc. IAU Coll. **180**, 417.
- Gehrels, T., Baker, L.R., et al. : 1980, Imaging photopolarimeter on Pioneer Saturn, *Science* **207**, 434.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1980, The satellite of Pluto, II, *Astron. J.* **85**, 442.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1981, The satellite of Pluto, III, *Astron. J.* **86**, 442.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al., 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- Hubbard, W., Brahic, A., et al. : 1986, Occultation detection of a Neptunian ring-like arc, *Nature* **319**, 636.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* **13**, D.D. McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS Technical note* **32**, D.D. McCarthy ed., U. S. naval observatory, G. Petit ed., BIPM.
- IERS : 2010, IERS Conventions (2010), *IERS Technical note* **36**, G. Petit ed., BIPM, B. Luzum

- ed., U. S. naval observatory.
- Jacobson, R.A. : 1990, The orbits of the satellites of Neptune, *Astron. Astrophys.* **231**, 241.
- Jacobson, R.A., Campbell, J.K., et al. : 1992, The masses of Uranus and its major satellites from Voyager tracking data and Earth-based Uranian satellite data, *Astron. J.* **103**, 2068.
- Jacobson, R.A., Riedel, J.E., Taylor, A.H. : 1991, The orbits of Triton and Nereid from spacecraft and Earth-based observations, *Astron. Astrophys.* **247**, 565.
- Jacobson, R.A. : 2001, The Gravity Field of the Jovian System and the Orbits of the Regular Jovian Satellites, *Bull. Amer. Astron. Soc.* **33**, 1039.
- Jacobson, R.A., Antreasian, P., Bordi, J.J., et al. : 2006, The Gravity Field of the Saturnian System from Satellite Observations and Spacecraft Tracking Data *Astron. J.* **132**, 2520.
- Jacobson, R.A., Spitale, J., Porco, C.C., et al. : 2008, Revised Orbits of Saturn's Small Inner Satellites, *Astron. J.* **135**, 261.
- Jacobson, R.A. : 2009, The Orbits of the Neptunian Satellites and the Orientation of the Pole of Neptune, *Astron. J.* **137**, 4322.
- Johnson, T., Becklin, E.E., et al. : 1979, Jupiter, *Circ. UAI* **3338**.
- Kerr, F.J., Lynden-Bell, D. : 1986, Review of galactic constants, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **221**, 1023.
- Konopliv, A.S., Yoder, C.F., Standish, E.M., et al. : 2006, A global solution for the Mars static and seasonal gravity, Mars orientation, Phobos and Deimos masses, and Mars ephemeris *Icarus* **128**, 23.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons, *Astron. Astrophys.*, **465**, 1075.
- Lainey, V., Duriez, V., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion, *Astron. Astrophys.*, **420**, 1171.
- Lieske, J.H. : 1980, Improved ephemerides of the Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **82**, 340.
- Lieske, J.H. : 1987, Galilean satellites evolution : observational evidence for secular changes in mean motions, *Astron. Astrophys.* **176**, 146.
- Luzum, B., Capitaine, N., et al. : 2011, The IAU 2009 system of astronomical constants : the report of the IAU working group on numerical standards for Fundamental Astronomy, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **110**, 293.
- Melbourne, W., Anderle, R., et al. : 1983, Project MERIT standards, *U.S. Naval Observatory, Circ.* **167**.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **80**, 205.
- Murray, C.A. : 1989, The transformation of coordinates between the systems of B1950.0 and J2000.0 and the principal galactic axes referred to J2000.0, *Astron. Astrophys.* **218**, 325.
- Nicholson, P.D., Cooke, M.L., et al. : 1990, Five stellar occultations by Neptune : further observations of ring arcs, *Icarus* **87**, 1.

- Nicholson, P.D., Matthews, K. : 1991, Near-infrared observations of the Jovian ring and small satellites, *Icarus* **93**, 331.
- Null, G.W., Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1993, Masses and densities of Pluto and Charon, *Astron. J.* **105**, 2319.
- Oberti, P., Vienne, A. : 2003, An upgraded theory for Helene, Telesto, and Calypso, *Astron. Astrophys.* **397**, 353.
- Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1987, Orbits of the ten small satellites of Uranus, *Astron. J.* **93**, 1268.
- Owen, W.M., Vaughan, R.M., Synnott, S.P. : 1991, Orbits of the six new satellites of Neptune, *Astron. J.* **101**, 1511.
- Pascu, D., Panossian, S.P., et al. : 1992, B, V photometry of Thebe (JXIV), *Icarus* **98**, 38.
- Prsa, A., Harmanec, P., Torres, G., et al. : 2016, Nominal values for selected solar and planetary quantities : IAU 2015 Resolution B3, *Astron. J.* **152** :2, id. 41.
- Rocher, P. : 1996, Communication privée.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales ?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Seidelmann, P.K., Abalakin, V.K., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2002, *Celest. Mech.* **82**, 83.
- Seidelmann, P.K., Archinal, B.A., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2006, *Celest. Mech.* **98**, 155.
- Showalter, M.R., Cuzzi, J.N., et al. : 1986, Satellite “wakes” and the orbit of the Encke gap moonlet, *Icarus* **66**, 297.
- Showalter, M.R. : 1990, Saturn, *Circ. UAI* **5052**.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Simon, J.-L., Francou, G., Fienga, A., Manche, H. : 2013, New analytical planetary theories VSOP2013 and TOP2013, *Astron. Astrophys.* **577**, A49.
- Smith, B.A., Soderblom, L., et al. : 1981, A new look at the Saturn system : the Voyager 2 images, *Science* **212**, 163.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, JPL IOM **312.F**, 98.
- Stone, E.C., Miner, E.D. : 1982, Voyager 2 encounter with the Saturnian system, *Science* **215**, 499.
- Synnott, S.P. : 1984, Orbits of the small inner satellites of Jupiter, *Icarus* **58**, 178.
- Synnott, S.P., Peters, et al. : 1981, Orbits of the small satellites of Saturn, *Science* **212**, 191.
- Synnott, S.P., Terrile, R.J., et al. : 1983, Orbits of Saturn’s F ring and its shepherding satellites, *Icarus* **53**, 156.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1990, Further analysis of Pluto-Charon mutual event observations - 1990, *BAAS* **22**, 1129.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1997, The orbit of Charon.I. New Hubble Space telescope observations, *Icarus* **125**, 245.
- Tholen, D.J., Buie, M.W., et al. : 2008, Masses of Nix and Hydra, *Astron. J.* **135**, 777.
- Tholen, D.J., Zellner, B. : 1983, Eight-color photometry of Hyperion, Iapetus and Phoebe, *Icarus* **53**, 341.

- Thomas, P., Weitz, C., Veverka, J. : 1989, Small satellites of Uranus : disk integrated photometry and estimated radii, *Icarus* **81**, 92.
- Thuillot, W., Vu, D.T. : 1986, Excentricités et inclinaisons moyennes des orbites des satellites galiléens de Jupiter, *Notes scientifiques et techniques du Bureau des longitudes* **S009**.
- Tyler, G.L., Eshleman, V.R., et al. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- Tyler, G.L., Balmino, G., et al. : 2003, USA\_NASA\_JPL\_MORS\_1021, ([http://pds-geosciences.wustl.edu/geodata/mgsmr55sdpv1/mors\\_1021](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 0h 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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.5.1. Définition et propriétés

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.5.2. Le futur de l'UTC

L'avenir de 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.

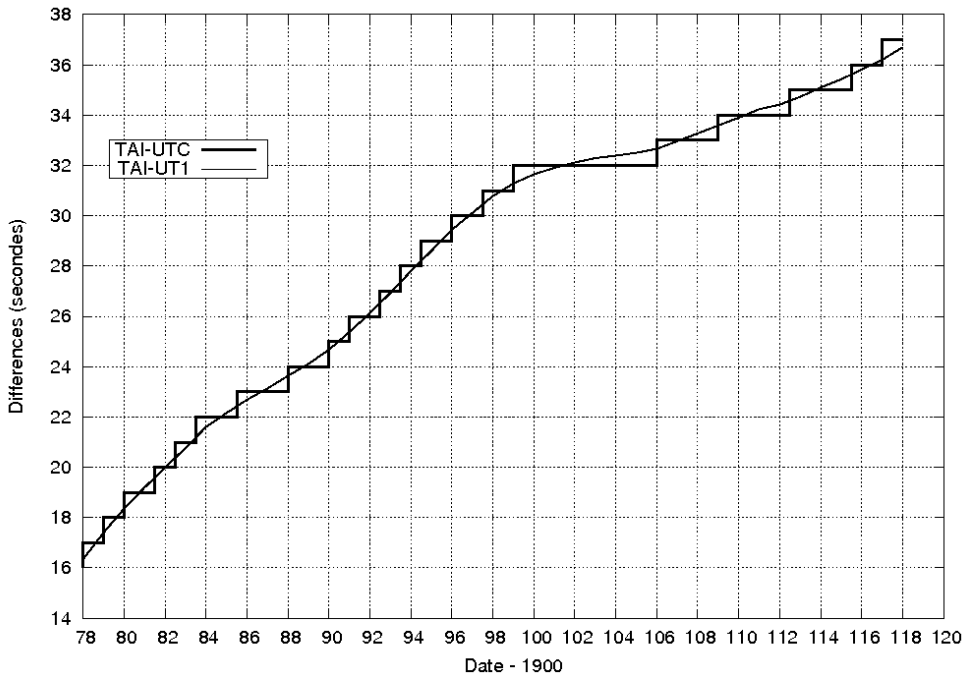
Cependant l'idée de remplacer l'UTC actuel par une échelle continue sans relation à long terme avec le temps solaire moyen ne fait pas l'unanimité, bien que la tendance soit vers une suppression des sauts de seconde avec un décalage de plusieurs années entre la décision et sa mise en œuvre. En France, 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 2018 (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 2018.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

## 2.7. LES ÉCHELLES DE TEMPS RELATIVISTES

### 2.7.1. Les échelles TCB et TCG

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

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

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

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

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

où  $\delta_{ki}$  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,  $U/c^2 \sim GM_{\odot}/a c^2 \sim 9,872 \times 10^{-9}$  et  $v^2/2c^2 \sim 4,935 \times 10^{-9}$ , soit  $\langle d\tau/dt \rangle \sim 1 - 1,4807 \times 10^{-8}$ . La valeur exacte de cette constante dépend de l'éphéméride utilisée pour l'intégration, du temps d'intégration et de la procédure de calcul pour obtenir cette moyenne. Il reste donc une certaine ambiguïté dans sa définition et sa valeur. Selon la durée de l'intervalle un terme à longue période peut devenir un terme séculaire et donc contribuer à la valeur moyenne. Ceci est particulièrement évident dans le cas où l'on effectue des intégrations numériques des mouvements car ôter les termes séculaires ne peut se faire qu'en effectuant des moyennes sur des intervalles de temps dont la longueur est arbitrairement choisie. L'estimation la plus récente (Irwin et Fukushima, 1999) donne,

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

avec

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

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

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

où TDB est le Temps dynamique barycentrique exprimé en siècles juliens de 36 525 jours écoulés depuis l'époque J2000. Les coefficients  $A_i^{\alpha}$  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.

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

## 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	0.437 0781	1.18	170	0	0.002 169	1 101.510 6477	4.845 2977	0.57
123	0	0.004 648	158.907 2895	1.275 8471	3.95	171	0	0.002 103	-707.937 3857	5.756 6416	0.89
124	0	0.004 553	1 149.965 6223	5.554 9983	0.55	172	0	0.002 085	3.516 4090	1.405 1585	178.68
125	0	0.004 521	429.233 0833	6.140 6358	1.46	173	0	0.002 024	1 471.231 7116	2.752 0359	0.43
126	0	0.004 349	1 151.388 3317	2.181 7454	0.55	174	0	0.001 897	2 248.384 8574	4.167 9325	0.28
127	0	0.004 193	723.479 4256	4.869 0914	0.87	175	0	0.001 896	-312.838 8765	4.914 2316	2.01
128	0	0.004 164	1 249.137 0101	5.650 9319	0.50	176	0	0.001 894	105.226 8383	5.817 1674	5.97
129	0	0.004 148	-11.020 6321	3.016 1734	57.01	177	0	0.001 847	1 087.398 6030	2.903 4779	0.58
130	0	0.004 080	-705.859 8461	3.690 3601	0.89	178	0	0.001 825	-373.876 1430	0.545 8288	1.68
131	0	0.004 044	473.203 0627	1.398 7848	1.33	179	0	0.001 810	-8 886.005 7071	0.487 3548	0.07
132	0	0.003 919	1 252.801 8664	5.823 3197	0.50	180	0	0.001 745	24 428.760 0007	3.626 3952	0.03
133	0	0.003 742	723.867 5592	4.691 9762	0.87	181	0	0.001 737	629.018 9397	5.280 8201	1.00
134	0	0.003 625	620.977 8724	1.473 7606	1.01	182	0	0.001 729	389.418 1830	1.264 9766	1.61
135	0	0.003 500	26.308 3923	1.892 1007	23.88	183	0	0.001 649	3 144.167 7570	1.952 0493	0.20
136	0	0.003 354	-9 095.555 1695	1.942 6562	0.07	184	0	0.001 602	1 431.416 8113	4.203 6648	0.44
137	0	0.003 279	584.936 4112	4.893 3844	1.07	185	0	0.001 472	459.091 0180	4.164 9133	1.37
138	0	0.003 270	7.626 6071	1.517 1899	82.39	186	0	0.001 421	2.035 5319	2.419 8866	308.68
139	0	0.003 202	2 751.146 7874	0.531 6731	0.23	187	0	0.001 416	922.553 9273	4.996 4084	0.68
140	0	0.003 129	683.664 5253	0.003 8441	0.92	188	0	0.001 408	1 098.419 2352	2.732 0848	0.57
141	0	0.003 074	94.917 5609	5.185 8787	6.62	189	0	0.001 391	-863.594 2004	0.593 8915	0.73
142	0	0.003 053	23 314.131 4403	3.029 0293	0.03	190	0	0.001 388	-0.704 6237	1.166 1459	891.71
143	0	0.003 024	8 328.691 4270	2.355 5561	0.08	191	0	0.001 376	1 096.996 5258	5.152 9143	0.57
144	0	0.003 002	617.286 9529	2.797 8228	1.02	192	0	0.001 335	-26.660 7042	3.995 7640	23.57



Table 2.3. (suite).

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

Table 2.3. (suite).

$i$	$\alpha$	$A_i^\alpha$ ( $\mu\text{s}$ )	$\nu_i^\alpha$ (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						
39	1	0.000 494	-628.659 8968	0.268 3052	1.00	1	2	0.043 230	628.307 5850	2.642 8937	1.00
40	1	0.000 477	134.986 7410	5.808 6367	4.65	2	2	0.004 065	0.000 0000	4.712 3890	
41	1	0.000 469	-24.272 8604	5.154 8906	25.89	3	2	0.001 226	1 256.615 1700	2.438 1406	0.50
42	1	0.000 423	95.171 8406	0.931 1722	6.60	4	2	0.000 195	21.329 9095	1.642 1870	29.46
						5	2	0.000 169	52.969 0965	4.510 9593	11.86
						6	2	0.000 134	-0.352 3118	1.502 2103	1783.42
43	1	0.000 340	-235.286 6154	2.552 1899	2.67						
44	1	0.000 321	-0.704 6237	1.863 7965	891.71						
45	1	0.000 306	943.776 2935	4.226 4206	0.67	1	3	0.000 143	628.307 5850	1.131 4536	1.00



## CHAPITRE 3

# SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

---

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

### 3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

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

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

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

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

## 3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

avec l'équation du temps relativiste

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

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

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

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

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

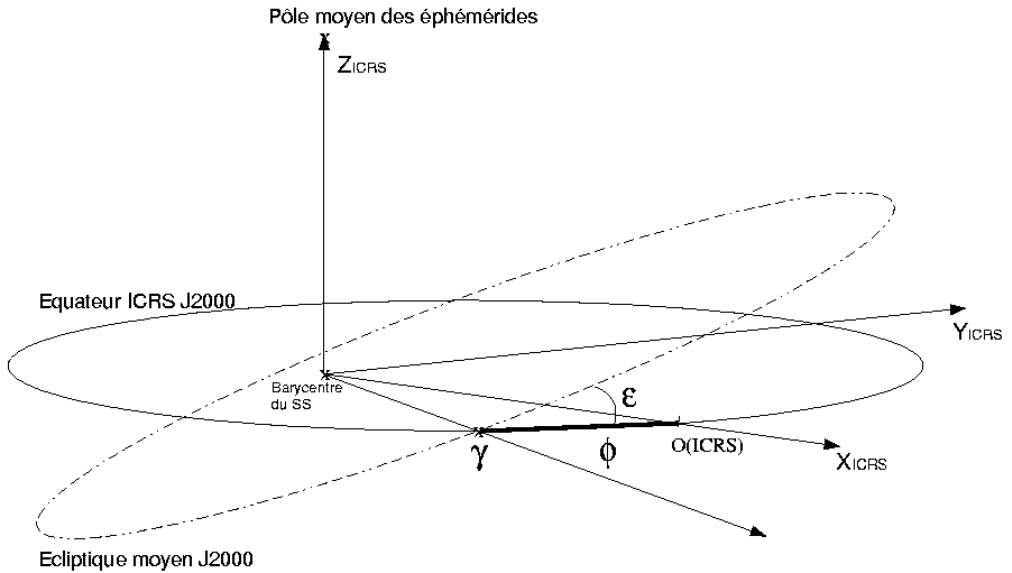
### 3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

#### 3.3.1. Introduction

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

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

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



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

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

**3.3.2. Définitions**

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

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



non-tournant. C'est le plan naturel des équations du mouvement des planètes (Standish, 1981). Afin de relier le repère dynamique représenté par le plan de l'écliptique moyen inertiel de la date à un repère matérialisant un système de référence, on associe au plan de l'écliptique moyen inertiel de la date, *l'équinoxe dynamique moyen inertiel de la date* qui sera le nœud ascendant, noté  $\gamma$  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  $o(\text{ICRS})$  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.

**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

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

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

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

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

### 3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

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

- L'ICRF est relié aux positions des radio-télescopes via les observations VLBI. Il est donc possible

d'avoir les coordonnées des radio-télescopes directement dans l'ICRF.

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

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

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

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

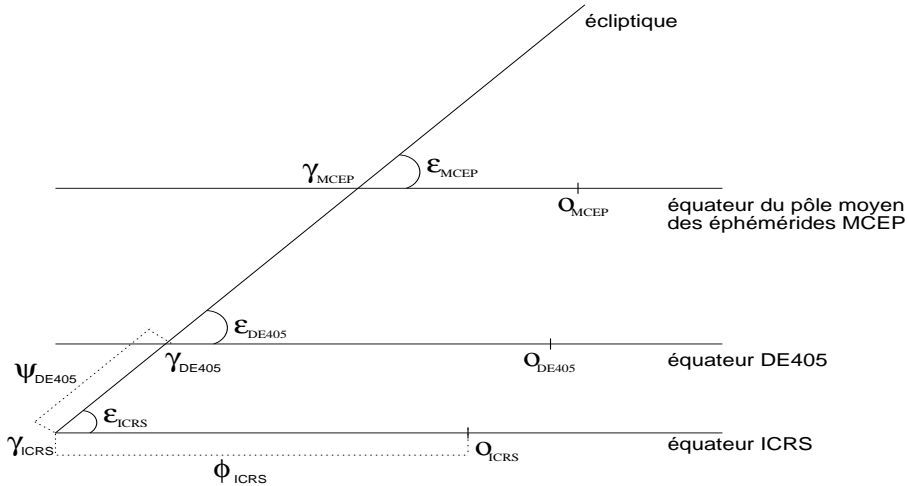
$$(+0.3 - 0.2T, -0.3 + 0.1T, +3.2 - 0.9T) \text{ mas}$$

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

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

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

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



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

à la solution en séries du mouvement de la Lune ELP 2000-82B (Chapront et Chapront-Touzé, 1997). La solution obtenue, associée à une nouvelle modélisation de la libration (Moons, 1984), a été ajustée aux observations LLR sur un intervalle allant de janvier 1992 à mars 1998 (Chapront et al., 2002). Cette nouvelle solution est notée S2001.

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

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

Repères de référence	Auteurs	$\epsilon - 84381''$ ( $''$ )	$\phi$ ( $''$ )	$\psi$ ( $''$ )
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	

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

En suivant la méthode indiquée et en utilisant les dénominations suivantes illustrées sur la figure 3.3.2 :  $\epsilon$  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

nutations par exemple), mais aussi de la réalisation même du système. Ainsi VSOP donne une réalisation théorique du système alors que DE405 en donne une réalisation observationnelle.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



### 3.4.2. Les recommandations de l'UAI

En 1991, l'UAI a recommandé (vingt-et-unième assemblée générale, Buenos Aires) l'adoption d'un système de référence céleste conventionnel dont l'origine est le barycentre du système solaire et qui soit matérialisé par les coordonnées des radiosources extragalactiques lointaines observées avec la technique VLBI. Par souci de cohérence, il a été aussi recommandé que les coordonnées temporelles soient obtenues en utilisant une échelle de temps atomique réalisée par des horloges atomiques sur la Terre, les unités de base étant la seconde du *Système International d'unités* (SI) pour le temps propre et le mètre du SI pour la longueur propre.

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

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

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

### 3.4.3. Définition de l'ICRS

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

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

Le plan principal de l'ICRS a été défini par le plan de l'équateur donné par les modèles conventionnels UAI (1976) et UAI (1980) de la précession et de la nutation (Lieske et al., 1977 ; Seidelmann, 1982). Des analyses (Souchay et al., 1995 ; Charlot et al., 1995) ont montré que le pôle de l'ICRS est déplacé par rapport au pôle moyen en J2000 de moins de 20 mas. Ceci indique

que l'équateur moyen en J2000 et le plan principal de l'ICRS sont en accord. Afin de suivre les recommandations de l'UAI, la direction du pôle céleste de l'ICRS doit être aussi proche que possible de celle du système FK5. On estime que l'incertitude de la direction du pôle moyen J2000 du FK5 est de  $\pm 50$  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  $6^\circ$  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), crée en 1988. L'IERS est en charge de trois références globales : l'ITRS, le Système International de Référence Céleste (ICRS) et la rotation de la Terre qui lie les deux systèmes.

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

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

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

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

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

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

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

$\lambda$  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 :

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

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

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

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 Internationale.

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

#### 3.5.4.2. Définition de l'ITRF

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

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

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

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

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

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

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

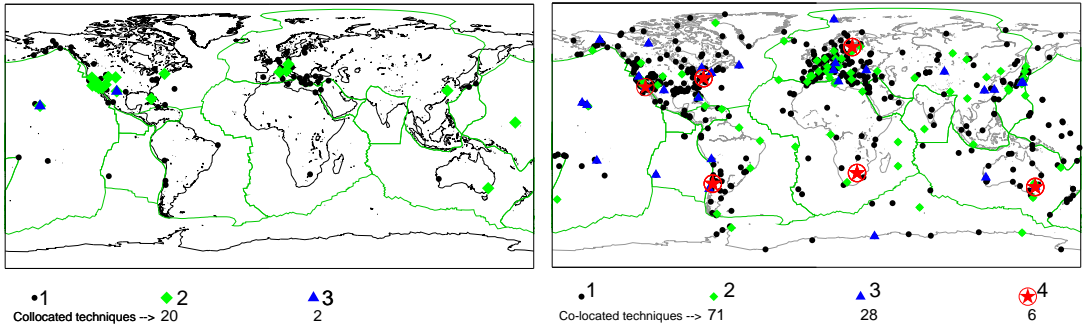


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

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

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

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

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

### 3.5.5. L'ITRF2005

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.6.1. Introduction

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

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

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

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

### 3.6.2. Expression générale de la transformation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où  $t$  est la date julienne en UT1.

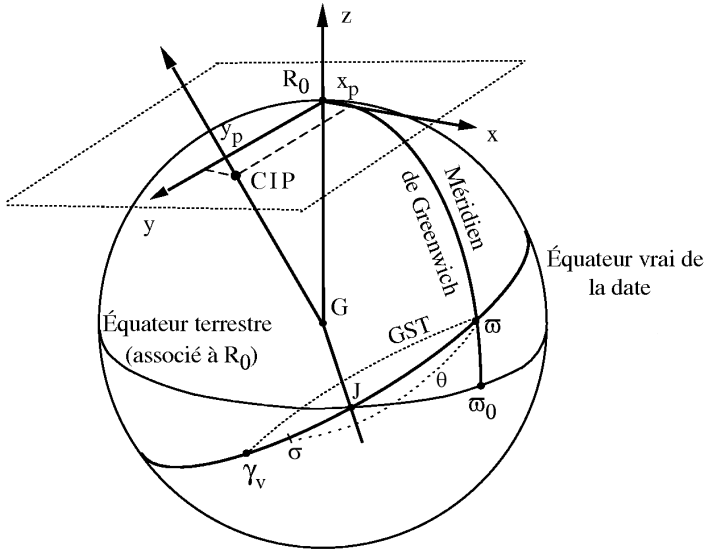
L'IERS est chargé d'implanter cette résolution depuis le 1 janvier 2003 tout en continuant à fournir aux utilisateurs les données et les algorithmes pour la transformation conventionnelle.

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

*3.6.4.1. Définition des paramètres à utiliser*

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





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

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

Le Temps universel UT1, le temps sidéral à Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time) et l'ERA  $\theta$ , 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  $\Delta UT1$  du paramètre UT1, telles que :  $\Delta UT1 = (1/k) \int_0^t m_3 dt$ ,  $k$  étant le facteur de proportionnalité entre  $\theta$  et UT1. Elles s'obtiennent par la détermination de UT1 – TAI à partir d'observations.

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

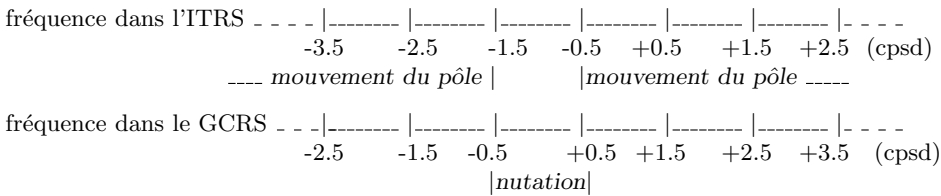
utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure,  $G$  est le centre de masse de la Terre,  $Gz$  est l'axe des  $z$  du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en  $R_0$ .  $\varpi_0$  est l'origine des longitudes,  $\varpi$  est 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 0h UT1, par la relation de Aoki et al. (1982). Cette définition était adaptée à la détermination de UT1 à partir de l'instant de passage d'une étoile au méridien d'un lieu ou bien à une distance zénithale donnée ce qui n'est plus le cas des observations actuelles telles que la télémétrie laser ou le VLBI. Par ailleurs, le temps sidéral se réfère à l'équinoxe et les observations par les techniques modernes ne sont pas sensibles à la position de l'écliptique, donc de l'équinoxe, ce qui rend inutilement complexe le fait de se rapporter à l'équinoxe pour définir UT1. Enfin, la relation numérique d'Aoki et al. reposait

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

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

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

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

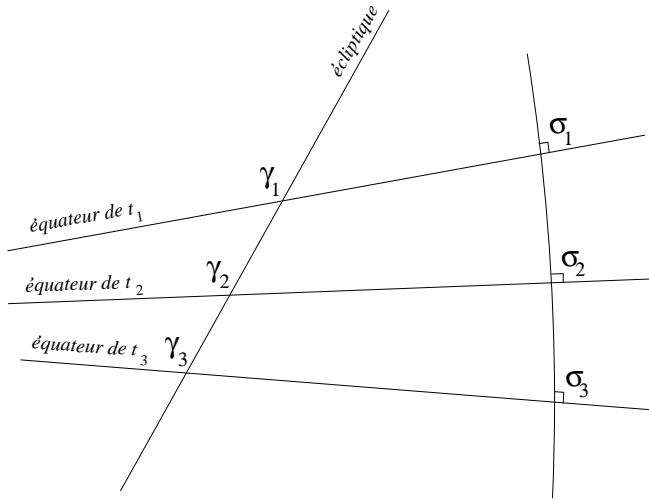
#### 3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

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 :

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

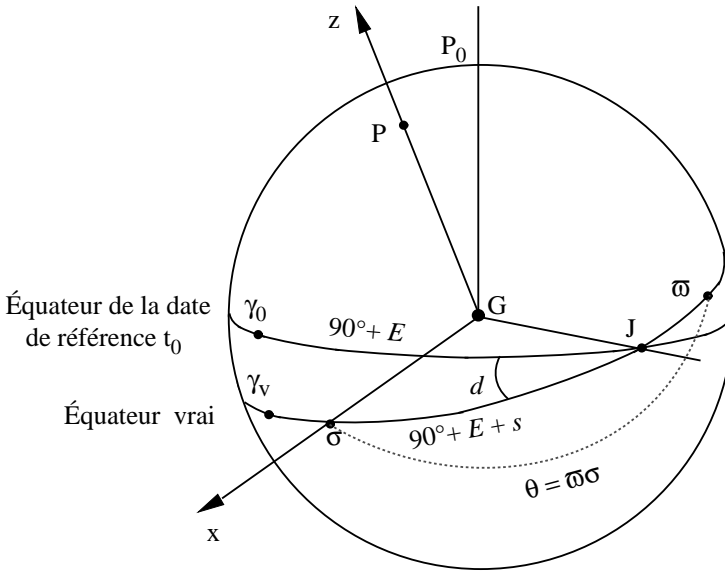
Ou bien, à des termes en  $d^4$  près :

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

La matrice  $R'(t)$  est une matrice de rotation autour de l'axe du CIP qui permet de tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste. La définition de l'ERA,  $\theta$ , 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  $t_o$ . L'effet total du déplacement céleste de l'axe du CIP dans le GCRS (incluant les écarts constants) se traduit par la matrice de rotation :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

où  $t$  est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay  $l, l', F, D, \Omega$ ), 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  $da_0$  pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 3.1. Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de  $10^{-4}''$  sur les



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

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

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

$\lambda_{\odot}$  et  $\lambda_{\zeta}$  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 :

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

Dans (3.6.22)  $\varepsilon_A$ ,  $z_A$ ,  $\theta_A$  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 :

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

Les deux derniers termes de (3.6.23) sont des termes complémentaires à ajouter à l'expression classique de l'équation des équinoxes,  $\Delta\psi \cos \epsilon_A$ , de façon à assurer l'équivalence avec la relation entre GST et  $\theta$  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  $0.1 \mu s$  :

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

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

Ou bien, de façon équivalente :

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

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

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

### 3.7. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

Paris.

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

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



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

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

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

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

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

## CHAPITRE 4

### **ROTATION DE LA TERRE**

---

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

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

##### **4.1.1. Introduction**

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

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

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

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

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

##### 4.1.2.1. Précession-nutation

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

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

#### 4.1.2.2. Mouvement du pôle

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

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

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

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

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

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

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

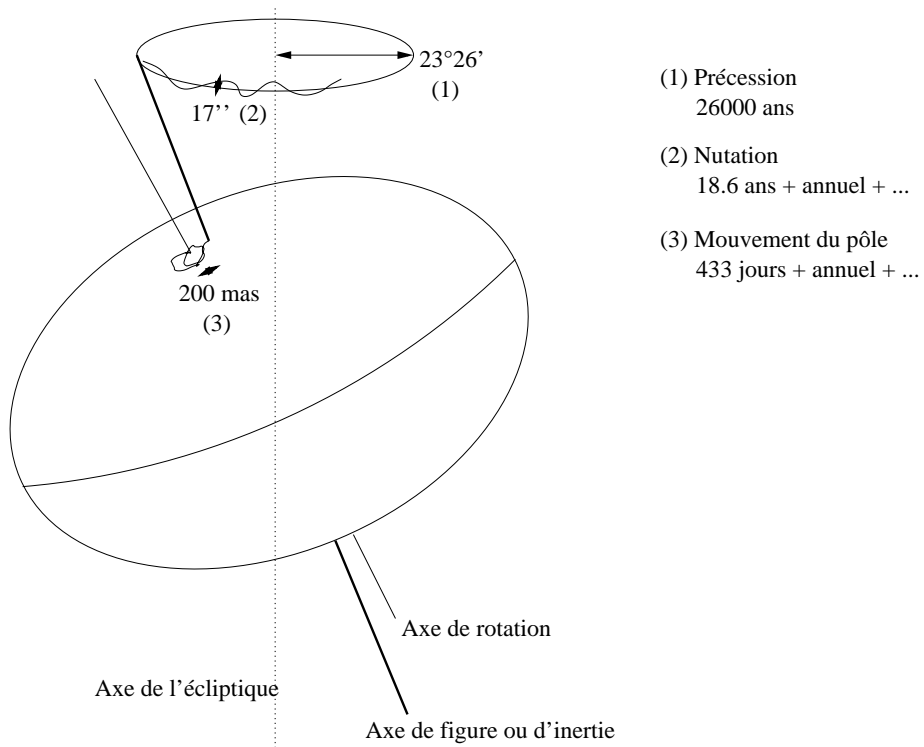


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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

#### 4.1.3.1. Les équations

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

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} = \mathbf{\Gamma}. \tag{4.1.1}$$

Par rapport à ce repère, la Terre est animée d'un mouvement de rotation uniforme légèrement perturbé autour de l'axe  $Oz$  du repère terrestre, de vecteur instantané  $\boldsymbol{\omega}$ . En conséquence, le vecteur instantané de rotation s'exprime dans le repère terrestre par :

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

où les écarts  $m_i$  (sans dimension) sont petits devant l'unité (l'observation montre que  $m_1 \sim m_2 \sim 10^{-6}$  et  $m_3 \sim 10^{-8}$ ). Ici et dans la suite, les indices 1, 2 et 3 correspondent aux composantes  $x$ ,  $y$  et  $z$  respectivement.

Dans cette approche, nous considérons que la Terre est un corps homogène et déformable. L'ensemble possède un mouvement de rotation rigide, auquel viennent s'ajouter des petits déplacements relatifs de masse (dans le noyau fluide ou bien dans les couches fluides externes). Le moment cinétique de la Terre entière s'écrira donc comme la somme d'un moment cinétique "rigide" donné par la matrice d'inertie  $[C]$ , et d'un moment cinétique "relatif"  $\mathbf{h}$  :

$$\mathbf{H} = [C].\boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}. \quad (4.1.3)$$

La Terre est au premier ordre un ellipsoïde de révolution. Dans le repère terrestre, dont les axes sont orientés selon les axes principaux d'inertie moyens de la Terre, son tenseur d'inertie  $[C]$  s'écrit :

$$[C] = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix}, \quad (4.1.4)$$

où  $A = B = 8.011 \times 10^{37}$  kg 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'aplatissement dynamique de la Terre, et  $e\Omega_0$  n'est autre que la fréquence d'Euler, correspondant à une période de 305 jours. Ces équations donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre en fonction d'une excitation qui apparaît sous la forme d'un moment de force extérieur ( $\Gamma_i$ ) 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

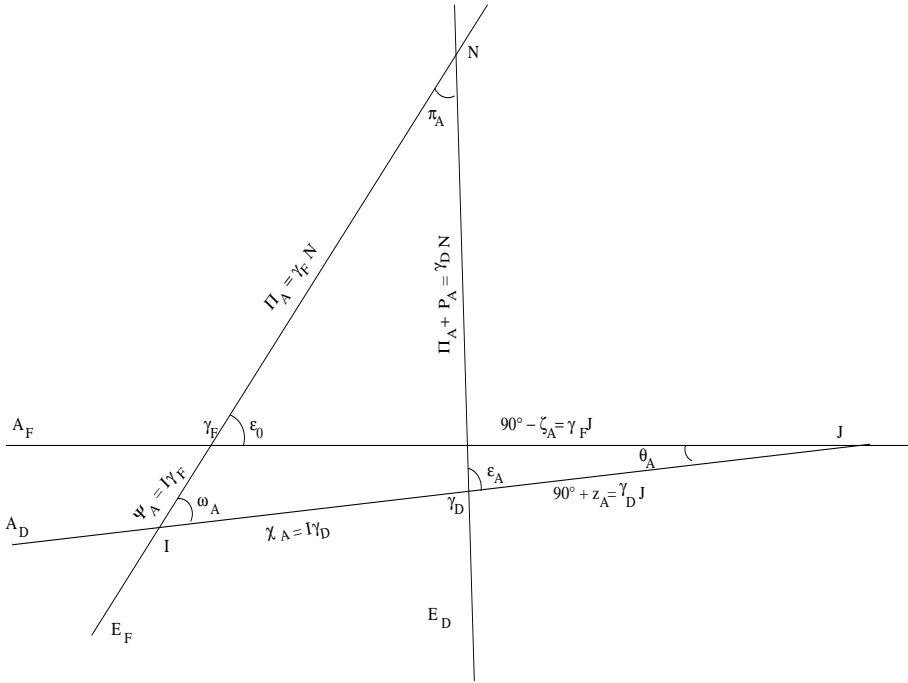
La résolution B1.6 adoptée à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2001) recommande de remplacer, à partir du 1 janvier 2003, le modèle UAI 1980 de la nutation par le modèle de la nutation UAI 2000A (ou sa version réduite UAI 2000B). UAI 2000A est issu du modèle MHB2000, basé sur la fonction 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.

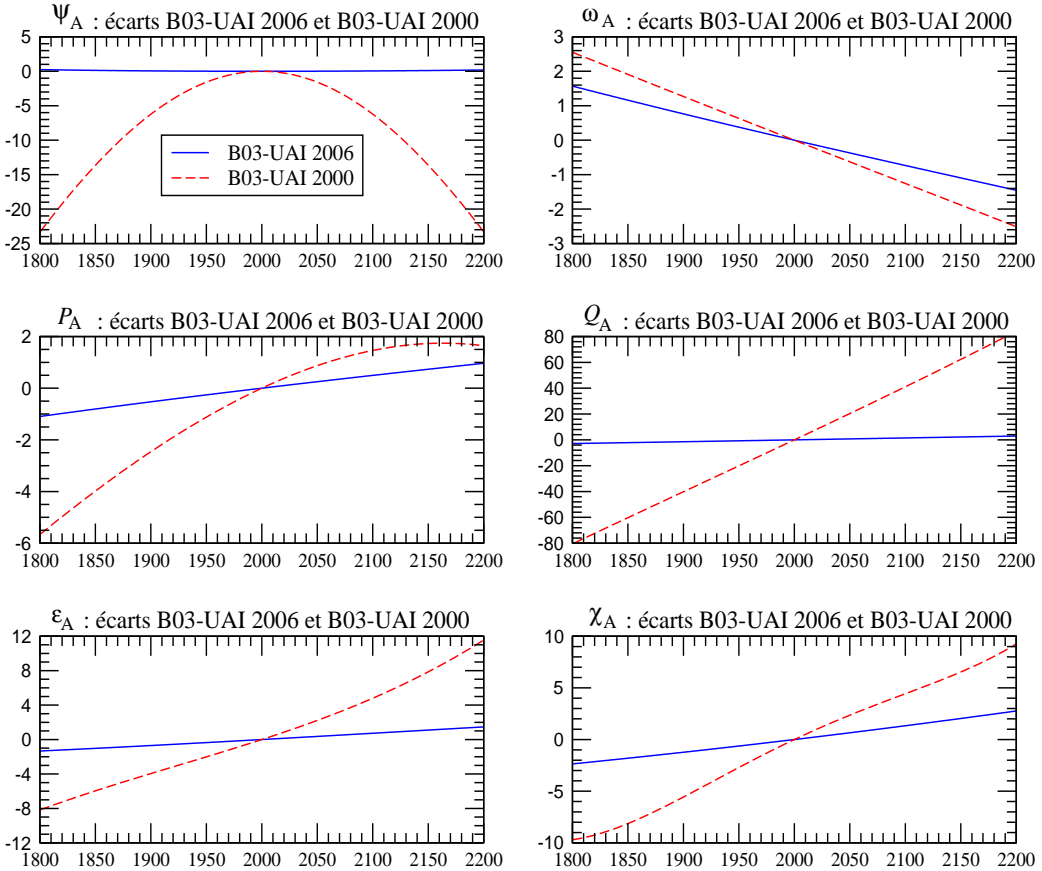
Les quantités liées à la précession de l'équateur  $\psi$  et  $\omega$  sont les séries de Poisson données par SMART97. À partir de  $\pi_A$ ,  $\Pi_A$ ,  $\psi$  et  $\omega$  on peut calculer toutes les autres quantités de la précession (Bretagnon et al., 1997). Finalement les variables  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $\mathcal{P}$ ,  $\varepsilon$  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 - 0.5371	- 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 ( $\mu\text{as}$ ). Sur la base d'études théoriques poussées,

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

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

#### 4.3.4. Modèle géophysique

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

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

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

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

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

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

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

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

où  $\boldsymbol{\Gamma}$  est le moment des forces agissant sur le corps, ici la Terre dans son ensemble, et  $\mathbf{H}$  est son moment angulaire tel que  $\mathbf{H} = [C] \cdot \boldsymbol{\Omega} + [C_f] \cdot \boldsymbol{\omega}_f$ , où  $[C]$  et  $[C_f]$  sont respectivement les tenseurs d'inertie de la Terre dans son ensemble et du noyau fluide seul. Le second terme est dû au mouvement de l'axe instantané de rotation du noyau par rapport à celui du manteau. Si les deux premières composantes de l'équation vectorielle sont décrites à l'aide des composantes de  $\boldsymbol{\omega} = \Omega_o \mathbf{m}$  et  $\boldsymbol{\omega}_f = \Omega_o \mathbf{m}_f$ , en négligeant les termes de second ordre, on retrouve dans les équations obtenues (*équations de Liouville*) les termes hors diagonale  $c_{13}$  et  $c_{23}$  du tenseur d'inertie, en plus des deux premiers éléments diagonaux de  $[C]$ . Ces derniers sont égaux puisque l'on suppose une symétrie axiale, les termes hors diagonale étant nuls en l'absence de perturbations extérieures. En multipliant la seconde équation par  $i$  et en l'ajoutant à la première, on obtient une équation simple pour les quantités complexes  $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$  et  $\tilde{m}_f \equiv m_{f1} + im_{f2}$ ,  $\tilde{c}_3 \equiv c_{13} + ic_{23}$  et  $\tilde{c}_3^f \equiv c_{13}^f + ic_{23}^f$ . Pour toutes ces quantités, l'indice ou l'exposant  $f$  se rapporte au noyau fluide. Pour les mouvements de l'axe instantané de rotation de fréquence  $\sigma$  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.

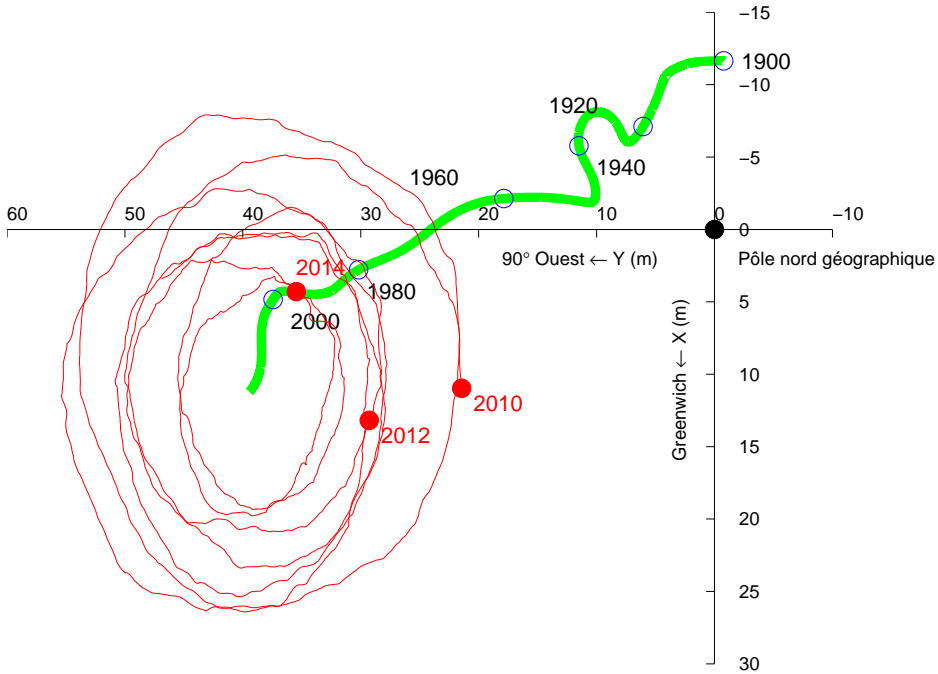
#### 4.4.2.2. UT1

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 jours  $\Delta LOD$ . 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° 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 70 ans. Leurs origines sont d'ordre géophysique

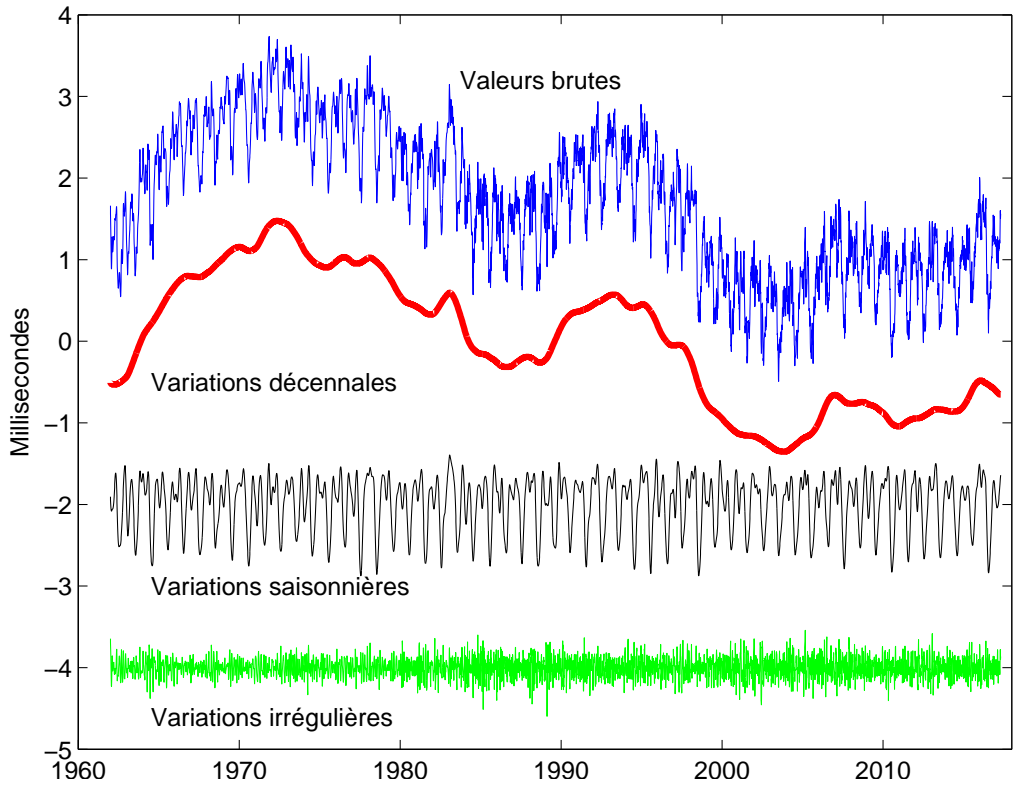
interne et sont généralement attribuées au couplage entre le noyau et le manteau terrestres et partiellement aux phénomènes océano-atmosphériques à grande échelle, de type El Niño. La vitesse de rotation de la Terre est connue avec une bonne précision depuis les années 1970. Auparavant on disposait de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

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

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

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

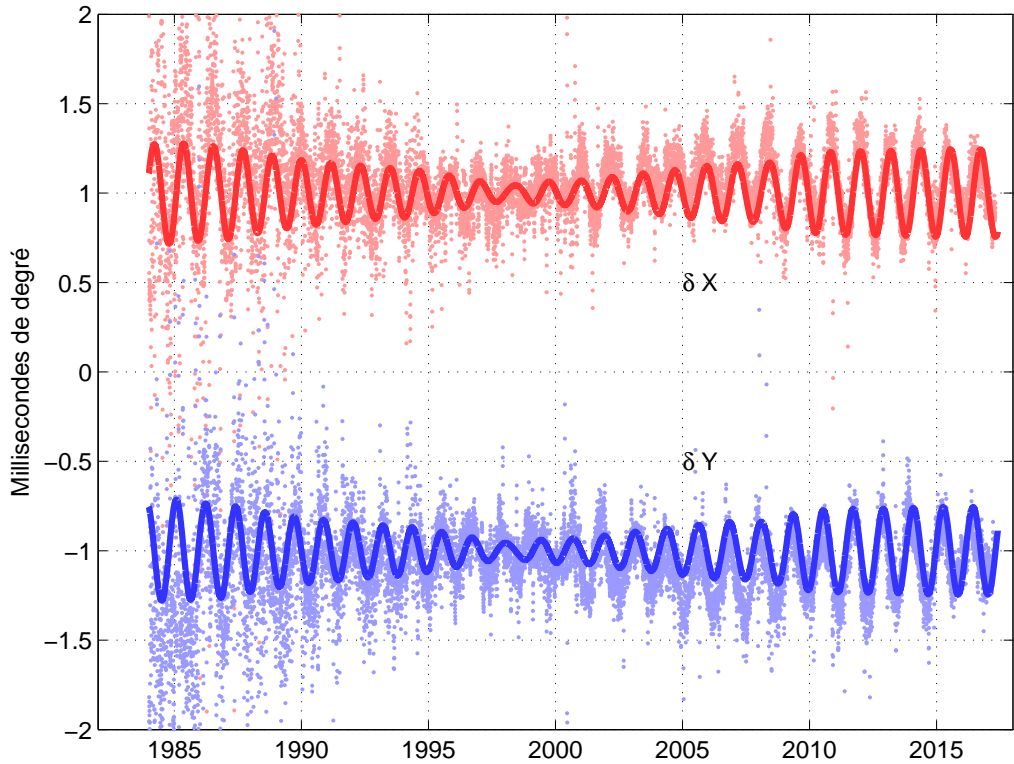
La précession-nutation se réfère au CIP, qui ne contient par définition, que des termes dont la période dans le repère céleste est supérieure à 2 jours. Elle comporte une partie séculaire et des termes périodiques (principalement de période 18.6 ans, 1 an, 0.5 an et 14 jours). Les oscillations résiduelles sont attribuées à la nutation libre de la Terre. L'IERS ne fournit pas directement les coefficients de la précession-nutation mais les écarts  $\delta X$  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 de dépasser



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

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

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

### 4.4.3. Les techniques d'observation

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

#### 4.4.3.1. Les méthodes géométriques

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

#### 4.4.3.2. Les méthodes dynamiques

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

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

jusque dans les années 1980. Actuellement ce système consiste en une constellation d'une vingtaine de satellites d'orbites quasi-circulaires gravitant à 26500 km, de période de révolution de 12h et se trouvant dans six plans inclinés à  $55^\circ$  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 :

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

où m est la projection de M sur le plan  $(Ox, Oy)$ . Sauf mention spéciale, le sens positif pour  $\psi$  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° à 180° est ou ouest. Dans cet ouvrage, les longitudes sont comptées de -180° à 180° positivement vers l'ouest.

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

### 5.2.1.4. Coordonnées horaires et coordonnées horizontales

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

- Les *coordonnées horaires*, angle horaire  $H$  et déclinaison  $\delta$ , 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.

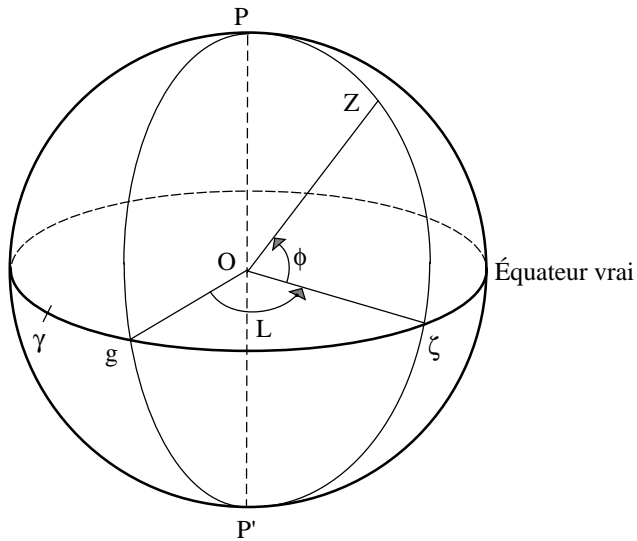


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

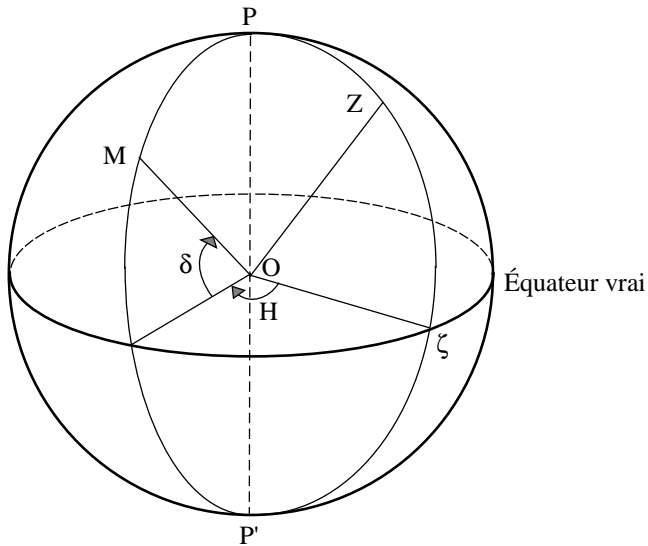


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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 :

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

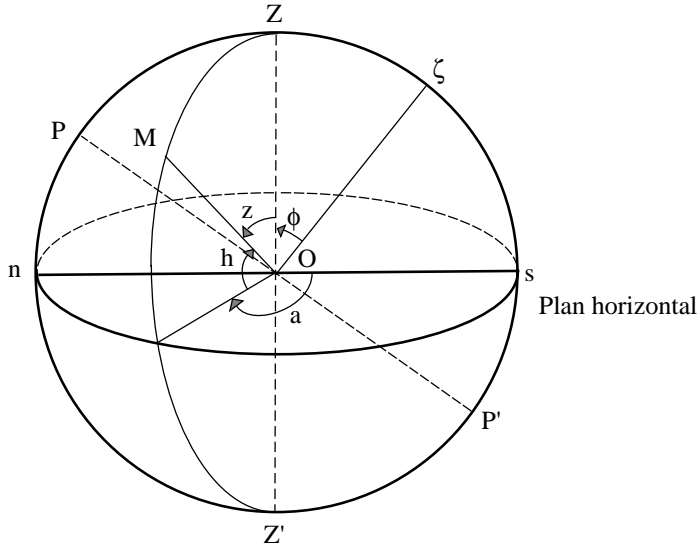
les longitudes  $L$  et  $L'$  des deux lieux étant comptées positivement vers l'ouest. Pour un lieu de



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 $\sigma_F$	équiptique ou équateur à $\sigma_F$	pas d’aberration
astrométriques à $\sigma_F$	équiptique ou équateur à $\sigma_F$	calcul du temps de lumière
moyennes à la date $t$	équiptique ou équateur moyen à $t$	astrométriques à $\sigma_F$ + précession de $\sigma_F$ à $t$
apparentes à la date $t$	équiptique ou équateur moyen à $t$	moyennes à la date $t$ + nutation + déflexion des rayons lumineux + aberration annuelle + aberration diurne

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

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

### 5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

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

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

- coordonnées équatoriales vraies et équiptiques vraies,
- coordonnées équatoriales moyennes pour l’époque  $\sigma_F$  et équiptiques 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 équiptiques 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'astre n'est pas voisin du pôle, on peut utiliser les relations approchées suivantes :

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

avec

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

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

Il s'agit du passage des coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date de référence  $\sigma_F$  aux coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique 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 écliptiques moyennes de la date et les coordonnées écliptiques vraies

Pour les coordonnées écliptiques moyennes de la date, on désigne par  $x_D^E, y_D^E, z_D^E$  les coordonnées cartésiennes et par  $\lambda_D$  et  $\beta_D$  la longitude et la latitude. Les coordonnées écliptiques 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 :

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

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

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

$L$  étant la longitude du lieu, on obtiendra les relations entre les coordonnées horizontales et les coordonnées équatoriales vraies  $\alpha_V$  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

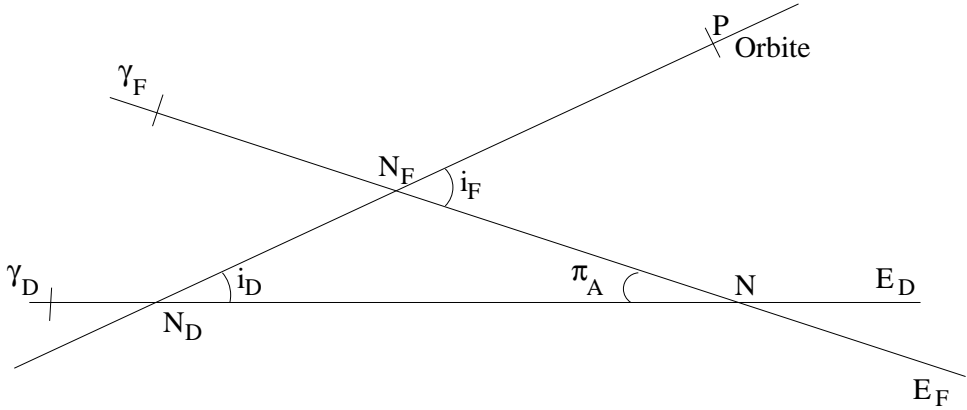
Il s'agit du passage des éléments d'une orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date  $\sigma_F$  aux éléments de la même orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date  $\sigma_D$ . Dans les deux cas le repère de référence est le même.

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  $i_F$ ,  $\Omega_F$ ,  $\varpi_F$  :

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

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 :

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

### 5.3.8. Changement de repère de référence

On considère deux repères de référence notés 1 et 2 pour lesquels la date de référence  $\sigma_F$  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  $\gamma_1\gamma_2$ .

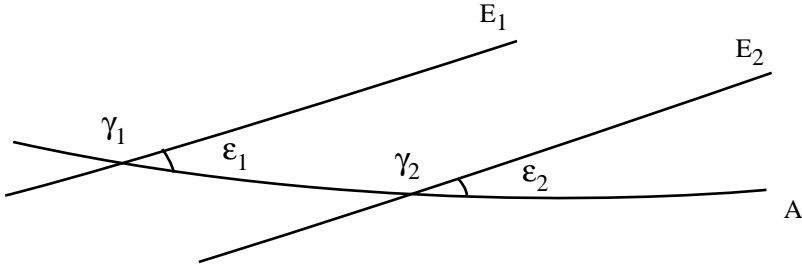


Fig. 5.5. Changement de repère.

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 :

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

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

et :

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

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

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

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

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

où  $\Delta\phi$ ,  $\varepsilon_1$  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 :

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

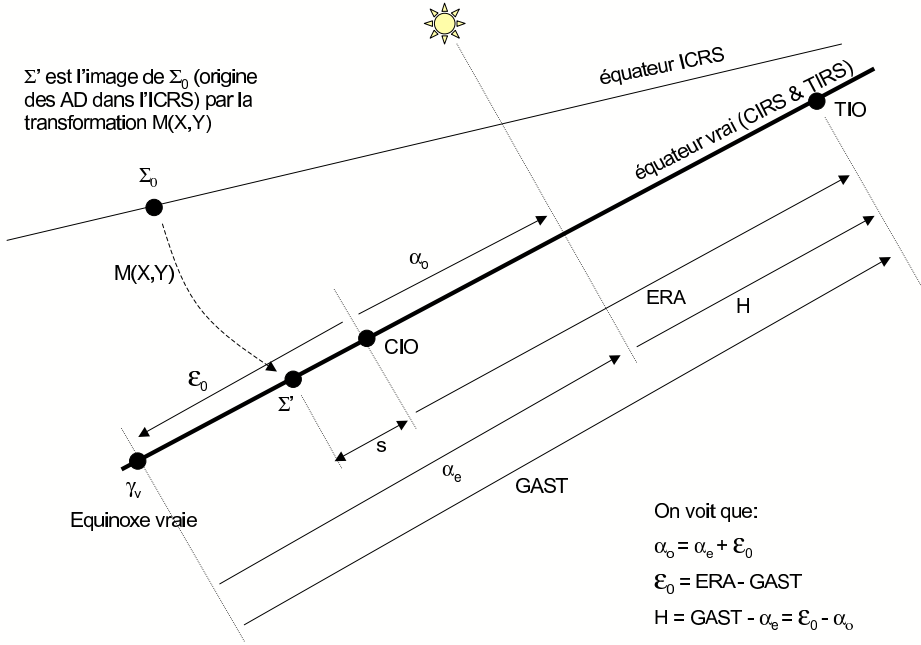
où les décalages  $\eta_0$  et  $\zeta_0$  (cf. 3.6.6) associés au modèle de nutation UAI 2000A sont (Capitaine et al., 2003) :  $\eta_0 = -0.006819''$ ,  $\zeta_0 = -0.016617''$ . Le décalage  $d\alpha_0$  est (Chapront et al., 2002) :  $d\alpha_0 = -0.0146''$ .

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
	MGS/MO radar	1999-2007	10474	2 m	10 m
	Sonde spatiale VLBI	1989-2007	96	0.4 mas	0.5 mas
Jupiter	Sonde spatiale VLBI	1996-1998	24	10 mas	20 mas
	Survol ( $\alpha, \delta$ )	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)	$37.013 \pm 1$	$24.013 \pm 10$
$\text{AU}-\text{AU}^{\text{IERS03}} [\text{m}]$	F	$8.2 \pm 0.11$	$0.0$ (F)	
$\text{AU} [\text{m}]$ from $\text{GM}_{\odot}$	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
Rhéa	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Titan	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Hypérior	(Duriez & Vienne 1997)	0.03	200
Japet	(Vienne & Duriez 1995)	0.03	200
Ariel	(Lainey 2007)	0.10	120
Umbriel	(Arlot et al. 2006)	0.10	120
Titania		0.10	120
Obéron		0.10	120
Miranda		0.20	240

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

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

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

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



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

<i>Longitude moyenne de Io</i>				<i>Excentricité de Ganymède : <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'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 INPOP10a (Fienga et al., 2011) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Cette solution est présentée dans le chapitre 6.

### 8.2.2. Cérès et petits corps

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

### 8.2.3. Satellites

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

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



### 8.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

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

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

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

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

Formons le tableau des différences :

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

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

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

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

### 8.3.2. Exemple

Calculer les coordonnées équatoriales apparentes de la Lune pour le 20 janvier 2018 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	$\alpha$	$\Delta^1(\text{s})$	$\Delta^2(\text{s})$	$\Delta^3(\text{s})$	$\delta$	$\Delta^1(\text{''})$	$\Delta^2(\text{''})$	$\Delta^3(\text{''})$
0h	22h 17m 27.460s				$-12^\circ 16' 10.29''$			
		721.72				3093.72		
6h	22h 29m 29.180s		-2.07		$-11^\circ 24' 36.57''$		119.99	
		719.65		0.33		3213.71		-7.80
12h	22h 41m 28.828s		-1.74		$-10^\circ 31' 02.86''$		112.19	
		717.91				3325.90		
18h	22h 53m 26.734s				$-9^\circ 35' 36.96''$			

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

$$\alpha(t) = 22\text{h } 29\text{m } 29.18\text{s} + 295.86\text{s} + 0.23\text{s} + 0.001\text{s} = 22\text{h } 34\text{m } 25.27\text{s}$$

$$\delta(t) = -11^\circ 24' 36.57'' + 1321.19'' - 14.05'' - 0.028'' = -11^\circ 2' 49.46''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 22\text{h } 34\text{m } 25.27\text{s}$$

$$\delta(t) = -11^\circ 2' 49.46''$$

### 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.

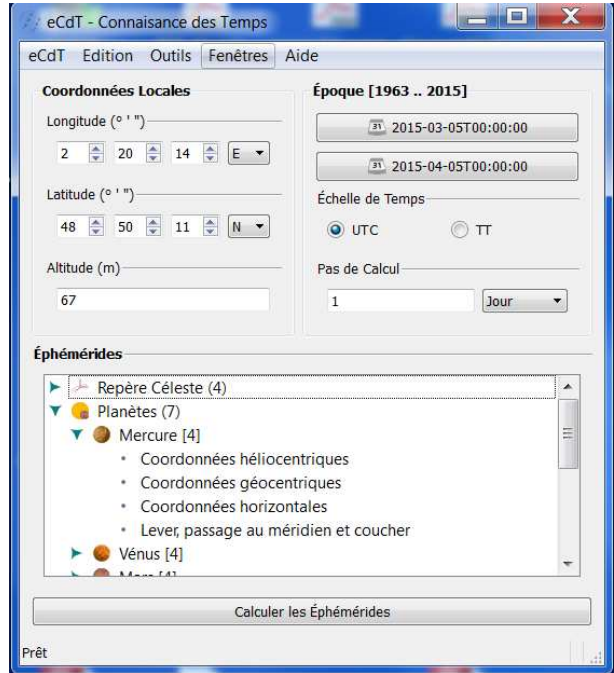


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

##### • Période de calcul

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

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

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

##### • Liste des éphémérides disponibles

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

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

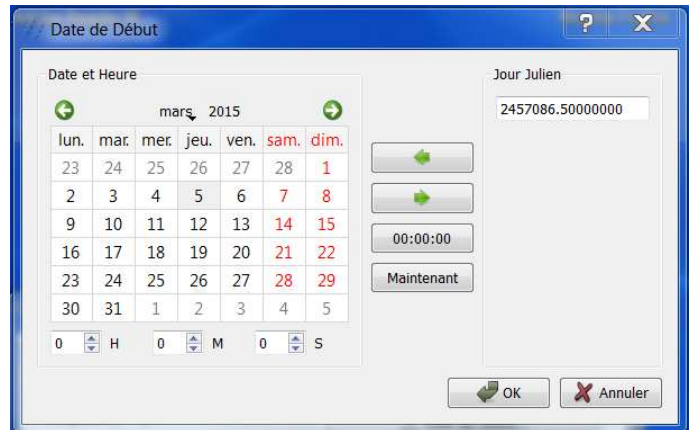
- *Lancement des calculs*

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

#### 8.4.1.2. Utilisation simple du logiciel

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

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



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

#### 8.4.1.3. Autres possibilités

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

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

#### 8.4.1.4. Disponibilité du logiciel

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

### 8.4.2. Représentation des coordonnées

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

équinoxes, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle  $s$ . Il est possible de visualiser et d'utiliser soi-même les coefficients et il est donc utile de rappeler les caractéristiques de cette représentation.

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

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

où :

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

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

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

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

– soit par la relation :

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

– soit par la relation de récurrence :

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

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

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

## 8.5. PRÉCISION DES ÉPHÉMÉRIDES

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

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

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

ont été effectuées les observations ayant servi à déterminer les constantes physiques du problème. *c) La précision de la représentation.* Elle traduit l'écart entre la théorie et son approximation soit en polynômes de Tchebychev (cas des planètes, du Soleil et de la Lune), soit en fonctions mixtes (cas des satellites des planètes). Elle est déterminée par le choix de la représentation.

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

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

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

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

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
	Temps sidéral	19	16	$1.7 \times 10^{-5}$ 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.
- Fienga, A., Laskar, J., Kuchynka, P., Manche, H., et al. : 2011, The INPOP10 planetary ephemeris and its applications in fundamental physics. *Astron. Astrophys.* **111**, 363.
- Lainey, V., Arlot, J.-E., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. II. Fitting the observations *Astron. Astrophys.* **427**, 371.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons *Astron. Astrophys.* **465**, 1075.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- Rocher, P. : 2013a, Ajustement de l'orbite de Cérès, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 99, ISBN 2-910015-68-8.
- Rocher, P. : 2013b, Ajustement de l'orbite de Pallas, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 100, ISBN 2-910015-69-6.
- Rocher, P. : 2013c, Ajustement de l'orbite de Junon, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 101, ISBN 2-910015-70-X.
- Rocher, P. : 2013d, Ajustement de l'orbite de Vesta, Notes scientifiques et techniques de l'IMCCE n. 102, ISBN 2-910015-71-8.
- Sampson, R.A. : 1921, Theory of the four great satellites of Jupiter, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **63**.
- Standish, E.M. : 1985, Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry, J. Kovalevsky and V.A. Brumberg eds. (Reidel, Dordrecht, Holland), 71.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312**, **F-98-048**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.* **297**, 588.

# **ÉPHÉMÉRIDES POUR L'ANNÉE 2018**



## 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 2018 à 0h TU, NUTATION 2018 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
Janv.	0	6	38	26.543 64	-11.714 41	-7.348 05	Févr.	15	9	39	48.136 48	-10.963 97	-6.230 42
	1	6	42	23.108 21	-11.564 10	-7.361 57		16	9	43	44.688 97	-11.011 05	-6.171 91
	2	6	46	19.674 17	-11.390 82	-7.350 48		17	9	47	41.239 37	-11.092 24	-6.117 27
	3	6	50	16.239 34	-11.230 61	-7.313 14		18	9	51	37.788 07	-11.201 30	-6.072 54
	4	6	54	12.801 76	-11.115 24	-7.256 45		19	9	55	34.335 81	-11.325 92	-6.042 51
	5	6	58	9.360 47	-11.060 60	-7.192 74		20	9	59	30.883 63	-11.449 33	-6.029 50
	6	7	2	5.915 65	-11.063 60	-7.134 71		21	10	3	27.432 66	-11.553 06	-6.032 57
	7	7	6	2.468 34	-11.107 33	-7.091 30		22	10	7	23.983 90	-11.620 66	-6.047 25
	8	7	9	59.019 92	-11.169 38	-7.066 20		23	10	11	20.537 98	-11.641 72	-6.065 96
	9	7	13	55.571 66	-11.228 70	-7.058 45		24	10	15	17.094 96	-11.615 38	-6.079 30
	10	7	17	52.124 54	-11.269 45	-7.063 99		25	10	19	13.654 18	-11.552 41	-6.078 12
	11	7	21	48.679 13	-11.282 16	-7.077 12		26	10	23	10.214 32	-11.474 42	-6.056 10
	12	7	25	45.235 64	-11.263 54	-7.091 76		27	10	27	6.773 66	-11.409 43	-6.012 23
	13	7	29	41.793 94	-11.215 65	-7.102 20		28	10	31	3.330 59	-11.383 90	-5.951 85
14	7	33	38.353 63	-11.144 94	-7.103 70	Mars	1	10	34	59.884 12	-11.413 85	-5.885 56	
15	7	37	34.914 12	-11.061 15	-7.092 97	2	10	38	56.434 26	-11.499 35	-5.825 71		
16	7	41	31.474 70	-10.976 07	-7.068 44	3	10	42	52.981 93	-11.625 23	-5.782 32		
17	7	45	28.034 59	-10.902 01	-7.030 56	4	10	46	49.528 58	-11.767 75	-5.760 12		
18	7	49	24.593 14	-10.850 11	-6.981 77	5	10	50	46.075 67	-11.903 05	-5.758 05		
19	7	53	21.149 82	-10.828 54	-6.926 27	6	10	54	42.624 28	-12.013 57	-5.770 80		
20	7	57	17.704 42	-10.841 06	-6.869 51	7	10	58	39.174 94	-12.090 58	-5.791 11		
21	8	1	14.257 04	-10.885 94	-6.817 46	8	11	2	35.727 68	-12.133 51	-5.811 71		
22	8	5	10.808 15	-10.955 62	-6.775 69	9	11	6	32.282 18	-12.147 88	-5.826 58		
23	8	9	7.358 53	-11.037 14	-6.748 39	10	11	10	28.837 84	-12.142 99	-5.831 45		
24	8	13	3.909 23	-11.113 48	-6.737 44	11	11	14	25.394 00	-12.130 09	-5.823 94		
25	8	17	0.461 40	-11.165 90	-6.741 55	12	11	18	21.949 92	-12.121 07	-5.803 55		
26	8	20	57.016 06	-11.177 46	-6.755 74	13	11	22	18.504 91	-12.127 33	-5.771 59		
27	8	24	53.573 85	-11.137 83	-6.771 53	14	11	26	15.058 36	-12.158 62	-5.731 16		
28	8	28	50.134 71	-11.048 15	-6.778 27	15	11	30	11.609 87	-12.221 64	-5.686 95		
29	8	32	46.697 66	-10.924 20	-6.765 98	16	11	34	8.159 31	-12.318 50	-5.644 93		
30	8	36	43.260 96	-10.794 60	-6.729 11	17	11	38	4.706 93	-12.445 17	-5.611 50		
31	8	40	39.822 56	-10.692 58	-6.669 42	18	11	42	1.253 38	-12.590 96	-5.592 29		
Févr.	1	8	44	36.380 91	-10.643 92	-6.596 13	19	11	45	57.799 68	-12.739 31	-5.590 78	
	2	8	48	32.935 44	-10.657 44	-6.522 43	20	11	49	54.347 01	-12.870 66	-5.606 99	
	3	8	52	29.486 77	-10.723 52	-6.460 45	21	11	53	50.896 50	-12.966 82	-5.636 87	
	4	8	56	26.036 21	-10.820 47	-6.417 44	22	11	57	47.448 87	-13.015 92	-5.672 86	
	5	9	0	22.585 26	-10.923 74	-6.394 71	23	12	1	44.004 22	-13.016 18	-5.705 40	
	6	9	4	19.135 16	-11.013 07	-6.388 84	24	12	5	40.561 97	-12.977 40	-5.725 28	
	7	9	8	15.686 70	-11.075 75	-6.393 79	25	12	9	37.120 89	-12.919 32	-5.726 07	
	8	9	12	12.240 17	-11.106 74	-6.402 81	26	12	13	33.679 44	-12.867 25	-5.706 06	
	9	9	16	8.795 51	-11.107 35	-6.409 59	27	12	17	30.236 13	-12.845 65	-5.668 93	
	10	9	20	5.352 33	-11.083 59	-6.409 01	28	12	21	26.789 91	-12.871 49	-5.623 11	
	11	9	24	1.910 08	-11.044 63	-6.397 44	29	12	25	23.340 51	-12.949 39	-5.579 48	
	12	9	27	58.468 08	-11.001 66	-6.372 94	30	12	29	19.888 48	-13.070 40	-5.548 28	
	13	9	31	55.025 59	-10.966 63	-6.335 41	31	12	33	16.434 99	-13.215 17	-5.536 24	
	14	9	35	51.581 91	-10.950 97	-6.286 67	Avril	1	12	37	12.981 48	-13.360 29	-5.544 99

## TEMPS SIDÉRAL 2018 à 0h TU, NUTATION 2018 à 0h TT

## TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s			
	h	m	s				h	m	s					
Avril	2	12	41	9.529 22	-13.485 10	-5.571 23	Mai	18	15	42	31.009 75	-14.571 13	-6.187 19	
	3	12	45	6.079 00	-13.576 42	-5.608 37		19	15	46	27.573 31	-14.437 19	-6.190 94	
	4	12	49	2.631 09	-13.630 03	-5.648 71		20	15	50	24.135 46	-14.326 23	-6.172 52	
	5	12	52	59.185 27	-13.649 57	-5.685 15		21	15	54	20.694 84	-14.260 62	-6.139 92	
	6	12	56	55.740 98	-13.644 03	-5.712 41		22	15	58	17.250 92	-14.248 94	-6.104 11	
	7	13	0	52.297 50	-13.625 19	-5.727 32		23	16	2	13.804 04	-14.285 75	-6.075 70	
	8	13	4	48.854 07	-13.605 59	-5.728 86		24	16	6	10.355 16	-14.355 22	-6.062 36	
	9	13	8	45.409 95	-13.597 07	-5.717 96		25	16	10	6.905 56	-14.436 44	-6.067 58	
	10	13	12	41.964 54	-13.609 77	-5.697 23		26	16	14	3.456 51	-14.508 65	-6.090 61	
	11	13	16	38.517 38	-13.651 11	-5.670 84		27	16	18	0.009 03	-14.555 29	-6.127 19	
	12	13	20	35.068 25	-13.724 67	-5.644 22		28	16	21	56.563 71	-14.566 59	-6.170 90	
	13	13	24	31.617 25	-13.828 81	-5.623 60		29	16	25	53.120 68	-14.540 36	-6.214 54	
	14	13	28	28.164 86	-13.955 53	-5.615 10		30	16	29	49.679 66	-14.481 42	-6.251 55	
	15	13	32	24.712 00	-14.090 19	-5.623 49		31	16	33	46.240 02	-14.399 82	-6.277 02	
	16	13	36	21.259 85	-14.213 05	-5.650 50		Juin	1	16	37	42.800 97	-14.308 53	-6.288 24
	17	13	40	17.809 70	-14.303 29	-5.693 62			2	16	41	39.361 69	-14.221 08	-6.284 85
18	13	44	14.362 53	-14.344 92	-5.745 80	3	16		45	35.921 43	-14.149 60	-6.268 63		
19	13	48	10.918 65	-14.332 56	-5.796 87	4	16		49	32.479 62	-14.103 36	-6.243 06		
20	13	52	7.477 58	-14.274 45	-5.836 28	5	16		53	29.035 93	-14.087 88	-6.212 87		
21	13	56	4.038 06	-14.190 89	-5.856 34	6	16		57	25.590 30	-14.104 24	-6.183 54		
22	14	0	0.598 46	-14.108 64	-5.854 49	7	17		1	22.142 96	-14.148 57	-6.160 72		
23	14	3	57.157 21	-14.053 30	-5.833 99	8	17		5	18.694 46	-14.211 71	-6.149 67		
24	14	7	53.713 23	-14.042 63	-5.802 75	9	17		9	15.245 71	-14.279 09	-6.154 26		
25	14	11	50.266 15	-14.082 52	-5.771 02	10	17		13	11.797 86	-14.331 71	-6.175 87		
26	14	15	46.816 39	-14.166 45	-5.748 71	11	17		17	8.352 18	-14.348 92	-6.212 04		
27	14	19	43.364 92	-14.278 10	-5.742 98	12	17		21	4.909 71	-14.313 67	-6.255 71		
28	14	23	39.913 07	-14.396 09	-5.756 77	13	17		25	1.470 84	-14.219 45	-6.295 90		
29	14	27	36.462 12	-14.499 56	-5.788 54	14	17		28	58.034 98	-14.076 03	-6.320 52		
30	14	31	33.013 01	-14.572 80	-5.833 11	15	17		32	54.600 53	-13.909 55	-6.320 76		
Mai	1	14	35	29.566 22	-14.608 00	-5.883 28	16		17	36	51.165 37	-13.754 71	-6.295 02	
	2	14	39	26.121 74	-14.605 65	-5.931 61	17	17	40	47.727 62	-13.642 23	-6.249 72		
	3	14	43	22.679 10	-14.572 99	-5.971 87	18	17	44	44.286 28	-13.588 37	-6.196 64		
	4	14	47	19.237 62	-14.521 53	-5.999 87	19	17	48	40.841 45	-13.591 56	-6.148 36		
	5	14	51	15.796 48	-14.464 50	-6.013 81	20	17	52	37.394 08	-13.636 28	-6.114 41		
	6	14	55	12.354 89	-14.414 73	-6.014 06	21	17	56	33.945 54	-13.700 15	-6.099 38		
	7	14	59	8.912 18	-14.383 23	-6.002 89	22	18	0	30.497 20	-13.760 79	-6.102 99		
	8	15	3	5.467 86	-14.378 17	-5.984 08	23	18	4	27.050 15	-13.800 36	-6.121 25		
	9	15	7	2.021 64	-14.404 06	-5.962 63	24	18	8	23.605 06	-13.807 85	-6.147 97		
	10	15	10	58.573 54	-14.460 88	-5.944 28	25	18	12	20.162 16	-13.779 59	-6.176 16		
	11	15	14	55.123 87	-14.543 17	-5.935 04	26	18	16	16.721 26	-13.718 65	-6.199 25		
	12	15	18	51.673 36	-14.639 32	-5.940 22	27	18	20	13.281 84	-13.633 40	-6.211 99		
	13	15	22	48.223 07	-14.731 78	-5.963 12	28	18	24	9.843 19	-13.535 77	-6.211 06		
	14	15	26	44.774 31	-14.799 27	-6.003 49	29	18	28	6.404 47	-13.439 12	-6.195 39		
	15	15	30	41.328 31	-14.821 70	-6.056 36	30	18	32	2.964 90	-13.356 25	-6.166 11		
	16	15	34	37.885 80	-14.787 03	-6.112 22	Juill.	1	18	35	59.523 85	-13.297 62	-6.126 30	
17	15	38	34.446 65	-14.697 47	-6.159 27	2		18	39	56.080 91	-13.269 96	-6.080 49		

## TEMPS SIDÉRAL 2018 à 0h TU, NUTATION 2018 à 0h TT

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

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s				s	s	h			m	s
Juill.	3	18	43	52.635 94	-13.275 48	-6.034 04	Août	18	21	45	14.178 84	-13.341 67	-5.006 66
	4	18	47	49.189 11	-13.311 45	-5.992 55		19	21	49	10.733 61	-13.351 51	-5.018 35
	5	18	51	45.740 89	-13.370 10	-5.961 14		20	21	53	7.290 06	-13.333 79	-5.022 46
	6	18	55	42.292 05	-13.438 88	-5.943 76		21	21	57	3.847 54	-13.299 42	-5.014 88
	7	18	59	38.843 60	-13.501 33	-5.942 35		22	22	1	0.405 25	-13.261 02	-4.993 66
	8	19	3	35.396 68	-13.538 71	-5.955 91		23	22	4	56.962 44	-13.231 28	-4.958 93
	9	19	7	31.952 38	-13.533 34	-5.979 76		24	22	8	53.518 40	-13.221 62	-4.912 79
	10	19	11	28.511 41	-13.473 63	-6.005 28		25	22	12	50.072 59	-13.240 79	-4.859 02
	11	19	15	25.073 73	-13.360 01	-6.021 25		26	22	16	46.624 72	-13.293 67	-4.802 70
	12	19	19	21.638 33	-13.208 99	-6.016 86		27	22	20	43.174 80	-13.380 16	-4.749 61
	13	19	23	18.203 34	-13.051 45	-5.986 05		28	22	24	39.723 16	-13.494 72	-4.705 38
	14	19	27	14.766 56	-12.923 09	-5.930 90		29	22	28	36.270 47	-13.626 55	-4.674 58
	15	19	31	11.326 34	-12.850 86	-5.861 42		30	22	32	32.817 62	-13.760 80	-4.659 81
	16	19	35	7.882 18	-12.843 13	-5.791 68		31	22	36	29.365 66	-13.880 59	-4.661 00
	17	19	39	4.434 75	-12.888 85	-5.734 31		Sept. 1	22	40	25.915 58	-13.969 79	-4.675 00
	18	19	43	0.985 47	-12.964 88	-5.696 67		2	22	44	22.468 11	-14.016 20	-4.695 74
	19	19	46	57.535 91	-13.045 45	-5.679 94		3	22	48	19.023 56	-14.014 84	-4.714 87
20	19	50	54.087 36	-13.109 43	-5.680 40	4	22	52	15.581 64	-13.970 65	-4.723 22		
21	19	54	50.640 64	-13.143 59	-5.691 58	5	22	56	12.141 35	-13.899 65	-4.712 91		
22	19	58	47.196 05	-13.142 99	-5.706 12	6	23	0	8.701 15	-13.827 17	-4.679 92		
23	20	2	43.753 45	-13.109 73	-5.717 18	7	23	4	5.259 27	-13.782 23	-4.626 28		
24	20	6	40.312 40	-13.051 30	-5.719 26	8	23	8	1.814 25	-13.788 43	-4.560 59		
25	20	10	36.872 21	-12.978 70	-5.708 68	9	23	11	58.365 54	-13.855 06	-4.495 86		
26	20	14	33.432 10	-12.904 71	-5.683 85	10	23	15	54.913 69	-13.973 02	-4.445 12		
27	20	18	29.991 29	-12.842 16	-5.645 35	11	23	19	51.460 15	-14.118 67	-4.416 74		
28	20	22	26.549 11	-12.802 19	-5.595 72	12	23	23	48.006 66	-14.263 50	-4.412 16		
29	20	26	23.105 05	-12.792 76	-5.539 17	13	23	27	44.554 67	-14.383 94	-4.426 50		
30	20	30	19.658 91	-12.817 43	-5.481 01	14	23	31	41.104 96	-14.467 00	-4.451 40		
31	20	34	16.210 78	-12.874 63	-5.426 93	15	23	35	37.657 65	-14.510 74	-4.477 90		
Août 1	20	38	12.761 07	-12.957 60	-5.382 22	16	23	39	34.212 35	-14.521 63	-4.498 53		
2	20	42	9.310 49	-13.054 79	-5.350 97	17	23	43	30.768 37	-14.511 04	-4.508 22		
3	20	46	5.859 98	-13.151 01	-5.335 34	18	23	47	27.324 89	-14.492 30	-4.504 45		
4	20	50	2.410 57	-13.229 13	-5.334 88	19	23	51	23.881 09	-14.478 64	-4.486 96		
5	20	53	58.963 27	-13.272 66	-5.346 04	20	23	55	20.436 26	-14.481 84	-4.457 51		
6	20	57	55.518 86	-13.269 21	-5.362 05	21	23	59	16.989 83	-14.511 17	-4.419 51		
7	21	1	52.077 56	-13.214 75	-5.373 54	22	0	3	13.541 45	-14.572 48	-4.377 70		
8	21	5	48.638 87	-13.117 53	-5.370 29	23	0	7	10.091 03	-14.667 14	-4.337 71		
9	21	9	45.201 46	-12.999 50	-5.344 31	24	0	11	6.638 80	-14.791 27	-4.305 42		
10	21	13	41.763 38	-12.892 43	-5.293 29	25	0	15	3.185 35	-14.935 39	-4.285 99		
11	21	17	38.322 68	-12.828 14	-5.222 83	26	0	18	59.731 56	-15.085 12	-4.282 90		
12	21	21	34.878 17	-12.826 12	-5.145 23	27	0	22	56.278 50	-15.223 02	-4.296 86		
13	21	25	31.429 87	-12.886 00	-5.074 97	28	0	26	52.827 22	-15.331 80	-4.325 26		
14	21	29	27.978 93	-12.989 18	-5.023 22	29	0	30	49.378 53	-15.398 11	-4.362 18		
15	21	33	24.527 02	-13.108 08	-4.994 53	30	0	34	45.932 80	-15.416 13	-4.399 31		
16	21	37	21.075 75	-13.216 64	-4.986 81	Oct. 1	0	38	42.489 77	-15.389 95	-4.427 57		
17	21	41	17.626 20	-13.297 06	-4.993 57	2	0	42	39.048 57	-15.333 95	-4.439 18		

## TEMPS SIDÉRAL 2018 à 0h TU, NUTATION 2018 à 0h TT

## TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Oct.	3	0	46	35.607 81	-15.270 58	-4.429 81	Nov.	18	3	47	57.084 71	-16.415 68	-4.681 99
	4	0	50	32.165 92	-15.225 71	-4.400 16		19	3	51	53.635 01	-16.498 50	-4.684 08
	5	0	54	28.721 52	-15.221 98	-4.356 47		20	3	55	50.185 34	-16.580 86	-4.702 38
	6	0	58	25.273 82	-15.271 98	-4.309 36		21	3	59	46.736 84	-16.644 12	-4.737 30
	7	1	2	21.822 97	-15.373 58	-4.270 98		22	4	3	43.290 66	-16.669 51	-4.785 51
	8	1	6	18.369 99	-15.510 10	-4.251 30		23	4	7	39.847 65	-16.643 01	-4.839 64
	9	1	10	14.916 45	-15.655 74	-4.254 97		24	4	11	36.408 04	-16.561 00	-4.889 37
	10	1	14	11.463 95	-15.784 35	-4.280 22		25	4	15	32.971 19	-16.433 87	-4.924 01
	11	1	18	8.013 65	-15.877 19	-4.320 18		26	4	19	29.535 66	-16.285 03	-4.936 03
	12	1	22	4.565 98	-15.926 91	-4.365 59		27	4	23	26.099 62	-16.144 56	-4.923 86
	13	1	26	1.120 73	-15.936 94	-4.407 61		28	4	27	22.661 39	-16.039 89	-4.892 56
	14	1	29	57.677 25	-15.918 13	-4.439 63		29	4	31	19.219 95	-15.987 63	-4.852 15
15	1	33	54.234 66	-15.884 82	-4.457 96	30	4	35	15.775 19	-15.989 72	-4.814 39		
16	1	37	50.792 05	-15.851 68	-4.461 68	Déc.	1	4	39	12.327 82	-16.034 48	-4.789 47	
17	1	41	47.348 65	-15.831 65	-4.452 19		2	4	43	8.879 11	-16.101 08	-4.783 67	
18	1	45	43.903 82	-15.834 88	-4.432 64		3	4	47	5.430 53	-16.165 65	-4.798 31	
19	1	49	40.457 16	-15.867 99	-4.407 49		4	4	51	1.983 37	-16.206 97	-4.830 06	
20	1	53	37.008 52	-15.933 50	-4.382 10		5	4	54	58.538 51	-16.210 86	-4.872 15	
21	1	57	33.558 03	-16.029 21	-4.362 22		6	4	58	55.096 23	-16.172 35	-4.916 22	
22	2	1	30.106 16	-16.147 61	-4.353 40		7	5	2	51.656 29	-16.095 65	-4.954 20	
23	2	5	26.653 68	-16.275 82	-4.359 98		8	5	6	48.218 00	-15.992 07	-4.979 88	
24	2	9	23.201 66	-16.396 66	-4.383 99		9	5	10	44.780 41	-15.876 89	-4.989 86	
25	2	13	19.751 24	-16.491 27	-4.424 08		10	5	14	41.342 57	-15.765 95	-4.983 68	
26	2	17	16.303 43	-16.543 31	-4.475 07		11	5	18	37.903 62	-15.672 97	-4.963 50	
27	2	21	12.858 77	-16.543 84	-4.528 52		12	5	22	34.462 98	-15.607 73	-4.933 33	
28	2	25	9.417 13	-16.494 97	-4.574 48	13	5	26	31.020 33	-15.575 35	-4.898 30		
29	2	29	5.977 65	-16.410 73	-4.604 15	14	5	30	27.575 65	-15.576 09	-4.863 97		
30	2	33	2.538 92	-16.314 26	-4.612 39	15	5	34	24.129 21	-15.605 53	-4.835 72		
31	2	36	59.099 32	-16.232 01	-4.599 36	16	5	38	20.681 57	-15.654 76	-4.818 28		
Nov.	1	2	40	55.657 45	-16.186 84	-4.570 66	17	5	42	17.233 52	-15.710 73	-4.815 11	
	2	2	44	52.212 50	-16.192 01	-4.535 94	18	5	46	13.786 06	-15.756 94	-4.827 70	
	3	2	48	48.764 45	-16.247 75	-4.506 38	19	5	50	10.340 32	-15.775 11	-4.854 62	
	4	2	52	45.314 09	-16.341 41	-4.491 79	20	5	54	6.897 32	-15.748 43	-4.890 82	
	5	2	56	41.862 75	-16.451 08	-4.498 03	21	5	58	3.457 70	-15.666 63	-4.927 54	
	6	3	0	38.411 96	-16.551 84	-4.525 63	22	6	2	0.021 33	-15.531 60	-4.953 66	
	7	3	4	34.963 00	-16.622 59	-4.569 98	23	6	5	56.587 15	-15.360 74	-4.958 87	
	8	3	8	31.516 63	-16.651 13	-4.623 03	24	6	9	53.153 30	-15.184 36	-4.937 72	
	9	3	12	28.072 92	-16.636 01	-4.675 67	25	6	13	49.717 71	-15.036 47	-4.892 45	
	10	3	16	24.631 40	-16.585 18	-4.720 02	26	6	17	46.278 83	-14.942 55	-4.832 65	
	11	3	20	21.191 22	-16.512 46	-4.750 87	27	6	21	42.836 12	-14.910 96	-4.771 73	
	12	3	24	17.751 40	-16.433 75	-4.766 09	28	6	25	39.390 19	-14.932 15	-4.722 12	
13	3	28	14.311 04	-16.363 84	-4.766 35	29	6	29	35.942 37	-14.984 32	-4.691 70		
14	3	32	10.869 43	-16.314 57	-4.754 49	30	6	33	32.494 23	-15.041 75	-4.682 57		
15	3	36	7.426 06	-16.293 82	-4.734 80	31	6	37	29.047 15	-15.081 79	-4.691 70		
16	3	40	3.980 73	-16.305 18	-4.712 45	32	6	41	25.602 07	-15.089 09	-4.712 59		
17	3	44	0.533 50	-16.347 69	-4.693 03	33	6	45	22.159 39	-15.057 22	-4.737 24		





## 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 2018 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	22	58.778 83	-13	39.375 79	Févr.	15	144	43	16.173 74	-13	45.873 53
	1	100	22	6.983 07	-13	39.640 02		16	145	42	24.377 97	-13	45.956 60
	2	101	21	15.187 30	-13	39.925 30		17	146	41	32.582 21	-13	46.008 38
	3	102	20	23.391 54	-13	40.198 56		18	147	40	40.786 45	-13	46.034 59
	4	103	19	31.595 78	-13	40.430 66		19	148	39	48.990 68	-13	46.046 53
	5	104	18	39.800 01	-13	40.607 04		20	149	38	57.194 92	-13	46.059 59
	6	105	17	48.004 25	-13	40.730 54		21	150	38	5.399 16	-13	46.090 74
	7	106	16	56.208 49	-13	40.816 68		22	151	37	13.603 40	-13	46.155 03
	8	107	16	4.412 73	-13	40.886 04		23	152	36	21.807 63	-13	46.262 03
	9	108	15	12.616 96	-13	40.957 91		24	153	35	30.011 87	-13	46.412 52
	10	109	14	20.821 20	-13	41.046 83		25	154	34	38.216 11	-13	46.596 61
	11	110	13	29.025 44	-13	41.161 48		26	155	33	46.420 34	-13	46.794 46
	12	111	12	37.229 67	-13	41.304 88		27	156	32	54.624 58	-13	46.980 35
	13	112	11	45.433 91	-13	41.475 12		28	157	32	2.828 82	-13	47.130 04
14	113	10	53.638 15	-13	41.666 31	Mars	1	158	31	11.033 06	-13	47.228 80	
15	114	10	1.842 38	-13	41.869 48	2	159	30	19.237 29	-13	47.276 61		
16	115	9	10.046 62	-13	42.073 83	3	160	29	27.441 53	-13	47.287 37		
17	116	8	18.250 86	-13	42.268 05	4	161	28	35.645 77	-13	47.282 90		
18	117	7	26.455 10	-13	42.441 95	5	162	27	43.850 00	-13	47.285 07		
19	118	6	34.659 33	-13	42.588 00	6	163	26	52.054 24	-13	47.309 97		
20	119	5	42.863 57	-13	42.702 78	7	164	26	0.258 48	-13	47.365 63		
21	120	4	51.067 81	-13	42.787 87	8	165	25	8.462 72	-13	47.452 55		
22	121	3	59.272 04	-13	42.850 21	9	166	24	16.666 95	-13	47.565 67		
23	122	3	7.476 28	-13	42.901 70	10	167	23	24.871 19	-13	47.696 46		
24	123	2	15.680 52	-13	42.957 95	11	168	22	33.075 43	-13	47.834 59		
25	124	1	23.884 76	-13	43.036 18	12	169	21	41.279 66	-13	47.969 15		
26	125	0	32.088 99	-13	43.151 89	13	170	20	49.483 90	-13	48.089 68		
27	125	59	40.293 23	-13	43.314 59	14	171	19	57.688 14	-13	48.187 24		
28	126	58	48.497 47	-13	43.523 19	15	172	19	5.892 37	-13	48.255 68		
29	127	57	56.701 70	-13	43.763 22	16	173	18	14.096 61	-13	48.293 08		
30	128	57	4.905 94	-13	44.008 41	17	174	17	22.300 85	-13	48.303 12		
31	129	56	13.110 18	-13	44.228 28	18	175	16	30.505 09	-13	48.295 64		
Févr.	1	130	55	21.314 42	-13	44.399 16	19	176	15	38.709 32	-13	48.285 82	
	2	131	54	29.518 65	-13	44.513 01	20	177	14	46.913 56	-13	48.291 62	
	3	132	53	37.722 89	-13	44.578 63	21	178	13	55.117 80	-13	48.329 71	
	4	133	52	45.927 13	-13	44.615 96	22	179	13	3.322 03	-13	48.410 99	
	5	134	51	54.131 36	-13	44.647 50	23	180	12	11.526 27	-13	48.537 07	
	6	135	51	2.335 60	-13	44.691 84	24	181	11	19.730 51	-13	48.698 97	
	7	136	50	10.539 84	-13	44.760 65	25	182	10	27.934 75	-13	48.878 55	
	8	137	49	18.744 08	-13	44.858 53	26	183	9	36.138 98	-13	49.052 60	
	9	138	48	26.948 31	-13	44.984 27	27	184	8	44.343 22	-13	49.198 68	
	10	139	47	35.152 55	-13	45.132 38	28	185	7	52.547 46	-13	49.301 22	
	11	140	46	43.356 79	-13	45.294 43	29	186	7	0.751 69	-13	49.356 00	
	12	141	45	51.561 02	-13	45.460 14	30	187	6	8.955 93	-13	49.371 24	
	13	142	44	59.765 26	-13	45.618 56	31	188	5	17.160 17	-13	49.364 69	
	14	143	44	7.969 50	-13	45.759 19	Avril	1	189	4	25.364 41	-13	49.357 84

## ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2018 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	3	33.568 64	-13	49.369 63	Mai	18	235	23	50.963 55	-13	54.182 69	
	3	191	2	41.772 88	-13	49.412 16		19	236	22	59.167 79	-13	54.431 87	
	4	192	1	49.977 12	-13	49.489 29		20	237	22	7.372 02	-13	54.659 94	
	5	193	0	58.181 35	-13	49.597 67		21	238	21	15.576 26	-13	54.846 39	
	6	194	0	6.385 59	-13	49.729 06		22	239	20	23.780 50	-13	54.983 35	
	7	194	59	14.589 83	-13	49.872 64		23	240	19	31.984 74	-13	55.075 84	
	8	195	58	22.794 07	-13	50.016 91		24	241	18	40.188 97	-13	55.138 38	
	9	196	57	30.998 30	-13	50.151 01		25	242	17	48.393 21	-13	55.190 14	
	10	197	56	39.202 54	-13	50.265 63		26	243	16	56.597 45	-13	55.250 20	
	11	198	55	47.406 78	-13	50.353 96		27	244	16	4.801 68	-13	55.333 71	
	12	199	54	55.611 01	-13	50.412 74		28	245	15	13.005 92	-13	55.449 67	
	13	200	54	3.815 25	-13	50.443 46		29	246	14	21.210 16	-13	55.600 05	
	14	201	53	12.019 49	-13	50.453 47		30	247	13	29.414 40	-13	55.780 44	
	15	202	52	20.223 73	-13	50.456 20		31	248	12	37.618 63	-13	55.981 61	
	16	203	51	28.427 96	-13	50.469 79		Juin	1	249	11	45.822 87	-13	56.191 66
	17	204	50	36.632 20	-13	50.513 31			2	250	10	54.027 11	-13	56.398 18
18	205	49	44.836 44	-13	50.601 44	3	251		10	2.231 34	-13	56.590 04		
19	206	48	53.040 67	-13	50.739 11	4	252		9	10.435 58	-13	56.758 73		
20	207	48	1.244 91	-13	50.918 75	5	253		8	18.639 82	-13	56.899 19		
21	208	47	9.449 15	-13	51.121 71	6	254		7	26.844 06	-13	57.010 45		
22	209	46	17.653 39	-13	51.323 46	7	255		6	35.048 29	-13	57.096 05		
23	210	45	25.857 62	-13	51.500 49	8	256		5	43.252 53	-13	57.164 40		
24	211	44	34.061 86	-13	51.636 54	9	257		4	51.456 77	-13	57.228 87		
25	212	43	42.266 10	-13	51.726 19	10	258		3	59.661 00	-13	57.306 90		
26	213	42	50.470 33	-13	51.775 44	11	259		3	7.865 24	-13	57.417 43		
27	214	41	58.674 57	-13	51.799 29	12	260		2	16.069 48	-13	57.576 11		
28	215	41	6.878 81	-13	51.817 32	13	261		1	24.273 72	-13	57.788 89		
29	216	40	15.083 05	-13	51.848 69	14	262		0	32.477 95	-13	58.046 79		
30	217	39	23.287 28	-13	51.907 81	15	262		59	40.682 19	-13	58.325 84		
Mai	1	218	38	31.491 52	-13	52.001 83	16		263	58	48.886 43	-13	58.594 17	
	2	219	37	39.695 76	-13	52.130 30	17	264	57	57.090 66	-13	58.823 62		
	3	220	36	47.899 99	-13	52.286 58	18	265	57	5.294 90	-13	58.999 29		
	4	221	35	56.104 23	-13	52.460 09	19	266	56	13.499 14	-13	59.122 61		
	5	222	35	4.308 47	-13	52.638 70	20	267	55	21.703 37	-13	59.207 85		
	6	223	34	12.512 70	-13	52.810 65	21	268	54	29.907 61	-13	59.275 53		
	7	224	33	20.716 94	-13	52.965 82	22	269	53	38.111 85	-13	59.346 20		
	8	225	32	28.921 18	-13	53.096 73	23	270	52	46.316 09	-13	59.436 20		
	9	226	31	37.125 42	-13	53.199 25	24	271	51	54.520 32	-13	59.555 65		
	10	227	30	45.329 65	-13	53.273 38	25	272	51	2.724 56	-13	59.707 88		
	11	228	29	53.533 89	-13	53.324 15	26	273	50	10.928 80	-13	59.890 11		
	12	229	29	1.738 13	-13	53.362 22	27	274	49	19.133 03	-14	0.094 63		
	13	230	28	9.942 36	-13	53.403 69	28	275	48	27.337 27	-14	0.310 51		
	14	231	27	18.146 60	-13	53.468 08	29	276	47	35.541 51	-14	0.525 47		
	15	232	26	26.350 84	-13	53.573 83	30	277	46	43.745 75	-14	0.727 77		
	16	233	25	34.555 08	-13	53.731 97	Juill.	1	278	45	51.949 98	-14	0.907 84	
17	234	24	42.759 31	-13	53.940 47	2		279	45	0.154 22	-14	1.059 49		

## ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2018 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	44	8.358 46	-14	1.180 68	Août	18	326	4	25.753 36	-14	6.929 27
	4	281	43	16.562 69	-14	1.273 95		19	327	3	33.957 60	-14	7.046 56
	5	282	42	24.766 93	-14	1.346 42		20	328	2	42.161 84	-14	7.189 13
	6	283	41	32.971 17	-14	1.409 59		21	329	1	50.366 08	-14	7.346 96
	7	284	40	41.175 41	-14	1.478 60		22	330	0	58.570 31	-14	7.508 48
	8	285	39	49.379 64	-14	1.570 62		23	331	0	6.774 55	-14	7.662 05
	9	286	38	57.583 88	-14	1.701 87		24	331	59	14.978 79	-14	7.797 18
	10	287	38	5.788 12	-14	1.882 99		25	332	58	23.183 02	-14	7.905 86
	11	288	37	13.992 35	-14	2.113 56		26	333	57	31.387 26	-14	7.983 60
	12	289	36	22.196 59	-14	2.378 43		27	334	56	39.591 50	-14	8.030 51
	13	290	35	30.400 83	-14	2.649 25		28	335	55	47.795 74	-14	8.051 68
	14	291	34	38.605 07	-14	2.893 29		29	336	54	55.999 97	-14	8.057 01
	15	292	33	46.809 30	-14	3.085 80		30	337	54	4.204 21	-14	8.060 12
	16	293	32	55.013 54	-14	3.219 14		31	338	53	12.408 45	-14	8.076 52
	17	294	32	3.217 78	-14	3.303 44		Sept. 1	339	52	20.612 68	-14	8.121 00
	18	295	31	11.422 01	-14	3.359 97		2	340	51	28.816 92	-14	8.204 74
	19	296	30	19.626 25	-14	3.412 33		3	341	50	37.021 16	-14	8.332 31
20	297	29	27.830 49	-14	3.479 94	4	342	49	45.225 40	-14	8.499 17		
21	298	28	36.034 73	-14	3.574 91	5	343	48	53.429 63	-14	8.690 62		
22	299	27	44.238 96	-14	3.701 78	6	344	48	1.633 87	-14	8.883 39		
23	300	26	52.443 20	-14	3.858 61	7	345	47	9.838 11	-14	9.050 89		
24	301	26	0.647 44	-14	4.038 52	8	346	46	18.042 34	-14	9.171 44		
25	302	25	8.851 67	-14	4.231 43	9	347	45	26.246 58	-14	9.236 55		
26	303	24	17.055 91	-14	4.425 60	10	348	44	34.450 82	-14	9.254 59		
27	304	23	25.260 15	-14	4.609 27	11	349	43	42.655 06	-14	9.247 23		
28	305	22	33.464 39	-14	4.772 21	12	350	42	50.859 29	-14	9.240 65		
29	306	21	41.668 62	-14	4.907 13	13	351	41	59.063 53	-14	9.256 46		
30	307	20	49.872 86	-14	5.010 76	14	352	41	7.267 77	-14	9.306 57		
31	308	19	58.077 10	-14	5.084 54	15	353	40	15.472 00	-14	9.392 76		
Août 1	309	19	6.281 33	-14	5.134 69	16	354	39	23.676 24	-14	9.509 07		
2	310	18	14.485 57	-14	5.171 80	17	355	38	31.880 48	-14	9.645 09		
3	311	17	22.689 81	-14	5.209 82	18	356	37	40.084 72	-14	9.788 57		
4	312	16	30.894 05	-14	5.264 45	19	357	36	48.288 95	-14	9.927 39		
5	313	15	39.098 28	-14	5.350 83	20	358	35	56.493 19	-14	10.050 73		
6	314	14	47.302 52	-14	5.480 32	21	359	35	4.697 43	-14	10.150 08		
7	315	13	55.506 76	-14	5.656 62	22	0	34	12.901 66	-14	10.220 10		
8	316	13	3.710 99	-14	5.872 13	23	1	33	21.105 90	-14	10.259 52		
9	317	12	11.915 23	-14	6.106 72	24	2	32	29.310 14	-14	10.271 90		
10	318	11	20.119 47	-14	6.331 22	25	3	31	37.514 38	-14	10.265 94		
11	319	10	28.323 71	-14	6.516 47	26	4	30	45.718 61	-14	10.254 86		
12	320	9	36.527 94	-14	6.644 56	27	5	29	53.922 85	-14	10.254 64		
13	321	8	44.732 18	-14	6.715 86	28	6	29	2.127 09	-14	10.281 14		
14	322	7	52.936 42	-14	6.747 46	29	7	28	10.331 32	-14	10.346 63		
15	323	7	1.140 65	-14	6.764 67	30	8	27	18.535 56	-14	10.456 42		
16	324	6	9.344 89	-14	6.791 37	Oct. 1	9	26	26.739 80	-14	10.606 76		
17	325	5	17.549 13	-14	6.843 89	2	10	25	34.944 04	-14	10.784 45		

## ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2018 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	24	43.148 27	-14	10.968 87	Nov.	18	56	45	0.543 18	-14	15.727 46
	4	12	23	51.352 51	-14	11.136 31		19	57	44	8.747 42	-14	15.777 75
	5	13	22	59.556 75	-14	11.265 98		20	58	43	16.951 65	-14	15.828 49
	6	14	22	7.760 98	-14	11.346 36		21	59	42	25.155 89	-14	15.896 75
	7	15	21	15.965 22	-14	11.379 39		22	60	41	33.360 13	-14	15.999 78
	8	16	20	24.169 46	-14	11.380 41		23	61	40	41.564 37	-14	16.150 43
	9	17	19	32.373 69	-14	11.373 07		24	62	39	49.768 60	-14	16.352 00
	10	18	18	40.577 93	-14	11.381 39	25	63	38	57.972 84	-14	16.594 96	
	11	19	17	48.782 17	-14	11.422 52	26	64	38	6.177 08	-14	16.857 81	
	12	20	16	56.986 41	-14	11.503 22	27	65	37	14.381 31	-14	17.112 97	
	13	21	16	5.190 64	-14	11.620 34	28	66	36	22.585 55	-14	17.335 27	
	14	22	15	13.394 88	-14	11.763 91	29	67	35	30.789 79	-14	17.509 46	
	15	23	14	21.599 12	-14	11.920 76	30	68	34	38.994 02	-14	17.633 79	
	16	24	13	29.803 35	-14	12.077 45	Déc.	1	69	33	47.198 26	-14	17.718 99
	17	25	12	38.007 59	-14	12.222 10		2	70	32	55.402 50	-14	17.784 17
	18	26	11	46.211 83	-14	12.345 41		3	71	32	3.606 74	-14	17.851 23
	19	27	10	54.416 07	-14	12.441 30		4	72	31	11.810 97	-14	17.939 63
20	28	10	2.620 30	-14	12.507 46	5		73	30	20.015 21	-14	18.062 38	
21	29	9	10.824 54	-14	12.545 91	6		74	29	28.219 45	-14	18.224 03	
22	30	8	19.028 78	-14	12.563 56	7		75	28	36.423 68	-14	18.420 72	
23	31	7	27.233 01	-14	12.572 21	8	76	27	44.627 92	-14	18.642 06		
24	32	6	35.437 25	-14	12.587 64	9	77	26	52.832 16	-14	18.874 03		
25	33	5	43.641 49	-14	12.627 15	10	78	26	1.036 40	-14	19.102 10		
26	34	4	51.845 73	-14	12.705 73	11	79	25	9.240 63	-14	19.313 68		
27	35	4	0.049 96	-14	12.831 57	12	80	24	17.444 87	-14	19.499 81		
28	36	3	8.254 20	-14	13.002 73	13	81	23	25.649 11	-14	19.655 78		
29	37	2	16.458 44	-14	13.206 33	14	82	22	33.853 34	-14	19.781 37		
30	38	1	24.662 67	-14	13.421 13	15	83	21	42.057 58	-14	19.880 63		
31	39	0	32.866 91	-14	13.622 87	16	84	20	50.261 82	-14	19.961 74		
Nov.	1	39	59	41.071 15	-14	13.790 57	17	85	19	58.466 06	-14	20.036 68	
2	40	58	49.275 39	-14	13.912 08	18	86	19	6.670 29	-14	20.120 58		
3	41	57	57.479 62	-14	13.987 18	19	87	18	14.874 53	-14	20.230 23		
4	42	57	5.683 86	-14	14.027 52	20	88	17	23.078 77	-14	20.381 04		
5	43	56	13.888 10	-14	14.053 19	21	89	16	31.283 00	-14	20.582 42		
6	44	55	22.092 33	-14	14.087 05	22	90	15	39.487 24	-14	20.832 63		
7	45	54	30.296 57	-14	14.148 45	23	91	14	47.691 48	-14	21.115 71		
8	46	53	38.500 81	-14	14.248 59	24	92	13	55.895 72	-14	21.403 82		
9	47	52	46.705 05	-14	14.388 78	25	93	13	4.099 95	-14	21.665 76		
10	48	51	54.909 28	-14	14.561 73	26	94	12	12.304 19	-14	21.878 19		
11	49	51	3.113 52	-14	14.754 74	27	95	11	20.508 43	-14	22.033 41		
12	50	50	11.317 76	-14	14.953 25	28	96	10	28.712 66	-14	22.140 23		
13	51	49	19.521 99	-14	15.143 67	29	97	9	36.916 90	-14	22.218 64		
14	52	48	27.726 23	-14	15.315 15	30	98	8	45.121 14	-14	22.292 24		
15	53	47	35.930 47	-14	15.460 45	31	99	7	53.325 38	-14	22.381 82		
16	54	46	44.134 71	-14	15.576 30	32	100	7	1.529 61	-14	22.501 44		
17	55	45	52.338 94	-14	15.663 56	33	101	6	9.733 85	-14	22.656 99		



## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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



## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2018 à 0h TT

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

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$		
	"	"	"		"	"	"		
Janv.	0	355.979 60	-8.066 52	0.005 59	Févr.	15	358.806 21	-6.960 18	0.004 58
	1	356.094 19	-8.080 48	0.005 60		16	358.842 58	-6.901 81	0.004 53
	2	356.218 01	-8.069 89	0.005 59		17	358.865 37	-6.847 26	0.004 48
	3	356.336 74	-8.033 03	0.005 55		18	358.877 04	-6.802 59	0.004 44
	4	356.437 71	-7.976 73	0.005 50		19	358.882 46	-6.772 57	0.004 41
	5	356.514 55	-7.913 33	0.005 45		20	358.888 29	-6.759 58	0.004 40
	6	356.568 45	-7.855 51	0.005 39		21	358.901 89	-6.762 71	0.004 40
	7	356.606 10	-7.812 25	0.005 36		22	358.929 81	-6.777 50	0.004 42
	8	356.636 38	-7.787 27	0.005 33		23	358.976 22	-6.796 41	0.004 43
	9	356.667 68	-7.779 66	0.005 33		24	359.041 51	-6.810 01	0.004 44
	10	356.706 32	-7.785 34	0.005 33		25	359.121 42	-6.809 14	0.004 44
	11	356.756 07	-7.798 68	0.005 34		26	359.207 39	-6.787 47	0.004 42
	12	356.818 28	-7.813 56	0.005 35		27	359.288 28	-6.743 92	0.004 38
	13	356.892 15	-7.824 30	0.005 36		28	359.353 54	-6.683 81	0.004 33
14	356.975 13	-7.826 13	0.005 36	Mars 1	359.396 75	-6.617 69	0.004 27		
15	357.063 36	-7.815 75	0.005 35	2	359.417 86	-6.557 92	0.004 22		
16	357.152 16	-7.791 57	0.005 33	3	359.422 83	-6.514 56	0.004 18		
17	357.236 62	-7.754 03	0.005 29	4	359.421 10	-6.492 35	0.004 16		
18	357.312 32	-7.705 54	0.005 25	5	359.422 16	-6.490 28	0.004 16		
19	357.375 98	-7.650 30	0.005 20	6	359.433 02	-6.503 08	0.004 17		
20	357.426 09	-7.593 74	0.005 15	7	359.457 17	-6.523 49	0.004 19		
21	357.463 32	-7.541 84	0.005 11	8	359.494 88	-6.544 24	0.004 20		
22	357.490 63	-7.500 17	0.005 07	9	359.543 97	-6.559 30	0.004 22		
23	357.513 18	-7.472 96	0.005 05	10	359.600 76	-6.564 40	0.004 22		
24	357.537 73	-7.462 11	0.005 04	11	359.660 78	-6.557 14	0.004 21		
25	357.571 73	-7.466 36	0.005 04	12	359.719 31	-6.536 98	0.004 19		
26	357.621 94	-7.480 76	0.005 05	13	359.771 82	-6.505 24	0.004 17		
27	357.692 50	-7.496 82	0.005 06	14	359.814 40	-6.464 97	0.004 13		
28	357.783 00	-7.503 92	0.005 07	15	359.844 37	-6.420 89	0.004 09		
29	357.887 21	-7.492 06	0.005 05	16	359.860 89	-6.378 94	0.004 05		
30	357.993 76	-7.455 61	0.005 02	17	359.865 50	-6.345 52	0.004 02		
31	358.089 44	-7.396 31	0.004 97	18	359.862 46	-6.326 30	0.004 01		
Févr.	1	358.163 94	-7.323 31	0.004 90	19	359.858 33	-6.324 78	0.004 01	
	2	358.213 73	-7.249 81	0.004 84	20	359.860 89	-6.340 99	0.004 02	
	3	358.242 56	-7.187 94	0.004 78	21	359.877 39	-6.370 94	0.004 05	
	4	358.259 03	-7.145 00	0.004 75	22	359.912 58	-6.407 07	0.004 08	
	5	358.272 92	-7.122 32	0.004 73	23	359.967 21	-6.439 83	0.004 11	
	6	358.292 27	-7.116 53	0.004 72	24	360.037 42	-6.459 99	0.004 12	
	7	358.322 19	-7.121 61	0.004 73	25	360.115 38	-6.461 11	0.004 12	
	8	358.364 69	-7.130 80	0.004 73	26	360.191 03	-6.441 39	0.004 10	
9	358.419 28	-7.137 80	0.004 74	27	360.254 64	-6.404 53	0.004 07		
10	358.483 60	-7.137 48	0.004 74	28	360.299 40	-6.358 89	0.004 03		
11	358.554 01	-7.126 19	0.004 73	29	360.323 46	-6.315 35	0.003 99		
12	358.626 06	-7.101 98	0.004 70	30	360.330 33	-6.284 17	0.003 96		
13	358.695 00	-7.064 73	0.004 67	31	360.327 66	-6.272 13	0.003 95		
14	358.756 29	-7.016 23	0.004 63	Avril 1	360.324 77	-6.280 87	0.003 96		

## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2018 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE  $s$ 

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$
	"	"	"		"	"	"
<b>Avril</b> 2	360.329 89	-6.307 13	0.003 98	<b>Mai</b> 18	362.419 20	-6.931 55	0.004 50
3	360.348 29	-6.344 35	0.004 02	19	362.527 32	-6.935 74	0.004 50
4	360.381 67	-6.384 81	0.004 05	20	362.626 39	-6.917 72	0.004 48
5	360.428 61	-6.421 45	0.004 08	21	362.707 48	-6.885 45	0.004 45
6	360.485 57	-6.448 94	0.004 10	22	362.767 13	-6.849 88	0.004 42
7	360.547 87	-6.464 10	0.004 12	23	362.807 47	-6.821 63	0.004 39
8	360.610 52	-6.465 90	0.004 12	24	362.834 76	-6.808 40	0.004 38
9	360.668 82	-6.455 22	0.004 11	25	362.857 30	-6.813 72	0.004 39
10	360.718 71	-6.434 70	0.004 09	26	362.883 35	-6.836 85	0.004 41
11	360.757 24	-6.408 46	0.004 07	27	362.919 51	-6.873 58	0.004 44
12	360.782 96	-6.381 95	0.004 04	28	362.969 71	-6.917 49	0.004 48
13	360.796 49	-6.361 38	0.004 02	29	363.034 83	-6.961 40	0.004 51
14	360.800 98	-6.352 91	0.004 02	30	363.112 98	-6.998 73	0.004 54
15	360.802 26	-6.361 29	0.004 02	31	363.200 19	-7.024 56	0.004 57
16	360.808 15	-6.388 33	0.004 05	<b>Juin</b> 1	363.291 32	-7.036 15	0.004 57
17	360.826 95	-6.431 53	0.004 08	2	363.380 97	-7.033 12	0.004 57
18	360.865 05	-6.483 86	0.004 13	3	363.464 33	-7.017 24	0.004 55
19	360.924 62	-6.535 17	0.004 17	4	363.537 69	-6.991 97	0.004 53
20	361.002 44	-6.574 90	0.004 21	5	363.598 83	-6.962 03	0.004 50
21	361.090 45	-6.595 32	0.004 22	6	363.647 31	-6.932 88	0.004 48
22	361.178 04	-6.593 82	0.004 22	7	363.684 63	-6.910 22	0.004 46
23	361.254 99	-6.573 63	0.004 20	8	363.714 43	-6.899 29	0.004 45
24	361.314 22	-6.542 63	0.004 17	9	363.742 48	-6.904 00	0.004 45
25	361.353 35	-6.511 06	0.004 15	10	363.776 32	-6.925 75	0.004 47
26	361.374 92	-6.488 84	0.004 13	11	363.824 19	-6.962 11	0.004 50
27	361.385 41	-6.483 15	0.004 12	12	363.892 90	-7.006 06	0.004 54
28	361.393 29	-6.496 97	0.004 13	13	363.985 07	-7.046 63	0.004 57
29	361.406 87	-6.528 79	0.004 16	14	364.096 87	-7.071 70	0.004 59
30	361.432 43	-6.573 47	0.004 20	15	364.217 95	-7.072 44	0.004 59
<b>Mai</b> 1	361.473 09	-6.623 81	0.004 24	16	364.334 50	-7.047 17	0.004 57
2	361.528 70	-6.672 36	0.004 28	17	364.434 28	-7.002 27	0.004 53
3	361.596 39	-6.712 89	0.004 32	18	364.510 78	-6.949 50	0.004 48
4	361.671 60	-6.741 20	0.004 34	19	364.564 57	-6.901 45	0.004 43
5	361.749 09	-6.755 45	0.004 35	20	364.601 78	-6.867 65	0.004 40
6	361.823 75	-6.756 00	0.004 35	21	364.631 31	-6.852 73	0.004 39
7	361.891 18	-6.745 10	0.004 34	22	364.662 04	-6.856 47	0.004 39
8	361.948 13	-6.726 53	0.004 32	23	364.701 09	-6.874 89	0.004 41
9	361.992 79	-6.705 26	0.004 31	24	364.752 87	-6.901 82	0.004 43
10	362.025 13	-6.687 04	0.004 29	25	364.818 85	-6.930 28	0.004 46
11	362.047 30	-6.677 90	0.004 28	26	364.897 86	-6.953 70	0.004 47
12	362.063 90	-6.683 14	0.004 28	27	364.986 57	-6.966 80	0.004 48
13	362.081 90	-6.706 11	0.004 30	28	365.080 27	-6.966 25	0.004 48
14	362.109 76	-6.746 60	0.004 34	29	365.173 64	-6.950 96	0.004 47
15	362.155 49	-6.799 65	0.004 39	30	365.261 57	-6.922 04	0.004 44
16	362.223 92	-6.855 79	0.004 43	<b>Juill.</b> 1	365.339 92	-6.882 55	0.004 40
17	362.314 21	-6.903 20	0.004 47	2	365.405 97	-6.837 01	0.004 36

## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2018 à 0h TT

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

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$
	"	"	"		"	"	"
<b>Juill.</b>	3 365.458 83	-6.790 78	0.004 32	<b>Août</b>	18 367.960 43	-5.773 66	0.003 38
	4 365.499 55	-6.749 46	0.004 28		19 368.011 33	-5.785 55	0.003 39
	5 365.531 22	-6.718 18	0.004 26		20 368.073 23	-5.789 92	0.003 39
	6 365.558 80	-6.700 91	0.004 24		21 368.141 79	-5.782 62	0.003 38
	7 365.588 83	-6.699 62	0.004 24		22 368.212 02	-5.761 69	0.003 36
	8 365.628 77	-6.713 35	0.004 25		23 368.278 85	-5.727 24	0.003 33
	9 365.685 67	-6.737 42	0.004 27		24 368.337 75	-5.681 34	0.003 29
	10 365.764 18	-6.763 27	0.004 29		25 368.385 21	-5.627 76	0.003 24
	11 365.864 17	-6.779 65	0.004 30		26 368.419 27	-5.571 59	0.003 19
	12 365.979 11	-6.775 72	0.004 30		27 368.439 95	-5.518 58	0.003 14
	13 366.096 75	-6.745 40	0.004 27		28 368.449 44	-5.474 39	0.003 10
	14 366.202 89	-6.690 68	0.004 22		29 368.452 00	-5.443 60	0.003 08
	15 366.286 76	-6.621 55	0.004 16		30 368.453 53	-5.428 84	0.003 06
	16 366.344 99	-6.552 05	0.004 09		31 368.460 75	-5.430 06	0.003 06
	17 366.381 90	-6.494 83	0.004 04	<b>Sept.</b>	1 368.480 08	-5.444 14	0.003 08
	18 366.406 68	-6.457 29	0.004 01		2 368.516 40	-5.465 03	0.003 09
	19 366.429 57	-6.440 65	0.003 99		3 368.571 73	-5.484 39	0.003 11
	20 366.458 99	-6.441 23	0.003 99		4 368.644 13	-5.493 04	0.003 12
	21 366.500 22	-6.452 58	0.004 00		5 368.727 28	-5.483 07	0.003 11
	22 366.555 26	-6.467 35	0.004 02		6 368.811 10	-5.450 42	0.003 08
	23 366.623 31	-6.478 69	0.004 02		7 368.884 06	-5.397 08	0.003 03
	24 366.701 40	-6.481 08	0.004 03		8 368.936 73	-5.331 61	0.002 97
	25 366.785 18	-6.470 84	0.004 02		9 368.965 36	-5.267 00	0.002 91
	26 366.869 57	-6.446 37	0.003 99		10 368.973 52	-5.216 29	0.002 87
	27 366.949 47	-6.408 19	0.003 96		11 368.970 57	-5.187 91	0.002 84
	28 367.020 44	-6.358 85	0.003 91		12 368.967 85	-5.183 31	0.002 84
	29 367.079 28	-6.302 54	0.003 86		13 368.974 76	-5.197 68	0.002 85
	30 367.124 57	-6.244 57	0.003 81		14 368.996 48	-5.222 67	0.002 87
	31 367.156 91	-6.190 62	0.003 76		15 369.033 84	-5.249 32	0.002 89
<b>Août</b>	1 367.178 96	-6.146 00	0.003 72		16 369.084 29	-5.270 16	0.002 91
	2 367.195 29	-6.114 81	0.003 69		17 369.143 33	-5.280 10	0.002 92
	3 367.211 95	-6.099 25	0.003 68		18 369.205 66	-5.276 58	0.002 92
	4 367.235 75	-6.098 89	0.003 68		19 369.266 03	-5.259 34	0.002 90
	5 367.273 25	-6.110 21	0.003 69		20 369.319 74	-5.230 12	0.002 87
	6 367.329 42	-6.126 45	0.003 70		21 369.363 10	-5.192 29	0.002 84
	7 367.405 90	-6.138 26	0.003 71		22 369.393 75	-5.150 61	0.002 80
	8 367.499 44	-6.135 40	0.003 71		23 369.411 13	-5.110 70	0.002 77
	9 367.601 36	-6.109 83	0.003 68		24 369.416 76	-5.078 42	0.002 74
	10 367.699 01	-6.059 21	0.003 64		25 369.414 39	-5.058 99	0.002 72
	11 367.779 74	-5.989 08	0.003 57		26 369.409 72	-5.055 88	0.002 72
	12 367.835 72	-5.911 71	0.003 50		27 369.409 68	-5.069 84	0.002 73
	13 367.867 06	-5.841 58	0.003 44		28 369.421 16	-5.098 29	0.002 75
	14 367.881 10	-5.789 89	0.003 39		29 369.449 50	-5.135 33	0.002 79
	15 367.888 79	-5.761 23	0.003 37		30 369.497 05	-5.172 66	0.002 82
	16 367.900 51	-5.753 56	0.003 36	<b>Oct.</b>	1 369.562 20	-5.201 18	0.002 84
	17 367.923 36	-5.760 42	0.003 37		2 369.639 29	-5.213 11	0.002 85

## SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2018 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE  $s$ 

Date	X	Y	$s$	Date	X	Y	$s$
	"	"	"		"	"	"
<b>Oct.</b>	3 369.719 40	-5.204 07	0.002 84	<b>Nov.</b>	18 371.786 68	-5.464 84	0.003 05
	4 369.792 23	-5.174 72	0.002 82		19 371.808 60	-5.467 02	0.003 05
	5 369.848 76	-5.131 27	0.002 78		20 371.830 63	-5.485 42	0.003 07
	6 369.883 93	-5.084 31	0.002 74		21 371.860 19	-5.520 46	0.003 10
	7 369.898 55	-5.045 99	0.002 70		22 371.904 76	-5.568 85	0.003 14
	8 369.899 20	-5.026 31	0.002 68		23 371.969 94	-5.623 25	0.003 19
	9 369.896 12	-5.029 96	0.002 69		24 372.057 21	-5.673 34	0.003 24
	10 369.899 73	-5.055 23	0.002 71		25 372.162 49	-5.708 42	0.003 27
	11 369.917 51	-5.095 26	0.002 74		26 372.276 50	-5.720 92	0.003 28
	12 369.952 41	-5.140 82	0.002 79		27 372.387 28	-5.709 21	0.003 26
	13 370.003 11	-5.183 05	0.002 82		28 372.483 91	-5.678 31	0.003 24
	14 370.065 33	-5.215 33	0.002 85		29 372.559 72	-5.638 22	0.003 20
	15 370.133 36	-5.233 94	0.002 87		30 372.613 91	-5.600 69	0.003 16
	16 370.201 39	-5.237 94	0.002 87	<b>Déc.</b>	1 372.651 08	-5.575 92	0.003 14
	17 370.264 26	-5.228 71	0.002 86		2 372.679 48	-5.570 24	0.003 13
	18 370.317 92	-5.209 39	0.002 84		3 372.708 60	-5.585 00	0.003 15
	19 370.359 72	-5.184 41	0.002 82		4 372.746 90	-5.616 91	0.003 18
	20 370.388 63	-5.159 13	0.002 80		5 372.800 04	-5.659 23	0.003 21
	21 370.405 52	-5.139 33	0.002 78		6 372.870 04	-5.703 59	0.003 25
	22 370.413 33	-5.130 54	0.002 77		7 372.955 25	-5.741 92	0.003 29
	23 370.417 17	-5.137 14	0.002 78		8 373.051 20	-5.768 01	0.003 31
	24 370.423 88	-5.161 18	0.002 80		9 373.151 83	-5.778 40	0.003 32
	25 370.440 95	-5.201 34	0.002 83		10 373.250 84	-5.772 63	0.003 31
	26 370.474 90	-5.252 47	0.002 88		11 373.342 77	-5.752 83	0.003 29
	27 370.529 34	-5.306 15	0.002 93		12 373.423 70	-5.723 00	0.003 26
	28 370.603 45	-5.352 42	0.002 97		13 373.491 59	-5.688 26	0.003 23
	29 370.691 69	-5.382 45	0.002 99		14 373.546 30	-5.654 16	0.003 20
	30 370.784 89	-5.391 08	0.003 00		15 373.589 58	-5.626 09	0.003 17
	31 370.872 52	-5.378 41	0.002 99		16 373.624 94	-5.608 80	0.003 16
<b>Nov.</b>	1 370.945 47	-5.350 02	0.002 96		17 373.657 55	-5.605 77	0.003 15
	2 370.998 42	-5.315 51	0.002 93		18 373.693 98	-5.618 50	0.003 16
	3 371.031 24	-5.286 08	0.002 90		19 373.741 51	-5.645 62	0.003 19
	4 371.048 91	-5.271 57	0.002 89		20 373.806 83	-5.682 10	0.003 22
	5 371.060 13	-5.277 86	0.002 89		21 373.894 08	-5.719 19	0.003 25
	6 371.074 81	-5.305 52	0.002 92		22 374.002 53	-5.745 76	0.003 28
	7 371.101 35	-5.349 99	0.002 96		23 374.125 33	-5.751 48	0.003 28
	8 371.144 65	-5.403 21	0.003 01		24 374.250 43	-5.730 85	0.003 26
	9 371.205 30	-5.456 10	0.003 05		25 374.364 30	-5.686 06	0.003 22
	10 371.280 20	-5.500 77	0.003 09		26 374.456 77	-5.626 65	0.003 16
	11 371.363 86	-5.531 97	0.003 12		27 374.524 45	-5.566 01	0.003 11
	12 371.449 96	-5.547 54	0.003 13		28 374.571 10	-5.516 59	0.003 06
	13 371.532 63	-5.548 15	0.003 13		29 374.605 34	-5.486 32	0.003 03
	14 371.607 14	-5.536 59	0.003 12		30 374.637 40	-5.477 32	0.003 02
	15 371.670 34	-5.517 16	0.003 10		31 374.676 30	-5.486 61	0.003 03
	16 371.720 78	-5.495 03	0.003 08		32 374.728 17	-5.507 73	0.003 05
	17 371.758 81	-5.475 76	0.003 06		33 374.795 61	-5.532 66	0.003 07



## 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 2018 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 14 45.33	+7.93	0.983 319 31	Févr.	15 325 59 51.09	+4.16	0.987 715 07
	1	280 15 52.87	+7.97	0.983 301 01		16 327 0 28.38	+3.89	0.987 913 12
	2	281 17 0.40	+8.04	0.983 289 36		17 328 1 4.20	+3.63	0.988 113 51
	3	282 18 7.99	+8.12	0.983 284 45		18 329 1 38.47	+3.38	0.988 316 19
	4	283 19 15.67	+8.21	0.983 286 21		19 330 2 11.10	+3.15	0.988 521 15
	5	284 20 23.49	+8.31	0.983 294 50		20 331 2 42.02	+2.94	0.988 728 45
	6	285 21 31.48	+8.39	0.983 309 05		21 332 3 11.15	+2.76	0.988 938 19
	7	286 22 39.63	+8.46	0.983 329 57		22 333 3 38.43	+2.61	0.989 150 52
	8	287 23 47.94	+8.51	0.983 355 75		23 334 4 3.81	+2.49	0.989 365 66
	9	288 24 56.36	+8.53	0.983 387 27		24 335 4 27.24	+2.41	0.989 583 83
	10	289 26 4.87	+8.51	0.983 423 84		25 336 4 48.70	+2.35	0.989 805 30
	11	290 27 13.41	+8.47	0.983 465 19		26 337 5 8.18	+2.32	0.990 030 36
	12	291 28 21.92	+8.39	0.983 511 07		27 338 5 25.69	+2.30	0.990 259 25
	13	292 29 30.32	+8.29	0.983 561 29		28 339 5 41.26	+2.29	0.990 492 18
14	293 30 38.55	+8.15	0.983 615 64	Mars	1 340 5 54.95	+2.29	0.990 729 30	
15	294 31 46.54	+7.99	0.983 673 98		2 341 6 6.79	+2.28	0.990 970 65	
16	295 32 54.19	+7.81	0.983 736 18		3 342 6 16.86	+2.25	0.991 216 17	
17	296 34 1.42	+7.61	0.983 802 16		4 343 6 25.20	+2.20	0.991 465 71	
18	297 35 8.16	+7.40	0.983 871 86		5 344 6 31.88	+2.12	0.991 719 05	
19	298 36 14.31	+7.18	0.983 945 26		6 345 6 36.91	+2.02	0.991 975 90	
20	299 37 19.78	+6.96	0.984 022 38		7 346 6 40.32	+1.88	0.992 235 94	
21	300 38 24.50	+6.75	0.984 103 30		8 347 6 42.12	+1.71	0.992 498 84	
22	301 39 28.38	+6.55	0.984 188 11		9 348 6 42.31	+1.51	0.992 764 28	
23	302 40 31.33	+6.37	0.984 276 97		10 349 6 40.89	+1.29	0.993 031 93	
24	303 41 33.30	+6.22	0.984 370 07		11 350 6 37.82	+1.05	0.993 301 46	
25	304 42 34.22	+6.09	0.984 467 63		12 351 6 33.10	+0.78	0.993 572 58	
26	305 43 34.05	+5.99	0.984 569 92		13 352 6 26.68	+0.51	0.993 844 98	
27	306 44 32.74	+5.92	0.984 677 24		14 353 6 18.54	+0.23	0.994 118 38	
28	307 45 30.27	+5.89	0.984 789 89	15 354 6 8.63	-0.05	0.994 392 51		
29	308 46 26.66	+5.88	0.984 908 15	16 355 5 56.89	-0.33	0.994 667 14		
30	309 47 21.92	+5.89	0.985 032 27	17 356 5 43.27	-0.59	0.994 942 04		
31	310 48 16.08	+5.92	0.985 162 41	18 357 5 27.71	-0.84	0.995 217 06		
Févr.	1	311 49 9.21	+5.96	0.985 298 63	19 358 5 10.14	-1.06	0.995 492 08	
	2	312 50 1.34	+5.99	0.985 440 87	20 359 4 50.49	-1.26	0.995 767 04	
	3	313 50 52.53	+6.01	0.985 588 97	21 0 4 28.69	-1.42	0.996 041 96	
	4	314 51 42.80	+6.01	0.985 742 68	22 1 4 4.67	-1.56	0.996 316 92	
	5	315 52 32.18	+5.98	0.985 901 69	23 2 3 38.39	-1.66	0.996 592 07	
	6	316 53 20.65	+5.92	0.986 065 67	24 3 3 9.79	-1.73	0.996 867 61	
	7	317 54 8.21	+5.83	0.986 234 29	25 4 2 38.86	-1.78	0.997 143 78	
	8	318 54 54.84	+5.71	0.986 407 23	26 5 2 5.59	-1.81	0.997 420 83	
	9	319 55 40.49	+5.56	0.986 584 16	27 6 1 29.98	-1.82	0.997 699 04	
	10	320 56 25.12	+5.37	0.986 764 82	28 7 0 52.06	-1.83	0.997 978 62	
	11	321 57 8.69	+5.17	0.986 948 91	29 8 0 11.88	-1.85	0.998 259 78	
	12	322 57 51.13	+4.94	0.987 136 20	30 8 59 29.49	-1.87	0.998 542 63	
	13	323 58 32.39	+4.69	0.987 326 46	31 9 58 44.97	-1.92	0.998 827 22	
	14	324 59 12.40	+4.43	0.987 519 47	Avril	1 10 57 58.36	-1.99	0.999 113 51

## SOLEIL 2018 à 0h TT

## LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.				
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua				
Avril	2	11 57	9.76	-2.08	0.999 401 39	Mai	18	56 46	22.63	-8.14	1.011 428 87
	3	12 56	19.21	-2.21	0.999 690 66		19	57 44	11.18	-8.09	1.011 629 90
	4	13 55	26.77	-2.36	0.999 981 10		20	58 41	58.09	-8.02	1.011 826 49
	5	14 54	32.48	-2.54	1.000 272 42		21	59 39	43.34	-7.95	1.012 018 91
	6	15 53	36.38	-2.74	1.000 564 34		22	60 37	26.94	-7.89	1.012 207 43
	7	16 52	38.50	-2.97	1.000 856 53		23	61 35	8.90	-7.83	1.012 392 34
	8	17 51	38.85	-3.21	1.001 148 70		24	62 32	49.27	-7.78	1.012 573 94
	9	18 50	37.44	-3.46	1.001 440 52		25	63 30	28.09	-7.76	1.012 752 45
	10	19 49	34.28	-3.72	1.001 731 68		26	64 28	5.43	-7.76	1.012 928 07
	11	20 48	29.37	-3.98	1.002 021 85		27	65 25	41.35	-7.78	1.013 100 96
	12	21 47	22.68	-4.24	1.002 310 74		28	66 23	15.95	-7.83	1.013 271 21
13	22 46	14.21	-4.48	1.002 598 03	29	67 20	49.29	-7.91	1.013 438 86		
14	23 45	3.92	-4.71	1.002 883 43	30	68 18	21.46	-8.01	1.013 603 90		
15	24 43	51.78	-4.91	1.003 166 68	31	69 15	52.54	-8.13	1.013 766 28		
16	25 42	37.74	-5.09	1.003 447 58	Juin	1	70 13	22.60	-8.27	1.013 925 88	
17	26 41	21.74	-5.24	1.003 725 95		2	71 10	51.73	-8.42	1.014 082 56	
18	27 40	3.71	-5.35	1.004 001 72		3	72 8	19.98	-8.57	1.014 236 16	
19	28 38	43.62	-5.43	1.004 274 90		4	73 5	47.43	-8.73	1.014 386 48	
20	29 37	21.39	-5.48	1.004 545 58		5	74 3	14.13	-8.88	1.014 533 28	
21	30 35	56.99	-5.50	1.004 813 90		6	75 0	40.13	-9.02	1.014 676 33	
22	31 34	30.39	-5.51	1.005 080 10		7	75 58	5.48	-9.14	1.014 815 34	
23	32 33	1.58	-5.50	1.005 344 44		8	76 55	30.22	-9.24	1.014 950 05	
24	33 31	30.56	-5.48	1.005 607 18		9	77 52	54.38	-9.32	1.015 080 13	
25	34 29	57.37	-5.47	1.005 868 58		10	78 50	17.96	-9.36	1.015 205 28	
26	35 28	22.04	-5.46	1.006 128 89		11	79 47	40.99	-9.37	1.015 325 16	
27	36 26	44.63	-5.48	1.006 388 27	12	80 45	3.44	-9.35	1.015 439 49		
28	37 25	5.21	-5.51	1.006 646 86	13	81 42	25.29	-9.29	1.015 547 99		
29	38 23	23.85	-5.57	1.006 904 72	14	82 39	46.50	-9.20	1.015 650 49		
30	39 21	40.63	-5.65	1.007 161 85	15	83 37	7.01	-9.09	1.015 746 89		
Mai	1	40 19	55.63	-5.76	1.007 418 17	16	84 34	26.79	-8.96	1.015 837 23	
	2	41 18	8.91	-5.90	1.007 673 57	17	85 31	45.78	-8.82	1.015 921 65	
	3	42 16	20.55	-6.06	1.007 927 86	18	86 29	3.96	-8.68	1.016 000 38	
	4	43 14	30.61	-6.24	1.008 180 83	19	87 26	21.30	-8.55	1.016 073 71	
	5	44 12	39.15	-6.44	1.008 432 25	20	88 23	37.84	-8.43	1.016 141 96	
	6	45 10	46.20	-6.65	1.008 681 85	21	89 20	53.57	-8.34	1.016 205 44	
	7	46 8	51.82	-6.86	1.008 929 35	22	90 18	8.56	-8.27	1.016 264 46	
	8	47 6	56.04	-7.08	1.009 174 47	23	91 15	22.85	-8.22	1.016 319 27	
	9	48 4	58.88	-7.29	1.009 416 91	24	92 12	36.50	-8.20	1.016 370 12	
	10	49 3	0.37	-7.48	1.009 656 34	25	93 9	49.59	-8.21	1.016 417 17	
	11	50 1	0.51	-7.66	1.009 892 47	26	94 7	2.19	-8.25	1.016 460 57	
12	50 58	59.32	-7.82	1.010 124 96	27	95 4	14.38	-8.30	1.016 500 41		
13	51 56	56.78	-7.96	1.010 353 50	28	96 1	26.24	-8.37	1.016 536 75		
14	52 54	52.86	-8.06	1.010 577 81	29	96 58	37.86	-8.45	1.016 569 60		
15	53 52	47.53	-8.13	1.010 797 63	30	97 55	49.32	-8.54	1.016 598 94		
16	54 50	40.76	-8.16	1.011 012 79	Juill.	1	98 53	0.68	-8.63	1.016 624 68	
17	55 48	32.47	-8.16	1.011 223 20		2	99 50	12.04	-8.72	1.016 646 73	



## SOLEIL 2018 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	100 47 23.46	-8.80	1.016 664 96	<b>Août</b>	18	144 46 11.10	-3.86	1.012 333 93
	4	101 44 35.02	-8.86	1.016 679 20		19	145 43 53.59	-3.78	1.012 134 33
	5	102 41 46.76	-8.90	1.016 689 25		20	146 41 37.14	-3.71	1.011 931 38
	6	103 38 58.76	-8.92	1.016 694 88		21	147 39 21.81	-3.67	1.011 725 35
	7	104 36 11.05	-8.91	1.016 695 84		22	148 37 7.62	-3.64	1.011 516 53
	8	105 33 23.69	-8.86	1.016 691 84		23	149 34 54.65	-3.63	1.011 305 16
	9	106 30 36.69	-8.78	1.016 682 57		24	150 32 42.95	-3.62	1.011 091 43
	10	107 27 50.06	-8.67	1.016 667 72		25	151 30 32.59	-3.61	1.010 875 55
	11	108 25 3.81	-8.52	1.016 647 00		26	152 28 23.62	-3.59	1.010 657 66
	12	109 22 17.90	-8.35	1.016 620 14		27	153 26 16.13	-3.56	1.010 437 87
	13	110 19 32.30	-8.16	1.016 586 98		28	154 24 10.19	-3.52	1.010 216 26
	14	111 16 46.96	-7.95	1.016 547 43		29	155 22 5.87	-3.46	1.009 992 86
15	112 14 1.82	-7.74	1.016 501 56	30	156 20 3.25	-3.37	1.009 767 65		
16	113 11 16.84	-7.54	1.016 449 52	31	157 18 2.39	-3.25	1.009 540 58		
17	114 8 31.99	-7.35	1.016 391 58	<b>Sept.</b>	1	158 16 3.36	-3.10	1.009 311 52	
18	115 5 47.26	-7.18	1.016 328 05		2	159 14 6.21	-2.92	1.009 080 32	
19	116 3 2.65	-7.03	1.016 259 28		3	160 12 11.01	-2.70	1.008 846 77	
20	117 0 18.19	-6.92	1.016 185 61		4	161 10 17.77	-2.47	1.008 610 63	
21	117 57 33.91	-6.83	1.016 107 35		5	162 8 26.54	-2.20	1.008 371 63	
22	118 54 49.86	-6.77	1.016 024 80		6	163 6 37.30	-1.92	1.008 129 50	
23	119 52 6.10	-6.74	1.015 938 23		7	164 4 50.04	-1.64	1.007 883 98	
24	120 49 22.69	-6.72	1.015 847 85		8	165 3 4.73	-1.35	1.007 634 85	
25	121 46 39.70	-6.73	1.015 753 85		9	166 1 21.33	-1.07	1.007 381 98	
26	122 43 57.20	-6.75	1.015 656 40		10	166 59 39.76	-0.81	1.007 125 34	
27	123 41 15.27	-6.78	1.015 555 61		11	167 57 59.96	-0.57	1.006 864 99	
28	124 38 33.98	-6.81	1.015 451 56		12	168 56 21.88	-0.36	1.006 601 12	
29	125 35 53.42	-6.85	1.015 344 29	13	169 54 45.47	-0.18	1.006 333 98		
30	126 33 13.66	-6.87	1.015 233 82	14	170 53 10.69	-0.03	1.006 063 88		
31	127 30 34.79	-6.88	1.015 120 11	15	171 51 37.53	+0.09	1.005 791 16		
<b>Août</b>	1	128 27 56.86	-6.87	1.015 003 09	16	172 50 5.98	+0.18	1.005 516 17	
	2	129 25 19.97	-6.84	1.014 882 64	17	173 48 36.04	+0.25	1.005 239 26	
	3	130 22 44.17	-6.78	1.014 758 62	18	174 47 7.72	+0.30	1.004 960 75	
	4	131 20 9.53	-6.69	1.014 630 83	19	175 45 41.06	+0.34	1.004 680 97	
	5	132 17 36.10	-6.56	1.014 499 06	20	176 44 16.07	+0.37	1.004 400 20	
	6	133 15 3.91	-6.41	1.014 363 03	21	177 42 52.79	+0.39	1.004 118 74	
	7	134 12 33.01	-6.22	1.014 222 46	22	178 41 31.27	+0.42	1.003 836 86	
	8	135 10 3.39	-6.00	1.014 077 05	23	179 40 11.54	+0.46	1.003 554 78	
	9	136 7 35.06	-5.76	1.013 926 53	24	180 38 53.67	+0.52	1.003 272 73	
	10	137 5 7.98	-5.51	1.013 770 66	25	181 37 37.71	+0.59	1.002 990 88	
	11	138 2 42.11	-5.24	1.013 609 27	26	182 36 23.72	+0.69	1.002 709 36	
	12	139 0 17.41	-4.98	1.013 442 31	27	183 35 11.77	+0.81	1.002 428 27	
13	139 57 53.80	-4.74	1.013 269 86	28	184 34 1.92	+0.97	1.002 147 64		
14	140 55 31.25	-4.51	1.013 092 09	29	185 32 54.24	+1.15	1.001 867 42		
15	141 53 9.72	-4.30	1.012 909 28	30	186 31 48.78	+1.36	1.001 587 53		
16	142 50 49.18	-4.13	1.012 721 75	<b>Oct.</b>	1	187 30 45.60	+1.60	1.001 307 83	
17	143 48 29.64	-3.98	1.012 529 84		2	188 29 44.73	+1.86	1.001 028 12	

## SOLEIL 2018 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 28 46.20	+2.14	1.000 748 15	Nov.	18	235 19 49.14	+7.58	0.988 571 79
	4	190 27 50.02	+2.42	1.000 467 68		19	236 20 19.25	+7.60	0.988 355 47
	5	191 26 56.17	+2.70	1.000 186 43		20	237 20 50.69	+7.65	0.988 143 43
	6	192 26 4.63	+2.98	0.999 904 19		21	238 21 23.44	+7.72	0.987 935 95
	7	193 25 15.35	+3.24	0.999 620 74		22	239 21 57.54	+7.82	0.987 733 30
	8	194 24 28.27	+3.48	0.999 335 98		23	240 22 33.02	+7.95	0.987 535 69
	9	195 23 43.32	+3.69	0.999 049 86		24	241 23 9.91	+8.11	0.987 343 28
	10	196 23 0.42	+3.87	0.998 762 46	25	242 23 48.27	+8.29	0.987 156 15	
	11	197 22 19.50	+4.02	0.998 473 91	26	243 24 28.14	+8.48	0.986 974 28	
	12	198 21 40.51	+4.14	0.998 184 45	27	244 25 9.55	+8.68	0.986 797 55	
	13	199 21 3.39	+4.23	0.997 894 33	28	245 25 52.55	+8.88	0.986 625 78	
	14	200 20 28.10	+4.30	0.997 603 86	29	246 26 37.13	+9.07	0.986 458 72	
	15	201 19 54.60	+4.34	0.997 313 37	30	247 27 23.29	+9.25	0.986 296 09	
	16	202 19 22.89	+4.37	0.997 023 18	Déc.	1	248 28 11.01	+9.40	0.986 137 60
	17	203 18 52.94	+4.39	0.996 733 61		2	249 29 0.25	+9.52	0.985 982 98
	18	204 18 24.76	+4.41	0.996 444 99	3	250 29 50.94	+9.60	0.985 831 98	
	19	205 17 58.34	+4.42	0.996 157 62	4	251 30 43.01	+9.66	0.985 684 39	
20	206 17 33.69	+4.45	0.995 871 83	5	252 31 36.38	+9.68	0.985 540 08		
21	207 17 10.83	+4.48	0.995 587 89	6	253 32 30.97	+9.67	0.985 398 94		
22	208 16 49.79	+4.54	0.995 306 11	7	254 33 26.68	+9.63	0.985 260 95		
23	209 16 30.59	+4.62	0.995 026 74	8	255 34 23.42	+9.56	0.985 126 14		
24	210 16 13.29	+4.72	0.994 750 01	9	256 35 21.11	+9.48	0.984 994 57		
25	211 15 57.91	+4.85	0.994 476 10	10	257 36 19.66	+9.38	0.984 866 37		
26	212 15 44.53	+5.01	0.994 205 15	11	258 37 18.99	+9.27	0.984 741 71		
27	213 15 33.18	+5.20	0.993 937 21	12	259 38 19.03	+9.16	0.984 620 76		
28	214 15 23.94	+5.41	0.993 672 27	13	260 39 19.70	+9.06	0.984 503 75		
29	215 15 16.84	+5.64	0.993 410 24	14	261 40 20.95	+8.97	0.984 390 90		
30	216 15 11.92	+5.89	0.993 150 96	15	262 41 22.73	+8.89	0.984 282 45		
31	217 15 9.22	+6.15	0.992 894 22	16	263 42 24.98	+8.83	0.984 178 67		
Nov.	1	218 15 8.73	+6.40	0.992 639 77	17	264 43 27.66	+8.80	0.984 079 83	
	2	219 15 10.45	+6.65	0.992 387 35	18	265 44 30.75	+8.79	0.983 986 23	
	3	220 15 14.34	+6.88	0.992 136 71	19	266 45 34.21	+8.81	0.983 898 14	
	4	221 15 20.37	+7.09	0.991 887 61	20	267 46 38.05	+8.85	0.983 815 88	
	5	222 15 28.48	+7.27	0.991 639 86	21	268 47 42.26	+8.93	0.983 739 72	
	6	223 15 38.58	+7.42	0.991 393 35	22	269 48 46.87	+9.03	0.983 669 88	
	7	224 15 50.60	+7.54	0.991 148 02	23	270 49 51.91	+9.14	0.983 606 55	
	8	225 16 4.46	+7.62	0.990 903 90	24	271 50 57.42	+9.27	0.983 549 78	
	9	226 16 20.07	+7.68	0.990 661 09	25	272 52 3.44	+9.40	0.983 499 56	
	10	227 16 37.36	+7.70	0.990 419 75	26	273 53 10.02	+9.52	0.983 455 73	
	11	228 16 56.25	+7.71	0.990 180 08	27	274 54 17.17	+9.63	0.983 418 06	
	12	229 17 16.69	+7.70	0.989 942 33	28	275 55 24.91	+9.71	0.983 386 27	
	13	230 17 38.61	+7.67	0.989 706 76	29	276 56 33.21	+9.76	0.983 360 01	
	14	231 18 1.97	+7.64	0.989 473 65	30	277 57 42.06	+9.78	0.983 338 97	
	15	232 18 26.73	+7.61	0.989 243 30	31	278 58 51.39	+9.76	0.983 322 84	
	16	233 18 52.86	+7.59	0.989 016 01	32	280 0 1.16	+9.70	0.983 311 33	
	17	234 19 20.34	+7.57	0.988 792 07	33	281 1 11.28	+9.62	0.983 304 20	

## SOLEIL 2018 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>Janv.</b>	0	18	41	17.694	-23	5	44.33	12	3	5.47	<b>Févr.</b>	15	21	53	55.520	-12	46	4.70	12	14	5.97
	1	18	45	42.696	-23	1	9.01	12	3	33.76		16	21	57	49.124	-12	25	25.28	12	14	2.66
	2	18	50	7.385	-22	56	6.14	12	4	1.72		17	22	1	42.010	-12	4	33.90	12	13	58.63
	3	18	54	31.733	-22	50	35.88	12	4	29.34		18	22	5	34.188	-11	43	30.98	12	13	53.90
	4	18	58	55.714	-22	44	38.40	12	4	56.57		19	22	9	25.669	-11	22	16.94	12	13	48.49
	5	19	3	19.302	-22	38	13.84	12	5	23.40		20	22	13	16.463	-11	0	52.21	12	13	42.39
	6	19	7	42.475	-22	31	22.39	12	5	49.81		21	22	17	6.583	-10	39	17.21	12	13	35.62
	7	19	12	5.207	-22	24	4.24	12	6	15.77		22	22	20	56.042	-10	17	32.36	12	13	28.20
	8	19	16	27.475	-22	16	19.59	12	6	41.25		23	22	24	44.855	-9	55	38.08	12	13	20.13
	9	19	20	49.255	-22	8	8.67	12	7	6.23		24	22	28	33.036	-9	33	34.80	12	13	11.44
	10	19	25	10.523	-21	59	31.70	12	7	30.68		25	22	32	20.601	-9	11	22.92	12	13	2.14
	11	19	29	31.254	-21	50	28.95	12	7	54.58		26	22	36	7.565	-8	49	2.88	12	12	52.24
	12	19	33	51.422	-21	41	0.68	12	8	17.91		27	22	39	53.948	-8	26	35.06	12	12	41.78
	13	19	38	11.004	-21	31	7.15	12	8	40.63		28	22	43	39.766	-8	3	59.89	12	12	30.76
14	19	42	29.975	-21	20	48.66	12	9	2.73	<b>Mars</b>	1	22	47	25.042	-7	41	17.73	12	12	19.22	
15	19	46	48.311	-21	10	5.50	12	9	24.18		2	22	51	9.798	-7	18	28.97	12	12	7.18	
16	19	51	5.990	-20	58	57.98	12	9	44.96		3	22	54	54.058	-6	55	33.96	12	11	54.65	
17	19	55	22.989	-20	47	26.41	12	10	5.05		4	22	58	37.847	-6	32	33.09	12	11	41.66	
18	19	59	39.287	-20	35	31.12	12	10	24.43		5	23	2	21.189	-6	9	26.69	12	11	28.24	
19	20	3	54.865	-20	23	12.44	12	10	43.09		6	23	6	4.108	-5	46	15.16	12	11	14.41	
20	20	8	9.703	-20	10	30.69	12	11	0.99		7	23	9	46.625	-5	22	58.85	12	11	0.18	
21	20	12	23.785	-19	57	26.24	12	11	18.14		8	23	13	28.761	-4	59	38.14	12	10	45.58	
22	20	16	37.097	-19	43	59.42	12	11	34.50		9	23	17	10.538	-4	36	13.42	12	10	30.63	
23	20	20	49.624	-19	30	10.60	12	11	50.08		10	23	20	51.973	-4	12	45.06	12	10	15.34	
24	20	25	1.356	-19	16	0.15	12	12	4.86		11	23	24	33.085	-3	49	13.45	12	9	59.75	
25	20	29	12.284	-19	1	28.44	12	12	18.82		12	23	28	13.894	-3	25	38.97	12	9	43.85	
26	20	33	22.400	-18	46	35.84	12	12	31.97		13	23	31	54.417	-3	2	2.00	12	9	27.69	
27	20	37	31.698	-18	31	22.75	12	12	44.29		14	23	35	34.672	-2	38	22.94	12	9	11.26	
28	20	41	40.174	-18	15	49.56	12	12	55.79	15	23	39	14.677	-2	14	42.15	12	8	54.60		
29	20	45	47.826	-17	59	56.67	12	13	6.46	16	23	42	54.449	-1	51	0.03	12	8	37.72		
30	20	49	54.652	-17	43	44.47	12	13	16.30	17	23	46	34.006	-1	27	16.95	12	8	20.63		
31	20	54	0.652	-17	27	13.36	12	13	25.32	18	23	50	13.365	-1	3	33.30	12	8	3.35		
<b>Févr.</b>	1	20	58	5.831	-17	10	23.72	12	13	33.53	19	23	53	52.545	-0	39	49.46	12	7	45.90	
	2	21	2	10.191	-16	53	15.95	12	13	40.92	20	23	57	31.562	-0	16	5.81	12	7	28.30	
	3	21	6	13.740	-16	35	50.41	12	13	47.51	21	0	1	10.435	0	7	37.27	12	7	10.56	
	4	21	10	16.486	-16	18	7.50	12	13	53.30	22	0	4	49.182	0	31	19.40	12	6	52.70	
	5	21	14	18.435	-16	0	7.60	12	13	58.30	23	0	8	27.819	0	55	0.21	12	6	34.74	
	6	21	18	19.595	-15	41	51.11	12	14	2.51	24	0	12	6.366	1	18	39.30	12	6	16.69	
	7	21	22	19.973	-15	23	18.44	12	14	5.94	25	0	15	44.838	1	42	16.31	12	5	58.58	
	8	21	26	19.574	-15	4	30.00	12	14	8.59	26	0	19	23.255	2	5	50.85	12	5	40.42	
9	21	30	18.403	-14	45	26.22	12	14	10.47	27	0	23	1.637	2	29	22.57	12	5	22.24		
10	21	34	16.468	-14	26	7.49	12	14	11.59	28	0	26	40.003	2	52	51.10	12	5	4.06		
11	21	38	13.773	-14	6	34.26	12	14	11.95	29	0	30	18.378	3	16	16.11	12	4	45.90		
12	21	42	10.324	-13	46	46.94	12	14	11.56	30	0	33	56.785	3	39	37.25	12	4	27.79		
13	21	46	6.128	-13	26	45.96	12	14	10.43	31	0	37	35.249	4	2	54.20	12	4	9.75		
14	21	50	1.191	-13	6	31.73	12	14	8.57	<b>Avril</b>	1	0	41	13.795	4	26	6.65	12	3	51.80	

## SOLEIL 2018 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	44	52.448	4	49	14.28	12	3	33.97	<b>Mai</b>	18	3	38	55.213	19	29	19.54	11	56	25.39
	3	0	48	31.233	5	12	16.75	12	3	16.29		19	3	42	54.289	19	42	26.44	11	56	28.17
	4	0	52	10.170	5	35	13.76	12	2	58.76		20	3	46	53.897	19	55	13.16	11	56	31.47
	5	0	55	49.282	5	58	4.97	12	2	41.41		21	3	50	54.024	20	7	39.43	11	56	35.30
	6	0	59	28.588	6	20	50.05	12	2	24.27		22	3	54	54.660	20	19	44.96	11	56	39.63
	7	1	3	8.107	6	43	28.66	12	2	7.35		23	3	58	55.799	20	31	29.51	11	56	44.46
	8	1	6	47.857	7	6	0.47	12	1	50.67		24	4	2	57.433	20	42	52.83	11	56	49.79
	9	1	10	27.856	7	28	25.12	12	1	34.25		25	4	6	59.554	20	53	54.70	11	56	55.60
	10	1	14	8.119	7	50	42.28	12	1	18.10		26	4	11	2.157	21	4	34.89	11	57	1.89
	11	1	17	48.664	8	12	51.60	12	1	2.24		27	4	15	5.235	21	14	53.21	11	57	8.65
	12	1	21	29.506	8	34	52.74	12	0	46.69		28	4	19	8.778	21	24	49.45	11	57	15.87
13	1	25	10.660	8	56	45.35	12	0	31.46	29	4	23	12.778	21	34	23.43	11	57	23.53		
14	1	28	52.140	9	18	29.08	12	0	16.57	30	4	27	17.225	21	43	34.95	11	57	31.64		
15	1	32	33.960	9	40	3.58	12	0	2.02	31	4	31	22.107	21	52	23.84	11	57	40.17		
16	1	36	16.134	10	1	28.51	11	59	47.82	<b>Juin</b>	1	4	35	27.411	22	0	49.92	11	57	49.12	
17	1	39	58.674	10	22	43.52	11	59	34.00		2	4	39	33.124	22	8	53.01	11	57	58.47	
18	1	43	41.591	10	43	48.25	11	59	20.56		3	4	43	39.231	22	16	32.96	11	58	8.21	
19	1	47	24.895	11	4	42.35	11	59	7.51		4	4	47	45.718	22	23	49.59	11	58	18.33	
20	1	51	8.596	11	25	25.47	11	58	54.85		5	4	51	52.567	22	30	42.75	11	58	28.80	
21	1	54	52.702	11	45	57.25	11	58	42.60		6	4	55	59.763	22	37	12.29	11	58	39.61	
22	1	58	37.222	12	6	17.33	11	58	30.77		7	5	0	7.286	22	43	18.07	11	58	50.74	
23	2	2	22.166	12	26	25.37	11	58	19.38		8	5	4	15.121	22	48	59.95	11	59	2.17	
24	2	6	7.545	12	46	21.01	11	58	8.42		9	5	8	23.246	22	54	17.80	11	59	13.88	
25	2	9	53.369	13	6	3.92	11	57	57.93		10	5	12	31.643	22	59	11.52	11	59	25.86	
26	2	13	39.654	13	25	33.78	11	57	47.90		11	5	16	40.289	23	3	40.98	11	59	38.07	
27	2	17	26.413	13	44	50.27	11	57	38.35	12	5	20	49.162	23	7	46.10	11	59	50.48		
28	2	21	13.661	14	3	53.10	11	57	29.30	13	5	24	58.236	23	11	26.80	12	0	3.09		
29	2	25	1.412	14	22	41.95	11	57	20.76	14	5	29	7.482	23	14	42.98	12	0	15.85		
30	2	28	49.681	14	41	16.54	11	57	12.74	15	5	33	16.871	23	17	34.60	12	0	28.73		
<b>Mai</b>	1	2	32	38.479	14	59	36.58	11	57	5.25	16	5	37	26.370	23	20	1.56	12	0	41.71	
	2	2	36	27.818	15	17	41.76	11	56	58.31	17	5	41	35.951	23	22	3.81	12	0	54.76	
	3	2	40	17.707	15	35	31.78	11	56	51.92	18	5	45	45.582	23	23	41.30	12	1	7.86	
	4	2	44	8.155	15	53	6.36	11	56	46.09	19	5	49	55.239	23	24	53.98	12	1	20.96	
	5	2	47	59.170	16	10	25.19	11	56	40.83	20	5	54	4.896	23	25	41.81	12	1	34.06	
	6	2	51	50.756	16	27	27.96	11	56	36.14	21	5	58	14.532	23	26	4.80	12	1	47.13	
	7	2	55	42.919	16	44	14.37	11	56	32.04	22	6	2	24.124	23	26	2.93	12	2	0.14	
	8	2	59	35.664	17	0	44.12	11	56	28.52	23	6	6	33.652	23	25	36.24	12	2	13.08	
	9	3	3	28.992	17	16	56.91	11	56	25.59	24	6	10	43.095	23	24	44.74	12	2	25.92	
	10	3	7	22.908	17	32	52.43	11	56	23.24	25	6	14	52.433	23	23	28.49	12	2	38.64	
	11	3	11	17.410	17	48	30.39	11	56	21.49	26	6	19	1.645	23	21	47.53	12	2	51.22	
12	3	15	12.501	18	3	50.48	11	56	20.32	27	6	23	10.711	23	19	41.92	12	3	3.65		
13	3	19	8.179	18	18	52.42	11	56	19.74	28	6	27	19.611	23	17	11.72	12	3	15.90		
14	3	23	4.440	18	33	35.90	11	56	19.74	29	6	31	28.324	23	14	17.02	12	3	27.95		
15	3	27	1.282	18	48	0.64	11	56	20.31	30	6	35	36.830	23	10	57.89	12	3	39.79		
16	3	30	58.698	19	2	6.36	11	56	21.45	<b>Juill.</b>	1	6	39	45.111	23	7	14.42	12	3	51.39	
17	3	34	56.678	19	15	52.75	11	56	23.14		2	6	43	53.146	23	3	6.69	12	4	2.74	

## SOLEIL 2018 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Juill.	3	6	48	0.918	22	58	34.82	12	4	13.82	Août	18	9	49	12.347	13	10	46.85	12	3	51.48
	4	6	52	8.409	22	53	38.91	12	4	24.61		19	9	52	55.467	12	51	21.92	12	3	37.79
	5	6	56	15.600	22	48	19.08	12	4	35.09		20	9	56	38.079	12	31	44.85	12	3	23.60
	6	7	0	22.474	22	42	35.44	12	4	45.25		21	10	0	20.195	12	11	55.97	12	3	8.91
	7	7	4	29.014	22	36	28.14	12	4	55.07		22	10	4	1.831	11	51	55.58	12	2	53.76
	8	7	8	35.204	22	29	57.32	12	5	4.52		23	10	7	42.999	11	31	44.01	12	2	38.14
	9	7	12	41.025	22	23	3.14	12	5	13.59		24	10	11	23.715	11	11	21.57	12	2	22.09
	10	7	16	46.460	22	15	45.75	12	5	22.27		25	10	15	3.994	10	50	48.57	12	2	5.60
	11	7	20	51.488	22	8	5.35	12	5	30.52		26	10	18	43.855	10	30	5.32	12	1	48.71
	12	7	24	56.089	22	0	2.12	12	5	38.33		27	10	22	23.314	10	9	12.13	12	1	31.43
	13	7	29	0.239	21	51	36.27	12	5	45.68		28	10	26	2.390	9	48	9.30	12	1	13.78
	14	7	33	3.915	21	42	47.98	12	5	52.55		29	10	29	41.102	9	26	57.13	12	0	55.77
	15	7	37	7.095	21	33	37.47	12	5	58.91		30	10	33	19.472	9	5	35.92	12	0	37.43
16	7	41	9.759	21	24	4.93	12	6	4.76	31	10	36	57.517	8	44	5.97	12	0	18.78		
17	7	45	11.890	21	14	10.58	12	6	10.06	Sept.	1	10	40	35.260	8	22	27.57	11	59	59.83	
18	7	49	13.476	21	3	54.63	12	6	14.82	2	10	44	12.720	8	0	41.03	11	59	40.61		
19	7	53	14.505	20	53	17.31	12	6	19.01	3	10	47	49.916	7	38	46.67	11	59	21.13		
20	7	57	14.967	20	42	18.85	12	6	22.63	4	10	51	26.865	7	16	44.79	11	59	1.40		
21	8	1	14.855	20	30	59.50	12	6	25.68	5	10	55	3.585	6	54	35.73	11	58	41.46		
22	8	5	14.161	20	19	19.51	12	6	28.13	6	10	58	40.091	6	32	19.81	11	58	21.31		
23	8	9	12.880	20	7	19.14	12	6	29.99	7	11	2	16.396	6	9	57.37	11	58	0.97		
24	8	13	11.006	19	54	58.64	12	6	31.26	8	11	5	52.513	5	47	28.76	11	57	40.45		
25	8	17	8.535	19	42	18.28	12	6	31.92	9	11	9	28.457	5	24	54.31	11	57	19.77		
26	8	21	5.463	19	29	18.31	12	6	31.99	10	11	13	4.242	5	2	14.38	11	56	58.94		
27	8	25	1.789	19	15	59.01	12	6	31.45	11	11	16	39.882	4	39	29.29	11	56	37.97		
28	8	28	57.510	19	2	20.64	12	6	30.31	12	11	20	15.394	4	16	39.41	11	56	16.88		
29	8	32	52.627	18	48	23.46	12	6	28.57	13	11	23	50.795	3	53	45.06	11	55	55.69		
30	8	36	47.140	18	34	7.75	12	6	26.22	14	11	27	26.102	3	30	46.59	11	55	34.41		
31	8	40	41.051	18	19	33.76	12	6	23.28	15	11	31	1.333	3	7	44.36	11	55	13.06		
Août	1	8	44	34.363	18	4	41.78	12	6	19.74	16	11	34	36.506	2	44	38.70	11	54	51.66	
2	8	48	27.079	17	49	32.07	12	6	15.61	17	11	38	11.640	2	21	29.96	11	54	30.23		
3	8	52	19.204	17	34	4.91	12	6	10.89	18	11	41	46.755	1	58	18.49	11	54	8.80		
4	8	56	10.743	17	18	20.57	12	6	5.58	19	11	45	21.870	1	35	4.61	11	53	47.37		
5	9	0	1.699	17	2	19.35	12	5	59.69	20	11	48	57.005	1	11	48.68	11	53	25.97		
6	9	3	52.079	16	46	1.53	12	5	53.23	21	11	52	32.183	0	48	31.01	11	53	4.63		
7	9	7	41.885	16	29	27.41	12	5	46.19	22	11	56	7.425	0	25	11.96	11	52	43.37		
8	9	11	31.120	16	12	37.29	12	5	38.57	23	11	59	42.754	0	1	51.83	11	52	22.21		
9	9	15	19.785	15	55	31.50	12	5	30.39	24	12	3	18.193	-	0	21	29.03	11	52	1.17	
10	9	19	7.881	15	38	10.36	12	5	21.64	25	12	6	53.767	-	0	44	50.31	11	51	40.27	
11	9	22	55.406	15	20	34.18	12	5	12.32	26	12	10	29.499	-	1	8	11.69	11	51	19.55	
12	9	26	42.359	15	2	43.29	12	5	2.43	27	12	14	5.416	-	1	31	32.85	11	50	59.03	
13	9	30	28.744	14	44	38.01	12	4	51.98	28	12	17	41.543	-	1	54	53.47	11	50	38.72	
14	9	34	14.564	14	26	18.65	12	4	40.97	29	12	21	17.904	-	2	18	13.24	11	50	18.66	
15	9	37	59.826	14	7	45.53	12	4	29.41	30	12	24	54.523	-	2	41	31.82	11	49	58.86	
16	9	41	44.537	13	48	58.98	12	4	17.30	Oct.	1	12	28	31.422	-	3	4	48.90	11	49	39.35
17	9	45	28.707	13	29	59.31	12	4	4.65	2	12	32	8.625	-	3	28	4.12	11	49	20.16	

## SOLEIL 2018 à 0h TT

## ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage					
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s			
Oct.	3	12	35	46.150	- 3	51	17.14	11	49	1.29	Nov.	18	15	33	0.039	-19	9	12.25	11	45	9.04	
	4	12	39	24.016	- 4	14	27.60	11	48	42.78		19	15	37	9.233	-19	23	25.62	11	45	22.09	
	5	12	43	2.240	- 4	37	35.14	11	48	24.64		20	15	41	19.236	-19	37	17.97	11	45	35.94	
	6	12	46	40.841	- 5	0	39.39	11	48	6.88		21	15	45	30.043	-19	50	48.95	11	45	50.59	
	7	12	50	19.835	- 5	23	39.96	11	47	49.53		22	15	49	41.650	-20	3	58.22	11	46	6.03	
	8	12	53	59.238	- 5	46	36.49	11	47	32.60		23	15	53	54.052	-20	16	45.42	11	46	22.26	
	9	12	57	39.068	- 6	9	28.59	11	47	16.10		24	15	58	7.240	-20	29	10.25	11	46	39.28	
	10	13	1	19.341	- 6	32	15.87	11	47	0.05		25	16	2	21.208	-20	41	12.37	11	46	57.06	
	11	13	5	0.073	- 6	54	57.95	11	46	44.47		26	16	6	35.945	-20	52	51.47	11	47	15.61	
	12	13	8	41.279	- 7	17	34.44	11	46	29.36		27	16	10	51.438	-21	4	7.23	11	47	34.91	
	13	13	12	22.975	- 7	40	4.95	11	46	14.75		28	16	15	7.673	-21	14	59.33	11	47	54.95	
	14	13	16	5.177	- 8	2	29.07	11	46	0.65		29	16	19	24.636	-21	25	27.45	11	48	15.71	
	15	13	19	47.900	- 8	24	46.43	11	45	47.08		30	16	23	42.309	-21	35	31.29	11	48	37.18	
	16	13	23	31.160	- 8	46	56.61	11	45	34.05		Déc.	1	16	28	0.676	-21	45	10.53	11	48	59.34
	17	13	27	14.974	- 9	8	59.23	11	45	21.59			2	16	32	19.715	-21	54	24.88	11	49	22.15
	18	13	30	59.359	- 9	30	53.90	11	45	9.71		3	16	36	39.405	-22	3	14.06	11	49	45.61	
	19	13	34	44.330	- 9	52	40.24	11	44	58.42		4	16	40	59.723	-22	11	37.79	11	50	9.68	
20	13	38	29.907	-10	14	17.84	11	44	47.75	5	16	45	20.642	-22	19	35.80	11	50	34.34			
21	13	42	16.108	-10	35	46.33	11	44	37.72	6	16	49	42.134	-22	27	7.85	11	50	59.55			
22	13	46	2.949	-10	57	5.32	11	44	28.33	7	16	54	4.170	-22	34	13.69	11	51	25.29			
23	13	49	50.451	-11	18	14.44	11	44	19.62	8	16	58	26.718	-22	40	53.08	11	51	51.53			
24	13	53	38.632	-11	39	13.31	11	44	11.59	9	17	2	49.746	-22	47	5.80	11	52	18.22			
25	13	57	27.513	-12	0	1.55	11	44	4.27	10	17	7	13.220	-22	52	51.64	11	52	45.35			
26	14	1	17.111	-12	20	38.81	11	43	57.67	11	17	11	37.107	-22	58	10.40	11	53	12.88			
27	14	5	7.445	-12	41	4.71	11	43	51.82	12	17	16	1.375	-23	3	1.90	11	53	40.78			
28	14	8	58.531	-13	1	18.88	11	43	46.72	13	17	20	25.989	-23	7	25.95	11	54	9.00			
29	14	12	50.386	-13	21	20.94	11	43	42.39	14	17	24	50.917	-23	11	22.41	11	54	37.53			
30	14	16	43.022	-13	41	10.50	11	43	38.85	15	17	29	16.126	-23	14	51.14	11	55	6.32			
31	14	20	36.451	-14	0	47.17	11	43	36.11	16	17	33	41.584	-23	17	52.00	11	55	35.35			
Nov.	1	14	24	30.684	-14	20	10.54	11	43	34.19	17	17	38	7.258	-23	20	24.90	11	56	4.58		
2	14	28	25.729	-14	39	20.21	11	43	33.08	18	17	42	33.116	-23	22	29.74	11	56	33.97			
3	14	32	21.596	-14	58	15.76	11	43	32.80	19	17	46	59.127	-23	24	6.45	11	57	3.50			
4	14	36	18.291	-15	16	56.78	11	43	33.35	20	17	51	25.260	-23	25	14.99	11	57	33.14			
5	14	40	15.820	-15	35	22.86	11	43	34.74	21	17	55	51.486	-23	25	55.31	11	58	2.84			
6	14	44	14.188	-15	53	33.57	11	43	36.97	22	18	0	17.774	-23	26	7.40	11	58	32.60			
7	14	48	13.399	-16	11	28.51	11	43	40.04	23	18	4	44.093	-23	25	51.26	11	59	2.37			
8	14	52	13.454	-16	29	7.24	11	43	43.95	24	18	9	10.413	-23	25	6.91	11	59	32.12			
9	14	56	14.352	-16	46	29.36	11	43	48.71	25	18	13	36.703	-23	23	54.35	12	0	1.83			
10	15	0	16.094	-17	3	34.45	11	43	54.30	26	18	18	2.933	-23	22	13.61	12	0	31.47			
11	15	4	18.675	-17	20	22.07	11	44	0.73	27	18	22	29.072	-23	20	4.73	12	1	1.01			
12	15	8	22.095	-17	36	51.83	11	44	8.00	28	18	26	55.090	-23	17	27.75	12	1	30.41			
13	15	12	26.350	-17	53	3.30	11	44	16.11	29	18	31	20.958	-23	14	22.73	12	1	59.65			
14	15	16	31.437	-18	8	56.08	11	44	25.04	30	18	35	46.644	-23	10	49.76	12	2	28.69			
15	15	20	37.354	-18	24	29.75	11	44	34.81	31	18	40	12.116	-23	6	48.92	12	2	57.50			
16	15	24	44.095	-18	39	43.93	11	44	45.40	32	18	44	37.343	-23	2	20.35	12	3	26.04			
17	15	28	51.658	-18	54	38.23	11	44	56.81	33	18	49	2.290	-22	57	24.17	12	3	54.28			

## SOLEIL 2018 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	0.157 992 26	-0.890 471 58	-0.386 025 47	Févr.	15	0.818 829 05	-0.506 787 06	-0.219 697 37
	1	0.175 220 06	-0.887 737 12	-0.384 839 73		16	0.828 607 69	-0.493 559 58	-0.213 963 94
	2	0.192 393 14	-0.884 728 14	-0.383 534 84		17	0.838 130 72	-0.480 179 90	-0.208 164 50
	3	0.209 506 67	-0.881 445 56	-0.382 111 23		18	0.847 395 22	-0.466 652 49	-0.202 300 95
	4	0.226 555 78	-0.877 890 23	-0.380 569 32		19	0.856 398 40	-0.452 981 91	-0.196 375 23
	5	0.243 535 58	-0.874 062 97	-0.378 909 51		20	0.865 137 64	-0.439 172 77	-0.190 389 32
	6	0.260 441 06	-0.869 964 62	-0.377 132 22		21	0.873 610 48	-0.425 229 72	-0.184 345 21
	7	0.277 267 13	-0.865 596 06	-0.375 237 86		22	0.881 814 64	-0.411 157 46	-0.178 244 92
	8	0.294 008 60	-0.860 958 28	-0.373 226 90		23	0.889 748 00	-0.396 960 67	-0.172 090 47
	9	0.310 660 22	-0.856 052 38	-0.371 099 83		24	0.897 408 63	-0.382 644 01	-0.165 883 89
	10	0.327 216 68	-0.850 879 58	-0.368 857 20		25	0.904 794 74	-0.368 212 12	-0.159 627 20
	11	0.343 672 67	-0.845 441 25	-0.366 499 62		26	0.911 904 70	-0.353 669 57	-0.153 322 41
	12	0.360 022 84	-0.839 738 89	-0.364 027 74		27	0.918 736 98	-0.339 020 83	-0.146 971 48
	13	0.376 261 86	-0.833 774 14	-0.361 442 25		28	0.925 290 13	-0.324 270 30	-0.140 576 37
14	0.392 384 41	-0.827 548 78	-0.358 743 93	Mars	1	0.931 562 73	-0.309 422 29	-0.134 138 99	
15	0.408 385 22	-0.821 064 73	-0.355 933 58		2	0.937 553 39	-0.294 481 04	-0.127 661 23	
16	0.424 259 01	-0.814 324 04	-0.353 012 08		3	0.943 260 66	-0.279 450 76	-0.121 144 95	
17	0.440 000 58	-0.807 328 89	-0.349 980 35		4	0.948 683 07	-0.264 335 68	-0.114 592 02	
18	0.455 604 78	-0.800 081 60	-0.346 839 37		5	0.953 819 15	-0.249 140 05	-0.108 004 31	
19	0.471 066 51	-0.792 584 64	-0.343 590 17		6	0.958 667 40	-0.233 868 20	-0.101 383 71	
20	0.486 380 76	-0.784 840 58	-0.340 233 84		7	0.963 226 35	-0.218 524 54	-0.094 732 14	
21	0.501 542 62	-0.776 852 14	-0.336 771 52		8	0.967 494 58	-0.203 113 55	-0.088 051 53	
22	0.516 547 27	-0.768 622 13	-0.333 204 40		9	0.971 470 74	-0.187 639 79	-0.081 343 87	
23	0.531 390 00	-0.760 153 50	-0.329 533 73		10	0.975 153 55	-0.172 107 91	-0.074 611 14	
24	0.546 066 24	-0.751 449 26	-0.325 760 79		11	0.978 541 83	-0.156 522 61	-0.067 855 36	
25	0.560 571 55	-0.742 512 53	-0.321 886 91		12	0.981 634 48	-0.140 888 66	-0.061 078 59	
26	0.574 901 62	-0.733 346 50	-0.317 913 46		13	0.984 430 52	-0.125 210 88	-0.054 282 88	
27	0.589 052 32	-0.723 954 38	-0.313 841 82		14	0.986 929 05	-0.109 494 15	-0.047 470 31	
28	0.603 019 66	-0.714 339 42	-0.309 673 40	15	0.989 129 31	-0.093 743 41	-0.040 643 01		
29	0.616 799 78	-0.704 504 83	-0.305 409 62	16	0.991 030 64	-0.077 963 65	-0.033 803 10		
30	0.630 388 97	-0.694 453 80	-0.301 051 89	17	0.992 632 54	-0.062 159 89	-0.026 952 73		
31	0.643 783 57	-0.684 189 44	-0.296 601 59	18	0.993 934 65	-0.046 337 23	-0.020 094 06		
Févr.	1	0.656 979 95	-0.673 714 81	-0.292 060 09	19	0.994 936 77	-0.030 500 76	-0.013 229 29	
	2	0.669 974 48	-0.663 032 90	-0.287 428 75	20	0.995 638 87	-0.014 655 61	-0.006 360 61	
	3	0.682 763 46	-0.652 146 73	-0.282 708 92	21	0.996 041 11	0.001 193 14	0.000 509 79	
	4	0.695 343 14	-0.641 059 32	-0.277 901 95	22	0.996 143 85	0.017 040 41	0.007 379 72	
	5	0.707 709 74	-0.629 773 80	-0.273 009 22	23	0.995 947 59	0.032 881 21	0.014 247 01	
	6	0.719 859 41	-0.618 293 39	-0.268 032 14	24	0.995 453 01	0.048 710 61	0.021 109 51	
	7	0.731 788 35	-0.606 621 41	-0.262 972 18	25	0.994 660 92	0.064 523 82	0.027 965 12	
	8	0.743 492 74	-0.594 761 32	-0.257 830 83	26	0.993 572 23	0.080 316 12	0.034 811 78	
	9	0.754 968 84	-0.582 716 68	-0.252 609 64	27	0.992 187 95	0.096 082 95	0.041 647 45	
	10	0.766 212 95	-0.570 491 19	-0.247 310 18	28	0.990 509 11	0.111 819 83	0.048 470 17	
	11	0.777 221 42	-0.558 088 63	-0.241 934 09	29	0.988 536 78	0.127 522 42	0.055 277 99	
	12	0.787 990 70	-0.545 512 88	-0.236 483 04	30	0.986 272 00	0.143 186 43	0.062 069 03	
	13	0.798 517 31	-0.532 767 96	-0.230 958 72	31	0.983 715 82	0.158 807 62	0.068 841 40	
	14	0.808 797 86	-0.519 857 95	-0.225 362 90	Avril	1	0.980 869 23	0.174 381 80	0.075 593 27

## SOLEIL 2018 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>Avril</b>	2	0.977 733 24	0.189 904 74	0.082 322 79	<b>Mai</b>	18	0.554 220 72	0.776 266 28	0.336 509 14	
	3	0.974 308 82	0.205 372 21	0.089 028 10		19	0.540 022 89	0.784 862 73	0.340 236 41	
	4	0.970 597 00	0.220 779 92	0.095 707 35		20	0.525 671 22	0.793 233 22	0.343 865 79	
	5	0.966 598 83	0.236 123 54	0.102 358 67		21	0.511 170 29	0.801 375 68	0.347 396 34	
	6	0.962 315 43	0.251 398 72	0.108 980 18		22	0.496 524 69	0.809 288 19	0.350 827 20	
	7	0.957 748 01	0.266 601 05	0.115 570 01		23	0.481 738 91	0.816 968 98	0.354 157 54	
	8	0.952 897 85	0.281 726 10	0.122 126 24		24	0.466 817 39	0.824 416 35	0.357 386 60	
	9	0.947 766 31	0.296 769 44	0.128 646 97		25	0.451 764 50	0.831 628 68	0.360 513 65	
	10	0.942 354 87	0.311 726 58	0.135 130 31		26	0.436 584 55	0.838 604 40	0.363 537 99	
	11	0.936 665 09	0.326 593 05	0.141 574 33		27	0.421 281 79	0.845 341 98	0.366 458 94	
	12	0.930 698 64	0.341 364 36	0.147 977 12		28	0.405 860 45	0.851 839 89	0.369 275 84	
	13	0.924 457 32	0.356 036 00	0.154 336 75		29	0.390 324 72	0.858 096 64	0.371 988 05	
	14	0.917 943 03	0.370 603 46	0.160 651 31		30	0.374 678 78	0.864 110 72	0.374 594 93	
	15	0.911 157 83	0.385 062 21	0.166 918 85		31	0.358 926 83	0.869 880 64	0.377 095 84	
	16	0.904 103 92	0.399 407 75	0.173 137 46		<b>Juin</b>	1	0.343 073 07	0.875 404 92	0.379 490 16
	17	0.896 783 69	0.413 635 62	0.179 305 22		2	0.327 121 75	0.880 682 07	0.381 777 29	
18	0.889 199 70	0.427 741 40	0.185 420 21	3	0.311 077 12	0.885 710 64	0.383 956 61			
19	0.881 354 65	0.441 720 79	0.191 480 58	4	0.294 943 51	0.890 489 19	0.386 027 53			
20	0.873 251 42	0.455 569 57	0.197 484 49	5	0.278 725 28	0.895 016 30	0.387 989 46			
21	0.864 893 02	0.469 283 72	0.203 430 17	6	0.262 426 85	0.899 290 58	0.389 841 83			
22	0.856 282 52	0.482 859 32	0.209 315 89	7	0.246 052 69	0.903 310 66	0.391 584 09			
23	0.847 423 06	0.496 292 64	0.215 139 99	8	0.229 607 34	0.907 075 24	0.393 215 68			
24	0.838 317 80	0.509 580 08	0.220 900 88	9	0.213 095 41	0.910 583 02	0.394 736 09			
25	0.828 969 92	0.522 718 17	0.226 597 00	10	0.196 521 59	0.913 832 77	0.396 144 78			
26	0.819 382 53	0.535 703 54	0.232 226 86	11	0.179 890 70	0.916 823 30	0.397 441 26			
27	0.809 558 75	0.548 532 92	0.237 789 00	12	0.163 207 64	0.919 553 51	0.398 625 08			
28	0.799 501 64	0.561 203 07	0.243 282 00	13	0.146 477 45	0.922 022 43	0.399 695 78			
29	0.789 214 24	0.573 710 82	0.248 704 46	14	0.129 705 25	0.924 229 21	0.400 653 00			
30	0.778 699 54	0.586 052 97	0.254 054 98	15	0.112 896 26	0.926 173 20	0.401 496 43			
<b>Mai</b>	1	0.767 960 55	0.598 226 37	0.259 332 19	16	0.096 055 73	0.927 853 96	0.402 225 82		
2	0.757 000 28	0.610 227 82	0.264 534 72	17	0.079 188 89	0.929 271 24	0.402 841 03			
3	0.745 821 76	0.622 054 12	0.269 661 18	18	0.062 300 88	0.930 424 97	0.403 341 98			
4	0.734 428 07	0.633 702 07	0.274 710 21	19	0.045 396 77	0.931 315 24	0.403 728 66			
5	0.722 822 34	0.645 168 45	0.279 680 44	20	0.028 481 50	0.931 942 26	0.404 001 13			
6	0.711 007 77	0.656 450 04	0.284 570 49	21	0.011 559 90	0.932 306 28	0.404 159 46			
7	0.698 987 63	0.667 543 65	0.289 379 01	22	-0.005 363 29	0.932 407 63	0.404 203 78			
8	0.686 765 26	0.678 446 06	0.294 104 63	23	-0.022 283 43	0.932 246 66	0.404 134 24			
9	0.674 344 07	0.689 154 11	0.298 746 01	24	-0.039 195 94	0.931 823 75	0.403 950 98			
10	0.661 727 58	0.699 664 60	0.303 301 80	25	-0.056 096 29	0.931 139 29	0.403 654 18			
11	0.648 919 37	0.709 974 41	0.307 770 67	26	-0.072 980 01	0.930 193 67	0.403 244 03			
12	0.635 923 15	0.720 080 38	0.312 151 29	27	-0.089 842 63	0.928 987 31	0.402 720 71			
13	0.622 742 72	0.729 979 42	0.316 442 34	28	-0.106 679 73	0.927 520 62	0.402 084 45			
14	0.609 382 03	0.739 668 46	0.320 642 50	29	-0.123 486 87	0.925 794 05	0.401 335 44			
15	0.595 845 18	0.749 144 51	0.324 750 49	30	-0.140 259 63	0.923 808 03	0.400 473 91			
16	0.582 136 40	0.758 404 65	0.328 765 07	<b>Juill.</b>	1	-0.156 993 56	0.921 563 04	0.399 500 10		
17	0.568 260 08	0.767 446 11	0.332 685 00	2	-0.173 684 22	0.919 059 56	0.398 414 24			



## SOLEIL 2018 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	-0.190 327 12	0.916 298 11	0.397 216 58	<b>Août</b>	18	-0.826 915 29	0.535 797 49	0.232 275 97
	4	-0.206 917 76	0.913 279 24	0.395 907 41		19	-0.836 436 41	0.522 883 63	0.226 677 60
	5	-0.223 451 61	0.910 003 53	0.394 486 99		20	-0.845 718 12	0.509 821 87	0.221 014 98
	6	-0.239 924 10	0.906 471 61	0.392 955 63		21	-0.854 757 95	0.496 615 92	0.215 289 74
	7	-0.256 330 59	0.902 684 16	0.391 313 64		22	-0.863 553 48	0.483 269 47	0.209 503 49
	8	-0.272 666 42	0.898 641 90	0.389 561 34		23	-0.872 102 34	0.469 786 22	0.203 657 87
	9	-0.288 926 84	0.894 345 64	0.387 699 11		24	-0.880 402 25	0.456 169 84	0.197 754 51
	10	-0.305 107 02	0.889 796 27	0.385 727 32		25	-0.888 450 92	0.442 424 01	0.191 795 02
	11	-0.321 202 07	0.884 994 79	0.383 646 41		26	-0.896 246 14	0.428 552 40	0.185 781 03
	12	-0.337 207 02	0.879 942 39	0.381 456 85		27	-0.903 785 71	0.414 558 68	0.179 714 15
	13	-0.353 116 90	0.874 640 40	0.379 159 20		28	-0.911 067 45	0.400 446 51	0.173 596 02
	14	-0.368 926 70	0.869 090 40	0.376 754 09		29	-0.918 089 21	0.386 219 58	0.167 428 24
	15	-0.384 631 52	0.863 294 13	0.374 242 23		30	-0.924 848 82	0.371 881 59	0.161 212 44
	16	-0.400 226 57	0.857 253 53	0.371 624 41		31	-0.931 344 15	0.357 436 25	0.154 950 26
	17	-0.415 707 20	0.850 970 66	0.368 901 47		<b>Sept.</b> 1	-0.937 573 02	0.342 887 35	0.148 643 35
	18	-0.431 068 92	0.844 447 68	0.366 074 32		2	-0.943 533 27	0.328 238 71	0.142 293 35
	19	-0.446 307 41	0.837 686 78	0.363 143 89		3	-0.949 222 75	0.313 494 21	0.135 901 96
20	-0.461 418 45	0.830 690 18	0.360 111 12	4	-0.954 639 29	0.298 657 85	0.129 470 88		
21	-0.476 397 94	0.823 460 12	0.356 976 99	5	-0.959 780 74	0.283 733 71	0.123 001 88		
22	-0.491 241 89	0.815 998 83	0.353 742 44	6	-0.964 644 98	0.268 726 02	0.116 496 73		
23	-0.505 946 34	0.808 308 53	0.350 408 48	7	-0.969 229 95	0.253 639 13	0.109 957 30		
24	-0.520 507 40	0.800 391 46	0.346 976 08	8	-0.973 533 71	0.238 477 57	0.103 385 49		
25	-0.534 921 25	0.792 249 86	0.343 446 23	9	-0.977 554 45	0.223 245 97	0.096 783 27		
26	-0.549 184 08	0.783 885 95	0.339 819 92	10	-0.981 290 54	0.207 949 08	0.090 152 66		
27	-0.563 292 13	0.775 302 00	0.336 098 16	11	-0.984 740 58	0.192 591 72	0.083 495 69		
28	-0.577 241 65	0.766 500 25	0.332 281 97	12	-0.987 903 36	0.177 178 73	0.076 814 46		
29	-0.591 028 91	0.757 482 98	0.328 372 34	13	-0.990 777 88	0.161 714 91	0.070 111 03		
30	-0.604 650 19	0.748 252 48	0.324 370 30	14	-0.993 363 30	0.146 205 04	0.063 387 47		
31	-0.618 101 78	0.738 811 04	0.320 276 89	15	-0.995 658 92	0.130 653 83	0.056 645 82		
<b>Août</b> 1	-0.631 379 96	0.729 160 99	0.316 093 13	16	-0.997 664 16	0.115 065 94	0.049 888 13		
2	-0.644 480 99	0.719 304 71	0.311 820 09	17	-0.999 378 53	0.099 445 95	0.043 116 41		
3	-0.657 401 12	0.709 244 60	0.307 458 83	18	-1.000 801 62	0.083 798 42	0.036 332 64		
4	-0.670 136 59	0.698 983 10	0.303 010 41	19	-1.001 933 08	0.068 127 86	0.029 538 82		
5	-0.682 683 59	0.688 522 73	0.298 475 96	20	-1.002 772 64	0.052 438 74	0.022 736 92		
6	-0.695 038 30	0.677 866 08	0.293 856 57	21	-1.003 320 10	0.036 735 50	0.015 928 87		
7	-0.707 196 85	0.667 015 82	0.289 153 43	22	-1.003 575 30	0.021 022 53	0.009 116 63		
8	-0.719 155 32	0.655 974 77	0.284 367 71	23	-1.003 538 12	0.005 304 21	0.002 302 12		
9	-0.730 909 82	0.644 745 86	0.279 500 67	24	-1.003 208 51	-0.010 415 11	-0.004 512 75		
10	-0.742 456 43	0.633 332 22	0.274 553 63	25	-1.002 586 45	-0.026 131 11	-0.011 326 09		
11	-0.753 791 31	0.621 737 15	0.269 527 96	26	-1.001 671 91	-0.041 839 51	-0.018 136 00		
12	-0.764 910 73	0.609 964 14	0.264 425 13	27	-1.000 464 90	-0.057 536 00	-0.024 940 60		
13	-0.775 811 11	0.598 016 81	0.259 246 66	28	-0.998 965 44	-0.073 216 29	-0.031 738 03		
14	-0.786 489 07	0.585 898 90	0.253 994 13	29	-0.997 173 55	-0.088 876 06	-0.038 526 40		
15	-0.796 941 40	0.573 614 20	0.248 669 17	30	-0.995 089 25	-0.104 510 94	-0.045 303 83		
16	-0.807 165 11	0.561 166 54	0.243 273 39	<b>Oct.</b> 1	-0.992 712 59	-0.120 116 50	-0.052 068 41		
17	-0.817 157 31	0.548 559 71	0.237 808 44	2	-0.990 043 64	-0.135 688 26	-0.058 818 22		

## SOLEIL 2018 à 0h TT

## COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Oct.	3	-0.987 082 52	-0.151 221 62	-0.065 551 31	Nov.	18	-0.562 343 56	-0.745 969 62	-0.323 377 84
	4	-0.983 829 45	-0.166 711 91	-0.072 265 67		19	-0.547 828 27	-0.754 768 67	-0.327 192 58
	5	-0.980 284 72	-0.182 154 34	-0.078 959 28		20	-0.533 146 64	-0.763 336 54	-0.330 906 97
	6	-0.976 448 78	-0.197 544 04	-0.085 630 07		21	-0.518 303 05	-0.771 670 79	-0.334 519 93
	7	-0.972 322 25	-0.212 876 07	-0.092 275 94		22	-0.503 301 83	-0.779 769 05	-0.338 030 43
	8	-0.967 905 93	-0.228 145 43	-0.098 894 76		23	-0.488 147 28	-0.787 628 99	-0.341 437 46
	9	-0.963 200 84	-0.243 347 12	-0.105 484 39		24	-0.472 843 69	-0.795 248 33	-0.344 740 04
	10	-0.958 208 20	-0.258 476 17	-0.112 042 68		25	-0.457 395 29	-0.802 624 77	-0.347 937 20
	11	-0.952 929 44	-0.273 527 66	-0.118 567 53		26	-0.441 806 32	-0.809 756 00	-0.351 027 96
	12	-0.947 366 13	-0.288 496 78	-0.125 056 82		27	-0.426 081 05	-0.816 639 64	-0.354 011 35
	13	-0.941 520 00	-0.303 378 79	-0.131 508 49		28	-0.410 223 81	-0.823 273 33	-0.356 886 37
	14	-0.935 392 88	-0.318 169 06	-0.137 920 53		29	-0.394 239 06	-0.829 654 63	-0.359 652 01
15	-0.928 986 69	-0.332 863 06	-0.144 290 93	30	-0.378 131 34	-0.835 781 13	-0.362 307 28		
16	-0.922 303 42	-0.347 456 34	-0.150 617 74	Déc.	1	-0.361 905 38	-0.841 650 45	-0.364 851 17	
17	-0.915 345 15	-0.361 944 51	-0.156 899 03		2	-0.345 566 04	-0.847 260 27	-0.367 282 70	
18	-0.908 114 00	-0.376 323 29	-0.163 132 92	3	-0.329 118 32	-0.852 608 34	-0.369 600 92		
19	-0.900 612 16	-0.390 588 43	-0.169 317 53	4	-0.312 567 35	-0.857 692 53	-0.371 804 91		
20	-0.892 841 86	-0.404 735 78	-0.175 451 03	5	-0.295 918 40	-0.862 510 85	-0.373 893 81		
21	-0.884 805 38	-0.418 761 23	-0.181 531 62	6	-0.279 176 83	-0.867 061 43	-0.375 866 80		
22	-0.876 505 06	-0.432 660 75	-0.187 557 51	7	-0.262 348 08	-0.871 342 57	-0.377 723 12		
23	-0.867 943 23	-0.446 430 37	-0.193 526 98	8	-0.245 437 64	-0.875 352 72	-0.379 462 09		
24	-0.859 122 27	-0.460 066 16	-0.199 438 28	9	-0.228 451 07	-0.879 090 50	-0.381 083 06		
25	-0.850 044 54	-0.473 564 26	-0.205 289 75	10	-0.211 393 91	-0.882 554 67	-0.382 585 47		
26	-0.840 712 41	-0.486 920 81	-0.211 079 69	11	-0.194 271 74	-0.885 744 13	-0.383 968 83		
27	-0.831 128 24	-0.500 131 96	-0.216 806 45	12	-0.177 090 11	-0.888 657 93	-0.385 232 68		
28	-0.821 294 40	-0.513 193 83	-0.222 468 35	13	-0.159 854 57	-0.891 295 26	-0.386 376 65		
29	-0.811 213 28	-0.526 102 51	-0.228 063 73	14	-0.142 570 65	-0.893 655 41	-0.387 400 38		
30	-0.800 887 29	-0.538 854 03	-0.233 590 90	15	-0.125 243 87	-0.895 737 80	-0.388 303 62		
31	-0.790 318 93	-0.551 444 37	-0.239 048 14	16	-0.107 879 70	-0.897 541 98	-0.389 086 14		
Nov.	1	-0.779 510 82	-0.563 869 44	-0.244 433 73	17	-0.090 483 57	-0.899 067 59	-0.389 747 76	
	2	-0.768 465 67	-0.576 125 11	-0.249 745 93	18	-0.073 060 89	-0.900 314 38	-0.390 288 36	
	3	-0.757 186 37	-0.588 207 22	-0.254 982 96	19	-0.055 616 99	-0.901 282 23	-0.390 707 88	
	4	-0.745 675 99	-0.600 111 61	-0.260 143 05	20	-0.038 157 12	-0.901 971 07	-0.391 006 29	
	5	-0.733 937 74	-0.611 834 12	-0.265 224 45	21	-0.020 686 47	-0.902 380 91	-0.391 183 59	
	6	-0.721 975 07	-0.623 370 69	-0.270 225 39	22	-0.003 210 13	-0.902 511 79	-0.391 239 82	
	7	-0.709 791 56	-0.634 717 30	-0.275 144 14	23	0.014 266 88	-0.902 363 77	-0.391 175 05	
	8	-0.697 390 98	-0.645 870 05	-0.279 979 02	24	0.031 739 60	-0.901 936 88	-0.390 989 31	
	9	-0.684 777 22	-0.656 825 18	-0.284 728 38	25	0.049 203 06	-0.901 231 11	-0.390 682 65	
	10	-0.671 954 29	-0.667 579 04	-0.289 390 62	26	0.066 652 26	-0.900 246 41	-0.390 255 11	
	11	-0.658 926 30	-0.678 128 14	-0.293 964 20	27	0.084 082 11	-0.898 982 75	-0.389 706 70	
	12	-0.645 697 39	-0.688 469 10	-0.298 447 63	28	0.101 487 41	-0.897 440 09	-0.389 037 45	
13	-0.632 271 80	-0.698 598 66	-0.302 839 47	29	0.118 862 88	-0.895 618 48	-0.388 247 43		
14	-0.618 653 76	-0.708 513 71	-0.307 138 33	30	0.136 203 09	-0.893 518 07	-0.387 336 70		
15	-0.604 847 59	-0.718 211 19	-0.311 342 88	31	0.153 502 54	-0.891 139 12	-0.386 305 39		
16	-0.590 857 59	-0.727 688 21	-0.315 451 80	32	0.170 755 66	-0.888 482 03	-0.385 153 68		
17	-0.576 688 12	-0.736 941 93	-0.319 463 86	33	0.187 956 84	-0.885 547 37	-0.383 881 79		



## LUNE

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

## LUNE 2018 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	4 34 48.202	17 12 15.86	360 136.086	Janv. 11 0	14 53 51.035	-11 7 46.05	399 154.787
	6 4 50 20.341	17 50 57.61	359 288.332		6 15 5 43.304	-11 59 21.64	400 067.923
	12 5 6 3.354	18 25 10.65	358 546.255		12 15 17 37.191	-12 48 52.72	400 917.426
	18 5 21 56.136	18 54 38.40	357 915.473		18 15 29 33.073	-13 36 12.98	401 703.125
1 0	5 37 57.379	19 19 6.08	357 400.880	12 0	15 41 31.278	-14 21 16.25	402 425.148
	6 5 54 5.592	19 38 21.09	357 006.574		6 15 53 32.082	-15 3 56.50	403 083.892
	12 6 10 19.124	19 52 13.31	356 735.790		12 16 5 35.707	-15 44 7.83	403 680.001
	18 6 26 36.197	20 0 35.35	356 590.856		18 16 17 42.320	-16 21 44.49	404 214.338
2 0	6 42 54.948	20 3 22.82	356 573.153	13 0	16 29 52.030	-16 56 40.91	404 687.958
	6 6 59 13.469	20 0 34.37	356 683.091		6 16 42 4.894	-17 28 51.72	405 102.085
	12 7 15 29.854	19 52 11.82	356 920.102		12 16 54 20.906	-17 58 11.81	405 458.080
	18 7 31 42.246	19 38 20.02	357 282.650		18 17 6 40.009	-18 24 36.31	405 757.422
3 0	7 47 48.881	19 19 6.77	357 768.247	14 0	17 19 2.087	-18 48 0.68	406 001.679
	6 8 3 48.123	18 54 42.60	358 373.491		6 17 31 26.973	-19 8 20.73	406 192.481
	12 8 19 38.498	18 25 20.46	359 094.119		12 17 43 54.451	-19 25 32.66	406 331.502
	18 8 35 18.721	17 51 15.40	359 925.063		18 17 56 24.256	-19 39 33.10	406 420.431
4 0	8 50 47.708	17 12 44.23	360 860.523	15 0	18 8 56.085	-19 50 19.19	406 460.954
	6 9 6 4.586	16 30 5.12	361 894.046		6 18 21 29.597	-19 57 48.54	406 454.734
	12 9 21 8.697	15 43 37.24	363 018.611		12 18 34 4.422	-20 1 59.35	406 403.386
	18 9 35 59.587	14 53 40.39	364 226.720		18 18 46 40.166	-20 2 50.35	406 308.465
5 0	9 50 37.002	14 0 34.68	365 510.488	16 0	18 59 16.422	-20 0 20.92	406 171.448
	6 10 5 0.866	13 4 40.25	366 861.737		6 19 11 52.774	-19 54 31.03	405 993.719
	12 10 19 11.270	12 6 16.99	368 272.083		12 19 24 28.806	-19 45 21.27	405 776.559
	18 10 33 8.449	11 5 44.34	369 733.030		18 19 37 4.111	-19 32 52.89	405 521.132
6 0	10 46 52.765	10 3 21.12	371 236.049	17 0	19 49 38.296	-19 17 7.73	405 228.478
	6 11 0 24.686	8 59 25.44	372 772.656		6 20 2 10.995	-18 58 8.27	404 899.510
	12 11 13 44.771	7 54 14.55	374 334.489		12 20 14 41.869	-18 35 57.56	404 535.006
	18 11 26 53.648	6 48 4.83	375 913.366		18 20 27 10.616	-18 10 39.25	404 135.611
7 0	11 39 52.003	5 41 11.74	377 501.354	18 0	20 39 36.976	-17 42 17.49	403 701.837
	6 11 52 40.564	4 33 49.85	379 090.810		6 20 52 0.737	-17 10 56.99	403 234.064
	12 12 5 20.088	3 26 12.82	380 674.433		12 21 4 21.735	-16 36 42.87	402 732.549
	18 12 17 51.354	2 18 33.45	382 245.296		18 21 16 39.860	-15 59 40.72	402 197.434
8 0	12 30 15.148	1 11 3.74	383 796.880	19 0	21 28 55.057	-15 19 56.53	401 628.755
	6 12 42 32.260	0 3 54.92	385 323.096		6 21 41 7.329	-14 37 36.60	401 026.455
	12 12 54 43.475	- 1 2 42.47	386 818.304		12 21 53 16.733	-13 52 47.60	400 390.401
	18 13 6 49.567	- 2 8 38.54	388 277.323		18 22 5 23.386	-13 5 36.43	399 720.398
9 0	13 18 51.295	- 3 13 43.95	389 695.442	20 0	22 17 27.460	-12 16 10.29	399 016.210
	6 13 30 49.399	- 4 17 49.89	391 068.416		6 22 29 29.180	-11 24 36.57	398 277.583
	12 13 42 44.594	- 5 20 47.99	392 392.471		12 22 41 28.828	-10 31 2.86	397 504.260
	18 13 54 37.571	- 6 22 30.26	393 664.293		18 22 53 26.734	- 9 35 36.96	396 696.015
10 0	14 6 28.987	- 7 22 49.07	394 881.019	21 0	23 5 23.279	- 8 38 26.81	395 852.670
	6 14 18 19.469	- 8 21 37.06	396 040.227		6 23 17 18.891	- 7 39 40.53	394 974.126
	12 14 30 9.610	- 9 18 47.11	397 139.920		12 23 29 14.039	- 6 39 26.41	394 060.387
	18 14 41 59.961	-10 14 12.35	398 178.507		18 23 41 9.239	- 5 37 52.88	393 111.589

## LUNE 2018 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	23 53 5.040	− 4 35 8.59	392 128.029	<b>Févr.</b> 2 0	10 21 48.825	11 57 56.54	364 944.701
6	0 5 2.032	− 3 31 22.36	391 110.189	6	10 36 4.452	10 55 41.42	366 085.463
12	0 17 0.834	− 2 26 43.24	390 058.769	12	10 50 8.284	9 51 25.46	367 304.002
18	0 29 2.098	− 1 21 20.54	388 974.709	18	11 4 0.569	8 45 28.42	368 593.098
23 0	0 41 6.500	− 0 15 23.83	387 859.216	3 0	11 17 41.663	7 38 9.47	369 945.169
6	0 53 14.740	0 50 56.99	386 713.791	6	11 31 12.005	6 29 47.04	371 352.357
12	1 5 27.536	1 57 31.66	385 540.247	12	11 44 32.111	5 20 38.75	372 806.601
18	1 17 45.622	3 4 9.53	384 340.735	18	11 57 42.554	4 11 1.33	374 299.721
24 0	1 30 9.738	4 10 39.50	383 117.758	4 0	12 10 43.952	3 1 10.59	375 823.486
6	1 42 40.629	5 16 49.98	381 874.188	6	12 23 36.959	1 51 21.41	377 369.690
12	1 55 19.038	6 22 28.86	380 613.278	12	12 36 22.249	0 41 47.74	378 930.217
18	2 8 5.694	7 27 23.47	379 338.666	18	12 49 0.515	− 0 27 17.35	380 497.098
25 0	2 21 1.307	8 31 20.54	378 054.384	5 0	13 1 32.452	− 1 35 41.68	382 062.570
6	2 34 6.557	9 34 6.18	376 764.852	6	13 13 58.756	− 2 43 13.89	383 619.124
12	2 47 22.083	10 35 25.90	375 474.876	12	13 26 20.117	− 3 49 43.39	385 159.550
18	3 0 48.470	11 35 4.55	374 189.629	18	13 38 37.212	− 4 55 0.28	386 676.971
26 0	3 14 26.235	12 32 46.43	372 914.640	6 0	13 50 50.701	− 5 58 55.33	388 164.880
6	3 28 15.811	13 28 15.26	371 655.763	6	14 3 1.225	− 7 1 19.93	389 617.165
12	3 42 17.533	14 21 14.31	370 419.149	12	14 15 9.399	− 8 2 5.98	391 028.127
18	3 56 31.621	15 11 26.46	369 211.208	18	14 27 15.812	− 9 1 5.86	392 392.503
27 0	4 10 58.162	15 58 34.36	368 038.562	7 0	14 39 21.023	− 9 58 12.39	393 705.473
6	4 25 37.096	16 42 20.60	366 907.994	6	14 51 25.555	− 10 53 18.78	394 962.671
12	4 40 28.199	17 22 27.89	365 826.390	12	15 3 29.899	− 11 46 18.57	396 160.187
18	4 55 31.077	17 58 39.32	364 800.675	18	15 15 34.506	− 12 37 5.60	397 294.572
28 0	5 10 45.148	18 30 38.62	363 837.742	8 0	15 27 39.789	− 13 25 34.00	398 362.828
6	5 26 9.647	18 58 10.42	362 944.377	6	15 39 46.116	− 14 11 38.11	399 362.410
12	5 41 43.622	19 21 0.59	362 127.184	12	15 51 53.814	− 14 55 12.53	400 291.214
18	5 57 25.942	19 38 56.55	361 392.502	18	16 4 3.161	− 15 36 12.06	401 147.569
29 0	6 13 15.314	19 51 47.53	360 746.322	9 0	16 16 14.392	− 16 14 31.68	401 930.224
6	6 29 10.300	19 59 24.90	360 194.210	6	16 28 27.691	− 16 50 6.62	402 638.332
12	6 45 9.345	20 1 42.38	359 741.226	12	16 40 43.192	− 17 22 52.28	403 271.437
18	7 1 10.810	19 58 36.27	359 391.848	18	16 53 0.983	− 17 52 44.31	403 829.456
30 0	7 17 13.008	19 50 5.59	359 149.904	10 0	17 5 21.099	− 18 19 38.56	404 312.661
6	7 33 14.241	19 36 12.10	359 018.512	6	17 17 43.529	− 18 43 31.17	404 721.657
12	7 49 12.841	19 17 0.39	359 000.022	12	17 30 8.213	− 19 4 18.54	405 057.364
18	8 5 7.206	18 52 37.72	359 095.977	18	17 42 35.045	− 19 21 57.38	405 320.994
31 0	8 20 55.834	18 23 13.94	359 307.080	11 0	17 55 3.877	− 19 36 24.72	405 514.030
6	8 36 37.355	17 49 1.27	359 633.175	6	18 7 34.519	− 19 47 37.99	405 638.199
12	8 52 10.549	17 10 14.03	360 073.240	12	18 20 6.747	− 19 55 34.98	405 695.455
18	9 7 34.368	16 27 8.38	360 625.393	18	18 32 40.303	− 20 0 13.94	405 687.950
<b>Févr.</b> 1 0	9 22 47.943	15 40 1.98	361 286.909	12 0	18 45 14.903	− 20 1 33.55	405 618.009
6	9 37 50.591	14 49 13.67	362 054.254	6	18 57 50.244	− 19 59 32.99	405 488.108
12	9 52 41.811	13 55 3.13	362 923.124	12	19 10 26.004	− 19 54 11.96	405 300.849
18	10 7 21.275	12 57 50.59	363 888.499	18	19 23 1.855	− 19 45 30.68	405 058.933

## LUNE 2018 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 19 35 37.467	-19 33 29.91	404 765.138	Févr. 24	0 4 52 30.161	17 53 43.07	370 907.805
	6 19 48 12.511	-19 18 10.99	404 422.292		6 5 7 11.258	18 25 31.36	370 103.909
	12 20 0 46.672	-18 59 35.83	404 033.251		12 5 22 1.401	18 53 11.00	369 329.309
	18 20 13 19.651	-18 37 46.89	403 600.874		18 5 36 59.959	19 16 29.99	368 588.287
14	0 20 25 51.170	-18 12 47.22	403 128.002	25	0 5 52 6.167	19 35 17.40	367 885.276
	6 20 38 20.982	-17 44 40.43	402 617.435		6 6 7 19.131	19 49 23.61	367 224.827
	12 20 50 48.870	-17 13 30.66	402 071.913		12 6 22 37.839	19 58 40.48	366 611.562
	18 21 3 14.656	-16 39 22.61	401 494.095		18 6 38 1.176	20 3 1.53	366 050.127
15	0 21 15 38.203	-16 2 21.48	400 886.541	26	0 6 53 27.948	20 2 22.14	365 545.136
	6 21 27 59.416	-15 22 32.96	400 251.701		6 7 8 56.896	19 56 39.64	365 101.120
	12 21 40 18.248	-14 40 3.22	399 591.892		12 7 24 26.730	19 45 53.46	364 722.466
	18 21 52 34.697	-13 54 58.87	398 909.294		18 7 39 56.151	19 30 5.18	364 413.357
16	0 22 4 48.811	-13 7 26.93	398 205.937	27	0 7 55 23.875	19 9 18.54	364 177.713
	6 22 17 0.686	-12 17 34.81	397 483.691		6 8 10 48.667	18 43 39.40	364 019.131
	12 22 29 10.466	-11 25 30.28	396 744.265		12 8 26 9.357	18 13 15.74	363 940.829
	18 22 41 18.342	-10 31 21.46	395 989.204		18 8 41 24.865	17 38 17.47	363 945.590
17	0 22 53 24.553	- 9 35 16.78	395 219.883	28	0 8 56 34.220	16 58 56.34	364 035.711
	6 23 5 29.380	- 8 37 24.95	394 437.521		6 9 11 36.570	16 15 25.77	364 212.959
	12 23 17 33.151	- 7 37 54.98	393 643.175		12 9 26 31.191	15 28 0.58	364 478.533
	18 23 29 36.231	- 6 36 56.10	392 837.755		18 9 41 17.497	14 36 56.88	364 833.030
18	0 23 41 39.026	- 5 34 37.83	392 022.035	Mars 1	0 9 55 55.035	13 42 31.76	365 276.425
	6 23 53 41.977	- 4 31 9.91	391 196.663		6 10 10 23.487	12 45 3.11	365 808.050
	12 0 5 45.559	- 3 26 42.29	390 362.178		12 10 24 42.661	11 44 49.38	366 426.593
	18 0 17 50.279	- 2 21 25.17	389 519.029		18 10 38 52.485	10 42 9.37	367 130.095
19	0 0 29 56.668	- 1 15 28.98	388 667.598	2	0 10 52 52.998	9 37 22.04	367 915.965
	6 0 42 5.286	- 0 9 4.38	387 808.215		6 11 6 44.339	8 30 46.32	368 780.996
	12 0 54 16.711	0 57 37.74	386 941.189		12 11 20 26.732	7 22 40.94	369 721.395
	18 1 6 31.538	2 4 26.24	386 066.830		18 11 34 0.481	6 13 24.32	370 732.814
20	0 1 18 50.376	3 11 9.70	385 185.473	3	0 11 47 25.953	5 3 14.39	371 810.395
	6 1 31 13.843	4 17 36.46	384 297.509		6 12 0 43.567	3 52 28.55	372 948.811
	12 1 43 42.559	5 23 34.55	383 403.410		12 12 13 53.789	2 41 23.56	374 142.321
	18 1 56 17.143	6 28 51.72	382 503.757		18 12 26 57.116	1 30 15.49	375 384.823
21	0 2 8 58.204	7 33 15.39	381 599.264	4	0 12 39 54.069	0 19 19.66	376 669.910
	6 2 21 46.337	8 36 32.69	380 690.805		6 12 52 45.187	- 0 51 9.37	377 990.929
	12 2 34 42.113	9 38 30.43	379 779.441		12 13 5 31.016	- 2 0 57.82	379 341.040
	18 2 47 46.073	10 38 55.09	378 866.438		18 13 18 12.108	- 3 9 52.69	380 713.272
22	0 3 0 58.713	11 37 32.86	377 953.290	5	0 13 30 49.007	- 4 17 41.76	382 100.584
	6 3 14 20.482	12 34 9.67	377 041.735		6 13 43 22.253	- 5 24 13.54	383 495.916
	12 3 27 51.765	13 28 31.19	376 133.771		12 13 55 52.370	- 6 29 17.28	384 892.246
	18 3 41 32.874	14 20 22.90	375 231.666		18 14 8 19.865	- 7 32 42.94	386 282.637
23	0 3 55 24.036	15 9 30.16	374 337.964	6	0 14 20 45.225	- 8 34 21.11	387 660.284
	6 4 9 25.382	15 55 38.31	373 455.491		6 14 33 8.913	- 9 34 3.04	389 018.560
	12 4 23 36.936	16 38 32.72	372 587.349		12 14 45 31.366	-10 31 40.56	390 351.052
	18 4 37 58.602	17 17 59.00	371 736.909		18 14 57 52.989	-11 27 6.03	391 651.600

## LUNE 2018 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	15 10 14.157	-12 20 12.36	392 914.325	Mars 18 0	0 16 10.193	- 2 27 13.52	386 886.098
6	15 22 35.212	-13 10 52.93	394 133.663	6	0 28 28.189	- 1 19 50.31	385 979.460
12	15 34 56.459	-13 59 1.57	395 304.385	12	0 40 48.831	- 0 11 54.30	385 087.660
18	15 47 18.167	-14 44 32.54	396 421.617	18	0 53 12.618	0 56 22.40	384 212.774
8 0	15 59 40.567	-15 27 20.48	397 480.864	19 0	1 5 40.057	2 4 47.29	383 356.624
6	16 12 3.851	-16 7 20.44	398 478.018	6	1 18 11.660	3 13 7.55	382 520.781
12	16 24 28.173	-16 44 27.81	399 409.374	12	1 30 47.940	4 21 10.02	381 706.570
18	16 36 53.644	-17 18 38.34	400 271.633	18	1 43 29.405	5 28 41.23	380 915.079
9 0	16 49 20.339	-17 49 48.09	401 061.916	20 0	1 56 16.550	6 35 27.43	380 147.172
6	17 1 48.294	-18 17 53.49	401 777.761	6	2 9 9.857	7 41 14.61	379 403.501
12	17 14 17.504	-18 42 51.28	402 417.125	12	2 22 9.779	8 45 48.55	378 684.532
18	17 26 47.933	-19 4 38.53	402 978.387	18	2 35 16.742	9 48 54.81	377 990.556
10 0	17 39 19.506	-19 23 12.67	403 460.339	21 0	2 48 31.130	10 50 18.82	377 321.722
6	17 51 52.120	-19 38 31.44	403 862.187	6	3 1 53.281	11 49 45.91	376 678.056
12	18 4 25.640	-19 50 32.96	404 183.540	12	3 15 23.478	12 47 1.37	376 059.490
18	18 16 59.907	-19 59 15.69	404 424.405	18	3 29 1.935	13 41 50.54	375 465.891
11 0	18 29 34.742	-20 4 38.47	404 585.174	22 0	3 42 48.797	14 33 58.83	374 897.087
6	18 42 9.945	-20 6 40.53	404 666.615	6	3 56 44.125	15 23 11.87	374 352.901
12	18 54 45.306	-20 5 21.49	404 669.858	12	4 10 47.889	16 9 15.60	373 833.172
18	19 7 20.603	-20 0 41.36	404 596.381	18	4 24 59.963	16 51 56.34	373 337.786
12 0	19 19 55.613	-19 52 40.60	404 447.996	23 0	4 39 20.120	17 31 0.95	372 866.706
6	19 32 30.114	-19 41 20.08	404 226.828	6	4 53 48.025	18 6 16.91	372 419.985
12	19 45 3.887	-19 26 41.10	403 935.301	12	5 8 23.234	18 37 32.52	371 997.801
18	19 57 36.727	-19 8 45.42	403 576.118	18	5 23 5.199	19 4 36.97	371 600.463
13 0	20 10 8.443	-18 47 35.24	403 152.238	24 0	5 37 53.267	19 27 20.52	371 228.435
6	20 22 38.861	-18 23 13.21	402 666.856	6	5 52 46.686	19 45 34.62	370 882.344
12	20 35 7.834	-17 55 42.45	402 123.380	12	6 7 44.619	19 59 12.03	370 562.988
18	20 47 35.239	-17 25 6.53	401 525.407	18	6 22 46.153	20 8 6.95	370 271.342
14 0	21 0 0.984	-16 51 29.50	400 876.698	25 0	6 37 50.314	20 12 15.08	370 008.553
6	21 12 25.009	-16 14 55.85	400 181.152	6	6 52 56.089	20 11 33.79	369 775.941
12	21 24 47.289	-15 35 30.52	399 442.780	12	7 8 2.435	20 6 2.05	369 574.983
18	21 37 7.835	-14 53 18.95	398 665.678	18	7 23 8.310	19 55 40.59	369 407.303
15 0	21 49 26.696	-14 8 26.98	397 853.998	26 0	7 38 12.686	19 40 31.81	369 274.657
6	22 1 43.958	-13 21 0.95	397 011.921	6	7 53 14.568	19 20 39.83	369 178.901
12	22 13 59.745	-12 31 7.62	396 143.631	12	8 8 13.018	18 56 10.37	369 121.975
18	22 26 14.222	-11 38 54.20	395 253.283	18	8 23 7.163	18 27 10.78	369 105.869
16 0	22 38 27.589	-10 44 28.35	394 344.978	27 0	8 37 56.216	17 53 49.85	369 132.591
6	22 50 40.084	- 9 47 58.14	393 422.737	6	8 52 39.481	17 16 17.77	369 204.132
12	23 2 51.980	- 8 49 32.10	392 490.472	12	9 7 16.365	16 34 45.97	369 322.429
18	23 15 3.586	- 7 49 19.18	391 551.963	18	9 21 46.379	15 49 27.02	369 489.330
17 0	23 27 15.242	- 6 47 28.74	390 610.837	28 0	9 36 9.142	15 0 34.45	369 706.549
6	23 39 27.319	- 5 44 10.55	389 670.543	6	9 50 24.381	14 8 22.67	369 975.635
12	23 51 40.216	- 4 39 34.83	388 734.333	12	10 4 31.925	13 13 6.74	370 297.927
18	0 3 54.358	- 3 33 52.15	387 805.247	18	10 18 31.704	12 15 2.32	370 674.524



## LUNE 2018 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>Mars</b> 29 0	10 32 23.738	11 14 25.50	371 106.245	<b>Avril</b> 9 0	19 53 27.186	-19 27 5.66	403 759.803
	6 10 46 8.132	10 11 32.65	371 593.602		6 20 5 57.093	-19 6 52.81	403 471.256
	12 10 59 45.068	9 6 40.35	372 136.770		12 20 18 25.062	-18 43 28.13	403 104.339
	18 11 13 14.793	8 0 5.24	372 735.564		18 20 30 51.026	-18 16 54.87	402 660.781
30 0	11 26 37.613	6 52 3.95	373 389.420	10 0	20 43 14.949	-17 47 16.59	402 142.692
	6 11 39 53.882	5 42 52.98	374 097.378	6 20 55 36.835	-17 14 37.17	401 552.549	
	12 11 53 3.996	4 32 48.64	374 858.075	12 21 7 56.719	-16 39 0.84	400 893.190	
	18 12 6 8.382	3 22 6.98	375 669.738	18 21 20 14.677	-16 0 32.12	400 167.800	
31 0	12 19 7.489	2 11 3.72	376 530.190	11 0	21 32 30.821	-15 19 15.88	399 379.895
	6 12 32 1.785	0 59 54.18	377 436.848	6 21 44 45.302	-14 35 17.32	398 533.307	
	12 12 44 51.746	- 0 11 6.75	378 386.740	12 21 56 58.305	-13 48 41.98	397 632.166	
	18 12 57 37.852	- 1 21 44.63	379 376.521	18 22 9 10.057	-12 59 35.75	396 680.875	
<b>Avril</b> 1 0	13 10 20.581	- 2 31 45.56	380 402.488	12 0	22 21 20.815	-12 8 4.88	395 684.093
	6 13 23 0.403	- 3 40 56.14	381 460.610	6 22 33 30.875	-11 14 16.03	394 646.705	
	12 13 35 37.776	- 4 49 3.55	382 546.552	12 22 45 40.563	-10 18 16.24	393 573.799	
	18 13 48 13.139	- 5 55 55.50	383 655.709	18 22 57 50.240	- 9 20 12.99	392 470.630	
2 0	14 0 46.914	- 7 1 20.33	384 783.236	13 0	23 10 0.293	- 8 20 14.18	391 342.598
	6 14 13 19.497	- 8 5 6.91	385 924.084	6 23 22 11.139	- 7 18 28.22	390 195.203	
	12 14 25 51.257	- 9 7 4.72	387 073.041	12 23 34 23.221	- 6 15 3.97	389 034.023	
	18 14 38 22.533	-10 7 3.85	388 224.763	18 23 46 37.003	- 5 10 10.83	387 864.666	
3 0	14 50 53.631	-11 4 54.93	389 373.818	14 0	23 58 52.971	- 4 3 58.72	386 692.739
	6 15 3 24.824	-12 0 29.20	390 514.720	6 0 11 11.628	- 2 56 38.14	385 523.805	
	12 15 15 56.348	-12 53 38.46	391 641.972	12 0 23 33.491	- 1 48 20.12	384 363.350	
	18 15 28 28.402	-13 44 15.08	392 750.096	18 0 35 59.088	- 0 39 16.31	383 216.733	
4 0	15 41 1.145	-14 32 12.00	393 833.676	15 0	0 48 28.952	0 30 21.07	382 089.159
	6 15 53 34.699	-15 17 22.69	394 887.389	6 1 1 3.621	1 40 19.20	380 985.631	
	12 16 6 9.146	-15 59 41.17	395 906.037	12 1 13 43.625	2 50 24.66	379 910.917	
	18 16 18 44.529	-16 39 2.00	396 884.582	18 1 26 29.491	4 0 23.47	378 869.514	
5 0	16 31 20.855	-17 15 20.25	397 818.174	16 0	1 39 21.726	5 10 1.08	377 865.618
	6 16 43 58.093	-17 48 31.53	398 702.175	6 1 52 20.817	6 19 2.44	376 903.088	
	12 16 56 36.178	-18 18 31.93	399 532.191	12 2 5 27.223	7 27 11.98	375 985.427	
	18 17 9 15.011	-18 45 18.05	400 304.090	18 2 18 41.363	8 34 13.74	375 115.756	
6 0	17 21 54.468	-19 8 47.00	401 014.029	17 0	2 32 3.610	9 39 51.37	374 296.796
	6 17 34 34.394	-19 28 56.33	401 658.465	6 2 45 34.282	10 43 48.26	373 530.857	
	12 17 47 14.615	-19 45 44.10	402 234.181	12 2 59 13.630	11 45 47.59	372 819.830	
	18 17 59 54.936	-19 59 8.83	402 738.298	18 3 13 1.830	12 45 32.47	372 165.183	
7 0	18 12 35.151	-20 9 9.49	403 168.287	18 0	3 26 58.974	13 42 46.07	371 567.968
	6 18 25 15.041	-20 15 45.48	403 521.982	6 3 41 5.058	14 37 11.71	371 028.825	
	12 18 37 54.386	-20 18 56.65	403 797.592	12 3 55 19.976	15 28 33.05	370 548.000	
	18 18 50 32.964	-20 18 43.27	403 993.706	18 4 9 43.512	16 16 34.22	370 125.359	
8 0	19 3 10.558	-20 15 6.03	404 109.300	19 0	4 24 15.333	17 1 0.01	369 760.417
	6 19 15 46.961	-20 8 5.99	404 143.744	6 4 38 54.990	17 41 36.04	369 452.361	
	12 19 28 21.980	-19 57 44.63	404 096.802	12 4 53 41.913	18 18 8.90	369 200.082	
	18 19 40 55.439	-19 44 3.78	403 968.636	18 5 8 35.417	18 50 26.36	369 002.213	

## LUNE 2018 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 5 23 34.706	19 18 17.49	368 857.161	Mai 1	0 15 23 16.567	-13 30 25.34	392 974.149
	6 5 38 38.882	19 41 32.85	368 763.147		6 15 35 49.281	-14 20 11.90	393 877.520
	12 5 53 46.962	20 0 4.61	368 718.244		12 15 48 23.793	-15 7 16.85	394 768.849
	18 6 8 57.891	20 13 46.62	368 720.418		18 16 1 0.121	-15 51 32.95	395 644.449
21	0 6 24 10.559	20 22 34.55	368 767.568	2	0 16 13 38.233	-16 32 53.49	396 500.537
	6 6 39 23.826	20 26 25.89	368 857.557		6 16 26 18.052	-17 11 12.36	397 333.250
	12 6 54 36.543	20 25 20.00	368 988.256		12 16 38 59.454	-17 46 24.01	398 138.677
	18 7 9 47.575	20 19 18.06	369 157.570		18 16 51 42.273	-18 18 23.52	398 912.880
22	0 7 24 55.821	20 8 23.09	369 363.472	3	0 17 4 26.303	-18 47 6.56	399 651.921
	6 7 40 0.237	19 52 39.81	369 604.031		6 17 17 11.303	-19 12 29.44	400 351.890
	12 7 54 59.857	19 32 14.55	369 877.429		12 17 29 57.002	-19 34 29.08	401 008.925
	18 8 9 53.801	19 7 15.17	370 181.987		18 17 42 43.102	-19 53 3.04	401 619.246
23	0 8 24 41.298	18 37 50.88	370 516.177	4	0 17 55 29.288	-20 8 9.48	402 179.174
	6 8 39 21.686	18 4 12.10	370 878.629		6 18 8 15.231	-20 19 47.18	402 685.160
	12 8 53 54.426	17 26 30.31	371 268.143		12 18 21 0.596	-20 27 55.51	403 133.806
	18 9 8 19.095	16 44 57.91	371 683.687		18 18 33 45.047	-20 32 34.40	403 521.892
24	0 9 22 35.395	15 59 48.02	372 124.396	5	0 18 46 28.255	-20 33 44.37	403 846.400
	6 9 36 43.142	15 11 14.41	372 589.562		6 18 59 9.904	-20 31 26.44	404 104.530
	12 9 50 42.263	14 19 31.28	373 078.631		12 19 11 49.699	-20 25 42.13	404 293.728
	18 10 4 32.791	13 24 53.22	373 591.182		18 19 24 27.367	-20 16 33.42	404 411.701
25	0 10 18 14.853	12 27 35.04	374 126.913	6	0 19 37 2.668	-20 4 2.75	404 456.440
	6 10 31 48.661	11 27 51.71	374 685.621		6 19 49 35.393	-19 48 12.94	404 426.235
	12 10 45 14.503	10 25 58.25	375 267.183		12 20 2 5.375	-19 29 7.18	404 319.694
	18 10 58 32.733	9 22 9.68	375 871.525		18 20 14 32.487	-19 6 49.00	404 135.756
26	0 11 11 43.761	8 16 40.98	376 498.605	7	0 20 26 56.646	-18 41 22.23	403 873.710
	6 11 24 48.041	7 9 46.98	377 148.380		6 20 39 17.818	-18 12 50.97	403 533.201
	12 11 37 46.067	6 1 42.37	377 820.785		12 20 51 36.013	-17 41 19.60	403 114.249
	18 11 50 38.358	4 52 41.68	378 515.702		18 21 3 51.291	-17 6 52.69	402 617.254
27	0 12 3 25.454	3 42 59.19	379 232.935	8	0 21 16 3.759	-16 29 35.06	402 043.007
	6 12 16 7.910	2 32 48.99	379 972.187		6 21 28 13.572	-15 49 31.71	401 392.699
	12 12 28 46.284	1 22 24.88	380 733.035		12 21 40 20.933	-15 6 47.85	400 667.921
	18 12 41 21.135	0 12 0.43	381 514.906		18 21 52 26.088	-14 21 28.88	399 870.672
28	0 12 53 53.015	- 0 58 11.10	382 317.062	9	0 22 4 29.329	-13 33 40.39	399 003.362
	6 13 6 22.467	- 2 7 56.70	383 138.578		6 22 16 30.989	-12 43 28.20	398 068.805
	12 13 18 50.014	- 3 17 3.71	383 978.328		12 22 28 31.443	-11 50 58.36	397 070.223
	18 13 31 16.162	- 4 25 19.75	384 834.977		18 22 40 31.104	-10 56 17.13	396 011.237
29	0 13 43 41.390	- 5 32 32.78	385 706.967	10	0 22 52 30.419	- 9 59 31.08	394 895.861
	6 13 56 6.147	- 6 38 31.12	386 592.516		6 23 4 29.872	- 9 0 47.07	393 728.490
	12 14 8 30.853	- 7 43 3.41	387 489.612		12 23 16 29.977	- 8 0 12.31	392 513.887
	18 14 20 55.889	- 8 45 58.72	388 396.018		18 23 28 31.277	- 6 57 54.38	391 257.167
30	0 14 33 21.600	- 9 47 6.47	389 309.271	11	0 23 40 34.342	- 5 54 1.29	389 963.776
	6 14 45 48.288	-10 46 16.50	390 226.692		6 23 52 39.766	- 4 48 41.50	388 639.466
	12 14 58 16.211	-11 43 19.09	391 145.395		12 0 4 48.162	- 3 42 4.00	387 290.271
	18 15 10 45.582	-12 38 4.97	392 062.301		18 0 17 0.164	- 2 34 18.35	385 922.472

## LUNE 2018 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	0	29	16.415	-	1	25	34.71	384	542.568	<b>Mai</b> 23	0	11	0	15.101	9	28	20.00	376	195.993
	6	0	41	37.572	-	0	16	3.89	383	157.230		6	11	13	21.060	8	22	40.04	377	126.498
	12	0	54	4.295	0	54	2.60	381	773.265	12		11	26	18.868	7	15	42.61	378	061.380	
	18	1	6	37.243	2	4	32.51	380	397.569	18		11	39	9.160	6	7	42.01	378	998.482	
13	0	1	19	17.071	3	15	12.84	379	037.075	24	0	11	51	52.600	4	58	52.13	379	935.886	
	6	1	32	4.418	4	25	49.78	377	698.707		6	12	4	29.867	3	49	26.46	380	871.906	
	12	1	44	59.905	5	36	8.77	376	389.320		12	12	17	1.653	2	39	38.06	381	805.066	
	18	1	58	4.121	6	45	54.42	375	115.650		18	12	29	28.650	1	29	39.66	382	734.085	
14	0	2	11	17.615	7	54	50.60	373	884.250	25	0	12	41	51.548	0	19	43.59	383	657.855	
	6	2	24	40.887	9	2	40.45	372	701.441		6	12	54	11.026	-	0	49	58.13	384	575.423
	12	2	38	14.372	10	9	6.44	371	573.248		12	13	6	27.747	-	1	59	13.80	385	485.961
	18	2	51	58.432	11	13	50.47	370	505.345		18	13	18	42.356	-	3	7	52.02	386	388.748
15	0	3	5	53.337	12	16	33.95	369	503.008	26	0	13	30	55.470	-	4	15	41.66	387	283.146
	6	3	19	59.256	13	16	57.99	368	571.058		6	13	43	7.679	-	5	22	31.84	388	168.570
	12	3	34	16.241	14	14	43.51	367	713.818		12	13	55	19.541	-	6	28	11.94	389	044.471
	18	3	48	44.215	15	9	31.45	366	935.074		18	14	7	31.575	-	7	32	31.57	389	910.305
16	0	4	3	22.957	16	1	3.00	366	238.039	27	0	14	19	44.261	-	8	35	20.59	390	765.520
	6	4	18	12.099	16	48	59.82	365	625.328		6	14	31	58.035	-	9	36	29.09	391	609.527
	12	4	33	11.113	17	33	4.29	365	098.937		12	14	44	13.289	-	10	35	47.43	392	441.684
	18	4	48	19.311	18	12	59.79	364	660.232		18	14	56	30.361	-	11	33	6.21	393	261.275
17	0	5	3	35.844	18	48	30.94	364	309.947	28	0	15	8	49.539	-	12	28	16.32	394	067.501
	6	5	18	59.713	19	19	23.89	364	048.191		6	15	21	11.057	-	13	21	8.94	394	859.457
	12	5	34	29.776	19	45	26.56	363	874.457		12	15	33	35.091	-	14	11	35.61	395	636.127
	18	5	50	4.769	20	6	28.83	363	787.653		18	15	46	1.758	-	14	59	28.21	396	396.371
18	0	6	5	43.323	20	22	22.76	363	786.124	29	0	15	58	31.116	-	15	44	39.00	397	138.920
	6	6	21	23.998	20	33	2.71	363	867.693		6	16	11	3.165	-	16	27	0.69	397	862.368
	12	6	37	5.306	20	38	25.41	364	029.705		12	16	23	37.842	-	17	6	26.46	398	565.175
	18	6	52	45.749	20	38	30.05	364	269.072		18	16	36	15.029	-	17	42	49.97	399	245.662
19	0	7	8	23.847	20	33	18.20	364	582.328	30	0	16	48	54.550	-	18	16	5.44	399	902.016
	6	7	23	58.175	20	22	53.76	364	965.683		6	17	1	36.177	-	18	46	7.66	400	532.296
	12	7	39	27.388	20	7	22.83	365	415.079		12	17	14	19.631	-	19	12	52.04	401	134.435
	18	7	54	50.250	19	46	53.56	365	926.253		18	17	27	4.592	-	19	36	14.61	401	706.254
20	0	8	10	5.656	19	21	35.90	366	494.786	31	0	17	39	50.699	-	19	56	12.05	402	245.471
	6	8	25	12.644	18	51	41.40	367	116.167		6	17	52	37.560	-	20	12	41.76	402	749.714
	12	8	40	10.411	18	17	23.00	367	785.843		12	18	5	24.758	-	20	25	41.79	403	216.534
	18	8	54	58.318	17	38	54.72	368	499.268		18	18	18	11.861	-	20	35	10.89	403	643.423
21	0	9	9	35.885	16	56	31.45	369	251.954	<b>Juin</b> 1	0	18	30	58.427	-	20	41	8.50	404	027.831
	6	9	24	2.796	16	10	28.75	370	039.512		6	18	43	44.015	-	20	43	34.74	404	367.184
	12	9	38	18.885	15	21	2.60	370	857.688		12	18	56	28.192	-	20	42	30.38	404	658.904
	18	9	52	24.126	14	28	29.21	371	702.400		18	19	9	10.542	-	20	37	56.81	404	900.427
22	0	10	6	18.626	13	33	4.88	372	569.761	2	0	19	21	50.674	-	20	29	56.05	405	089.230
	6	10	20	2.606	12	35	5.85	373	456.104		6	19	34	28.228	-	20	18	30.64	405	222.846
	12	10	33	36.392	11	34	48.21	374	358.001		12	19	47	2.880	-	20	3	43.68	405	298.893
	18	10	47	0.394	10	32	27.76	375	272.272		18	19	59	34.353	-	19	45	38.71	405	315.091

## LUNE 2018 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>	3 0	20 12	2.416	-19 24	19.71		405 269.287	<b>Juin</b>	14 0	5 40	28.013	19 57	19.77		360 381.177
	6	20 24	26.892	-18 59	51.05		405 159.478		6	5 56	24.360	20 17	31.24		359 995.761
	12	20 36	47.655	-18 32	17.42		404 983.837		12	6 12	25.992	20 32	18.94		359 720.636
	18	20 49	4.641	-18 1	43.80		404 740.728		18	6 28	31.200	20 41	35.50		359 556.499
	4 0	21 1	17.841	-17 28	15.42		404 428.735	15 0	6 44	38.197	20 45	16.35		359 503.229	
	6	21 13	27.304	-16 51	57.73		404 046.682	6	7 0	45.158	20 43	19.87		359 559.904	
	12	21 25	33.137	-16 12	56.35		403 593.655	12	7 16	50.269	20 35	47.41		359 724.817	
	18	21 37	35.505	-15 31	17.04		403 069.020	18	7 32	51.761	20 22	43.18		359 995.512	
	5 0	21 49	34.628	-14 47	5.71		402 472.448	16 0	7 48	47.961	20 4	14.21		360 368.830	
	6	22 1	30.778	-14 0	28.36		401 803.931	6	8 4	37.318	19 40	30.08		360 840.954	
	12	22 13	24.280	-13 11	31.11		401 063.800	12	8 20	18.441	19 11	42.66		361 407.477	
	18	22 25	15.508	-12 20	20.18		400 252.744	18	8 35	50.118	18 38	5.86		362 063.465	
	6 0	22 37	4.882	-11 27	1.90		399 371.825	17 0	8 51	11.332	17 59	55.28		362 803.528	
	6	22 48	52.867	-10 31	42.72		398 422.494	6	9 6	21.268	17 17	27.85		363 621.894	
	12	23 0	39.969	-9 34	29.23		397 406.602	12	9 21	19.315	16 31	1.53		364 512.485	
	18	23 12	26.732	-8 35	28.20		396 326.410	18	9 36	5.062	15 40	54.96		365 468.991	
	7 0	23 24	13.739	-7 34	46.57		395 184.601	18 0	9 50	38.285	14 47	27.21		366 484.951	
	6	23 36	1.605	-6 32	31.54		393 984.285	6	10 4	58.934	13 50	57.46		367 553.814	
	12	23 47	50.977	-5 28	50.58		392 729.004	12	10 19	7.120	12 51	44.80		368 669.015	
	18	23 59	42.529	-4 23	51.49		391 422.730	18	10 33	3.093	11 50	8.07		369 824.039	
	8 0	0 11	36.964	-3 17	42.44		390 069.867	19 0	10 46	47.224	10 46	25.63		371 012.472	
	6	0 23	35.005	-2 10	32.07		388 675.243	6	11 0	19.989	9 40	55.34		372 228.061	
	12	0 35	37.395	-1 2	29.48		387 244.101	12	11 13	41.949	8 33	54.41		373 464.758	
	18	0 47	44.893	0 6	15.64		385 782.089	18	11 26	53.735	7 25	39.36		374 716.758	
	9 0	0 59	58.270	1 15	32.99		384 295.234	20 0	11 39	56.035	6 16	26.00		375 978.535	
	6	1 12	18.301	2 25	11.60		382 789.929	6	11 52	49.573	5 6	29.42		377 244.869	
	12	1 24	45.764	3 34	59.74		381 272.898	12	12 5	35.106	3 56	4.00		378 510.869	
	18	1 37	21.430	4 44	44.87		379 751.166	18	12 18	13.407	2 45	23.44		379 771.984	
	10 0	1 50	6.056	5 54	13.65		378 232.022	21 0	12 30	45.257	1 34	40.78		381 024.019	
	6	2 3	0.374	7 3	11.83		376 722.971	6	12 43	11.439	0 24	8.43		382 263.133	
	12	2 16	5.084	8 11	24.27		375 231.690	12	12 55	32.728	-0 46	1.74		383 485.847	
	18	2 29	20.839	9 18	34.93		373 765.969	18	13 7	49.887	-1 55	38.39		384 689.031	
	11 0	2 42	48.232	10 24	26.90		372 333.654	22 0	13 20	3.659	-3 4	30.65		385 869.905	
	6	2 56	27.783	11 28	42.41		370 942.583	6	13 32	14.765	-4 12	28.08		387 026.021	
	12	3 10	19.918	12 31	2.92		369 600.516	12	13 44	23.895	-5 19	20.62		388 155.248	
	18	3 24	24.956	13 31	9.25		368 315.063	18	13 56	31.711	-6 24	58.54		389 255.760	
	12 0	3 38	43.090	14 28	41.68		367 093.614	23 0	14 8	38.836	-7 29	12.43		390 326.014	
	6	3 53	14.366	15 23	20.15		365 943.260	6	14 20	45.855	-8 31	53.15		391 364.725	
	12	4 7	58.670	16 14	44.49		364 870.722	12	14 32	53.309	-9 32	51.80		392 370.851	
	18	4 22	55.709	17 2	34.65		363 882.271	18	14 45	1.694	-10 31	59.74		393 343.562	
	13 0	4 38	4.999	17 46	31.02		362 983.665	24 0	14 57	11.455	-11 29	8.53		394 282.219	
	6	4 53	25.858	18 26	14.74		362 180.077	6	15 9	22.985	-12 24	9.96		395 186.351	
	12	5 8	57.401	19 1	28.02		361 476.036	12	15 21	36.623	-13 16	56.04		396 055.625	
	18	5 24	38.544	19 31	54.55		360 875.372	18	15 33	52.650	-14 7	19.01		396 889.825	

## LUNE 2018 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	15 46 11.284	-14 55 11.36	397 688.827	<b>Juill.</b>	6 0	0 44 17.591	- 0 22 57.50	390 743.107
	6	15 58 32.684	-15 40 25.87	398 452.573		6	0 56 10.873	0 44 35.62	389 404.463
	12	16 10 56.944	-16 22 55.59	399 181.051		12	1 8 9.511	1 52 29.77	388 023.806
	18	16 23 24.095	-17 2 33.93	399 874.272		18	1 20 14.317	3 0 34.90	386 605.267
	26 0	16 35 54.104	-17 39 14.64	400 532.246	7 0	1 32 26.107	4 8 40.37	385 153.414	
	6	16 48 26.872	-18 12 51.91	401 154.970	6	1 44 45.701	5 16 34.89	383 673.250	
	12	17 1 2.242	-18 43 20.37	401 742.403	12	1 57 13.915	6 24 6.49	382 170.202	
	18	17 13 39.995	-19 10 35.13	402 294.456	18	2 9 51.552	7 31 2.43	380 650.113	
	27 0	17 26 19.858	-19 34 31.87	402 810.973	8 0	2 22 39.393	8 37 9.16	379 119.221	
	6	17 39 1.507	-19 55 6.80	403 291.722	6	2 35 38.185	9 42 12.31	377 584.140	
	12	17 51 44.574	-20 12 16.79	403 736.384	12	2 48 48.631	10 45 56.68	376 051.829	
	18	18 4 28.653	-20 25 59.31	404 144.544	18	3 2 11.376	11 48 6.20	374 529.554	
	28 0	18 17 13.305	-20 36 12.52	404 515.688	9 0	3 15 46.986	12 48 23.98	373 024.849	
	6	18 29 58.071	-20 42 55.26	404 849.196	6	3 29 35.938	13 46 32.36	371 545.467	
	12	18 42 42.478	-20 46 7.04	405 144.340	12	3 43 38.597	14 42 13.01	370 099.325	
	18	18 55 26.046	-20 45 48.10	405 400.287	18	3 57 55.196	15 35 7.02	368 694.440	
	29 0	19 8 8.303	-20 41 59.34	405 616.102	10 0	4 12 25.819	16 24 55.10	367 338.862	
	6	19 20 48.786	-20 34 42.36	405 790.749	6	4 27 10.381	17 11 17.76	366 040.605	
	12	19 33 27.057	-20 23 59.37	405 923.101	12	4 42 8.611	17 53 55.56	364 807.561	
	18	19 46 2.707	-20 9 53.23	406 011.946	18	4 57 20.034	18 32 29.39	363 647.427	
	30 0	19 58 35.362	-19 52 27.36	406 056.001	11 0	5 12 43.969	19 6 40.83	362 567.616	
	6	20 11 4.694	-19 31 45.73	406 053.919	6	5 28 19.516	19 36 12.47	361 575.170	
	12	20 23 30.424	-19 7 52.79	406 004.309	12	5 44 5.562	20 0 48.28	360 676.683	
	18	20 35 52.324	-18 40 53.45	405 905.748	18	6 0 0.791	20 20 13.98	359 878.209	
<b>Juill.</b>	1 0	20 48 10.225	-18 10 52.99	405 756.796	12 0	6 16 3.700	20 34 17.43	359 185.190	
	6	21 0 24.017	-17 37 57.04	405 556.021	6	6 32 12.627	20 42 48.94	358 602.383	
	12	21 12 33.649	-17 2 11.52	405 302.010	12	6 48 25.783	20 45 41.53	358 133.791	
	18	21 24 39.133	-16 23 42.60	404 993.395	18	7 4 41.294	20 42 51.18	357 782.610	
	2 0	21 36 40.543	-15 42 36.65	404 628.876	13 0	7 20 57.245	20 34 16.97	357 551.184	
	6	21 48 38.009	-14 59 0.22	404 207.236	6	7 37 11.724	20 20 1.11	357 440.971	
	12	22 0 31.726	-14 12 59.97	403 727.372	12	7 53 22.873	20 0 8.93	357 452.524	
	18	22 12 21.939	-13 24 42.67	403 188.312	18	8 9 28.927	19 34 48.74	357 585.485	
	3 0	22 24 8.954	-12 34 15.19	402 589.245	14 0	8 25 28.257	19 4 11.66	357 838.588	
	6	22 35 53.125	-11 41 44.47	401 929.540	6	8 41 19.397	18 28 31.31	358 209.686	
	12	22 47 34.858	-10 47 17.49	401 208.771	12	8 57 1.074	17 48 3.53	358 695.781	
	18	22 59 14.605	- 9 51 1.32	400 426.745	18	9 12 32.221	17 3 5.99	359 293.071	
	4 0	23 10 52.864	- 8 53 3.09	399 583.519	15 0	9 27 51.984	16 13 57.85	359 997.005	
	6	23 22 30.172	- 7 53 30.00	398 679.430	6	9 42 59.722	15 20 59.33	360 802.349	
	12	23 34 7.108	- 6 52 29.37	397 715.115	12	9 57 55.006	14 24 31.44	361 703.263	
	18	23 45 44.286	- 5 50 8.65	396 691.530	18	10 12 37.602	13 24 55.52	362 693.374	
	5 0	23 57 22.356	- 4 46 35.43	395 609.977	16 0	10 27 7.457	12 22 33.06	363 765.864	
	6	0 9 1.999	- 3 41 57.51	394 472.117	6	10 41 24.682	11 17 45.34	364 913.551	
	12	0 20 43.924	- 2 36 22.93	393 279.991	12	10 55 29.535	10 10 53.25	366 128.979	
	18	0 32 28.868	- 1 30 0.04	392 036.039	18	11 9 22.395	9 2 17.10	367 404.496	

## LUNE 2018 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	11 23 3.749	7 52 16.50	368 732.341	<b>Juill.</b> 28 0	20 35 45.975	-18 41 37.49	406 030.035
6	11 36 34.169	6 41 10.22	370 104.721	6	20 48 5.444	-18 11 44.52	405 883.209
12	11 49 54.297	5 29 16.15	371 513.878	12	21 0 21.043	-17 38 54.14	405 695.411
18	12 3 4.829	4 16 51.25	372 952.164	18	21 12 32.653	-17 3 12.34	405 466.668
18 0	12 16 6.497	3 4 11.55	374 412.096	29 0	21 24 40.210	-16 24 45.41	405 196.909
6	12 29 0.064	1 51 32.16	375 886.414	6	21 36 43.709	-15 43 39.97	404 885.969
12	12 41 46.304	0 39 7.28	377 368.126	12	21 48 43.198	-15 0 2.89	404 533.603
18	12 54 26.001	- 0 32 49.74	378 850.549	18	22 0 38.786	-14 14 1.24	404 139.491
19 0	13 6 59.933	- 1 44 6.36	380 327.344	30 0	22 12 30.634	-13 25 42.31	403 703.251
6	13 19 28.870	- 2 54 30.79	381 792.542	6	22 24 18.958	-12 35 13.53	403 224.457
12	13 31 53.565	- 4 3 51.95	383 240.566	12	22 36 4.027	-11 42 42.46	402 702.648
18	13 44 14.750	- 5 11 59.38	384 666.249	18	22 47 46.158	-10 48 16.77	402 137.351
20 0	13 56 33.130	- 6 18 43.19	386 064.836	31 0	22 59 25.718	- 9 52 4.21	401 528.097
6	14 8 49.379	- 7 23 54.03	387 431.998	6	23 11 3.116	- 8 54 12.63	400 874.443
12	14 21 4.136	- 8 27 22.99	388 763.827	12	23 22 38.809	- 7 54 49.96	400 175.990
18	14 33 18.001	- 9 29 1.60	390 056.832	18	23 34 13.288	- 6 54 4.19	399 432.411
21 0	14 45 31.533	-10 28 41.75	391 307.934	<b>Août</b> 1 0	23 45 47.087	- 5 52 3.41	398 643.471
6	14 57 45.244	-11 26 15.68	392 514.453	6	23 57 20.773	- 4 48 55.79	397 809.049
12	15 9 59.601	-12 21 35.93	393 674.096	12	0 8 54.946	- 3 44 49.64	396 929.170
18	15 22 15.016	-13 14 35.34	394 784.939	18	0 20 30.239	- 2 39 53.40	396 004.023
22 0	15 34 31.849	-14 5 7.01	395 845.408	2 0	0 32 7.309	- 1 34 15.66	395 033.991
6	15 46 50.404	-14 53 4.32	396 854.263	6	0 43 46.844	- 0 28 5.21	394 019.673
12	15 59 10.928	-15 38 20.91	397 810.573	12	0 55 29.550	0 38 28.90	392 961.911
18	16 11 33.606	-16 20 50.68	398 713.694	18	1 7 16.156	1 45 17.37	391 861.813
23 0	16 23 58.564	-17 0 27.84	399 563.243	3 0	1 19 7.406	2 52 10.57	390 720.776
6	16 36 25.865	-17 37 6.90	400 359.080	6	1 31 4.060	3 58 58.53	389 540.510
12	16 48 55.511	-18 10 42.69	401 101.276	12	1 43 6.884	5 5 30.83	388 323.055
18	17 1 27.443	-18 41 10.41	401 790.095	18	1 55 16.650	6 11 36.63	387 070.804
24 0	17 14 1.542	-19 8 25.66	402 425.962	4 0	2 7 34.126	7 17 4.56	385 786.513
6	17 26 37.635	-19 32 24.44	403 009.445	6	2 20 0.074	8 21 42.73	384 473.321
12	17 39 15.493	-19 53 3.24	403 541.226	12	2 32 35.238	9 25 18.63	383 134.755
18	17 51 54.837	-20 10 19.04	404 022.079	18	2 45 20.337	10 27 39.18	381 774.740
25 0	18 4 35.346	-20 24 9.34	404 452.849	5 0	2 58 16.055	11 28 30.62	380 397.599
6	18 17 16.660	-20 34 32.21	404 834.425	6	3 11 23.029	12 27 38.57	379 008.056
12	18 29 58.389	-20 41 26.32	405 167.723	12	3 24 41.834	13 24 48.02	377 611.222
18	18 42 40.118	-20 44 50.95	405 453.666	18	3 38 12.970	14 19 43.34	376 212.590
26 0	18 55 21.417	-20 44 45.98	405 693.164	6 0	3 51 56.849	15 12 8.35	374 818.013
6	19 8 1.847	-20 41 11.97	405 887.096	6	4 5 53.772	16 1 46.41	373 433.681
12	19 20 40.973	-20 34 10.09	406 036.297	12	4 20 3.919	16 48 20.49	372 066.091
18	19 33 18.365	-20 23 42.16	406 141.542	18	4 34 27.328	17 31 33.37	370 722.011
27 0	19 45 53.614	-20 9 50.61	406 203.535	7 0	4 49 3.881	18 11 7.77	369 408.433
6	19 58 26.335	-19 52 38.48	406 222.898	6	5 3 53.289	18 46 46.59	368 132.527
12	20 10 56.171	-19 32 9.39	406 200.162	12	5 18 55.082	19 18 13.17	366 901.581
18	20 23 22.809	-19 8 27.50	406 135.763	18	5 34 8.601	19 45 11.53	365 722.936

## LUNE 2018 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> 8 0	5	49	32.997	20	7	26.69	364 603.921	<b>Août</b> 19 0	16	10	35.385	-16	19	11.14	395 862.928
6	6	5	7.233	20	24	45.00	363 551.779	6	16	23	7.787	-16	59	25.93	396 962.366
12	6	20	50.096	20	36	54.44	362 573.583	12	16	35	41.450	-17	36	35.75	397 999.892
18	6	36	40.212	20	43	44.92	361 676.161	18	16	48	16.425	-18	10	36.23	398 973.711
9 0	6	52	36.074	20	45	8.61	360 866.013	20 0	17	0	52.714	-18	41	23.39	399 882.421
6	7	8	36.066	20	41	0.14	360 149.224	6	17	13	30.264	-19	8	53.63	400 724.992
12	7	24	38.504	20	31	16.82	359 531.388	12	17	26	8.974	-19	33	3.77	401 500.747
18	7	40	41.670	20	15	58.78	359 017.525	18	17	38	48.694	-19	53	51.03	402 209.347
10 0	7	56	43.856	19	55	9.01	358 612.015	21 0	17	51	29.232	-20	11	13.06	402 850.769
6	8	12	43.399	19	28	53.37	358 318.527	6	18	4	10.358	-20	25	7.99	403 425.279
12	8	28	38.722	18	57	20.54	358 139.961	12	18	16	51.804	-20	35	34.41	403 933.420
18	8	44	28.365	18	20	41.78	358 078.407	18	18	29	33.275	-20	42	31.40	404 375.980
11 0	9	0	11.013	17	39	10.81	358 135.104	22 0	18	42	14.454	-20	45	58.54	404 753.974
6	9	15	45.517	16	53	3.48	358 310.414	6	18	54	55.006	-20	45	55.97	405 068.618
12	9	31	10.908	16	2	37.51	358 603.819	12	19	7	34.587	-20	42	24.31	405 321.309
18	9	46	26.404	15	8	12.13	359 013.917	18	19	20	12.848	-20	35	24.76	405 513.595
12 0	10	1	31.409	14	10	7.76	359 538.439	23 0	19	32	49.445	-20	24	59.04	405 647.158
6	10	16	25.514	13	8	45.71	360 174.278	6	19	45	24.046	-20	11	9.42	405 723.787
12	10	31	8.483	12	4	27.79	360 917.527	12	19	57	56.333	-19	53	58.69	405 745.355
18	10	45	40.239	10	57	36.07	361 763.533	18	20	10	26.013	-19	33	30.18	405 713.801
13 0	11	0	0.856	9	48	32.59	362 706.955	24 0	20	22	52.820	-19	9	47.70	405 631.099
6	11	14	10.535	8	37	39.12	363 741.829	6	20	35	16.523	-18	42	55.57	405 499.250
12	11	28	9.591	7	25	16.96	364 861.649	12	20	47	36.926	-18	12	58.55	405 320.248
18	11	41	58.435	6	11	46.78	366 059.439	18	20	59	53.876	-17	40	1.88	405 096.073
14 0	11	55	37.558	4	57	28.49	367 327.837	25 0	21	12	7.263	-17	4	11.18	404 828.666
6	12	9	7.515	3	42	41.15	368 659.179	6	21	24	17.022	-16	25	32.47	404 519.914
12	12	22	28.908	2	27	42.86	370 045.578	12	21	36	23.137	-15	44	12.12	404 171.638
18	12	35	42.378	1	12	50.78	371 479.003	18	21	48	25.639	-15	0	16.85	403 785.575
15 0	12	48	48.591	-0	1	38.91	372 951.361	26 0	22	0	24.606	-14	13	53.66	403 363.371
6	13	1	48.224	-1	15	31.05	374 454.566	6	22	12	20.164	-13	25	9.83	402 906.567
12	13	14	41.963	-2	28	31.40	375 980.607	12	22	24	12.487	-12	34	12.92	402 416.595
18	13	27	30.487	-3	40	26.67	377 521.612	18	22	36	1.794	-11	41	10.67	401 894.771
16 0	13	40	14.468	-4	51	4.47	379 069.906	27 0	22	47	48.347	-10	46	11.08	401 342.289
6	13	52	54.559	-6	0	13.24	380 618.058	6	22	59	32.452	-9	49	22.30	400 760.223
12	14	5	31.392	-7	7	42.19	382 158.928	12	23	11	14.454	-8	50	52.67	400 149.526
18	14	18	5.572	-8	13	21.29	383 685.703	18	23	22	54.738	-7	50	50.72	399 511.034
17 0	14	30	37.672	-9	17	1.19	385 191.934	28 0	23	34	33.723	-6	49	25.09	398 845.471
6	14	43	8.231	-10	18	33.13	386 671.554	6	23	46	11.865	-5	46	44.62	398 153.457
12	14	55	37.749	-11	17	48.98	388 118.909	12	23	57	49.649	-4	42	58.27	397 435.515
18	15	8	6.684	-12	14	41.10	389 528.763	18	0	9	27.592	-3	38	15.17	396 692.090
18 0	15	20	35.448	-13	9	2.34	390 896.316	29 0	0	21	6.238	-2	32	44.59	395 923.555
6	15	33	4.409	-14	0	46.03	392 217.208	6	0	32	46.154	-1	26	36.00	395 130.233
12	15	45	33.883	-14	49	45.90	393 487.520	12	0	44	27.930	-0	19	59.02	394 312.412
18	15	58	4.137	-15	35	56.10	394 703.774	18	0	56	12.179	0	46	56.52	393 470.367

## LUNE 2018 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	1 7	59.527	1 54	0.57	392 604.377	<b>Sept.</b>	10	0	11 31	29.553	7 5	5.16	364 396.026
		6	1 19	50.617	3 1	2.88	391 714.754			6	11 45	21.758	5 50	21.28	365 214.577
		12	1 31	46.100	4 7	52.89	390 801.858			12	11 59	6.242	4 34	42.80	366 120.839
		18	1 43	46.636	5 14	19.83	389 866.132			18	12 12	43.429	3 18	29.48	367 110.084
	31	0	1 55	52.887	6 20	12.58	388 908.115		11	0	12 26	13.789	2 2	0.49	368 177.015
		6	2 8	5.512	7 25	19.72	387 928.477			6	12 39	37.822	0 45	34.27	369 315.829
		12	2 20	25.164	8 29	29.50	386 928.040			12	12 52	56.052	- 0 30	31.51	370 520.273
		18	2 32	52.479	9 32	29.77	385 907.802			18	13 6	9.017	- 1 46	0.02	371 783.712
<b>Sept.</b>	1	0	2 45	28.074	10 34	8.07	384 868.962		12	0	13 19	17.260	- 3 0	35.29	373 099.194
		6	2 58	12.537	11 34	11.50	383 812.943			6	13 32	21.320	- 4 14	2.22	374 459.521
		12	3 11	6.417	12 32	26.81	382 741.415			12	13 45	21.727	- 5 26	6.64	375 857.312
		18	3 24	10.216	13 28	40.40	381 656.310			18	13 58	18.995	- 6 36	35.23	377 285.073
	2	0	3 37	24.376	14 22	38.30	380 559.845		13	0	14 11	13.617	- 7 45	15.56	378 735.263
		6	3 50	49.270	15 14	6.25	379 454.530			6	14 24	6.060	- 8 51	56.05	380 200.351
		12	4 4	25.190	16 2	49.72	378 343.186			12	14 36	56.759	- 9 56	25.93	381 672.877
		18	4 18	12.333	16 48	34.04	377 228.946			18	14 49	46.118	-10 58	35.26	383 145.503
	3	0	4 32	10.790	17 31	4.44	376 115.265		14	0	15 2	34.500	-11 58	14.82	384 611.069
		6	4 46	20.534	18 10	6.19	375 005.914			6	15 15	22.229	-12 55	16.16	386 062.630
		12	5 0	41.411	18 45	24.73	373 904.978			12	15 28	9.588	-13 49	31.49	387 493.501
		18	5 15	13.130	19 16	45.86	372 816.843			18	15 40	56.813	-14 40	53.73	388 897.291
	4	0	5 29	55.258	19 43	55.89	371 746.180		15	0	15 53	44.098	-15 29	16.39	390 267.936
		6	5 44	47.215	20 6	41.86	370 697.925			6	16 6	31.587	-16 14	33.64	391 599.722
		12	5 59	48.279	20 24	51.74	369 677.250			12	16 19	19.378	-16 56	40.19	392 887.309
		18	6 14	57.586	20 38	14.67	368 689.527			18	16 32	7.526	-17 35	31.35	394 125.749
	5	0	6 30	14.142	20 46	41.18	367 740.293		16	0	16 44	56.035	-18 11	2.96	395 310.498
		6	6 45	36.837	20 50	3.38	366 835.199			6	16 57	44.870	-18 43	11.39	396 437.430
		12	7 1	4.464	20 48	15.21	365 979.965			12	17 10	33.952	-19 11	53.54	397 502.839
		18	7 16	35.741	20 41	12.57	365 180.319			18	17 23	23.162	-19 37	6.83	398 503.447
	6	0	7 32	9.337	20 28	53.50	364 441.940		17	0	17 36	12.345	-19 58	49.17	399 436.402
		6	7 47	43.899	20 11	18.27	363 770.391			6	17 49	1.317	-20 16	58.95	400 299.277
		12	8 3	18.082	19 48	29.45	363 171.057			12	18 1	49.862	-20 31	35.08	401 090.067
		18	8 18	50.577	19 20	31.93	362 649.071			18	18 14	37.744	-20 42	36.95	401 807.182
	7	0	8 34	20.137	18 47	32.87	362 209.251		18	0	18 27	24.708	-20 50	4.41	402 449.438
		6	8 49	45.602	18 9	41.66	361 856.027			6	18 40	10.488	-20 53	57.81	403 016.047
		12	9 5	5.918	17 27	9.77	361 593.377			12	18 52	54.810	-20 54	17.96	403 506.605
		18	9 20	20.156	16 40	10.59	361 424.768			18	19 5	37.399	-20 51	6.13	403 921.081
	8	0	9 35	27.520	15 48	59.28	361 353.094		19	0	19 18	17.985	-20 44	24.05	404 259.799
		6	9 50	27.356	14 53	52.49	361 380.629			6	19 30	56.309	-20 34	13.88	404 523.423
		12	10 5	19.153	13 55	8.20	361 508.982			12	19 43	32.125	-20 20	38.23	404 712.941
		18	10 20	2.542	12 53	5.45	361 739.064			18	19 56	5.211	-20 3	40.13	404 829.646
	9	0	10 34	37.293	11 48	4.07	362 071.061		20	0	20 8	35.366	-19 43	23.02	404 875.117
		6	10 49	3.301	10 40	24.50	362 504.419			6	20 21	2.419	-19 19	50.73	404 851.199
		12	11 3	20.583	9 30	27.55	363 037.843			12	20 33	26.231	-18 53	7.47	404 759.982
		18	11 17	29.261	8 18	34.13	363 669.297			18	20 45	46.698	-18 23	17.84	404 603.778



## LUNE 2018 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

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

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Sept. 21	0 20 58 3.753	-17 50 26.77	404 385.102	Oct. 2	0 6 14 48.071	20 50 21.00	372 668.056
	6 21 10 17.367	-17 14 39.54	404 106.645		6 6 29 45.197	20 58 36.80	372 011.923
	12 21 22 27.551	-16 36 1.77	403 771.255		12 6 44 46.581	21 1 59.00	371 377.288
	18 21 34 34.357	-15 54 39.37	403 381.909		18 6 59 51.190	21 0 23.43	370 766.595
22	0 21 46 37.878	-15 10 38.58	402 941.694	3	0 7 14 57.953	20 53 47.56	370 182.492
	6 21 58 38.247	-14 24 5.93	402 453.777		6 7 30 5.782	20 42 10.64	369 627.819
	12 22 10 35.636	-13 35 8.23	401 921.388		12 7 45 13.591	20 25 33.68	369 105.587
	18 22 22 30.257	-12 43 52.59	401 347.788		18 8 0 20.323	20 3 59.48	368 618.960
23	0 22 34 22.360	-11 50 26.37	400 736.252	4	0 8 15 24.962	19 37 32.64	368 171.220
	6 22 46 12.228	-10 54 57.22	400 090.045		6 8 30 26.560	19 6 19.53	367 765.741
	12 22 58 0.183	- 9 57 33.06	399 412.395		12 8 45 24.248	18 30 28.18	367 405.950
	18 23 9 46.576	- 8 58 22.08	398 706.477		18 9 0 17.251	17 50 8.21	367 095.285
24	0 23 21 31.793	- 7 57 32.74	397 975.389	5	0 9 15 4.898	17 5 30.78	366 837.154
	6 23 33 16.245	- 6 55 13.76	397 222.136		6 9 29 46.629	16 16 48.37	366 634.889
	12 23 45 0.372	- 5 51 34.16	396 449.607		12 9 44 21.998	15 24 14.74	366 491.696
	18 23 56 44.639	- 4 46 43.22	395 660.565		18 9 58 50.674	14 28 4.72	366 410.608
25	0 0 8 29.535	- 3 40 50.50	394 857.629	6	0 10 13 12.438	13 28 34.13	366 394.434
	6 0 20 15.565	- 2 34 5.85	394 043.262		6 10 27 27.180	12 25 59.57	366 445.713
	12 0 32 3.258	- 1 26 39.42	393 219.762		12 10 41 34.891	11 20 38.33	366 566.664
	18 0 43 53.153	- 0 18 41.64	392 389.258		18 10 55 35.654	10 12 48.22	366 759.144
26	0 0 55 45.806	0 49 36.75	391 553.696	7	0 11 9 29.636	9 2 47.43	367 024.605
	6 1 7 41.780	1 58 4.71	390 714.847		6 11 23 17.081	7 50 54.43	367 364.060
	12 1 19 41.646	3 6 30.89	389 874.299		12 11 36 58.293	6 37 27.84	367 778.050
	18 1 31 45.977	4 14 43.64	389 033.468		18 11 50 33.632	5 22 46.28	368 266.617
27	0 1 43 55.344	5 22 30.99	388 193.596	8	0 12 4 3.502	4 7 8.33	368 829.286
	6 1 56 10.314	6 29 40.67	387 355.765		6 12 17 28.338	2 50 52.35	369 465.055
	12 2 8 31.441	7 36 0.11	386 520.908		12 12 30 48.602	1 34 16.49	370 172.383
	18 2 20 59.265	8 41 16.46	385 689.820		18 12 44 4.770	0 17 38.50	370 949.197
28	0 2 33 34.301	9 45 16.58	384 863.178	9	0 12 57 17.328	- 0 58 44.25	371 792.897
	6 2 46 17.035	10 47 47.06	384 041.557		6 13 10 26.757	- 2 14 34.89	372 700.373
	12 2 59 7.918	11 48 34.27	383 225.452		12 13 23 33.534	- 3 29 37.08	373 668.026
	18 3 12 7.353	12 47 24.39	382 415.297		18 13 36 38.119	- 4 43 35.11	374 691.792
29	0 3 25 15.693	13 44 3.43	381 611.494	10	0 13 49 40.955	- 5 56 13.86	375 767.182
	6 3 38 33.225	14 38 17.29	380 814.435		6 14 2 42.456	- 7 7 18.91	376 889.313
	12 3 52 0.167	15 29 51.84	380 024.525		12 14 15 43.007	- 8 16 36.56	378 052.949
	18 4 5 36.656	16 18 32.96	379 242.210		18 14 28 42.957	- 9 23 53.81	379 252.551
30	0 4 19 22.740	17 4 6.68	378 468.004	11	0 14 41 42.615	-10 28 58.44	380 482.317
	6 4 33 18.370	17 46 19.22	377 702.510		6 14 54 42.250	-11 31 38.98	381 736.235
	12 4 47 23.390	18 24 57.16	376 946.448		12 15 7 42.082	-12 31 44.76	383 008.126
	18 5 1 37.539	18 59 47.51	376 200.673		18 15 20 42.286	-13 29 5.86	384 291.701
Oct. 1	0 5 16 0.439	19 30 37.89	375 466.200	12	0 15 33 42.987	-14 23 33.20	385 580.602
	6 5 30 31.599	19 57 16.66	374 744.218		6 15 46 44.260	-15 14 58.46	386 868.454
	12 5 45 10.415	20 19 33.05	374 036.108		12 15 59 46.129	-16 3 14.12	388 148.908
	18 5 59 56.176	20 37 17.34	373 343.455		18 16 12 48.568	-16 48 13.45	389 415.687

## LUNE 2018 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

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

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Oct. 13 0	16 25 51.504	-17 29 50.49	390 662.624	Oct. 24 0	1 28 39.724	3 58 42.54	386 619.087
6	16 38 54.817	-18 8 0.08	391 883.705	6	1 40 57.421	5 8 22.62	385 612.605
12	16 51 58.343	-18 42 37.78	393 073.103	12	1 53 21.693	6 17 32.16	384 621.946
18	17 5 1.880	-19 13 39.92	394 225.210	18	2 5 53.088	7 25 57.40	383 650.692
14 0	17 18 5.189	-19 41 3.57	395 334.671	25 0	2 18 32.125	8 33 24.14	382 702.162
6	17 31 8.001	-20 4 46.50	396 396.407	6	2 31 19.289	9 39 37.73	381 779.392
12	17 44 10.023	-20 24 47.16	397 405.642	12	2 44 15.020	10 44 23.15	380 885.123
18	17 57 10.944	-20 41 4.70	398 357.923	18	2 57 19.706	11 47 25.02	380 021.786
15 0	18 10 10.439	-20 53 38.87	399 249.140	26 0	3 10 33.670	12 48 27.73	379 191.496
6	18 23 8.179	-21 2 30.08	400 075.542	6	3 23 57.167	13 47 15.46	378 396.052
12	18 36 3.836	-21 7 39.28	400 833.748	12	3 37 30.369	14 43 32.32	377 636.935
18	18 48 57.087	-21 9 7.99	401 520.763	18	3 51 13.356	15 37 2.46	376 915.313
16 0	19 1 47.627	-21 6 58.24	402 133.980	27 0	4 5 6.107	16 27 30.15	376 232.051
6	19 14 35.166	-21 1 12.56	402 671.192	6	4 19 8.495	17 14 40.00	375 587.726
12	19 27 19.443	-20 51 53.89	403 130.594	12	4 33 20.275	17 58 17.03	374 982.640
18	19 40 0.224	-20 39 5.61	403 510.784	18	4 47 41.083	18 38 6.89	374 416.845
17 0	19 52 37.310	-20 22 51.46	403 810.766	28 0	5 2 10.433	19 13 55.97	373 890.164
6	20 5 10.541	-20 3 15.52	404 029.949	6	5 16 47.716	19 45 31.65	373 402.217
12	20 17 39.796	-19 40 22.20	404 168.139	12	5 31 32.206	20 12 42.38	372 952.452
18	20 30 4.996	-19 14 16.16	404 225.541	18	5 46 23.066	20 35 17.91	372 540.176
18 0	20 42 26.106	-18 45 2.35	404 202.749	29 0	6 1 19.359	20 53 9.39	372 164.580
6	20 54 43.137	-18 12 45.94	404 100.736	6	6 16 20.064	21 6 9.54	371 824.782
12	21 6 56.144	-17 37 32.30	403 920.849	12	6 31 24.091	21 14 12.73	371 519.852
18	21 19 5.227	-16 59 27.03	403 664.796	18	6 46 30.306	21 17 15.11	371 248.843
19 0	21 31 10.529	-16 18 35.89	403 334.633	30 0	7 1 37.547	21 15 14.60	371 010.828
6	21 43 12.237	-15 35 4.86	402 932.749	6	7 16 44.653	21 8 10.97	370 804.926
12	21 55 10.578	-14 49 0.06	402 461.853	12	7 31 50.485	20 56 5.81	370 630.325
18	22 7 5.819	-14 0 27.83	401 924.955	18	7 46 53.949	20 39 2.49	370 486.312
20 0	22 18 58.266	-13 9 34.68	401 325.348	31 0	8 1 54.016	20 17 6.09	370 372.294
6	22 30 48.259	-12 16 27.33	400 666.587	6	8 16 49.742	19 50 23.33	370 287.811
12	22 42 36.172	-11 21 12.71	399 952.469	12	8 31 40.284	19 19 2.43	370 232.553
18	22 54 22.413	-10 23 57.99	399 187.007	18	8 46 24.909	18 43 12.97	370 206.372
21 0	23 6 7.416	- 9 24 50.58	398 374.409	Nov. 1 0	9 1 3.004	18 3 5.81	370 209.283
6	23 17 51.645	- 8 23 58.18	397 519.048	6	9 15 34.081	17 18 52.87	370 241.469
12	23 29 35.587	- 7 21 28.75	396 625.438	12	9 29 57.778	16 30 47.06	370 303.276
18	23 41 19.753	- 6 17 30.62	395 698.204	18	9 44 13.856	15 39 2.05	370 395.207
22 0	23 53 4.674	- 5 12 12.43	394 742.053	2 0	9 58 22.194	14 43 52.24	370 517.909
6	0 4 50.899	- 4 5 43.20	393 761.743	6	10 12 22.787	13 45 32.55	370 672.160
12	0 16 38.994	- 2 58 12.37	392 762.053	12	10 26 15.729	12 44 18.34	370 858.847
18	0 28 29.537	- 1 49 49.78	391 747.749	18	10 40 1.214	11 40 25.31	371 078.943
23 0	0 40 23.116	- 0 40 45.72	390 723.555	3 0	10 53 39.516	10 34 9.42	371 333.485
6	0 52 20.326	0 28 49.03	389 694.120	6	11 7 10.985	9 25 46.77	371 623.540
12	1 4 21.766	1 38 43.24	388 663.987	12	11 20 36.032	8 15 33.58	371 950.179
18	1 16 28.034	2 48 45.16	387 637.563	18	11 33 55.122	7 3 46.11	372 314.444

## LUNE 2018 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	11	47	8.762	5	50	40.61	372 717.312	Nov. 15 0	21	15	2.467	-17	28	55.08	404 265.804		
6	12	0	17.490	4	36	33.27	373 159.664	6	21	27	6.647	-16	49	3.19	404 115.446		
12	12	13	21.867	3	21	40.21	373 642.253	12	21	39	6.231	-16	6	31.79	403 883.166		
18	12	26	22.469	2	6	17.41	374 165.667	18	21	51	1.491	-15	21	27.28	403 569.297		
5 0	12	39	19.879	0	50	40.70	374 730.302	16 0	22	2	52.749	-14	33	56.09	403 174.580		
6	12	52	14.675	-	0	24	54.27	375 336.332	6	22	14	40.372	-13	44	4.69	402 700.168	
12	13	5	7.430	-	1	40	12.08	375 983.681	12	22	26	24.772	-12	51	59.61	402 147.619	
18	13	17	58.699	-	2	54	57.53	376 672.000	18	22	38	6.398	-11	57	47.41	401 518.904	
6 0	13	30	49.016	-	4	8	55.72	377 400.648	17 0	22	49	45.738	-11	1	34.77	400 816.396	
6	13	43	38.886	-	5	21	52.05	378 168.675	6	23	1	23.313	-10	3	28.46	400 042.867	
12	13	56	28.781	-	6	33	32.27	378 974.808	12	23	12	59.675	-	9	3	35.37	399 201.481
18	14	9	19.135	-	7	43	42.49	379 817.445	18	23	24	35.406	-	8	2	2.57	398 295.781
7 0	14	22	10.336	-	8	52	9.26	380 694.651	18 0	23	36	11.112	-	6	58	57.35	397 329.682
6	14	35	2.725	-	9	58	39.58	381 604.157	6	23	47	47.425	-	5	54	27.23	396 307.451
12	14	47	56.589	-11	3	0.93	382 543.368	12	23	59	24.996	-	4	48	40.03	395 233.692	
18	15	0	52.160	-12	5	1.38	383 509.368	18	0	11	4.497	-	3	41	43.93	394 113.326	
8 0	15	13	49.609	-13	4	29.53	384 498.937	19 0	0	22	46.613	-	2	33	47.48	392 951.566	
6	15	26	49.045	-14	1	14.64	385 508.565	6	0	34	32.045	-	1	24	59.70	391 753.895	
12	15	39	50.514	-14	55	6.64	386 534.474	12	0	46	21.503	-	0	15	30.08	390 526.034	
18	15	52	53.997	-15	45	56.17	387 572.639	18	0	58	15.703	0	54	31.32	389 273.912		
9 0	16	5	59.410	-16	33	34.60	388 618.817	20 0	1	10	15.364	2	4	53.86	388 003.630		
6	16	19	6.605	-17	17	54.14	389 668.574	6	1	22	21.203	3	15	26.28	386 721.427		
12	16	32	15.375	-17	58	47.76	390 717.311	12	1	34	33.932	4	25	56.62	385 433.634		
18	16	45	25.453	-18	36	9.32	391 760.301	18	1	46	54.246	5	36	12.24	384 146.640		
10 0	16	58	36.520	-19	9	53.52	392 792.721	21 0	1	59	22.822	6	45	59.75	382 866.839		
6	17	11	48.208	-19	39	55.98	393 809.679	6	2	12	0.310	7	55	5.06	381 600.588		
12	17	25	0.109	-20	6	13.16	394 806.253	12	2	24	47.321	9	3	13.33	380 354.160		
18	17	38	11.783	-20	28	42.44	395 777.522	18	2	37	44.418	10	10	9.00	379 133.692		
11 0	17	51	22.764	-20	47	22.07	396 718.600	22 0	2	50	52.107	11	15	35.86	377 945.138		
6	18	4	32.569	-21	2	11.15	397 624.665	6	3	4	10.823	12	19	17.09	376 794.220		
12	18	17	40.711	-21	13	9.61	398 490.994	12	3	17	40.915	13	20	55.33	375 686.379		
18	18	30	46.705	-21	20	18.20	399 312.990	18	3	31	22.635	14	20	12.80	374 626.733		
12 0	18	43	50.076	-21	23	38.39	400 086.213	23 0	3	45	16.123	15	16	51.45	373 620.029		
6	18	56	50.373	-21	23	12.37	400 806.407	6	3	59	21.394	16	10	33.09	372 670.604		
12	19	9	47.173	-21	19	2.99	401 469.525	12	4	13	38.323	17	0	59.61	371 782.354		
18	19	22	40.088	-21	11	13.68	402 071.756	18	4	28	6.639	17	47	53.17	370 958.698		
13 0	19	35	28.775	-20	59	48.39	402 609.545	24 0	4	42	45.908	18	30	56.43	370 202.552		
6	19	48	12.940	-20	44	51.58	403 079.616	6	4	57	35.537	19	9	52.82	369 516.314		
12	20	0	52.341	-20	26	28.07	403 478.992	12	5	12	34.767	19	44	26.79	368 901.850		
18	20	13	26.792	-20	4	43.06	403 805.013	18	5	27	42.678	20	14	24.07	368 360.486		
14 0	20	25	56.167	-19	39	42.05	404 055.353	25 0	5	42	58.198	20	39	31.92	367 893.010		
6	20	38	20.399	-19	11	30.75	404 228.031	6	5	58	20.117	20	59	39.38	367 499.683		
12	20	50	39.482	-18	40	15.10	404 321.432	12	6	13	47.108	21	14	37.48	367 180.249		
18	21	2	53.467	-18	6	1.14	404 334.309	18	6	29	17.753	21	24	19.38	366 933.964		

## LUNE 2018 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>Nov.</b> 26 0	6 44 50.570	21 28 40.57	366 759.618	<b>Déc.</b> 7 0	16 40 57.926	-18 26 19.12	393 091.915
6	7 0 24.044	21 27 38.87	366 655.571	6	16 54 3.869	-19 1 46.70	393 924.418
12	7 15 56.666	21 21 14.51	366 619.793	12	17 7 11.814	-19 33 38.33	394 749.875
18	7 31 26.961	21 9 30.08	366 649.906	18	17 20 21.333	-20 1 49.05	395 565.886
27 0	7 46 53.523	20 52 30.42	366 743.227	8 0	17 33 31.942	-20 26 14.79	396 369.870
6	8 2 15.044	20 30 22.55	366 896.823	6	17 46 43.112	-20 46 52.37	397 159.070
12	8 17 30.339	20 3 15.44	367 107.555	12	17 59 54.278	-21 3 39.53	397 930.570
18	8 32 38.362	19 31 19.82	367 372.129	18	18 13 4.852	-21 16 34.97	398 681.311
28 0	8 47 38.227	18 54 47.96	367 687.150	9 0	18 26 14.229	-21 25 38.28	399 408.108
6	9 2 29.212	18 13 53.46	368 049.166	6	18 39 21.804	-21 30 49.97	400 107.672
12	9 17 10.761	17 28 50.96	368 454.715	12	18 52 26.980	-21 32 11.43	400 776.626
18	9 31 42.487	16 39 55.93	368 900.371	18	19 5 29.183	-21 29 44.90	401 411.532
29 0	9 46 4.163	15 47 24.48	369 382.781	10 0	19 18 27.866	-21 23 33.37	402 008.915
6	10 0 15.715	14 51 33.13	369 898.704	6	19 31 22.527	-21 13 40.59	402 565.284
12	10 14 17.207	13 52 38.64	370 445.040	12	19 44 12.709	-21 0 10.95	403 077.158
18	10 28 8.832	12 50 57.85	371 018.861	18	19 56 58.015	-20 43 9.43	403 541.094
30 0	10 41 50.895	11 46 47.59	371 617.429	11 0	20 9 38.109	-20 22 41.53	403 953.711
6	10 55 23.799	10 40 24.54	372 238.216	6	20 22 12.721	-19 58 53.18	404 311.714
12	11 8 48.031	9 32 5.17	372 878.917	12	20 34 41.651	-19 31 50.68	404 611.923
18	11 22 4.148	8 22 5.67	373 537.454	18	20 47 4.772	-19 1 40.61	404 851.297
<b>Déc.</b> 1 0	11 35 12.763	7 10 41.94	374 211.982	12 0	20 59 22.025	-18 28 29.79	405 026.956
6	11 48 14.533	5 58 9.52	374 900.886	6	21 11 33.425	-17 52 25.19	405 136.214
12	12 1 10.147	4 44 43.62	375 602.773	12	21 23 39.057	-17 13 33.89	405 176.591
18	12 14 0.319	3 30 39.13	376 316.465	18	21 35 39.069	-16 32 3.03	405 145.849
2 0	12 26 45.772	2 16 10.56	377 040.982	13 0	21 47 33.678	-15 47 59.77	405 042.006
6	12 39 27.235	1 1 32.15	377 775.525	6	21 59 23.160	-15 1 31.27	404 863.358
12	12 52 5.435	-0 13 2.21	378 519.458	12	22 11 7.846	-14 12 44.64	404 608.505
18	13 4 41.085	-1 27 18.89	379 272.282	18	22 22 48.125	-13 21 46.96	404 276.368
3 0	13 17 14.882	-2 41 4.55	380 033.614	14 0	22 34 24.433	-12 28 45.24	403 866.205
6	13 29 47.499	-3 54 6.08	380 803.159	6	22 45 57.253	-11 33 46.45	403 377.633
12	13 42 19.579	-5 6 10.64	381 580.681	12	22 57 27.111	-10 36 57.52	402 810.642
18	13 54 51.730	-6 17 5.62	382 365.980	18	23 8 54.573	-9 38 25.36	402 165.610
4 0	14 7 24.520	-7 26 38.65	383 158.861	15 0	23 20 20.241	-8 38 16.85	401 443.319
6	14 19 58.469	-8 34 37.61	383 959.105	6	23 31 44.749	-7 36 38.93	400 644.961
12	14 32 34.048	-9 40 50.61	384 766.449	12	23 43 8.766	-6 33 38.61	399 772.155
18	14 45 11.671	-10 45 6.06	385 580.552	18	23 54 32.985	-5 29 22.98	398 826.952
5 0	14 57 51.693	-11 47 12.66	386 400.977	16 0	0 5 58.128	-4 23 59.31	397 811.841
6	15 10 34.403	-12 46 59.42	387 227.166	6	0 17 24.939	-3 17 35.07	396 729.755
12	15 23 20.022	-13 44 15.75	388 058.423	12	0 28 54.184	-2 10 17.99	395 584.069
18	15 36 8.700	-14 38 51.45	388 893.894	18	0 40 26.646	-1 2 16.14	394 378.604
6 0	15 49 0.511	-15 30 36.79	389 732.552	17 0	0 52 3.128	0 6 22.04	393 117.618
6	16 1 55.455	-16 19 22.55	390 573.186	6	1 3 44.442	1 15 27.64	391 805.802
12	16 14 53.455	-17 5 0.09	391 414.393	12	1 15 31.412	2 24 51.26	390 448.267
18	16 27 54.355	-17 47 21.39	392 254.571	18	1 27 24.868	3 34 22.89	389 050.532

## LUNE 2018 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	1 39 25.639	4 43 51.87	387 618.501	Déc. 26 0	9 28 47.490	16 59 3.48	363 006.232
6	1 51 34.550	5 53 6.85	386 158.447	6	9 43 41.530	16 5 40.01	363 630.077
12	2 3 52.414	7 1 55.70	384 676.976	12	9 58 23.724	15 8 41.19	364 326.675
18	2 16 20.026	8 10 5.49	383 181.003	18	10 12 53.940	14 8 27.11	365 090.354
19 0	2 28 58.150	9 17 22.42	381 677.709	27 0	10 27 12.214	13 5 17.96	365 915.267
6	2 41 47.509	10 23 31.84	380 174.503	6	10 41 18.743	11 59 33.83	366 795.457
12	2 54 48.776	11 28 18.20	378 678.973	12	10 55 13.856	10 51 34.50	367 724.932
18	3 8 2.556	12 31 25.12	377 198.835	18	11 8 58.003	9 41 39.29	368 697.722
20 0	3 21 29.369	13 32 35.36	375 741.876	28 0	11 22 31.730	8 30 6.97	369 707.943
6	3 35 9.638	14 31 30.97	374 315.895	6	11 35 55.665	7 17 15.69	370 749.844
12	3 49 3.668	15 27 53.34	372 928.637	12	11 49 10.500	6 3 22.88	371 817.863
18	4 3 11.625	16 21 23.37	371 587.727	18	12 2 16.977	4 48 45.28	372 906.660
21 0	4 17 33.523	17 11 41.65	370 300.602	29 0	12 15 15.871	3 33 38.90	374 011.158
6	4 32 9.201	17 58 28.67	369 074.435	6	12 28 7.981	2 18 19.06	375 126.571
12	4 46 58.311	18 41 25.08	367 916.068	12	12 40 54.120	1 3 0.39	376 248.425
18	5 2 0.305	19 20 12.00	366 831.941	18	12 53 35.101	- 0 12 3.13	377 372.575
22 0	5 17 14.429	19 54 31.36	365 828.025	30 0	13 6 11.734	- 1 26 38.09	378 495.219
6	5 32 39.718	20 24 6.19	364 909.755	6	13 18 44.812	- 2 40 31.66	379 612.898
12	5 48 15.005	20 48 41.03	364 081.971	12	13 31 15.113	- 3 53 31.52	380 722.501
18	6 3 58.932	21 8 2.27	363 348.870	18	13 43 43.383	- 5 5 25.80	381 821.259
23 0	6 19 49.971	21 21 58.46	362 713.952	31 0	13 56 10.340	- 6 16 3.04	382 906.737
6	6 35 46.452	21 30 20.60	362 179.993	6	14 8 36.663	- 7 25 12.17	383 976.819
12	6 51 46.600	21 33 2.40	361 749.010	12	14 21 2.990	- 8 32 42.48	385 029.696
18	7 7 48.575	21 30 0.45	361 422.249	18	14 33 29.909	- 9 38 23.55	386 063.844
24 0	7 23 50.515	21 21 14.30	361 200.178	32 0	14 45 57.960	-10 42 5.28	387 078.005
6	7 39 50.581	21 6 46.50	361 082.495	6	14 58 27.623	-11 43 37.85	388 071.161
12	7 55 47.004	20 46 42.50	361 068.139	12	15 10 59.320	-12 42 51.72	389 042.512
18	8 11 38.123	20 21 10.54	361 155.323	18	15 23 33.405	-13 39 37.63	389 991.448
25 0	8 27 22.422	19 50 21.44	361 341.570	33 0	15 36 10.166	-14 33 46.64	390 917.521
6	8 42 58.555	19 14 28.29	361 623.756	6	15 48 49.818	-15 25 10.12	391 820.420
12	8 58 25.373	18 33 46.19	361 998.167	12	16 1 32.502	-16 13 39.79	392 699.940
18	9 13 41.929	17 48 31.89	362 460.561	18	16 14 18.281	-16 59 7.79	393 555.956

# 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 2018 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	177	7	43.14	5	28	3.26	0.383 663 65	Févr.	15	319	14	30.00	-	7	0	10.84	0.410 701 58
	1	181	9	1.01	5	8	50.50	0.389 356 52		16	322	52	18.45	-	6	58	55.00	0.405 501 05
	2	185	3	10.30	4	48	43.84	0.394 956 23		17	326	35	49.66	-	6	55	53.34	0.400 146 37
	3	188	50	36.93	4	27	53.93	0.400 439 77		18	330	25	25.66	-	6	50	57.94	0.394 656 01
	4	192	31	46.50	4	6	30.14	0.405 786 57		19	334	21	28.80	-	6	44	0.56	0.389 050 68
	5	196	7	4.05	3	44	40.63	0.410 978 29		20	338	24	21.62	-	6	34	52.71	0.383 353 52
	6	199	36	53.89	3	22	32.49	0.415 998 57		21	342	34	26.58	-	6	23	25.76	0.377 590 28
	7	203	1	39.47	3	0	11.87	0.420 832 92		22	346	52	5.70	-	6	9	31.21	0.371 789 59
	8	206	21	43.34	2	37	44.08	0.425 468 45		23	351	17	40.15	-	5	53	0.89	0.365 983 07
	9	209	37	27.11	2	15	13.70	0.429 893 79		24	355	51	29.76	-	5	33	47.33	0.360 205 48
	10	212	49	11.44	1	52	44.66	0.434 098 86		25	0	33	52.36	-	5	11	44.19	0.354 494 80
	11	215	57	16.06	1	30	20.36	0.438 074 78		26	5	25	3.02	-	4	46	46.79	0.348 892 23
	12	219	1	59.81	1	8	3.73	0.441 813 73		27	10	25	13.23	-	4	18	52.65	0.343 442 07
	13	222	3	40.70	0	45	57.30	0.445 308 86		28	15	34	29.90	-	3	48	2.24	0.338 191 44
14	225	2	35.93	0	24	3.27	0.448 554 12	Mars	1	20	52	54.29	-	3	14	19.66	0.333 189 91	
15	227	59	1.96	0	2	23.53	0.451 544 27	2	26	20	20.91	-	2	37	53.38	0.328 488 77		
16	230	53	14.58	-	0	19	0.22	0.454 274 72	3	31	56	36.36	-	1	58	56.89	0.324 140 28	
17	233	45	28.95	-	0	40	6.50	0.456 741 50	4	37	41	18.31	-	1	17	49.24	0.320 196 48	
18	236	35	59.69	-	1	0	53.96	0.458 941 20	5	43	33	54.56	-	0	34	55.28	0.316 707 94	
19	239	25	0.90	-	1	21	21.39	0.460 870 91	6	49	33	42.49	0	9	14.38	0.313 722 24		
20	242	12	46.28	-	1	41	27.65	0.462 528 15	7	55	39	48.79	0	54	3.88	0.311 282 36		
21	244	59	29.11	-	2	1	11.66	0.463 910 91	8	61	51	9.74	1	38	53.11	0.309 425 06		
22	247	45	22.38	-	2	20	32.38	0.465 017 51	9	68	6	32.12	2	22	59.13	0.308 179 35		
23	250	30	38.80	-	2	39	28.78	0.465 846 67	10	74	24	34.68	3	5	38.00	0.307 565 18		
24	253	15	30.88	-	2	57	59.84	0.466 397 44	11	80	43	50.24	3	46	6.89	0.307 592 57		
25	256	0	10.96	-	3	16	4.47	0.466 669 20	12	87	2	48.29	4	23	46.13	0.308 261 07		
26	258	44	51.31	-	3	33	41.56	0.466 661 65	13	93	19	57.90	4	58	1.19	0.309 559 80		
27	261	29	44.12	-	3	50	49.94	0.466 374 79	14	99	33	50.70	5	28	24.14	0.311 467 97		
28	264	15	1.59	-	4	7	28.33	0.465 808 94	15	105	43	3.75	5	54	34.67	0.313 955 86		
29	267	0	55.97	-	4	23	35.37	0.464 964 74	16	111	46	21.98	6	16	20.46	0.316 986 12		
30	269	47	39.62	-	4	39	9.56	0.463 843 16	17	117	42	40.12	6	33	36.93	0.320 515 33		
31	272	35	25.04	-	4	54	9.27	0.462 445 51	18	123	31	3.91	6	46	26.61	0.324 495 57		
Févr.	1	275	24	24.96	-	5	8	32.70	0.460 773 47	19	129	10	50.66	6	54	58.01	0.328 876 11	
	2	278	14	52.33	-	5	22	17.88	0.458 829 09	20	134	41	29.19	6	59	24.44	0.333 604 82	
	3	281	7	0.43	-	5	35	22.64	0.456 614 86	21	140	2	39.25	7	0	2.71	0.338 629 51	
	4	284	1	2.88	-	5	47	44.56	0.454 133 71	22	145	14	10.49	6	57	11.87	0.343 898 98	
	5	286	57	13.71	-	5	59	20.99	0.451 389 10	23	150	16	1.28	6	51	12.20	0.349 363 86	
	6	289	55	47.40	-	6	10	9.02	0.448 385 02	24	155	8	17.39	6	42	24.26	0.354 977 25	
	7	292	56	58.94	-	6	20	5.42	0.445 126 09	25	159	51	10.58	6	31	8.21	0.360 695 12	
	8	296	1	3.85	-	6	29	6.63	0.441 617 60	26	164	24	57.40	6	17	43.33	0.366 476 54	
9	299	8	18.26	-	6	37	8.76	0.437 865 63	27	168	49	57.97	6	2	27.67	0.372 283 80		
10	302	18	58.91	-	6	44	7.51	0.433 877 09	28	173	6	35.00	5	45	37.81	0.378 082 41		
11	305	33	23.22	-	6	49	58.20	0.429 659 86	29	177	15	12.91	5	27	28.83	0.383 841 02		
12	308	51	49.31	-	6	54	35.69	0.425 222 88	30	181	16	17.17	5	8	14.25	0.389 531 26		
13	312	14	36.00	-	6	57	54.41	0.420 576 28	31	185	10	13.66	4	48	6.12	0.395 127 60		
14	315	42	2.82	-	6	59	48.30	0.415 731 53	Avril	1	188	57	28.30	4	27	15.05	0.400 607 11	

## MERCURE 2018 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	192 38 26.66	4 5 50.36	0.405 949 30	Mai	18	334 28 46.81	- 6 43 45.84	0.388 879 39
	3	196 13 33.77	3 44 0.18	0.411 135 87		19	338 31 52.39	- 6 34 33.87	0.383 179 80
	4	199 43 13.91	3 21 51.58	0.416 150 55		20	342 42 10.76	- 6 23 2.56	0.377 414 97
	5	203 7 50.50	2 59 30.67	0.420 978 89		21	347 0 3.96	- 6 9 3.38	0.371 613 60
	6	206 27 46.07	2 37 2.74	0.425 608 05		22	351 25 53.11	- 5 52 28.19	0.365 807 38
	7	209 43 22.19	2 14 32.34	0.430 026 69		23	355 59 58.00	- 5 33 9.55	0.360 031 20
	8	212 54 59.49	1 52 3.40	0.434 224 78		24	0 42 36.38	- 5 11 1.18	0.354 323 11
	9	216 2 57.68	1 29 39.30	0.438 193 48		25	5 34 3.23	- 4 45 58.42	0.348 724 43
	10	219 7 35.57	1 7 22.95	0.441 925 00		26	10 34 29.93	- 4 17 58.90	0.343 279 53
	11	222 9 11.14	0 45 16.86	0.445 412 50		27	15 44 3.21	- 3 47 3.17	0.338 035 64
	12	225 8 1.56	0 23 23.23	0.448 649 98		28	21 2 44.18	- 3 13 15.47	0.333 042 35
13	228 4 23.28	0 1 43.96	0.451 632 20	29	26 30 27.09	- 2 36 44.39	0.328 351 04		
14	230 58 32.06	- 0 19 39.28	0.454 354 59	30	32 6 58.32	- 1 57 43.60	0.324 013 96		
15	233 50 43.05	- 0 40 45.00	0.456 813 22	31	37 51 55.22	- 1 16 32.31	0.320 083 13		
16	236 41 10.85	- 1 1 31.87	0.459 004 68	Juin	1	43 44 45.32	- 0 33 35.57	0.316 609 06	
17	239 30 9.55	- 1 21 58.66	0.460 926 06		2	49 44 45.65	0 10 35.86	0.313 639 21	
18	242 17 52.82	- 1 42 4.25	0.462 574 93		3	55 51 2.58	0 55 25.98	0.311 216 40	
19	245 4 33.95	- 2 1 47.57	0.463 949 25		4	62 2 32.10	1 40 14.55	0.309 377 18	
20	247 50 25.91	- 2 21 7.56	0.465 047 38		5	68 18 0.70	2 24 18.57	0.308 150 30	
21	250 35 41.41	- 2 40 3.21	0.465 868 05		6	74 36 6.93	3 6 54.12	0.307 555 44	
22	253 20 32.94	- 2 58 33.47	0.466 410 31		7	80 55 23.46	3 47 18.42	0.307 602 29	
23	256 5 12.86	- 3 16 37.27	0.466 673 55		8	87 14 19.73	4 24 51.94	0.308 290 08	
24	258 49 53.41	- 3 34 13.51	0.466 657 47		9	93 31 24.82	4 59 0.31	0.309 607 63	
25	261 34 46.79	- 3 51 20.99	0.466 362 10		10	99 45 10.49	5 29 15.85	0.311 533 87	
26	264 20 5.20	- 4 7 58.44	0.465 787 76		11	105 54 14.00	5 55 18.46	0.314 038 81	
27	267 6 0.90	- 4 24 4.49	0.464 935 10	12	111 57 20.55	6 16 56.07	0.317 084 91		
28	269 52 46.24	- 4 39 37.65	0.463 805 10	13	117 53 25.19	6 34 4.35	0.320 628 56		
29	272 40 33.74	- 4 54 36.28	0.462 399 09	14	123 41 33.99	6 46 46.00	0.324 621 76		
30	275 29 36.12	- 5 8 58.57	0.460 718 73	15	129 21 4.64	6 55 9.70	0.329 013 69		
Mai	1	278 20 6.36	- 5 22 42.54	0.458 766 12	16	134 51 26.28	6 59 28.90	0.333 752 22	
	2	281 12 17.73	- 5 35 46.02	0.456 543 73	17	140 12 18.97	7 0 0.49	0.338 785 16	
	3	284 6 23.87	- 5 48 6.58	0.454 054 54	18	145 23 32.67	6 57 3.57	0.344 061 35	
	4	287 2 38.82	- 5 59 41.58	0.451 301 99	19	150 25 5.97	6 50 58.44	0.349 531 51	
	5	290 1 17.08	- 6 10 28.08	0.448 290 11	20	155 17 4.85	6 42 5.66	0.355 148 80	
	6	293 2 33.65	- 6 20 22.84	0.445 023 53	21	159 59 41.25	6 30 45.38	0.360 869 27	
	7	296 6 44.06	- 6 29 22.30	0.441 507 58	22	164 33 11.82	6 17 16.85	0.366 652 11	
	8	299 14 4.47	- 6 37 22.55	0.437 748 33	23	168 57 56.78	6 1 58.04	0.372 459 69	
	9	302 24 51.64	- 6 44 19.29	0.433 752 75	24	173 14 18.92	5 45 5.53	0.378 257 63	
	10	305 39 23.01	- 6 50 7.82	0.429 528 72	25	177 22 42.70	5 26 54.34	0.384 014 66	
	11	308 57 56.72	- 6 54 42.98	0.425 085 24	26	181 23 33.59	5 7 37.94	0.389 702 51	
12	312 20 51.60	- 6 57 59.20	0.420 432 46	27	185 17 17.50	4 47 28.32	0.395 295 72		
13	315 48 27.21	- 6 59 50.40	0.415 581 90	28	189 4 20.32	4 26 36.08	0.400 771 45		
14	319 21 3.80	- 7 0 10.04	0.410 546 56	29	192 45 7.65	4 5 10.48	0.406 109 27		
15	322 59 2.30	- 6 58 51.08	0.405 341 11	30	196 20 4.46	3 43 19.63	0.411 290 95		
16	326 42 44.23	- 6 55 46.06	0.399 982 03	Juill.	1	199 49 35.02	3 21 10.55	0.416 300 28	
17	330 32 31.61	- 6 50 47.07	0.394 487 87		2	203 14 2.73	2 58 49.35	0.421 122 85	



## MERCURE 2018 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	206	33	50.08	2	36	21.27	0.425 745 88	<b>Août</b>	18	351	34	1.30	-	5	51	55.50	0.365 633 66	
	4	209	49	18.62	2	13	50.85	0.430 158 07		19	356	8	21.28	-	5	32	31.84	0.359 858 65	
	5	213	0	48.94	1	51	22.01	0.434 349 44		20	0	51	15.27	-	5	10	18.27	0.354 152 93	
	6	216	8	40.73	1	28	58.10	0.438 311 16		21	5	42	58.17	-	4	45	10.22	0.348 557 87	
	7	219	13	12.78	1	6	42.03	0.442 035 49		22	10	43	41.22	-	4	17	5.37	0.343 117 97	
	8	222	14	43.03	0	44	36.30	0.445 515 60		23	15	53	31.02	-	3	46	4.39	0.337 880 51	
	9	225	13	28.64	0	22	43.08	0.448 745 52		24	21	12	28.48	-	3	12	11.61	0.332 895 18	
	10	228	9	46.04	0	1	4.28	0.451 720 04		25	26	40	27.65	-	2	35	35.79	0.328 213 38	
	11	231	3	50.95	-	0	20	18.44		0.454 434 62	26	32	17	14.63	-	1	56	30.75	0.323 887 38
	12	233	55	58.53	-	0	41	23.59		0.456 885 31	27	38	2	26.53	-	1	15	15.88	0.319 969 19
	13	236	46	23.34	-	1	2	9.85		0.459 068 74	28	43	55	30.54	-	0	32	16.39	0.316 509 24
	14	239	35	19.47	-	1	22	36.01		0.460 982 02	29	49	55	43.39	0	11	56.79	0.313 554 90	
	15	242	23	0.57	-	1	42	40.92		0.462 622 72	30	56	2	11.11	0	56	47.49	0.311 148 82	
	16	245	9	39.93	-	2	2	23.52		0.463 988 81	31	62	13	49.40	1	41	35.39	0.309 327 34	
	17	247	55	30.49	-	2	21	42.77		0.465 078 68	<b>Sept.</b>	1	68	29	24.49	2	25	37.42	0.308 118 97
	18	250	40	44.97	-	2	40	37.64		0.465 891 04		2	74	47	34.69	3	8	9.66	0.307 543 11
	19	253	25	35.86	-	2	59	7.08		0.466 424 97		3	81	6	52.54	3	48	29.39	0.307 609 13
20	256	10	15.49	-	3	17	10.04	0.466 679 86	4	87		25	47.40	4	25	57.21	0.308 315 96		
21	258	54	56.13	-	3	34	45.40	0.466 655 44	5	93		42	48.38	4	59	58.93	0.309 652 11		
22	261	39	49.95	-	3	51	51.96	0.466 351 71	6	99		56	27.36	5	30	7.07	0.311 596 22		
23	264	25	9.17	-	4	8	28.45	0.465 769 03	7	106		5	21.79	5	56	1.80	0.314 118 06		
24	267	11	6.05	-	4	24	33.50	0.464 908 05	8	112		8	17.13	6	17	31.27	0.317 179 87		
25	269	57	52.94	-	4	40	5.60	0.463 769 76	9	118		4	8.73	6	34	31.37	0.320 737 89		
26	272	45	42.36	-	4	55	3.12	0.462 355 49	10	123		52	3.02	6	47	5.01	0.324 744 00		
27	275	34	47.05	-	5	9	24.25	0.460 666 94	11	129		31	18.01	6	55	21.03	0.329 147 33		
28	278	25	19.98	-	5	23	7.00	0.458 706 18	12	135		1	23.20	6	59	33.01	0.333 895 71		
29	281	17	34.45	-	5	36	9.19	0.456 475 74	13	140		21	58.94	6	59	57.91	0.338 936 96		
30	284	11	44.10	-	5	48	28.38	0.453 978 57	14	145		32	55.47	6	56	54.91	0.344 219 97		
31	287	8	2.99	-	6	0	1.93	0.451 218 15	15	150		34	11.65	6	50	44.32	0.349 695 51		
<b>Août</b>	1	290	6	45.63	-	6	10	46.88	0.448 198 52	16		155	25	53.63	6	41	46.69	0.355 316 83	
	2	293	8	7.02	-	6	20	39.99	0.444 924 33	17		160	8	13.52	6	30	22.16	0.361 040 06	
	3	296	12	22.74	-	6	29	37.70	0.441 400 92	18	164	41	28.11	6	16	49.94	0.366 824 48		
	4	299	19	48.95	-	6	37	36.06	0.437 634 42	19	169	5	57.71	6	1	27.98	0.372 632 56		
	5	302	30	42.42	-	6	44	30.79	0.433 631 78	20	173	22	5.17	5	44	32.80	0.378 430 01		
	6	305	45	20.64	-	6	50	17.15	0.429 400 95	21	177	30	14.99	5	26	19.37	0.384 185 65		
	7	309	4	1.74	-	6	54	49.99	0.424 950 92	22	181	30	52.67	5	7	1.13	0.389 871 29		
	8	312	27	4.59	-	6	58	3.71	0.420 291 92	23	185	24	24.13	4	46	50.02	0.395 461 56		
	9	315	54	48.77	-	6	59	52.23	0.415 435 50	24	189	11	15.27	4	25	56.58	0.400 933 68		
	10	319	27	34.55	-	7	0	8.98	0.410 394 69	25	192	51	51.64	4	4	30.07	0.406 267 30		
	11	323	5	42.88	-	6	58	46.93	0.405 184 22	26	196	26	38.23	3	42	38.53	0.411 444 25		
	12	326	49	35.30	-	6	55	38.57	0.399 820 64	27	199	55	59.28	3	20	28.97	0.416 448 37		
	13	330	39	33.84	-	6	50	36.01	0.394 322 54	28	203	20	18.15	2	58	7.46	0.421 265 30		
	14	334	36	0.88	-	6	43	30.96	0.388 710 78	29	206	39	57.31	2	35	39.23	0.425 882 31		
	15	338	39	18.98	-	6	34	14.91	0.383 008 62	30	209	55	18.29	2	13	8.80	0.430 288 15		
	16	342	49	50.57	-	6	22	39.26	0.377 242 03	<b>Oct.</b>	1	213	6	41.66	1	50	40.05	0.434 472 85	
	17	347	7	57.64	-	6	8	35.50	0.371 439 77		2	216	14	27.07	1	28	16.34	0.438 427 65	

## MERCURE 2018 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	219	18	53.29	1	6	0.55	0.442 144 81	Nov.	18	10	53	6.90	-	4	16	10.51	0.342 951 68	
	4	222	20	18.24	0	43	55.17	0.445 617 55		19	16	3	13.75	-	3	45	4.12	0.337 721 07	
	5	225	18	59.05	0	22	2.38	0.448 839 91		20	21	22	28.21	-	3	11	6.14	0.332 744 16	
	6	228	15	12.13	0	0	24.06	0.451 806 70		21	26	50	44.10	-	2	34	25.46	0.328 072 39	
	7	231	9	13.20	-	0	20	58.13		0.454 513 41	22	32	27	47.27	-	1	55	16.07	0.323 758 04
	8	234	1	17.38	-	0	42	2.71		0.456 956 10	23	38	13	14.53	-	1	13	57.53	0.319 853 11
	9	236	51	39.23	-	1	2	48.36		0.459 131 42	24	44	6	32.74	-	0	30	55.24	0.316 407 96
	10	239	40	32.81	-	1	23	13.86		0.461 036 49	25	50	6	58.32	0	13	19.69	0.313 469 83	
	11	242	28	11.78	-	1	43	18.09		0.462 668 90	26	56	13	36.96	0	58	10.96	0.311 081 23	
	12	245	14	49.40	-	2	2	59.97		0.464 026 64	27	62	25	24.04	1	42	58.13	0.309 278 26	
	13	248	0	38.63	-	2	22	18.47		0.465 108 09	28	68	41	5.51	2	26	58.07	0.308 089 17	
	14	250	45	52.15	-	2	41	12.55		0.465 911 99	29	74	59	19.47	3	9	26.87	0.307 533 06	
	15	253	30	42.45	-	2	59	41.18		0.466 437 42	30	81	18	38.31	3	49	41.86	0.307 619 00	
	16	256	15	21.89	-	3	17	43.29		0.466 683 80	Déc.	1	87	37	31.33	4	27	3.80	0.308 345 58
	17	259	0	2.69	-	3	35	17.76		0.466 650 84		2	93	54	27.68	5	0	58.68	0.309 700 99
	18	261	44	57.06	-	3	52	23.39		0.466 338 58		3	100	7	59.36	5	30	59.23	0.311 663 58
	19	264	30	17.21	-	4	8	58.92		0.465 747 37		4	106	16	44.02	5	56	45.88	0.314 202 87
20	267	16	15.38	-	4	25	2.96	0.464 877 88	5	112		19	27.41	6	18	7.01	0.317 280 88		
21	270	3	3.95	-	4	40	34.01	0.463 731 10	6	118		15	5.19	6	34	58.76	0.320 853 68		
22	272	50	55.44	-	4	55	30.41	0.462 308 38	7	124		2	44.16	6	47	24.22	0.324 873 06		
23	275	40	2.59	-	5	9	50.37	0.460 611 43	8	129		41	42.68	6	55	32.43	0.329 288 05		
24	278	30	38.39	-	5	23	31.89	0.458 642 34	9	135		11	30.59	6	59	37.07	0.334 046 47		
25	281	22	56.13	-	5	36	32.77	0.456 403 63	10	140		31	48.59	6	59	55.20	0.339 096 17		
26	284	17	9.49	-	5	48	50.58	0.453 898 29	11	145		42	27.19	6	56	46.04	0.344 386 07		
27	287	13	32.52	-	6	0	22.66	0.451 129 81	12	150		43	25.50	6	50	29.93	0.349 867 00		
28	290	12	19.76	-	6	11	6.04	0.448 102 24	13	155		34	49.87	6	41	27.42	0.355 492 30		
29	293	13	46.22	-	6	20	57.49	0.444 820 26	14	160		16	52.60	6	29	58.62	0.361 218 21		
30	296	18	7.50	-	6	29	53.41	0.441 289 23	15	164		49	50.59	6	16	22.71	0.367 004 07		
31	299	25	39.78	-	6	37	49.87	0.437 515 29	16	169		14	4.25	6	0	57.60	0.372 812 47		
Nov.	1	302	36	39.85	-	6	44	42.55	0.433 505 44	17		173	29	56.49	5	43	59.75	0.378 609 22	
	2	305	51	25.21	-	6	50	26.71	0.429 267 65	18	177	37	51.86	5	25	44.10	0.384 363 23		
	3	309	10	14.03	-	6	54	57.19	0.424 810 96	19	181	38	15.89	5	6	24.03	0.390 046 40		
	4	312	33	25.20	-	6	58	8.37	0.420 145 61	20	185	31	34.49	4	46	11.45	0.395 633 44		
	5	316	1	18.31	-	6	59	54.14	0.415 283 20	21	189	18	13.57	4	25	16.85	0.401 101 66		
	6	319	34	13.67	-	7	0	7.95	0.410 236 84	22	192	58	38.66	4	3	49.44	0.406 430 76		
	7	323	12	32.24	-	6	58	42.73	0.405 021 27	23	196	33	14.73	3	41	57.24	0.411 602 66		
	8	326	56	35.57	-	6	55	30.97	0.399 653 14	24	200	2	25.99	3	19	47.23	0.416 601 24		
	9	330	46	45.72	-	6	50	24.74	0.394 151 08	25	203	26	35.79	2	57	25.44	0.421 412 21		
	10	334	43	25.07	-	6	43	15.78	0.388 536 03	26	206	46	6.57	2	34	57.08	0.426 022 88		
	11	338	46	56.19	-	6	33	55.55	0.382 831 33	27	210	1	19.81	2	12	26.65	0.430 422 03		
	12	342	57	41.49	-	6	22	15.46	0.377 063 03	28	213	12	36.06	1	49	58.02	0.434 599 76		
	13	347	16	2.96	-	6	8	6.99	0.371 260 00	29	216	20	14.95	1	27	34.51	0.438 547 31		
	14	351	42	21.67	-	5	51	22.04	0.365 454 14	30	219	24	35.22	1	5	19.02	0.442 257 00		
	15	356	16	57.30	-	5	31	53.22	0.359 680 50	31	222	25	54.77	0	43	14.01	0.445 722 05		
	16	1	0	7.46	-	5	9	34.33	0.353 977 38	32	225	24	30.71	0	21	21.65	0.448 936 55		
	17	5	52	6.95	-	4	44	20.83	0.348 386 25	33	228	20	39.41	-	0	0	16.19	0.451 895 33	

## VÉNUS 2018 à 0h TT

## LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.				
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"		ua			
Janv.	0	274	1	50.99	- 1	0	58.71	0.727 230 07	Avril	2	60	16	21.18	- 0	57	24.91	0.721 711 71		
	2	277	11	44.40	- 1	11	37.42	0.727 390 81		4	63	29	14.57	- 0	46	21.30	0.721 454 21		
	4	280	21	34.43	- 1	22	2.77	0.727 538 95		6	66	42	15.12	- 0	35	8.45	0.721 202 54		
	6	283	31	21.65	- 1	32	12.88	0.727 674 06		8	69	55	22.87	- 0	23	48.50	0.720 957 48		
	8	286	41	6.63	- 1	42	5.93	0.727 795 73		10	73	8	37.85	- 0	12	23.57	0.720 719 82		
	10	289	50	49.93	- 1	51	40.15	0.727 903 58		12	76	22	0.08	- 0	0	55.85	0.720 490 32		
	12	293	0	32.10	- 2	0	53.82	0.727 997 30		14	79	35	29.53	0	10	32.47	0.720 269 71		
	14	296	10	13.67	- 2	9	45.31	0.728 076 59		16	82	49	6.17	0	21	59.20	0.720 058 69		
	16	299	19	55.15	- 2	18	13.02	0.728 141 23		18	86	2	49.96	0	33	22.14	0.719 857 94		
	18	302	29	37.04	- 2	26	15.43	0.728 191 00		20	89	16	40.79	0	44	39.09	0.719 668 10		
	20	305	39	19.80	- 2	33	51.10	0.728 225 78		22	92	30	38.56	0	55	47.86	0.719 489 78		
	22	308	49	3.90	- 2	40	58.67	0.728 245 44		24	95	44	43.12	1	6	46.28	0.719 323 56		
	24	311	58	49.76	- 2	47	36.85	0.728 249 94		26	98	58	54.29	1	17	32.23	0.719 169 98		
	26	315	8	37.77	- 2	53	44.44	0.728 239 25		28	102	13	11.85	1	28	3.60	0.719 029 51		
	28	318	18	28.33	- 2	59	20.33	0.728 213 41		30	105	27	35.55	1	38	18.32	0.718 902 63		
	Févr.	30	321	28	21.76	- 3	4	23.49		0.728 172 51	Mai	2	108	42	5.09	1	48	14.39	0.718 789 73
		1	324	38	18.41	- 3	8	53.00		0.728 116 65		4	111	56	40.16	1	57	49.86	0.718 691 19
		3	327	48	18.58	- 3	12	48.01		0.728 046 02		6	115	11	20.37	2	7	2.83	0.718 607 31
5		330	58	22.54	- 3	16	7.82	0.727 960 82	8	118		26	5.33	2	15	51.49	0.718 538 38		
7		334	8	30.54	- 3	18	51.76	0.727 861 30	10	121		40	54.60	2	24	14.11	0.718 484 62		
9		337	18	42.81	- 3	20	59.33	0.727 747 79	12	124		55	47.69	2	32	9.02	0.718 446 19		
11		340	28	59.57	- 3	22	30.10	0.727 620 60	14	128		10	44.09	2	39	34.67	0.718 423 22		
13		343	39	21.01	- 3	23	23.76	0.727 480 13	16	131		25	43.24	2	46	29.60	0.718 415 79		
15		346	49	47.29	- 3	23	40.08	0.727 326 81	18	134		40	44.58	2	52	52.44	0.718 423 92		
17		350	0	18.57	- 3	23	18.99	0.727 161 09	20	137		55	47.48	2	58	41.95	0.718 447 58		
19		353	10	54.99	- 3	22	20.49	0.726 983 49	22	141		10	51.33	3	3	56.98	0.718 486 69		
21		356	21	36.68	- 3	20	44.71	0.726 794 54	24	144		25	55.45	3	8	36.51	0.718 541 13		
23		359	32	23.75	- 3	18	31.88	0.726 594 81	26	147		40	59.18	3	12	39.65	0.718 610 72		
25		2	43	16.31	- 3	15	42.35	0.726 384 91	28	150		56	1.83	3	16	5.61	0.718 695 23		
27		5	54	14.46	- 3	12	16.58	0.726 165 49	30	154		11	2.70	3	18	53.75	0.718 794 38		
Mars		1	9	5	18.28	- 3	8	15.14	0.725 937 21	Juin		1	157	26	1.09	3	21	3.54	0.718 907 86
		3	12	16	27.87	- 3	3	38.70	0.725 700 77			3	160	40	56.29	3	22	34.61	0.719 035 30
		5	15	27	43.31	- 2	58	28.06	0.725 456 90			5	163	55	47.60	3	23	26.68	0.719 176 28
	7	18	39	4.69	- 2	52	44.09	0.725 206 35	7		167	10	34.34	3	23	39.64	0.719 330 36		
	9	21	50	32.08	- 2	46	27.81	0.724 949 89	9		170	25	15.82	3	23	13.50	0.719 497 02		
	11	25	2	5.57	- 2	39	40.31	0.724 688 30	11		173	39	51.39	3	22	8.39	0.719 675 74		
	13	28	13	45.25	- 2	32	22.80	0.724 422 41	13		176	54	20.42	3	20	24.58	0.719 865 93		
	15	31	25	31.19	- 2	24	36.56	0.724 153 03	15		180	8	42.30	3	18	2.47	0.720 067 00		
	17	34	37	23.48	- 2	16	22.98	0.723 881 00	17		183	22	56.45	3	15	2.60	0.720 278 28		
	19	37	49	22.22	- 2	7	43.55	0.723 607 16	19		186	37	2.34	3	11	25.60	0.720 499 11		
	21	41	1	27.49	- 1	58	39.84	0.723 332 37	21		189	50	59.47	3	7	12.24	0.720 728 79		
	23	44	13	39.38	- 1	49	13.48	0.723 057 49	23		193	4	47.39	3	2	23.42	0.720 966 57		
	25	47	25	57.98	- 1	39	26.21	0.722 783 38	25		196	18	25.70	2	57	0.13	0.721 211 70		
	27	50	38	23.37	- 1	29	19.82	0.722 510 89	27		199	31	54.03	2	51	3.47	0.721 463 41		
	29	53	50	55.65	- 1	18	56.18	0.722 240 88	29		202	45	12.09	2	44	34.66	0.721 720 88		
	31	57	3	34.90	- 1	8	17.22	0.721 974 21	Juill.		1	205	58	19.62	2	37	35.00	0.721 983 32	

## VÉNUS 2018 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	209	11	16.43	2	30	5.90	0.722 249 89	Oct.	3	355	14	57.73	-	3	21	22.36	0.726 861 82	
	5	212	24	2.37	2	22	8.84	0.722 519 74		5	358	25	42.95	-	3	19	22.43	0.726 666 47	
	7	215	36	37.37	2	13	45.39	0.722 792 04		7	1	36	33.60	-	3	16	45.67	0.726 460 78	
	9	218	49	1.39	2	4	57.21	0.723 065 92		9	4	47	29.79	-	3	13	32.49	0.726 245 37	
	11	222	1	14.47	1	55	46.00	0.723 340 53		11	7	58	31.60	-	3	9	43.42	0.726 020 90	
	13	225	13	16.67	1	46	13.54	0.723 615 01		13	11	9	39.14	-	3	5	19.12	0.725 788 08	
	15	228	25	8.15	1	36	21.67	0.723 888 50		15	14	20	52.47	-	3	0	20.31	0.725 547 62	
	17	231	36	49.08	1	26	12.27	0.724 160 16		17	17	32	11.69	-	2	54	47.86	0.725 300 26	
	19	234	48	19.71	1	15	47.28	0.724 429 13		19	20	43	36.87	-	2	48	42.74	0.725 046 77	
	21	237	59	40.31	1	5	8.67	0.724 694 59		21	23	55	8.09	-	2	42	6.00	0.724 787 94	
	23	241	10	51.21	0	54	18.43	0.724 955 72		23	27	6	45.43	-	2	34	58.81	0.724 524 56	
25	244	21	52.78	0	43	18.59	0.725 211 70	25	30	18	28.98	-	2	27	22.44	0.724 257 46			
27	247	32	45.42	0	32	11.19	0.725 461 75	27	33	30	18.81	-	2	19	18.24	0.723 987 47			
29	250	43	29.58	0	20	58.31	0.725 705 10	29	36	42	15.02	-	2	10	47.65	0.723 715 42			
31	253	54	5.72	0	9	42.00	0.725 941 00	31	39	54	17.69	-	2	1	52.23	0.723 442 17			
Août	2	257	4	34.35	-	0	1	35.66	0.726 168 73	Nov.	2	43	6	26.91	-	1	52	33.58	0.723 168 57
	4	260	14	55.98	-	0	12	52.61	0.726 387 59		4	46	18	42.76	-	1	42	53.41	0.722 895 47
	6	263	25	11.16	-	0	24	6.80	0.726 596 92		6	49	31	5.33	-	1	32	53.49	0.722 623 73
	8	266	35	20.44	-	0	35	16.18	0.726 796 07		8	52	43	34.71	-	1	22	35.67	0.722 354 19
	10	269	45	24.40	-	0	46	18.74	0.726 984 43		10	55	56	10.97	-	1	12	1.84	0.722 087 70
	12	272	55	23.59	-	0	57	12.48	0.727 161 44		12	59	8	54.20	-	1	1	13.97	0.721 825 09
	14	276	5	18.62	-	1	7	55.44	0.727 326 55		14	62	21	44.46	-	0	50	14.08	0.721 567 20
	16	279	15	10.05	-	1	18	25.70	0.727 479 26		16	65	34	41.81	-	0	39	4.24	0.721 314 83
	18	282	24	58.47	-	1	28	41.36	0.727 619 12		18	68	47	46.30	-	0	27	46.55	0.721 068 78
	20	285	34	44.45	-	1	38	40.60	0.727 745 70		20	72	0	57.97	-	0	16	23.14	0.720 829 83
	22	288	44	28.55	-	1	48	21.61	0.727 858 61		22	75	14	16.82	-	0	4	56.17	0.720 598 73
24	291	54	11.32	-	1	57	42.68	0.727 957 51	24	78	27	42.86	0	6	32.16	0.720 376 21			
26	295	3	53.29	-	2	6	42.12	0.728 042 11	26	81	41	16.06	0	17	59.67	0.720 162 99			
28	298	13	35.00	-	2	15	18.33	0.728 112 15	28	84	54	56.39	0	29	24.14	0.719 959 74			
30	301	23	16.93	-	2	23	29.76	0.728 167 42	30	88	8	43.76	0	40	43.40	0.719 767 11			
Sept.	1	304	32	59.58	-	2	31	14.95	0.728 207 75	Déc.	2	91	22	38.06	0	51	55.23	0.719 585 72	
	3	307	42	43.39	-	2	38	32.51	0.728 233 02		4	94	36	39.18	1	2	57.48	0.719 416 14	
	5	310	52	28.80	-	2	45	21.11	0.728 243 16		6	97	50	46.94	1	13	48.00	0.719 258 93	
	7	314	2	16.23	-	2	51	39.53	0.728 238 14		8	101	5	1.14	1	24	24.66	0.719 114 57	
	9	317	12	6.05	-	2	57	26.62	0.728 217 97		10	104	19	21.54	1	34	45.40	0.718 983 54	
	11	320	21	58.63	-	3	2	41.33	0.728 182 72		12	107	33	47.87	1	44	48.18	0.718 866 26	
	13	323	31	54.30	-	3	7	22.70	0.728 132 49		14	110	48	19.82	1	54	31.04	0.718 763 10	
	15	326	41	53.37	-	3	11	29.87	0.728 067 44		16	114	2	57.03	2	3	52.06	0.718 674 40	
	17	329	51	56.12	-	3	15	2.05	0.727 987 76		18	117	17	39.13	2	12	49.40	0.718 600 43	
	19	333	2	2.83	-	3	17	58.59	0.727 893 69		20	120	32	25.68	2	21	21.29	0.718 541 45	
	21	336	12	13.72	-	3	20	18.93	0.727 785 53		22	123	47	16.22	2	29	26.06	0.718 497 63	
23	339	22	29.01	-	3	22	2.59	0.727 663 60	24	127	2	10.25	2	37	2.11	0.718 469 12			
25	342	32	48.90	-	3	23	9.24	0.727 528 27	26	130	17	7.24	2	44	7.94	0.718 456 00			
27	345	43	13.56	-	3	23	38.62	0.727 379 96	28	133	32	6.62	2	50	42.16	0.718 458 32			
29	348	53	43.16	-	3	23	30.60	0.727 219 11	30	136	47	7.80	2	56	43.48	0.718 476 07			
Oct.	1	352	4	17.84	-	3	22	45.15	0.727 046 22	32	140	2	10.15	3	2	10.71	0.718 509 18		

## MARS 2018 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	193	20	46.92	1	5	27.18	1.631 839 41	Juill.	3	289	7	16.95	-	1	35	39.96	1.420 046 09	
	4	195	10	9.04	1	2	34.31	1.628 610 00		7	291	31	52.17	-	1	37	56.32	1.416 299 39	
	8	196	59	57.57	0	59	36.92	1.625 251 19		11	293	57	12.76	-	1	40	2.93	1.412 709 36	
	12	198	50	13.71	0	56	35.11	1.621 765 87		15	296	23	17.06	-	1	41	59.36	1.409 283 20	
	16	200	40	58.68	0	53	28.99	1.618 157 13		19	298	50	3.30	-	1	43	45.22	1.406 027 91	
Févr.	20	202	32	13.67	0	50	18.67	1.614 428 16	23	301	17	29.55	-	1	45	20.15	1.402 950 19		
	24	204	23	59.89	0	47	4.27	1.610 582 35	27	303	45	33.77	-	1	46	43.79	1.400 056 49		
	28	206	16	18.51	0	43	45.92	1.606 623 22	31	306	14	13.79	-	1	47	55.81	1.397 352 92		
	1	208	9	10.74	0	40	23.76	1.602 554 47	Août	4	308	43	27.33	-	1	48	55.94	1.394 845 29	
	5	210	2	37.74	0	36	57.92	1.598 379 95		8	311	13	11.97	-	1	49	43.91	1.392 539 02	
Mars	9	211	56	40.69	0	33	28.56	1.594 103 66	12	313	43	25.20	-	1	50	19.48	1.390 439 15		
	13	213	51	20.75	0	29	55.83	1.589 729 81	16	316	14	4.41	-	1	50	42.47	1.388 550 33		
	17	215	46	39.05	0	26	19.90	1.585 262 73	20	318	45	6.90	-	1	50	52.73	1.386 876 75		
	21	217	42	36.74	0	22	40.95	1.580 706 95	24	321	16	29.87	-	1	50	50.13	1.385 422 17		
	25	219	39	14.93	0	18	59.16	1.576 067 17	28	323	48	10.45	-	1	50	34.60	1.384 189 88		
Avril	1	221	36	34.73	0	15	14.72	1.571 348 26	Sept.	1	326	20	5.71	-	1	50	6.11	1.383 182 69	
	5	223	34	37.20	0	11	27.85	1.566 555 26		5	328	52	12.67	-	1	49	24.67	1.382 402 89	
	9	225	33	23.41	0	7	38.76	1.561 693 39		9	331	24	28.28	-	1	48	30.33	1.381 852 27	
	13	227	32	54.39	0	3	47.68	1.556 768 05		13	333	56	49.49	-	1	47	23.18	1.381 532 12	
	17	229	33	11.14	-	0	0	5.15		1.551 784 81	17	336	29	13.21	-	1	46	3.36	1.381 443 17
Mai	21	231	34	14.64	-	0	3	59.49	1.546 749 41	21	339	1	36.35	-	1	44	31.05	1.381 585 63	
	25	233	36	5.83	-	0	7	55.06	1.541 667 78	25	341	33	55.81	-	1	42	46.47	1.381 959 20	
	29	235	38	45.60	-	0	11	51.59	1.536 546 01	29	344	6	8.53	-	1	40	49.88	1.382 563 01	
	2	237	42	14.83	-	0	15	48.80	1.531 390 38	Oct.	3	346	38	11.46	-	1	38	41.58	1.383 395 70
	6	239	46	34.33	-	0	19	46.37	1.526 207 33		7	349	10	1.58	-	1	36	21.90	1.384 455 38
Juin	10	241	51	44.87	-	0	23	43.99	1.521 003 47	11	351	41	35.94	-	1	33	51.21	1.385 739 65	
	14	243	57	47.16	-	0	27	41.34	1.515 785 58	15	354	12	51.63	-	1	31	9.92	1.387 245 61	
	18	246	4	41.87	-	0	31	38.08	1.510 560 58	19	356	43	45.84	-	1	28	18.46	1.388 969 89	
	22	248	12	29.61	-	0	35	33.84	1.505 335 58	23	359	14	15.81	-	1	25	17.29	1.390 908 64	
	26	250	21	10.89	-	0	39	28.26	1.500 117 80	27	1	44	18.89	-	1	22	6.89	1.393 057 56	
Juillet	30	252	30	46.21	-	0	43	20.97	1.494 914 62	Nov.	31	4	13	52.51	-	1	18	47.77	1.395 411 94
	4	254	41	15.93	-	0	47	11.56	1.489 733 55		4	6	42	54.21	-	1	15	20.45	1.397 966 65
	8	256	52	40.39	-	0	50	59.63	1.484 582 24		8	9	11	21.66	-	1	11	45.48	1.400 716 17
	12	259	4	59.81	-	0	54	44.77	1.479 468 41		12	11	39	12.62	-	1	8	3.39	1.403 654 64
	16	261	18	14.33	-	0	58	26.54	1.474 399 93		16	14	6	24.98	-	1	4	14.77	1.406 775 85
Août	20	263	32	24.00	-	1	2	4.51	1.469 384 73	20	16	32	56.77	-	1	0	20.16	1.410 073 28	
	24	265	47	28.77	-	1	5	38.24	1.464 430 82	24	18	58	46.13	-	0	56	20.15	1.413 540 16	
	28	268	3	28.48	-	1	9	7.27	1.459 546 28	28	21	23	51.34	-	0	52	15.31	1.417 169 43	
	1	270	20	22.88	-	1	12	31.14	1.454 739 23	Déc.	2	23	48	10.82	-	0	48	6.21	1.420 953 82
	5	272	38	11.60	-	1	15	49.37	1.450 017 81		6	26	11	43.10	-	0	43	53.41	1.424 885 87
Sept.	9	274	56	54.14	-	1	19	1.51	1.445 390 18	10	28	34	26.86	-	0	39	37.47	1.428 957 94	
	13	277	16	29.90	-	1	22	7.08	1.440 864 47	14	30	56	20.92	-	0	35	18.96	1.433 162 22	
	17	279	36	58.16	-	1	25	5.61	1.436 448 80	18	33	17	24.22	-	0	30	58.39	1.437 490 82	
	21	281	58	18.04	-	1	27	56.63	1.432 151 20	22	35	37	35.82	-	0	26	36.32	1.441 935 72	
	25	284	20	28.57	-	1	30	39.66	1.427 979 66	26	37	56	54.93	-	0	22	13.24	1.446 488 84	
29	286	43	28.62	-	1	33	14.25	1.423 942 04	30	40	15	20.86	-	0	17	49.67	1.451 142 04		

## JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2018 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.	0 218 14 24.81	1 9 14.66	5.432 392 9	Janv.	0 270 13 56.60	0 59 11.45	10.064 724 5
	16 219 27 32.00	1 8 27.28	5.429 931 8		16 270 42 47.52	0 58 2.34	10.064 978 3
Févr.	1 220 40 43.24	1 7 38.01	5.427 356 8	Févr.	1 271 11 38.38	0 56 52.98	10.065 191 2
	17 221 53 58.69	1 6 46.85	5.424 669 2		17 271 40 29.17	0 55 43.38	10.065 363 1
Mars	5 223 7 18.55	1 5 53.81	5.421 870 1	Mars	5 272 9 19.92	0 54 33.55	10.065 494 1
	21 224 20 43.01	1 4 58.92	5.418 960 9		21 272 38 10.62	0 53 23.49	10.065 584 4
Avril	6 225 34 12.26	1 4 2.18	5.415 942 6	Avril	6 273 7 1.31	0 52 13.21	10.065 634 0
	22 226 47 46.49	1 3 3.63	5.412 816 4		22 273 35 52.00	0 51 2.70	10.065 642 9
Mai	8 228 1 25.88	1 2 3.27	5.409 583 6	Mai	8 274 4 42.70	0 49 51.98	10.065 610 9
	24 229 15 10.61	1 1 1.12	5.406 245 4		24 274 33 33.44	0 48 41.05	10.065 538 0
	9 230 29 0.87	0 59 57.21	5.402 803 2	Juin	9 275 2 24.21	0 47 29.91	10.065 424 1
	25 231 42 56.83	0 58 51.56	5.399 258 5		25 275 31 15.04	0 46 18.56	10.065 269 0
Juill.	11 232 56 58.67	0 57 44.18	5.395 612 5	Juill.	11 276 0 5.95	0 45 7.02	10.065 072 5
	27 234 11 6.55	0 56 35.09	5.391 866 7		27 276 28 56.94	0 43 55.29	10.064 834 5
Août	12 235 25 20.65	0 55 24.33	5.388 022 9	Août	12 276 57 48.02	0 42 43.36	10.064 554 8
	28 236 39 41.12	0 54 11.92	5.384 082 9		28 277 26 39.21	0 41 31.25	10.064 233 3
Sept.	13 237 54 8.15	0 52 57.87	5.380 048 6	Sept.	13 277 55 30.51	0 40 18.96	10.063 870 4
	29 239 8 41.90	0 51 42.22	5.375 921 9		29 278 24 21.94	0 39 6.49	10.063 465 9
Oct.	15 240 23 22.55	0 50 24.98	5.371 704 7	Oct.	15 278 53 13.50	0 37 53.86	10.063 020 1
	31 241 38 10.26	0 49 6.20	5.367 399 1		31 279 22 5.22	0 36 41.05	10.062 533 1
Nov.	16 242 53 5.19	0 47 45.89	5.363 007 1	Nov.	16 279 50 57.10	0 35 28.09	10.062 005 1
Déc.	2 244 8 7.53	0 46 24.08	5.358 530 8	Déc.	2 280 19 49.16	0 34 14.96	10.061 436 2
	18 245 23 17.43	0 45 0.81	5.353 972 2		18 280 48 41.43	0 33 1.68	10.060 826 7
URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Janv.	0 27 3 33.41	- 0 33 49.85	19.902 768 3	Janv.	0 343 18 21.66	- 0 55 32.99	29.944 779 0
Févr.	1 27 24 25.89	- 0 33 38.30	19.899 320 1	Févr.	1 343 29 55.66	- 0 55 51.27	29.944 217 2
Mars	5 27 45 18.85	- 0 33 26.68	19.895 849 7	Mars	5 343 41 29.74	- 0 56 9.52	29.943 660 8
Avril	6 28 6 12.27	- 0 33 14.98	19.892 356 7	Avril	6 343 53 3.91	- 0 56 27.73	29.943 109 7
Mai	8 28 27 6.16	- 0 33 3.20	19.888 841 9	Mai	8 344 4 38.17	- 0 56 45.90	29.942 564 8
	9 28 48 0.52	- 0 32 51.35	19.885 306 3	Juin	9 344 16 12.52	- 0 57 4.04	29.942 026 0
Juill.	11 29 8 55.37	- 0 32 39.42	19.881 750 4	Juill.	11 344 27 46.97	- 0 57 22.14	29.941 493 3
Août	12 29 29 50.73	- 0 32 27.42	19.878 174 6	Août	12 344 39 21.53	- 0 57 40.20	29.940 965 4
Sept.	13 29 50 46.62	- 0 32 15.34	19.874 577 4	Sept.	13 344 50 56.20	- 0 57 58.22	29.940 440 2
Oct.	15 30 11 43.04	- 0 32 3.18	19.870 957 4	Oct.	15 345 2 30.97	- 0 58 16.21	29.939 917 0
Nov.	16 30 32 39.98	- 0 31 50.95	19.867 313 9	Nov.	16 345 14 5.82	- 0 58 34.15	29.939 395 3
Déc.	18 30 53 37.43	- 0 31 38.64	19.863 646 7	Déc.	18 345 25 40.76	- 0 58 52.06	29.938 876 1

## MERCURE 2018 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	4	30.335	-20	40	10.30	0.977 983 92	Févr.	15	21	49	5.759	-15	22	24.86	1.394 246 45
	1	17	8	23.625	-20	53	31.88	0.998 838 31		16	21	56	0.926	-14	44	43.12	1.390 535 40
	2	17	12	33.503	-21	7	2.23	1.019 240 63		17	22	2	56.397	-14	5	37.11	1.386 089 04
	3	17	16	58.294	-21	20	31.10	1.039 153 14		18	22	9	52.104	-13	25	7.72	1.380 874 02
	4	17	21	36.507	-21	33	49.41	1.058 547 33		19	22	16	47.964	-12	43	16.12	1.374 854 71
	5	17	26	26.817	-21	46	49.09	1.077 402 27		20	22	23	43.871	-12	0	3.79	1.367 993 36
	6	17	31	28.051	-21	59	23.01	1.095 703 28		21	22	30	39.690	-11	15	32.56	1.360 250 34
	7	17	36	39.168	-22	11	24.83	1.113 440 76		22	22	37	35.254	-10	29	44.75	1.351 584 43
	8	17	41	59.243	-22	22	48.97	1.130 609 26		23	22	44	30.352	-9	42	43.14	1.341 953 38
	9	17	47	27.454	-22	33	30.46	1.147 206 62		24	22	51	24.723	-8	54	31.17	1.331 314 52
	10	17	53	3.067	-22	43	24.91	1.163 233 34		25	22	58	18.044	-8	5	12.92	1.319 625 62
	11	17	58	45.428	-22	52	28.40	1.178 691 93		26	23	5	9.921	-7	14	53.33	1.306 846 00
	12	18	4	33.950	-23	0	37.46	1.193 586 51		27	23	11	59.879	-6	23	38.20	1.292 937 86
	13	18	10	28.108	-23	7	48.97	1.207 922 32		28	23	18	47.347	-5	31	34.37	1.277 867 89
14	18	16	27.425	-23	14	0.15	1.221 705 46	Mars	1	23	25	31.652	-4	38	49.78	1.261 609 16	
15	18	22	31.475	-23	19	8.50	1.234 942 57		2	23	32	12.005	-3	45	33.57	1.244 143 22	
16	18	28	39.868	-23	23	11.76	1.247 640 64		3	23	38	47.494	-2	51	56.19	1.225 462 46	
17	18	34	52.252	-23	26	7.91	1.259 806 76		4	23	45	17.072	-1	58	9.38	1.205 572 51	
18	18	41	8.304	-23	27	55.11	1.271 448 03		5	23	51	39.559	-1	4	26.26	1.184 494 59	
19	18	47	27.732	-23	28	31.68	1.282 571 38		6	23	57	53.639	-0	11	1.21	1.162 267 66	
20	18	53	50.265	-23	27	56.12	1.293 183 48		7	0	3	57.870	0	41	50.16	1.138 950 16	
21	19	0	15.658	-23	26	7.03	1.303 290 63		8	0	9	50.694	1	33	51.23	1.114 621 02	
22	19	6	43.682	-23	23	3.15	1.312 898 70		9	0	15	30.457	2	24	44.53	1.089 379 92	
23	19	13	14.130	-23	18	43.33	1.322 013 00		10	0	20	55.437	3	14	12.04	1.063 346 58	
24	19	19	46.811	-23	13	6.49	1.330 638 27		11	0	26	3.873	4	1	55.46	1.036 659 07	
25	19	26	21.546	-23	6	11.67	1.338 778 60		12	0	30	53.999	4	47	36.52	1.009 471 18	
26	19	32	58.173	-22	57	57.97	1.346 437 35		13	0	35	24.080	5	30	57.25	0.981 949 08	
27	19	39	36.541	-22	48	24.57	1.353 617 08		14	0	39	32.450	6	11	40.29	0.954 267 54	
28	19	46	16.511	-22	37	30.72	1.360 319 52	15	0	43	17.545	6	49	29.06	0.926 605 85		
29	19	52	57.956	-22	25	15.70	1.366 545 45	16	0	46	37.939	7	24	8.00	0.899 144 00		
30	19	59	40.755	-22	11	38.88	1.372 294 65	17	0	49	32.381	7	55	22.66	0.872 059 01		
Févr.	31	20	6	24.802	-21	56	39.66	1.377 565 79	18	0	51	59.818	8	22	59.87	0.845 522 00	
	1	20	13	9.995	-21	40	17.46	1.382 356 37	19	0	53	59.435	8	46	47.80	0.819 695 73	
	2	20	19	56.247	-21	22	31.77	1.386 662 65	20	0	55	30.684	9	6	36.12	0.794 732 77	
	3	20	26	43.476	-21	3	22.08	1.390 479 59	21	0	56	33.311	9	22	16.13	0.770 774 28	
	4	20	33	31.611	-20	42	47.97	1.393 800 80	22	0	57	7.393	9	33	40.98	0.747 949 18	
	5	20	40	20.587	-20	20	49.03	1.396 618 51	23	0	57	13.367	9	40	45.95	0.726 373 63	
	6	20	47	10.344	-19	57	24.91	1.398 923 50	24	0	56	52.058	9	43	28.75	0.706 150 74	
	7	20	54	0.829	-19	32	35.32	1.400 705 02	25	0	56	4.697	9	41	49.92	0.687 370 32	
	8	21	0	51.992	-19	6	20.00	1.401 950 71	26	0	54	52.940	9	35	53.25	0.670 108 66	
	9	21	7	43.791	-18	38	38.76	1.402 646 51	27	0	53	18.863	9	25	46.14	0.654 428 21	
	10	21	14	36.183	-18	9	31.47	1.402 776 56	28	0	51	24.943	9	11	39.90	0.640 377 38	
	11	21	21	29.131	-17	38	58.05	1.402 323 09	29	0	49	14.027	8	53	49.97	0.627 990 14	
	12	21	28	22.600	-17	6	58.51	1.401 266 34	30	0	46	49.272	8	32	35.94	0.617 285 86	
	13	21	35	16.553	-16	33	32.98	1.399 584 41	31	0	44	14.070	8	8	21.28	0.608 269 21	
14	21	42	10.953	-15	58	41.64	1.397 253 23	Avril	1	0	41	31.959	7	41	32.92	0.600 930 34	

## MERCURE 2018 à 0h TT

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

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	0	38	46.522	7	12	40.56	0.595 245 35	Mai	18	2	22	34.018	11	44	3.08	1.130 921 63
	3	0	36	1.285	6	42	15.82	0.591 177 13		19	2	29	2.320	12	23	27.82	1.146 504 31
	4	0	33	19.619	6	10	51.19	0.588 676 55		20	2	35	40.396	13	3	17.56	1.161 855 08
	5	0	30	44.656	5	38	59.06	0.587 683 94		21	2	42	28.500	13	43	26.82	1.176 925 89
	6	0	28	19.217	5	7	10.71	0.588 130 88		22	2	49	26.888	14	23	49.68	1.191 663 21
	7	0	26	5.764	4	35	55.43	0.589 942 07		23	2	56	35.808	15	4	19.72	1.206 007 80
	8	0	24	6.369	4	5	39.87	0.593 037 33		24	3	3	55.492	15	44	49.95	1.219 894 53
	9	0	22	22.711	3	36	47.50	0.597 333 51		25	3	11	26.143	16	25	12.77	1.233 252 34
	10	0	20	56.079	3	9	38.41	0.602 746 29		26	3	19	7.918	17	5	19.91	1.246 004 47
	11	0	19	47.394	2	44	29.15	0.609 191 78		27	3	27	0.916	17	45	2.40	1.258 068 93
	12	0	18	57.250	2	21	32.88	0.616 587 89		28	3	35	5.156	18	24	10.56	1.269 359 27
13	0	18	25.943	2	0	59.57	0.624 855 47	29	3	43	20.560	19	2	34.02	1.279 785 80		
14	0	18	13.523	1	42	56.28	0.633 919 09	30	3	51	46.937	19	40	1.77	1.289 257 16		
15	0	18	19.830	1	27	27.51	0.643 707 75	31	4	0	23.958	20	16	22.24	1.297 682 35		
16	0	18	44.538	1	14	35.58	0.654 155 18	Juin	1	4	9	11.148	20	51	23.45	1.304 973 15	
17	0	19	27.193	1	4	21.00	0.665 200 14		2	4	18	7.866	21	24	53.21	1.311 046 91	
18	0	20	27.244	0	56	42.78	0.676 786 38		3	4	27	13.307	21	56	39.30	1.315 829 48	
19	0	21	44.078	0	51	38.76	0.688 862 65		4	4	36	26.493	22	26	29.84	1.319 258 16	
20	0	23	17.038	0	49	5.88	0.701 382 41		5	4	45	46.289	22	54	13.48	1.321 284 47	
21	0	25	5.447	0	49	0.38	0.714 303 67		6	4	55	11.414	23	19	39.79	1.321 876 42	
22	0	27	8.627	0	51	18.04	0.727 588 60		7	5	4	40.471	23	42	39.53	1.321 020 15	
23	0	29	25.910	0	55	54.32	0.741 203 23		8	5	14	11.974	24	3	4.87	1.318 720 67	
24	0	31	56.648	1	2	44.47	0.755 117 11		9	5	23	44.390	24	20	49.65	1.315 001 69	
25	0	34	40.224	1	11	43.65	0.769 302 93		10	5	33	16.170	24	35	49.47	1.309 904 57	
26	0	37	36.055	1	22	47.00	0.783 736 19		11	5	42	45.794	24	48	1.73	1.303 486 40	
27	0	40	43.594	1	35	49.70	0.798 394 88	12	5	52	11.797	24	57	25.65	1.295 817 51		
28	0	44	2.337	1	50	46.99	0.813 259 16	13	6	1	32.805	25	4	2.12	1.286 978 66		
29	0	47	31.820	2	7	34.22	0.828 311 06	14	6	10	47.549	25	7	53.60	1.277 057 94		
30	0	51	11.623	2	26	6.85	0.843 534 21	15	6	19	54.884	25	9	3.87	1.266 147 97		
Mai	1	0	55	1.365	2	46	20.45	0.858 913 55	16	6	28	53.799	25	7	37.87	1.254 343 10	
	2	0	59	0.710	3	8	10.73	0.874 435 12	17	6	37	43.416	25	3	41.45	1.241 737 21	
	3	1	3	9.361	3	31	33.52	0.890 085 75	18	6	46	22.988	24	57	21.18	1.228 421 72	
	4	1	7	27.064	3	56	24.76	0.905 852 86	19	6	54	51.896	24	48	44.17	1.214 484 13	
	5	1	11	53.605	4	22	40.51	0.921 724 20	20	7	3	9.635	24	37	57.88	1.200 007 01	
	6	1	16	28.809	4	50	16.93	0.937 687 60	21	7	11	15.803	24	25	10.01	1.185 067 23	
	7	1	21	12.543	5	19	10.26	0.953 730 71	22	7	19	10.088	24	10	28.32	1.169 735 67	
	8	1	26	4.708	5	49	16.81	0.969 840 74	23	7	26	52.255	23	54	0.62	1.154 077 07	
	9	1	31	5.247	6	20	32.94	0.986 004 21	24	7	34	22.133	23	35	54.64	1.138 150 09	
	10	1	36	14.135	6	52	55.05	1.002 206 65	25	7	41	39.605	23	16	17.96	1.122 007 62	
	11	1	41	31.385	7	26	19.54	1.018 432 29	26	7	48	44.595	22	55	18.04	1.105 697 02	
12	1	46	57.042	8	0	42.78	1.034 663 80	27	7	55	37.058	22	33	2.12	1.089 260 59		
13	1	52	31.187	8	36	1.11	1.050 881 94	28	8	2	16.976	22	9	37.27	1.072 735 98		
14	1	58	13.927	9	12	10.78	1.067 065 23	29	8	8	44.342	21	45	10.32	1.056 156 59		
15	2	4	5.403	9	49	7.92	1.083 189 60	30	8	14	59.163	21	19	47.95	1.039 552 11		
16	2	10	5.780	10	26	48.53	1.099 228 01	Juill.	1	8	21	1.446	20	53	36.61	1.022 948 87	
17	2	16	15.248	11	5	8.40	1.115 150 08		2	8	26	51.196	20	26	42.60	1.006 370 30	



## MERCURE 2018 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	8	32	28.411	19	59	12.06	0.989 837 34	<b>Août</b>	18	8	52	50.294	14	23	16.60	0.707 943 16	
	4	8	37	53.078	19	31	10.97	0.973 368 79		19	8	52	49.868	14	41	6.82	0.727 051 02	
	5	8	43	5.169	19	2	45.23	0.956 981 71		20	8	53	18.973	14	57	20.52	0.747 497 41	
	6	8	48	4.638	18	34	0.63	0.940 691 70		21	8	54	18.348	15	11	43.55	0.769 201 72	
	7	8	52	51.417	18	5	2.89	0.924 513 27		22	8	55	48.382	15	24	2.79	0.792 071 54	
	8	8	57	25.413	17	35	57.71	0.908 460 11		23	8	57	49.127	15	34	6.15	0.816 002 57	
	9	9	1	46.508	17	6	50.77	0.892 545 41		24	9	0	20.320	15	41	42.55	0.840 878 58	
	10	9	5	54.555	16	37	47.74	0.876 782 10		25	9	3	21.399	15	46	41.98	0.866 571 48	
	11	9	9	49.372	16	8	54.39	0.861 183 18		26	9	6	51.519	15	48	55.57	0.892 941 73	
	12	9	13	30.747	15	40	16.52	0.845 762 01		27	9	10	49.571	15	48	15.66	0.919 839 08	
	13	9	16	58.432	15	12	0.04	0.830 532 59		28	9	15	14.202	15	44	35.97	0.947 103 86	
	14	9	20	12.145	14	44	10.98	0.815 509 86		29	9	20	3.832	15	37	51.73	0.974 568 86	
	15	9	23	11.572	14	16	55.52	0.800 710 05		30	9	25	16.680	15	27	59.88	1.002 061 88	
	16	9	25	56.368	13	50	19.97	0.786 150 92		31	9	30	50.795	15	14	59.19	1.029 408 86	
	17	9	28	26.163	13	24	30.85	0.771 852 06		<b>Sept.</b>	1	9	36	44.090	14	58	50.37	1.056 437 52
	18	9	30	40.560	12	59	34.87	0.757 835 13		2	9	42	54.382	14	39	36.14	1.082 981 29	
	19	9	32	39.145	12	35	38.94	0.744 124 14		3	9	49	19.435	14	17	21.19	1.108 883 27	
20	9	34	21.489	12	12	50.18	0.730 745 66	4	9	55	57.013	13	52	12.10	1.133 999 91			
21	9	35	47.156	11	51	15.92	0.717 729 15	5	10	2	44.921	13	24	17.15	1.158 204 16			
22	9	36	55.717	11	31	3.68	0.705 107 18	6	10	9	41.052	12	53	46.05	1.181 387 84			
23	9	37	46.757	11	12	21.11	0.692 915 66	7	10	16	43.427	12	20	49.70	1.203 463 01			
24	9	38	19.895	10	55	15.96	0.681 194 16	8	10	23	50.221	11	45	39.80	1.224 362 44			
25	9	38	34.800	10	39	56.00	0.669 986 03	9	10	30	59.794	11	8	28.56	1.244 039 10			
26	9	38	31.217	10	26	28.92	0.659 338 61	10	10	38	10.695	10	29	28.37	1.262 464 91			
27	9	38	8.990	10	15	2.19	0.649 303 30	11	10	45	21.673	9	48	51.55	1.279 628 84			
28	9	37	28.092	10	5	42.89	0.639 935 60	12	10	52	31.669	9	6	50.10	1.295 534 71			
29	9	36	28.657	9	58	37.56	0.631 294 97	13	10	59	39.807	8	23	35.52	1.310 198 64			
30	9	35	11.015	9	53	51.90	0.623 444 66	14	11	6	45.382	7	39	18.72	1.323 646 73			
31	9	33	35.725	9	51	30.59	0.616 451 27	15	11	13	47.841	6	54	9.85	1.335 912 62			
<b>Août</b>	1	9	31	43.612	9	51	36.96	0.610 384 28	16	11	20	46.765	6	8	18.35	1.347 035 48		
2	9	29	35.793	9	54	12.76	0.605 315 21	17	11	27	41.855	5	21	52.85	1.357 058 11			
3	9	27	13.707	9	59	17.83	0.601 316 79	18	11	34	32.912	4	35	1.24	1.366 025 41			
4	9	24	39.125	10	6	49.90	0.598 461 80	19	11	41	19.821	3	47	50.66	1.373 983 12			
5	9	21	54.159	10	16	44.37	0.596 821 75	20	11	48	2.540	3	0	27.56	1.380 976 81			
6	9	19	1.250	10	28	54.20	0.596 465 56	21	11	54	41.083	2	12	57.75	1.387 051 08			
7	9	16	3.143	10	43	9.89	0.597 457 99	22	12	1	15.512	1	25	26.44	1.392 248 99			
8	9	13	2.842	10	59	19.56	0.599 858 18	23	12	7	45.924	0	37	58.30	1.396 611 63			
9	9	10	3.556	11	17	9.12	0.603 718 25	24	12	14	12.446	–	0	9	22.48	1.400 177 83		
10	9	7	8.629	11	36	22.57	0.609 081 95	25	12	20	35.229	–	0	56	32.14	1.402 983 99		
11	9	4	21.459	11	56	42.37	0.615 983 62	26	12	26	54.437	–	1	43	27.33	1.405 064 00		
12	9	1	45.422	12	17	49.85	0.624 447 22	27	12	33	10.248	–	2	30	5.02	1.406 449 15		
13	8	59	23.790	12	39	25.66	0.634 485 73	28	12	39	22.844	–	3	16	22.48	1.407 168 19		
14	8	57	19.653	13	1	10.24	0.646 100 66	29	12	45	32.414	–	4	2	17.24	1.407 247 40		
15	8	55	35.858	13	22	44.16	0.659 281 80	30	12	51	39.145	–	4	47	47.07	1.406 710 60		
16	8	54	14.952	13	43	48.50	0.674 007 11	<b>Oct.</b>	1	12	57	43.222	–	5	32	49.92	1.405 579 33	
17	8	53	19.148	14	4	5.07	0.690 242 76	2	13	3	44.827	–	6	17	23.89	1.403 872 91		

## MERCURE 2018 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	9	44.136	- 7	1	27.24	1.401 608 55	Nov.	18	16	47	5.571	-24	15	49.11	0.782 397 72
	4	13	15	41.319	- 7	44	58.35	1.398 801 53		19	16	46	12.162	-24	1	29.39	0.763 372 53
	5	13	21	36.538	- 8	27	55.67	1.395 465 28		20	16	44	35.249	-23	44	16.60	0.745 504 03
	6	13	27	29.947	- 9	10	17.77	1.391 611 51		21	16	42	14.020	-23	24	5.32	0.729 084 25
	7	13	33	21.693	- 9	52	3.26	1.387 250 38		22	16	39	9.051	-23	0	53.96	0.714 423 35
	8	13	39	11.913	-10	33	10.81	1.382 390 57		23	16	35	22.657	-22	34	46.84	0.701 839 13
	9	13	45	0.734	-11	13	39.15	1.377 039 43		24	16	30	59.158	-22	5	56.45	0.691 642 47
	10	13	50	48.271	-11	53	27.04	1.371 203 08		25	16	26	4.992	-21	34	45.44	0.684 119 41
	11	13	56	34.627	-12	32	33.23	1.364 886 46		26	16	20	48.590	-21	1	47.82	0.679 511 21
	12	14	2	19.893	-13	10	56.51	1.358 093 45		27	16	15	19.989	-20	27	48.68	0.677 994 93
	13	14	8	4.144	-13	48	35.66	1.350 826 90		28	16	9	50.180	-19	53	42.24	0.679 667 24
	14	14	13	47.443	-14	25	29.45	1.343 088 71		29	16	4	30.301	-19	20	27.93	0.684 534 60
15	14	19	29.834	-15	1	36.65	1.334 879 87	30	15	59	30.794	-18	49	5.43	0.692 511 42		
16	14	25	11.349	-15	36	55.99	1.326 200 51	Déc.	1	15	55	0.684	-18	20	29.40	0.703 426 76	
17	14	30	51.997	-16	11	26.21	1.317 049 98		2	15	51	7.073	-17	55	25.10	0.717 038 25	
18	14	36	31.773	-16	45	5.98	1.307 426 93	3	15	47	54.928	-17	34	25.47	0.733 050 72		
19	14	42	10.645	-17	17	53.96	1.297 329 33	4	15	45	27.110	-17	17	50.13	0.751 136 55		
20	14	47	48.563	-17	49	48.77	1.286 754 57	5	15	43	44.611	-17	5	45.98	0.770 955 20		
21	14	53	25.448	-18	20	48.98	1.275 699 53	6	15	42	46.894	-16	58	8.98	0.792 169 76		
22	14	59	1.194	-18	50	53.10	1.264 160 67	7	15	42	32.278	-16	54	46.52	0.814 459 85		
23	15	4	35.665	-19	19	59.62	1.252 134 11	8	15	42	58.302	-16	55	19.90	0.837 530 35		
24	15	10	8.688	-19	48	6.94	1.239 615 68	9	15	44	2.036	-16	59	26.65	0.861 116 66		
25	15	15	40.053	-20	15	13.41	1.226 601 11	10	15	45	40.334	-17	6	42.35	0.884 986 84		
26	15	21	9.507	-20	41	17.32	1.213 086 07	11	15	47	50.018	-17	16	42.16	0.908 941 60		
27	15	26	36.747	-21	6	16.89	1.199 066 33	12	15	50	28.003	-17	29	1.78	0.932 812 72		
28	15	32	1.415	-21	30	10.24	1.184 537 96	13	15	53	31.385	-17	43	18.20	0.956 460 56		
29	15	37	23.093	-21	52	55.43	1.169 497 50	14	15	56	57.481	-17	59	10.04	0.979 771 05		
30	15	42	41.292	-22	14	30.39	1.153 942 21	15	16	0	43.854	-18	16	17.77	1.002 652 51		
31	15	47	55.448	-22	34	52.97	1.137 870 41	16	16	4	48.314	-18	34	23.75	1.025 032 60		
Nov.	1	15	53	4.908	-22	54	0.89	1.121 281 80	17	16	9	8.912	-18	53	12.22	1.046 855 34	
2	15	58	8.925	-23	11	51.76	1.104 177 95	18	16	13	43.922	-19	12	29.12	1.068 078 54		
3	16	3	6.642	-23	28	23.03	1.086 562 78	19	16	18	31.825	-19	32	2.02	1.088 671 40		
4	16	7	57.084	-23	43	32.02	1.068 443 22	20	16	23	31.285	-19	51	39.95	1.108 612 49		
5	16	12	39.137	-23	57	15.86	1.049 829 96	21	16	28	41.135	-20	11	13.21	1.127 887 98		
6	16	17	11.537	-24	9	31.52	1.030 738 31	22	16	34	0.348	-20	30	33.29	1.146 490 13		
7	16	21	32.855	-24	20	15.71	1.011 189 24	23	16	39	28.029	-20	49	32.66	1.164 416 01		
8	16	25	41.474	-24	29	24.88	0.991 210 62	24	16	45	3.389	-21	8	4.66	1.181 666 47		
9	16	29	35.581	-24	36	55.18	0.970 838 62	25	16	50	45.739	-21	26	3.41	1.198 245 23		
10	16	33	13.146	-24	42	42.39	0.950 119 38	26	16	56	34.470	-21	44	54.23	1.214 158 21		
11	16	36	31.918	-24	46	41.84	0.929 110 87	27	17	2	29.047	-22	0	0.84	1.229 412 95		
12	16	39	29.417	-24	48	48.38	0.907 885 09	28	17	8	28.998	-22	15	50.72	1.244 018 17		
13	16	42	2.940	-24	48	56.26	0.886 530 41	29	17	14	33.903	-22	30	49.63	1.257 983 39		
14	16	44	9.586	-24	46	59.11	0.865 154 21	30	17	20	43.388	-22	44	54.23	1.271 318 61		
15	16	45	46.290	-24	42	49.85	0.843 885 62	31	17	26	57.119	-22	58	1.53	1.284 034 12		
16	16	46	49.906	-24	36	20.73	0.822 878 22	32	17	33	14.792	-23	10	8.81	1.296 140 24		
17	16	47	17.310	-24	27	23.38	0.802 312 51	33	17	39	36.134	-23	21	13.63	1.307 647 17		

## VÉNUS 2018 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 31 44.655	-23 40 5.49	1.708 752 12	Févr.	15	22 29 41.610	-11 1 17.22	1.686 737 07
	1	18 37 14.335	-23 37 51.42	1.709 157 64		16	22 34 25.815	-10 33 36.61	1.685 309 99
	2	18 42 43.778	-23 34 53.36	1.709 525 29		17	22 39 9.062	-10 5 39.27	1.683 839 48
	3	18 48 12.925	-23 31 11.42	1.709 855 18		18	22 43 51.380	-9 37 25.95	1.682 325 34
	4	18 53 41.714	-23 26 45.75	1.710 147 28		19	22 48 32.803	-9 8 57.45	1.680 767 42
	5	18 59 10.087	-23 21 36.52	1.710 401 47		20	22 53 13.362	-8 40 14.53	1.679 165 60
	6	19 4 37.987	-23 15 43.93	1.710 617 54		21	22 57 53.092	-8 11 17.96	1.677 519 83
	7	19 10 5.358	-23 9 8.23	1.710 795 24		22	23 2 32.027	-7 42 8.52	1.675 830 10
	8	19 15 32.146	-23 1 49.68	1.710 934 28		23	23 7 10.204	-7 12 46.97	1.674 096 45
	9	19 20 58.298	-22 53 48.59	1.711 034 41		24	23 11 47.659	-6 43 14.09	1.672 318 96
	10	19 26 23.762	-22 45 5.30	1.711 095 35		25	23 16 24.429	-6 13 30.64	1.670 497 76
	11	19 31 48.487	-22 35 40.19	1.711 116 89		26	23 21 0.550	-5 43 37.39	1.668 632 97
	12	19 37 12.423	-22 25 33.65	1.711 098 80		27	23 25 36.062	-5 13 35.11	1.666 724 77
	13	19 42 35.520	-22 14 46.12	1.711 040 91		28	23 30 11.004	-4 43 24.55	1.664 773 23
14	19 47 57.734	-22 3 18.05	1.710 943 06	Mars	1	23 34 45.417	-4 13 6.46	1.662 778 44	
15	19 53 19.019	-21 51 9.93	1.710 805 09	2	23 39 19.345	-3 42 41.57	1.660 740 37		
16	19 58 39.332	-21 38 22.26	1.710 626 89	3	23 43 52.831	-3 12 10.62	1.658 658 93		
17	20 3 58.634	-21 24 55.58	1.710 408 38	4	23 48 25.922	-2 41 34.33	1.656 533 91		
18	20 9 16.888	-21 10 50.43	1.710 149 49	5	23 52 58.664	-2 10 53.41	1.654 365 03		
19	20 14 34.057	-20 56 7.39	1.709 850 18	6	23 57 31.102	-1 40 8.59	1.652 151 95		
20	20 19 50.112	-20 40 47.04	1.709 510 46	7	0 2 3.280	-1 9 20.61	1.649 894 29		
21	20 25 5.021	-20 24 50.00	1.709 130 36	8	0 6 35.241	-0 38 30.18	1.647 591 64		
22	20 30 18.762	-20 8 16.88	1.708 709 95	9	0 11 7.031	-0 7 38.05	1.645 243 57		
23	20 35 31.310	-19 51 8.34	1.708 249 34	10	0 15 38.690	0 23 15.06	1.642 849 67		
24	20 40 42.648	-19 33 25.03	1.707 748 68	11	0 20 10.261	0 54 8.40	1.640 409 52		
25	20 45 52.758	-19 15 7.62	1.707 208 13	12	0 24 41.786	1 25 1.24	1.637 922 69		
26	20 51 1.629	-18 56 16.80	1.706 627 91	13	0 29 13.306	1 55 52.84	1.635 388 77		
27	20 56 9.250	-18 36 53.29	1.706 008 27	14	0 33 44.864	2 26 42.46	1.632 807 34		
28	21 1 15.614	-18 16 57.78	1.705 349 45	15	0 38 16.500	2 57 29.37	1.630 177 99		
29	21 6 20.715	-17 56 31.02	1.704 651 69	16	0 42 48.255	3 28 12.82	1.627 500 35		
30	21 11 24.551	-17 35 33.74	1.703 915 20	17	0 47 20.170	3 58 52.07	1.624 774 03		
31	21 16 27.121	-17 14 6.68	1.703 140 11	18	0 51 52.286	4 29 26.39	1.621 998 69		
Févr.	1	21 21 28.428	-16 52 10.58	1.702 326 46	19	0 56 24.643	4 59 55.03	1.619 174 03	
	2	21 26 28.479	-16 29 46.17	1.701 474 16	20	1 0 57.281	5 30 17.25	1.616 299 82	
	3	21 31 27.284	-16 6 54.19	1.700 583 04	21	1 5 30.239	6 0 32.32	1.613 375 87	
4	21 36 24.855	-15 43 35.38	1.699 652 83	22	1 10 3.556	6 30 39.48	1.610 402 07		
5	21 41 21.206	-15 19 50.50	1.698 683 18	23	1 14 37.270	7 0 37.99	1.607 378 38		
6	21 46 16.354	-14 55 40.31	1.697 673 73	24	1 19 11.417	7 30 27.10	1.604 304 84		
7	21 51 10.315	-14 31 5.56	1.696 624 11	25	1 23 46.032	8 0 6.06	1.601 181 52		
8	21 56 3.107	-14 6 7.04	1.695 533 92	26	1 28 21.150	8 29 34.10	1.598 008 57		
9	22 0 54.747	-13 40 45.52	1.694 402 81	27	1 32 56.808	8 58 50.48	1.594 786 14		
10	22 5 45.256	-13 15 1.79	1.693 230 40	28	1 37 33.039	9 27 54.44	1.591 514 41		
11	22 10 34.655	-12 48 56.61	1.692 016 34	29	1 42 9.881	9 56 45.23	1.588 193 52		
12	22 15 22.966	-12 22 30.78	1.690 760 30	30	1 46 47.370	10 25 22.11	1.584 823 61		
13	22 20 10.212	-11 55 45.09	1.689 461 95	31	1 51 25.544	10 53 44.35	1.581 404 74		
14	22 24 56.418	-11 28 40.31	1.688 120 97	Avril	1	1 56 4.438	11 21 51.23	1.577 936 92	

## VÉNUS 2018 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	2	0	44.088	11	49	42.01	1.574 420 09	Mai	18	5	51	48.920	24	56	47.92	1.357 650 37	
	3	2	5	24.528	12	17	15.96	1.570 854 11		19	5	57	5.798	24	59	28.43	1.351 765 25	
	4	2	10	5.789	12	44	32.36	1.567 238 82		20	6	2	22.611	25	1	26.22	1.345 832 07	
	5	2	14	47.902	13	11	30.46	1.563 574 00		21	6	7	39.291	25	2	41.23	1.339 851 29	
	6	2	19	30.894	13	38	9.53	1.559 859 39		22	6	12	55.767	25	3	13.44	1.333 823 48	
	7	2	24	14.791	14	4	28.82	1.556 094 74		23	6	18	11.973	25	3	2.87	1.327 749 25	
	8	2	28	59.617	14	30	27.60	1.552 279 78		24	6	23	27.843	25	2	9.56	1.321 629 24	
	9	2	33	45.396	14	56	5.11	1.548 414 22		25	6	28	43.312	25	0	33.58	1.315 464 12	
	10	2	38	32.146	15	21	20.60	1.544 497 78		26	6	33	58.317	24	58	15.07	1.309 254 57	
	11	2	43	19.888	15	46	13.35	1.540 530 17		27	6	39	12.795	24	55	14.16	1.303 001 23	
	12	2	48	8.639	16	10	42.58	1.536 511 09		28	6	44	26.685	24	51	31.06	1.296 704 75	
	13	2	52	58.413	16	34	47.58	1.532 440 26		29	6	49	39.927	24	47	5.97	1.290 365 73	
	14	2	57	49.225	16	58	27.59	1.528 317 38		30	6	54	52.460	24	41	59.15	1.283 984 75	
	15	3	2	41.085	17	21	41.88	1.524 142 18		31	7	0	4.226	24	36	10.87	1.277 562 37	
	16	3	7	34.003	17	44	29.71	1.519 914 40		Juin	1	7	5	15.167	24	29	41.43	1.271 099 08
	17	3	12	27.985	18	6	50.36	1.515 633 84			2	7	10	25.228	24	22	31.16	1.264 595 39
18	3	17	23.035	18	28	43.12	1.511 300 35	3	7		15	34.355	24	14	40.41	1.258 051 73		
19	3	22	19.152	18	50	7.26	1.506 913 87	4	7		20	42.495	24	6	9.56	1.251 468 54		
20	3	27	16.333	19	11	2.06	1.502 474 44	5	7		25	49.598	23	56	59.00	1.244 846 22		
21	3	32	14.571	19	31	26.83	1.497 982 16	6	7		30	55.617	23	47	9.17	1.238 185 14		
22	3	37	13.858	19	51	20.85	1.493 437 25	7	7		36	0.505	23	36	40.50	1.231 485 65		
23	3	42	14.181	20	10	43.44	1.488 839 99	8	7		41	4.220	23	25	33.46	1.224 748 07		
24	3	47	15.530	20	29	33.89	1.484 190 70	9	7		46	6.720	23	13	48.54	1.217 972 70		
25	3	52	17.890	20	47	51.55	1.479 489 75	10	7		51	7.967	23	1	26.24	1.211 159 77		
26	3	57	21.247	21	5	35.75	1.474 737 52	11	7		56	7.923	22	48	27.10	1.204 309 50		
27	4	2	25.586	21	22	45.87	1.469 934 40	12	8		1	6.554	22	34	51.68	1.197 422 09		
28	4	7	30.888	21	39	21.28	1.465 080 74	13	8		6	3.823	22	20	40.54	1.190 497 73		
29	4	12	37.134	21	55	21.39	1.460 176 87	14	8		10	59.697	22	5	54.28	1.183 536 60		
30	4	17	44.302	22	10	45.63	1.455 223 07	15	8		15	54.140	21	50	33.53	1.176 538 98		
Mai	1	4	22	52.367	22	25	33.45	1.450 219 59	16		8	20	47.118	21	34	38.92	1.169 505 21	
	2	4	28	1.299	22	39	44.29	1.445 166 63	17	8	25	38.599	21	18	11.08	1.162 435 74		
	3	4	33	11.069	22	53	17.64	1.440 064 34	18	8	30	28.555	21	1	10.66	1.155 331 13		
	4	4	38	21.641	23	6	13.00	1.434 912 84	19	8	35	16.959	20	43	38.31	1.148 192 06		
	5	4	43	32.978	23	18	29.88	1.429 712 24	20	8	40	3.791	20	25	34.68	1.141 019 26		
	6	4	48	45.041	23	30	7.81	1.424 462 60	21	8	44	49.034	20	7	0.46	1.133 813 54		
	7	4	53	57.788	23	41	6.34	1.419 163 98	22	8	49	32.672	19	47	56.33	1.126 575 73		
	8	4	59	11.174	23	51	25.06	1.413 816 43	23	8	54	14.694	19	28	22.96	1.119 306 67		
	9	5	4	25.152	24	1	3.56	1.408 419 97	24	8	58	55.091	19	8	21.07	1.112 007 22		
	10	5	9	39.674	24	10	1.48	1.402 974 63	25	9	3	33.855	18	47	51.36	1.104 678 22		
	11	5	14	54.690	24	18	18.45	1.397 480 39	26	9	8	10.982	18	26	54.54	1.097 320 49		
	12	5	20	10.146	24	25	54.17	1.391 937 23	27	9	12	46.466	18	5	31.31	1.089 934 84		
	13	5	25	25.988	24	32	48.33	1.386 345 14	28	9	17	20.309	17	43	42.40	1.082 522 07		
	14	5	30	42.160	24	39	0.69	1.380 704 07	29	9	21	52.509	17	21	28.52	1.075 082 93		
	15	5	35	58.602	24	44	31.00	1.375 014 00	30	9	26	23.071	16	58	50.37	1.067 618 15		
	16	5	41	15.253	24	49	19.08	1.369 274 96	Juill.	1	9	30	51.997	16	35	48.67	1.060 128 43	
17	5	46	32.048	24	53	24.77	1.363 487 03	2		9	35	19.296	16	12	24.13	1.052 614 46		

## VÉBUS 2018 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	9	39	44.974	15	48	37.46	1.045 076 86	<b>Août</b>	18	12	37	41.750	- 5	46	29.73	0.682 586 26
	4	9	44	9.042	15	24	29.35	1.037 516 24		19	12	41	2.971	- 6	14	56.18	0.674 617 90
	5	9	48	31.512	15	0	0.50	1.029 933 17		20	12	44	22.727	- 6	43	13.17	0.666 657 88
	6	9	52	52.397	14	35	11.61	1.022 328 19		21	12	47	40.980	- 7	11	20.05	0.658 707 40
	7	9	57	11.710	14	10	3.38	1.014 701 77		22	12	50	57.686	- 7	39	16.16	0.650 767 71
	8	10	1	29.468	13	44	36.49	1.007 054 37		23	12	54	12.801	- 8	7	0.83	0.642 840 08
	9	10	5	45.685	13	18	51.64	0.999 386 35		24	12	57	26.275	- 8	34	33.40	0.634 925 81
	10	10	10	0.377	12	52	49.52	0.991 698 07	25	13	0	38.058	- 9	1	53.22	0.627 026 25	
	11	10	14	13.558	12	26	30.82	0.983 989 79	26	13	3	48.093	- 9	28	59.61	0.619 142 76	
	12	10	18	25.242	11	59	56.25	0.976 261 80	27	13	6	56.324	- 9	55	51.92	0.611 276 72	
	13	10	22	35.439	11	33	6.53	0.968 514 34	28	13	10	2.687	-10	22	29.47	0.603 429 54	
	14	10	26	44.158	11	6	2.35	0.960 747 73	29	13	13	7.118	-10	48	51.62	0.595 602 65	
	15	10	30	51.409	10	38	44.44	0.952 962 37	30	13	16	9.547	-11	14	57.69	0.587 797 48	
	16	10	34	57.200	10	11	13.49	0.945 158 75	31	13	19	9.901	-11	40	47.01	0.580 015 48	
	17	10	39	1.542	9	43	30.20	0.937 337 48	<b>Sept.</b>	1	13	22	8.102	-12	6	18.92	0.572 258 08
	18	10	43	4.447	9	15	35.26	0.929 499 27	2	13	25	4.064	-12	31	32.75	0.564 526 74	
	19	10	47	5.927	8	47	29.36	0.921 644 92	3	13	27	57.699	-12	56	27.80	0.556 822 88	
20	10	51	5.996	8	19	13.18	0.913 775 27	4	13	30	48.909	-13	21	3.39	0.549 147 93		
21	10	55	4.666	7	50	47.41	0.905 891 21	5	13	33	37.589	-13	45	18.79	0.541 503 33		
22	10	59	1.950	7	22	12.72	0.897 993 63	6	13	36	23.627	-14	9	13.28	0.533 890 51		
23	11	2	57.861	6	53	29.80	0.890 083 44	7	13	39	6.901	-14	32	46.08	0.526 310 91		
24	11	6	52.413	6	24	39.31	0.882 161 55	8	13	41	47.278	-14	55	56.41	0.518 766 05		
25	11	10	45.618	5	55	41.92	0.874 228 86	9	13	44	24.620	-15	18	43.43	0.511 257 52		
26	11	14	37.488	5	26	38.29	0.866 286 27	10	13	46	58.777	-15	41	6.28	0.503 787 05		
27	11	18	28.037	4	57	29.07	0.858 334 67	11	13	49	29.589	-16	3	4.07	0.496 356 55		
28	11	22	17.275	4	28	14.91	0.850 374 94	12	13	51	56.887	-16	24	35.85	0.488 968 13		
29	11	26	5.216	3	58	56.45	0.842 407 91	13	13	54	20.494	-16	45	40.65	0.481 624 11		
30	11	29	51.872	3	29	34.33	0.834 434 44	14	13	56	40.222	-17	6	17.42	0.474 327 03		
31	11	33	37.254	3	0	9.16	0.826 455 32	15	13	58	55.876	-17	26	25.10	0.467 079 63		
<b>Août</b>	1	11	37	21.374	2	30	41.57	0.818 471 34	16	14	1	7.252	-17	46	2.57	0.459 884 86	
2	11	41	4.243	2	1	12.16	0.810 483 25	17	14	3	14.138	-18	5	8.65	0.452 745 81		
3	11	44	45.871	1	31	41.55	0.802 491 75	18	14	5	16.317	-18	23	42.12	0.445 665 81		
4	11	48	26.267	1	2	10.34	0.794 497 52	19	14	7	13.563	-18	41	41.70	0.438 648 33		
5	11	52	5.441	0	32	39.12	0.786 501 19	20	14	9	5.645	-18	59	6.05	0.431 697 05		
6	11	55	43.397	0	3	8.49	0.778 503 33	21	14	10	52.326	-19	15	53.76	0.424 815 82		
7	11	59	20.139	- 0	26	20.96	0.770 504 45	22	14	12	33.365	-19	32	3.36	0.418 008 70		
8	12	2	55.668	- 0	55	48.63	0.762 505 01	23	14	14	8.515	-19	47	33.32	0.411 279 97		
9	12	6	29.981	- 1	25	13.90	0.754 505 44	24	14	15	37.529	-20	2	22.03	0.404 634 08		
10	12	10	3.071	- 1	54	36.17	0.746 506 12	25	14	17	0.157	-20	16	27.79	0.398 075 73		
11	12	13	34.925	- 2	23	54.80	0.738 507 46	26	14	18	16.149	-20	29	48.85	0.391 609 78		
12	12	17	5.529	- 2	53	9.15	0.730 509 90	27	14	19	25.259	-20	42	23.36	0.385 241 31		
13	12	20	34.866	- 3	22	18.61	0.722 513 99	28	14	20	27.241	-20	54	9.42	0.378 975 62		
14	12	24	2.916	- 3	51	22.51	0.714 520 39	29	14	21	21.855	-21	5	5.01	0.372 818 14		
15	12	27	29.656	- 4	20	20.22	0.706 529 88	30	14	22	8.870	-21	15	8.08	0.366 774 53		
16	12	30	55.060	- 4	49	11.10	0.698 543 34	<b>Oct.</b>	1	14	22	48.061	-21	24	16.46	0.360 850 62	
17	12	34	19.102	- 5	17	54.48	0.690 561 78	2	14	23	19.213	-21	32	27.91	0.355 052 39		

## VÉNUS 2018 à 0h TT

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

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	14	23	42.127	-21	39	40.12	0.34938604	Nov.	18	13	32	15.989	-10	42	41.80	0.33285994	
	4	14	23	56.619	-21	45	50.71	0.34385793		19	13	32	53.893	-10	32	19.83	0.33804132	
	5	14	24	2.526	-21	50	57.21	0.33847464		20	13	33	40.043	-10	23	7.59	0.34337135	
	6	14	23	59.706	-21	54	57.14	0.33324296		21	13	34	34.244	-10	15	4.41	0.34884283	
	7	14	23	48.048	-21	57	47.96	0.32816992		22	13	35	36.295	-10	8	9.37	0.35444873	
	8	14	23	27.474	-21	59	27.15	0.32326282		23	13	36	45.988	-10	2	21.34	0.36018221	
	9	14	22	57.940	-21	59	52.19	0.31852923		24	13	38	3.107	-9	57	38.99	0.36603658	
	10	14	22	19.451	-21	59	0.65	0.31397699		25	13	39	27.433	-9	54	0.83	0.37200534	
	11	14	21	32.058	-21	56	50.18	0.30961420		26	13	40	58.743	-9	51	25.20	0.37808218	
	12	14	20	35.870	-21	53	18.64	0.30544917		27	13	42	36.810	-9	49	50.31	0.38426098	
	13	14	19	31.058	-21	48	24.08	0.30149039		28	13	44	21.410	-9	49	14.29	0.39053585	
	14	14	18	17.859	-21	42	4.89	0.29774641		29	13	46	12.316	-9	49	35.15	0.39690116	
	15	14	16	56.586	-21	34	19.81	0.29422579		30	13	48	9.306	-9	50	50.85	0.40335156	
	16	14	15	27.622	-21	25	8.06	0.29093703		Déc.	1	13	50	12.163	-9	52	59.30	0.40988198
	17	14	13	51.430	-21	14	29.38	0.28788846			2	13	52	20.675	-9	55	58.41	0.41648768
	18	14	12	8.548	-21	2	24.12	0.28508817			3	13	54	34.635	-9	59	46.04	0.42316420
	19	14	10	19.588	-20	48	53.30	0.28254390			4	13	56	53.845	-10	4	20.07	0.42990738
20	14	8	25.234	-20	33	58.65	0.28026298	5	13		59	18.113	-10	9	38.41	0.43671335		
21	14	6	26.237	-20	17	42.72	0.27825219	6	14		1	47.256	-10	15	38.95	0.44357849		
22	14	4	23.407	-20	0	8.84	0.27651771	7	14		4	21.099	-10	22	19.64	0.45049942		
23	14	2	17.608	-19	41	21.18	0.27506500	8	14		6	59.476	-10	29	38.43	0.45747300		
24	14	0	9.742	-19	21	24.73	0.27389870	9	14		9	42.227	-10	37	33.33	0.46449627		
25	13	58	0.743	-19	0	25.28	0.27302256	10	14		12	29.206	-10	46	2.38	0.47156646		
26	13	55	51.563	-18	38	29.37	0.27243936	11	14		15	20.270	-10	55	3.65	0.47868095		
27	13	53	43.154	-18	15	44.17	0.27215085	12	14		18	15.289	-11	4	35.26	0.48583726		
28	13	51	36.457	-17	52	17.44	0.27215768	13	14		21	14.138	-11	14	35.39	0.49303303		
29	13	49	32.390	-17	28	17.35	0.27245944	14	14		24	16.701	-11	25	2.22	0.50026602		
30	13	47	31.830	-17	3	52.39	0.27305467	15	14		27	22.868	-11	35	54.01	0.50753411		
31	13	45	35.607	-16	39	11.19	0.27394084	16	14		30	32.538	-11	47	9.04	0.51483524		
Nov.	1	13	43	44.493	-16	14	22.41	0.27511449	17		14	33	45.614	-11	58	45.62	0.52216747	
	2	13	41	59.195	-15	49	34.62	0.27657128	18	14	37	2.007	-12	10	42.12	0.52952892		
	3	13	40	20.349	-15	24	56.12	0.27830607	19	14	40	21.634	-12	22	56.95	0.53691777		
	4	13	38	48.519	-15	0	34.89	0.28031306	20	14	43	44.416	-12	35	28.53	0.54433225		
	5	13	37	24.196	-14	36	38.47	0.28258584	21	14	47	10.280	-12	48	15.35	0.55177060		
	6	13	36	7.797	-14	13	13.89	0.28511754	22	14	50	39.156	-13	1	15.89	0.55923106		
	7	13	34	59.668	-13	50	27.62	0.28790091	23	14	54	10.976	-13	14	28.69	0.56671185		
	8	13	34	0.087	-13	28	25.51	0.29092835	24	14	57	45.675	-13	27	52.27	0.57421116		
	9	13	33	9.268	-13	7	12.78	0.29419208	25	15	1	23.189	-13	41	25.20	0.58172717		
	10	13	32	27.366	-12	46	54.05	0.29768409	26	15	5	3.454	-13	55	6.02	0.58925807		
	11	13	31	54.482	-12	27	33.28	0.30139627	27	15	8	46.410	-14	8	53.32	0.59680211		
	12	13	31	30.666	-12	9	13.81	0.30532044	28	15	12	31.997	-14	22	45.69	0.60435758		
	13	13	31	15.924	-11	51	58.43	0.30944837	29	15	16	20.157	-14	36	41.74	0.61192292		
	14	13	31	10.222	-11	35	49.31	0.31377185	30	15	20	10.835	-14	50	40.13	0.61949665		
	15	13	31	13.491	-11	20	48.14	0.31828273	31	15	24	3.974	-15	4	39.52	0.62707743		
	16	13	31	25.630	-11	6	56.08	0.32297297	32	15	27	59.523	-15	18	38.60	0.63466403		
	17	13	31	46.513	-10	54	13.86	0.32783463	33	15	31	57.427	-15	32	36.09	0.64225533		

## MARS 2018 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	14	45	28.622	-15	2	13.56	1.964 498 50	Févr.	15	16	41	43.670	-21	43	46.17	1.537 090 84
	1	14	47	56.230	-15	13	42.36	1.955 767 24		16	16	44	17.937	-21	49	17.38	1.527 445 90
	2	14	50	24.056	-15	25	4.89	1.947 003 24		17	16	46	52.198	-21	54	39.79	1.517 796 48
	3	14	52	52.100	-15	36	21.09	1.938 206 79		18	16	49	26.444	-21	59	53.38	1.508 143 52
	4	14	55	20.360	-15	47	30.86	1.929 378 09		19	16	52	0.667	-22	4	58.14	1.498 487 97
	5	14	57	48.836	-15	58	34.11	1.920 517 33		20	16	54	34.860	-22	9	54.06	1.488 830 80
	6	15	0	17.528	-16	9	30.77	1.911 624 69		21	16	57	9.014	-22	14	41.15	1.479 172 96
	7	15	2	46.433	-16	20	20.75	1.902 700 46		22	16	59	43.125	-22	19	19.42	1.469 515 37
	8	15	5	15.552	-16	31	3.97	1.893 744 94		23	17	2	17.185	-22	23	48.87	1.459 858 92
	9	15	7	44.883	-16	41	40.35	1.884 758 56		24	17	4	51.189	-22	28	9.54	1.450 204 43
	10	15	10	14.422	-16	52	9.83	1.875 741 79		25	17	7	25.127	-22	32	21.43	1.440 552 64
	11	15	12	44.168	-17	2	32.31	1.866 695 19		26	17	9	58.994	-22	36	24.59	1.430 904 21
	12	15	15	14.115	-17	12	47.73	1.857 619 36		27	17	12	32.781	-22	40	19.02	1.421 259 69
	13	15	17	44.260	-17	22	56.00	1.848 514 97		28	17	15	6.479	-22	44	4.75	1.411 619 51
14	15	20	14.599	-17	32	57.05	1.839 382 73	Mars	1	17	17	40.081	-22	47	41.79	1.401 984 04	
15	15	22	45.126	-17	42	50.81	1.830 223 38	2	17	20	13.579	-22	51	10.15	1.392 353 55		
16	15	25	15.836	-17	52	37.18	1.821 037 72	3	17	22	46.963	-22	54	29.87	1.382 728 28		
17	15	27	46.724	-18	2	16.10	1.811 826 58	4	17	25	20.226	-22	57	40.97	1.373 108 49		
18	15	30	17.786	-18	11	47.48	1.802 590 81	5	17	27	53.356	-23	0	43.48	1.363 494 44		
19	15	32	49.016	-18	21	11.25	1.793 331 30	6	17	30	26.343	-23	3	37.44	1.353 886 47		
20	15	35	20.410	-18	30	27.34	1.784 048 98	7	17	32	59.174	-23	6	22.89	1.344 284 98		
21	15	37	51.965	-18	39	35.67	1.774 744 76	8	17	35	31.835	-23	8	59.88	1.334 690 41		
22	15	40	23.678	-18	48	36.19	1.765 419 58	9	17	38	4.310	-23	11	28.46	1.325 103 29		
23	15	42	55.546	-18	57	28.83	1.756 074 39	10	17	40	36.585	-23	13	48.66	1.315 524 17		
24	15	45	27.567	-19	6	13.53	1.746 710 11	11	17	43	8.644	-23	16	0.55	1.305 953 66		
25	15	47	59.741	-19	14	50.25	1.737 327 63	12	17	45	40.471	-23	18	4.16	1.296 392 43		
26	15	50	32.065	-19	23	18.94	1.727 927 83	13	17	48	12.050	-23	19	59.55	1.286 841 16		
27	15	53	4.538	-19	31	39.56	1.718 511 51	14	17	50	43.366	-23	21	46.78	1.277 300 58		
28	15	55	37.159	-19	39	52.09	1.709 079 39	15	17	53	14.402	-23	23	25.89	1.267 771 46		
29	15	58	9.925	-19	47	56.49	1.699 632 10	16	17	55	45.144	-23	24	56.95	1.258 254 63		
30	16	0	42.831	-19	55	52.71	1.690 170 16	17	17	58	15.578	-23	26	20.02	1.248 750 94		
31	16	3	15.873	-20	3	40.71	1.680 693 97	18	18	0	45.688	-23	27	35.16	1.239 261 28		
Févr.	1	16	5	49.047	-20	11	20.44	1.671 203 85	19	18	3	15.463	-23	28	42.45	1.229 786 57	
	2	16	8	22.348	-20	18	51.86	1.661 700 05	20	18	5	44.891	-23	29	41.97	1.220 327 76	
	3	16	10	55.770	-20	26	14.92	1.652 182 83	21	18	8	13.960	-23	30	33.80	1.210 885 77	
	4	16	13	29.310	-20	33	29.57	1.642 652 44	22	18	10	42.660	-23	31	18.03	1.201 461 50	
	5	16	16	2.960	-20	40	35.77	1.633 109 23	23	18	13	10.981	-23	31	54.78	1.192 055 82	
	6	16	18	36.715	-20	47	33.50	1.623 553 60	24	18	15	38.911	-23	32	24.13	1.182 669 52	
	7	16	21	10.566	-20	54	22.71	1.613 986 03	25	18	18	6.441	-23	32	46.21	1.173 303 31	
	8	16	23	44.505	-21	1	3.38	1.604 407 04	26	18	20	33.559	-23	33	1.11	1.163 957 81	
9	16	26	18.521	-21	7	35.47	1.594 817 25	27	18	23	0.254	-23	33	8.93	1.154 633 55		
10	16	28	52.605	-21	13	58.95	1.585 217 29	28	18	25	26.515	-23	33	9.79	1.145 330 93		
11	16	31	26.747	-21	20	13.79	1.575 607 88	29	18	27	52.333	-23	33	3.79	1.136 050 31		
12	16	34	0.935	-21	26	19.96	1.565 989 73	30	18	30	17.696	-23	32	51.03	1.126 791 95		
13	16	36	35.158	-21	32	17.44	1.556 363 62	31	18	32	42.595	-23	32	31.63	1.117 556 07		
14	16	39	9.407	-21	38	6.18	1.546 730 38	Avril	1	18	35	7.016	-23	32	5.71	1.108 342 88	

## MARS 2018 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	18	37	30.947	-23	31	33.40	1.099 152 62	Mai	18	20	13	32.920	-22	1	58.19	0.711 181 23
	3	18	39	54.371	-23	30	54.83	1.089 985 53		19	20	15	11.222	-22	0	0.74	0.703 740 61
	4	18	42	17.273	-23	30	10.14	1.080 841 93		20	20	16	47.932	-21	58	7.62	0.696 355 12
	5	18	44	39.633	-23	29	19.49	1.071 722 17		21	20	18	23.023	-21	56	19.13	0.689 025 65
	6	18	47	1.433	-23	28	23.01	1.062 626 68		22	20	19	56.468	-21	54	35.55	0.681 752 98
	7	18	49	22.653	-23	27	20.85	1.053 555 92		23	20	21	28.238	-21	52	57.18	0.674 537 81
	8	18	51	43.272	-23	26	13.17	1.044 510 43		24	20	22	58.304	-21	51	24.31	0.667 380 79
	9	18	54	3.269	-23	25	0.11	1.035 490 75		25	20	24	26.637	-21	49	57.26	0.660 282 54
	10	18	56	22.624	-23	23	41.84	1.026 497 50		26	20	25	53.204	-21	48	36.31	0.653 243 66
	11	18	58	41.316	-23	22	18.51	1.017 531 34		27	20	27	17.969	-21	47	21.80	0.646 264 74
	12	19	0	59.323	-23	20	50.29	1.008 592 95		28	20	28	40.894	-21	46	14.05	0.639 346 43
13	19	3	16.626	-23	19	17.33	0.999 683 10	29	20	30	1.939	-21	45	13.39	0.632 489 40		
14	19	5	33.204	-23	17	39.80	0.990 802 59	30	20	31	21.061	-21	44	20.15	0.625 694 35		
15	19	7	49.038	-23	15	57.88	0.981 952 26	31	20	32	38.213	-21	43	34.66	0.618 962 09		
16	19	10	4.109	-23	14	11.74	0.973 133 02	Juin	1	20	33	53.347	-21	42	57.26	0.612 293 47	
17	19	12	18.401	-23	12	21.57	0.964 345 79		2	20	35	6.415	-21	42	28.29	0.605 689 40	
18	19	14	31.896	-23	10	27.56	0.955 591 53		3	20	36	17.366	-21	42	8.06	0.599 150 90	
19	19	16	44.579	-23	8	29.90	0.946 871 16		4	20	37	26.148	-21	41	56.91	0.592 679 05	
20	19	18	56.433	-23	6	28.80	0.938 185 56		5	20	38	32.709	-21	41	55.15	0.586 275 00	
21	19	21	7.444	-23	4	24.46	0.929 535 54		6	20	39	36.995	-21	42	3.09	0.579 940 00	
22	19	23	17.595	-23	2	17.09	0.920 921 84		7	20	40	38.955	-21	42	21.03	0.573 675 35	
23	19	25	26.870	-23	0	6.90	0.912 345 07		8	20	41	38.534	-21	42	49.26	0.567 482 47	
24	19	27	35.256	-22	57	54.08	0.903 805 77		9	20	42	35.680	-21	43	28.07	0.561 362 86	
25	19	29	42.737	-22	55	38.83	0.895 304 39		10	20	43	30.341	-21	44	17.72	0.555 318 10	
26	19	31	49.298	-22	53	21.38	0.886 841 27		11	20	44	22.467	-21	45	18.47	0.549 349 87	
27	19	33	54.923	-22	51	1.92	0.878 416 75	12	20	45	12.008	-21	46	30.56	0.543 459 96		
28	19	35	59.596	-22	48	40.67	0.870 031 08	13	20	45	58.918	-21	47	54.21	0.537 650 19		
29	19	38	3.299	-22	46	17.88	0.861 684 53	14	20	46	43.152	-21	49	29.63	0.531 922 44		
30	19	40	6.009	-22	43	53.77	0.853 377 38	15	20	47	24.669	-21	51	16.99	0.526 278 54		
Mai	1	19	42	7.706	-22	41	28.59	0.845 109 91	16	20	48	3.432	-21	53	16.44	0.520 720 31	
	2	19	44	8.363	-22	39	2.60	0.836 882 47	17	20	48	39.405	-21	55	28.10	0.515 249 43	
	3	19	46	7.955	-22	36	36.06	0.828 695 45	18	20	49	12.556	-21	57	52.06	0.509 867 52	
	4	19	48	6.451	-22	34	9.23	0.820 549 30	19	20	49	42.856	-22	0	28.37	0.504 576 07	
	5	19	50	3.824	-22	31	42.38	0.812 444 51	20	20	50	10.276	-22	3	17.08	0.499 376 51	
	6	19	52	0.042	-22	29	15.78	0.804 381 66	21	20	50	34.788	-22	6	18.21	0.494 270 23	
	7	19	53	55.073	-22	26	49.69	0.796 361 35	22	20	50	56.365	-22	9	31.77	0.489 258 58	
	8	19	55	48.888	-22	24	24.41	0.788 384 27	23	20	51	14.976	-22	12	57.72	0.484 342 93	
	9	19	57	41.452	-22	22	0.20	0.780 451 13	24	20	51	30.594	-22	16	36.05	0.479 524 67	
	10	19	59	32.733	-22	19	37.35	0.772 562 72	25	20	51	43.190	-22	20	26.67	0.474 805 21	
	11	20	1	22.699	-22	17	16.14	0.764 719 89	26	20	51	52.734	-22	24	29.51	0.470 186 01	
12	20	3	11.316	-22	14	56.86	0.756 923 56	27	20	51	59.200	-22	28	44.43	0.465 668 60		
13	20	4	58.551	-22	12	39.80	0.749 174 71	28	20	52	2.561	-22	33	11.27	0.461 254 54		
14	20	6	44.374	-22	10	25.25	0.741 474 40	29	20	52	2.795	-22	37	49.83	0.456 945 47		
15	20	8	28.753	-22	8	13.51	0.733 823 75	30	20	51	59.880	-22	42	39.87	0.452 743 07		
16	20	10	11.656	-22	6	4.88	0.726 223 90	Juill.	1	20	51	53.800	-22	47	41.09	0.448 649 10	
17	20	11	53.055	-22	3	59.67	0.718 676 02		2	20	51	44.543	-22	52	53.17	0.444 665 37	



## MARS 2018 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	20	51	32.102	-22	58	15.70	0.440 793 75	<b>Août</b>	18	20	11	21.034	-26	29	31.56	0.406 166 37	
	4	20	51	16.477	-23	3	48.26	0.437 036 18		19	20	10	47.347	-26	28	55.97	0.408 545 73	
	5	20	50	57.673	-23	9	30.36	0.433 394 61		20	20	10	16.892	-26	28	3.20	0.411 037 37	
	6	20	50	35.703	-23	15	21.46	0.429 871 08		21	20	9	49.729	-26	26	53.55	0.413 638 98	
	7	20	50	10.589	-23	21	20.95	0.426 467 65		22	20	9	25.908	-26	25	27.33	0.416 348 28	
	8	20	49	42.363	-23	27	28.18	0.423 186 41		23	20	9	5.469	-26	23	44.87	0.419 163 03	
	9	20	49	11.063	-23	33	42.46	0.420 029 49		24	20	8	48.443	-26	21	46.49	0.422 081 06	
	10	20	48	36.742	-23	40	3.03	0.416 999 03		25	20	8	34.854	-26	19	32.51	0.425 100 27	
	11	20	47	59.464	-23	46	29.06	0.414 097 12		26	20	8	24.718	-26	17	3.26	0.428 218 62	
	12	20	47	19.302	-23	52	59.72	0.411 325 82		27	20	8	18.043	-26	14	19.07	0.431 434 13	
	13	20	46	36.347	-23	59	34.08	0.408 687 04		28	20	8	14.832	-26	11	20.24	0.434 744 93	
	14	20	45	50.698	-24	6	11.18	0.406 182 53		29	20	8	15.084	-26	8	7.09	0.438 149 19	
	15	20	45	2.469	-24	12	50.04	0.403 813 83		30	20	8	18.793	-26	4	39.91	0.441 645 18	
	16	20	44	11.784	-24	19	29.63	0.401 582 22		31	20	8	25.947	-26	0	59.00	0.445 231 23	
	17	20	43	18.778	-24	26	8.91	0.399 488 79		<b>Sept.</b>	1	20	8	36.534	-25	57	4.64	0.448 905 72
	18	20	42	23.591	-24	32	46.83	0.397 534 42		2	20	8	50.537	-25	52	57.11	0.452 667 11	
	19	20	41	26.368	-24	39	22.35	0.395 719 82		3	20	9	7.937	-25	48	36.67	0.456 513 88	
20	20	40	27.261	-24	45	54.44	0.394 045 58	4	20	9	28.711	-25	44	3.58	0.460 444 54			
21	20	39	26.425	-24	52	22.09	0.392 512 19	5	20	9	52.835	-25	39	18.08	0.464 457 59			
22	20	38	24.018	-24	58	44.30	0.391 120 01	6	20	10	20.284	-25	34	20.41	0.468 551 51			
23	20	37	20.203	-25	5	0.06	0.389 869 37	7	20	10	51.027	-25	29	10.78	0.472 724 72			
24	20	36	15.147	-25	11	8.41	0.388 760 48	8	20	11	25.034	-25	23	49.40	0.476 975 57			
25	20	35	9.019	-25	17	8.41	0.387 793 49	9	20	12	2.272	-25	18	16.46	0.481 302 33			
26	20	34	1.996	-25	22	59.12	0.386 968 48	10	20	12	42.704	-25	12	32.14	0.485 703 18			
27	20	32	54.254	-25	28	39.66	0.386 285 43	11	20	13	26.289	-25	6	36.62	0.490 176 25			
28	20	31	45.974	-25	34	9.15	0.385 744 28	12	20	14	12.979	-25	0	30.09	0.494 719 64			
29	20	30	37.341	-25	39	26.77	0.385 344 89	13	20	15	2.723	-24	54	12.73	0.499 331 49			
30	20	29	28.541	-25	44	31.72	0.385 087 04	14	20	15	55.464	-24	47	44.70	0.504 010 01			
31	20	28	19.763	-25	49	23.26	0.384 970 45	15	20	16	51.138	-24	41	6.20	0.508 753 46			
<b>Août</b>	1	20	27	11.199	-25	54	0.68	0.384 994 78	16	20	17	49.680	-24	34	17.37	0.513 560 22		
2	20	26	3.041	-25	58	23.32	0.385 159 60	17	20	18	51.022	-24	27	18.37	0.518 428 79			
3	20	24	55.482	-26	2	30.58	0.385 464 42	18	20	19	55.095	-24	20	9.35	0.523 357 72			
4	20	23	48.716	-26	6	21.89	0.385 908 68	19	20	21	1.828	-24	12	50.42	0.528 345 71			
5	20	22	42.937	-26	9	56.77	0.386 491 72	20	20	22	11.152	-24	5	21.71	0.533 391 51			
6	20	21	38.339	-26	13	14.76	0.387 212 84	21	20	23	22.996	-23	57	43.33	0.538 493 97			
7	20	20	35.113	-26	16	15.49	0.388 071 18	22	20	24	37.291	-23	49	55.36	0.543 652 05			
8	20	19	33.451	-26	18	58.63	0.389 065 81	23	20	25	53.967	-23	41	57.91	0.548 864 76			
9	20	18	33.540	-26	21	23.91	0.390 195 62	24	20	27	12.958	-23	33	51.04	0.554 131 24			
10	20	17	35.564	-26	23	31.12	0.391 459 32	25	20	28	34.197	-23	25	34.83	0.559 450 68			
11	20	16	39.702	-26	25	20.09	0.392 855 42	26	20	29	57.621	-23	17	9.35	0.564 822 38			
12	20	15	46.128	-26	26	50.74	0.394 382 17	27	20	31	23.167	-23	8	34.64	0.570 245 73			
13	20	14	55.005	-26	28	3.02	0.396 037 62	28	20	32	50.777	-22	59	50.78	0.575 720 16			
14	20	14	6.486	-26	28	56.94	0.397 819 62	29	20	34	20.392	-22	50	57.80	0.581 245 19			
15	20	13	20.711	-26	29	32.60	0.399 725 89	30	20	35	51.959	-22	41	55.76	0.586 820 36			
16	20	12	37.806	-26	29	50.12	0.401 754 05	<b>Oct.</b>	1	20	37	25.423	-22	32	44.70	0.592 445 24		
17	20	11	57.881	-26	29	49.70	0.403 901 68	2	20	39	0.735	-22	23	24.67	0.598 119 39			

## MARS 2018 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	20	40	37.845	-22	13	55.70	0.60384236	Nov.	18	22	15	33.005	-12	31	15.77	0.91000518
	4	20	42	16.707	-22	4	17.82	0.60961366		19	22	17	51.711	-12	15	52.76	0.91744906
	5	20	43	57.273	-21	54	31.05	0.61543271		20	22	20	10.703	-12	0	24.42	0.92492071
	6	20	45	39.502	-21	44	35.43	0.62129888		21	22	22	29.964	-11	44	50.88	0.93242003
	7	20	47	23.350	-21	34	30.95	0.62721142		22	22	24	49.483	-11	29	12.28	0.93994697
	8	20	49	8.777	-21	24	17.65	0.63316955		23	22	27	9.246	-11	13	28.74	0.94750153
	9	20	50	55.740	-21	13	55.53	0.63917237		24	22	29	29.243	-10	57	40.39	0.95508377
	10	20	52	44.196	-21	3	24.64	0.64521898		25	22	31	49.462	-10	41	47.38	0.96269378
	11	20	54	34.100	-20	52	45.02	0.65130846		26	22	34	9.896	-10	25	49.83	0.97033165
	12	20	56	25.406	-20	41	56.73	0.65743994		27	22	36	30.535	-10	9	47.87	0.97799747
	13	20	58	18.066	-20	30	59.82	0.66361256		28	22	38	51.373	-9	53	41.61	0.98569123
	14	21	0	12.030	-20	19	54.36	0.66982556		29	22	41	12.406	-9	37	31.18	0.99341285
15	21	2	7.250	-20	8	40.42	0.67607822	30	22	43	33.631	-9	21	16.66	1.00116217		
16	21	4	3.678	-19	57	18.07	0.68236990	Déc.	1	22	45	55.047	-9	4	58.17	1.00893891	
17	21	6	1.265	-19	45	47.38	0.68870002		2	22	48	16.652	-8	48	35.78	1.01674271	
18	21	7	59.966	-19	34	8.41	0.69506807	3	22	50	38.445	-8	32	9.61	1.02457312		
19	21	9	59.736	-19	22	21.23	0.70147358	4	22	53	0.426	-8	15	39.76	1.03242962		
20	21	12	0.530	-19	10	25.92	0.70791615	5	22	55	22.592	-7	59	6.33	1.04031164		
21	21	14	2.308	-18	58	22.54	0.71439544	6	22	57	44.940	-7	42	29.45	1.04821857		
22	21	16	5.028	-18	46	11.16	0.72091116	7	23	0	7.464	-7	25	49.24	1.05614979		
23	21	18	8.652	-18	33	51.86	0.72746310	8	23	2	30.160	-7	9	5.84	1.06410466		
24	21	20	13.144	-18	21	24.70	0.73405109	9	23	4	53.022	-6	52	19.39	1.07208256		
25	21	22	18.469	-18	8	49.76	0.74067504	10	23	7	16.042	-6	35	30.03	1.08008291		
26	21	24	24.594	-17	56	7.12	0.74733494	11	23	9	39.215	-6	18	37.90	1.08810511		
27	21	26	31.489	-17	43	16.85	0.75403078	12	23	12	2.534	-6	1	43.14	1.09614864		
28	21	28	39.125	-17	30	19.03	0.76076260	13	23	14	25.992	-5	44	45.91	1.10421299		
29	21	30	47.475	-17	17	13.74	0.76753044	14	23	16	49.586	-5	27	46.34	1.11229769		
30	21	32	56.514	-17	4	1.06	0.77433430	15	23	19	13.309	-5	10	44.58	1.12040230		
31	21	35	6.218	-16	50	41.06	0.78117414	16	23	21	37.157	-4	53	40.78	1.12852641		
Nov.	1	21	37	16.566	-16	37	13.82	0.78804985	17	23	24	1.126	-4	36	35.08	1.13666967	
2	21	39	27.537	-16	23	39.38	0.79496123	18	23	26	25.212	-4	19	27.62	1.14483177		
3	21	41	39.114	-16	9	57.82	0.80190799	19	23	28	49.413	-4	2	18.55	1.15301243		
4	21	43	51.279	-15	56	9.18	0.80888976	20	23	31	13.726	-3	45	8.02	1.16121147		
5	21	46	4.016	-15	42	13.54	0.81590607	21	23	33	38.148	-3	27	56.17	1.16942876		
6	21	48	17.310	-15	28	10.96	0.82295638	22	23	36	2.676	-3	10	43.16	1.17766424		
7	21	50	31.141	-15	14	1.52	0.83004011	23	23	38	27.310	-2	53	29.12	1.18591792		
8	21	52	45.493	-14	59	45.31	0.83715665	24	23	40	52.046	-2	36	14.23	1.19418981		
9	21	55	0.344	-14	45	22.43	0.84430537	25	23	43	16.886	-2	18	58.61	1.20247993		
10	21	57	15.674	-14	30	53.00	0.85148566	26	23	45	41.830	-2	1	42.40	1.21078826		
11	21	59	31.462	-14	16	17.12	0.85869697	27	23	48	6.882	-1	44	25.72	1.21911467		
12	22	1	47.685	-14	1	34.91	0.86593875	28	23	50	32.048	-1	27	8.68	1.22745895		
13	22	4	4.322	-13	46	46.51	0.87321053	29	23	52	57.333	-1	9	51.38	1.23582076		
14	22	6	21.352	-13	31	52.02	0.88051184	30	23	55	22.744	-0	52	33.93	1.24419968		
15	22	8	38.754	-13	16	51.58	0.88784231	31	23	57	48.287	-0	35	16.42	1.25259518		
16	22	10	56.509	-13	1	45.31	0.89520156	32	0	0	13.966	-0	17	58.97	1.26100670		
17	22	13	14.599	-12	46	33.33	0.90258928	33	0	2	39.786	-0	0	41.70	1.26943360		

## JUPITER 2018 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	14	58	26.537	-15	50	16.26	5.971 208 11	Févr.	15	15	21	27.270	-17	16	31.11	5.269 608 06
	1	14	59	7.219	-15	53	3.50	5.958 105 93		16	15	21	43.460	-17	17	22.39	5.253 370 00
	2	14	59	47.541	-15	55	48.54	5.944 865 21		17	15	21	58.948	-17	18	10.91	5.237 153 82
	3	15	0	27.494	-15	58	31.35	5.931 488 18		18	15	22	13.728	-17	18	56.66	5.220 964 23
	4	15	1	7.070	-16	1	11.90	5.917 977 04		19	15	22	27.795	-17	19	39.62	5.204 805 95
	5	15	1	46.260	-16	3	50.17	5.904 333 97		20	15	22	41.147	-17	20	19.80	5.188 683 70
	6	15	2	25.058	-16	6	26.15	5.890 561 23		21	15	22	53.780	-17	20	57.20	5.172 602 19
	7	15	3	3.455	-16	8	59.80	5.876 661 17		22	15	23	5.692	-17	21	31.83	5.156 566 09
	8	15	3	41.447	-16	11	31.12	5.862 636 26		23	15	23	16.879	-17	22	3.69	5.140 580 03
	9	15	4	19.025	-16	14	0.09	5.848 489 08		24	15	23	27.337	-17	22	32.79	5.124 648 55
	10	15	4	56.183	-16	16	26.72	5.834 222 36		25	15	23	37.064	-17	22	59.14	5.108 776 14
	11	15	5	32.913	-16	18	50.98	5.819 838 95		26	15	23	46.054	-17	23	22.74	5.092 967 16
	12	15	6	9.206	-16	21	12.86	5.805 341 78		27	15	23	54.303	-17	23	43.59	5.077 225 90
	13	15	6	45.054	-16	23	32.36	5.790 733 90		28	15	24	1.806	-17	24	1.67	5.061 556 59
14	15	7	20.448	-16	25	49.45	5.776 018 47	Mars	1	15	24	8.561	-17	24	16.98	5.045 963 38	
15	15	7	55.379	-16	28	4.13	5.761 198 71	2	15	24	14.563	-17	24	29.51	5.030 450 44		
16	15	8	29.839	-16	30	16.37	5.746 277 95	3	15	24	19.812	-17	24	39.26	5.015 021 96		
17	15	9	3.817	-16	32	26.15	5.731 259 60	4	15	24	24.306	-17	24	46.22	4.999 682 18		
18	15	9	37.306	-16	34	33.46	5.716 147 14	5	15	24	28.043	-17	24	50.41	4.984 435 46		
19	15	10	10.296	-16	36	38.28	5.700 944 12	6	15	24	31.023	-17	24	51.82	4.969 286 25		
20	15	10	42.780	-16	38	40.58	5.685 654 17	7	15	24	33.242	-17	24	50.47	4.954 239 11		
21	15	11	14.750	-16	40	40.35	5.670 280 96	8	15	24	34.700	-17	24	46.36	4.939 298 65		
22	15	11	46.200	-16	42	37.58	5.654 828 18	9	15	24	35.394	-17	24	39.50	4.924 469 60		
23	15	12	17.123	-16	44	32.26	5.639 299 59	10	15	24	35.321	-17	24	29.87	4.909 756 71		
24	15	12	47.512	-16	46	24.38	5.623 698 94	11	15	24	34.481	-17	24	17.50	4.895 164 81		
25	15	13	17.363	-16	48	13.93	5.608 029 99	12	15	24	32.871	-17	24	2.37	4.880 698 74		
26	15	13	46.669	-16	50	0.92	5.592 296 49	13	15	24	30.492	-17	23	44.48	4.866 363 39		
27	15	14	15.425	-16	51	45.34	5.576 502 12	14	15	24	27.342	-17	23	23.84	4.852 163 68		
28	15	14	43.623	-16	53	27.21	5.560 650 55	15	15	24	23.423	-17	23	0.44	4.838 104 52		
29	15	15	11.257	-16	55	6.51	5.544 745 34	16	15	24	18.737	-17	22	34.29	4.824 190 88		
30	15	15	38.317	-16	56	43.25	5.528 789 97	17	15	24	13.285	-17	22	5.39	4.810 427 69		
31	15	16	4.796	-16	58	17.39	5.512 787 84	18	15	24	7.072	-17	21	33.75	4.796 819 88		
Févr.	1	15	16	30.684	-16	59	48.93	5.496 742 33	19	15	24	0.103	-17	20	59.39	4.783 372 34	
	2	15	16	55.974	-17	1	17.85	5.480 656 80	20	15	23	52.382	-17	20	22.33	4.770 089 91	
	3	15	17	20.659	-17	2	44.12	5.464 534 66	21	15	23	43.915	-17	19	42.58	4.756 977 33	
	4	15	17	44.734	-17	4	7.75	5.448 379 44	22	15	23	34.710	-17	19	0.19	4.744 039 23	
	5	15	18	8.193	-17	5	28.72	5.432 194 75	23	15	23	24.772	-17	18	15.17	4.731 280 13	
	6	15	18	31.028	-17	6	47.03	5.415 984 36	24	15	23	14.106	-17	17	27.55	4.718 704 40	
	7	15	18	53.233	-17	8	2.68	5.399 752 15	25	15	23	2.718	-17	16	37.36	4.706 316 27	
	8	15	19	14.801	-17	9	15.66	5.383 502 12	26	15	22	50.614	-17	15	44.62	4.694 119 84	
9	15	19	35.723	-17	10	25.97	5.367 238 36	27	15	22	37.800	-17	14	49.35	4.682 119 07		
10	15	19	55.992	-17	11	33.59	5.350 965 08	28	15	22	24.281	-17	13	51.56	4.670 317 82		
11	15	20	15.601	-17	12	38.53	5.334 686 54	29	15	22	10.067	-17	12	51.26	4.658 719 88		
12	15	20	34.540	-17	13	40.76	5.318 407 11	30	15	21	55.164	-17	11	48.48	4.647 328 98		
13	15	20	52.803	-17	14	40.27	5.302 131 21	31	15	21	39.584	-17	10	43.24	4.636 148 85		
14	15	21	10.382	-17	15	37.06	5.285 863 34	Avril	1	15	21	23.336	-17	9	35.59	4.625 183 22	

## JUPITER 2018 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	15	21	6.430	-17	8	25.54	4.614 435 84	<b>Mai</b>	18	15	0	30.082	-15	46	12.57	4.408 310 05
	3	15	20	48.875	-17	7	13.14	4.603 910 51		19	15	0	0.317	-15	44	14.46	4.410 714 20
	4	15	20	30.681	-17	5	58.42	4.593 611 05		20	14	59	30.761	-15	42	17.25	4.413 413 50
	5	15	20	11.859	-17	4	41.42	4.583 541 29		21	14	59	1.434	-15	40	21.03	4.416 406 03
	6	15	19	52.417	-17	3	22.17	4.573 705 05		22	14	58	32.354	-15	38	25.86	4.419 689 74
	7	15	19	32.367	-17	2	0.71	4.564 106 16		23	14	58	3.542	-15	36	31.84	4.423 262 47
	8	15	19	11.718	-17	0	37.07	4.554 748 42		24	14	57	35.018	-15	34	39.04	4.427 121 99
	9	15	18	50.483	-16	59	11.29	4.545 635 55		25	14	57	6.799	-15	32	47.55	4.431 266 02
	10	15	18	28.674	-16	57	43.40	4.536 771 28		26	14	56	38.905	-15	30	57.46	4.435 692 26
	11	15	18	6.303	-16	56	13.43	4.528 159 24		27	14	56	11.355	-15	29	8.85	4.440 398 37
	12	15	17	43.386	-16	54	41.44	4.519 803 00		28	14	55	44.164	-15	27	21.81	4.445 381 98
13	15	17	19.937	-16	53	7.46	4.511 706 09	29	14	55	17.350	-15	25	36.42	4.450 640 70		
14	15	16	55.972	-16	51	31.54	4.503 871 92	30	14	54	50.928	-15	23	52.76	4.456 172 12		
15	15	16	31.508	-16	49	53.74	4.496 303 82	31	14	54	24.912	-15	22	10.89	4.461 973 78		
16	15	16	6.564	-16	48	14.11	4.489 004 96	<b>Juin</b>	1	14	53	59.318	-15	20	30.89	4.468 043 20	
17	15	15	41.159	-16	46	32.72	4.481 978 39		2	14	53	34.158	-15	18	52.83	4.474 377 82	
18	15	15	15.311	-16	44	49.65	4.475 226 95		3	14	53	9.448	-15	17	16.77	4.480 975 03	
19	15	14	49.040	-16	43	4.96	4.468 753 29		4	14	52	45.202	-15	15	42.77	4.487 832 16	
20	15	14	22.364	-16	41	18.74	4.462 559 80		5	14	52	21.432	-15	14	10.90	4.494 946 46	
21	15	13	55.301	-16	39	31.05	4.456 648 68		6	14	51	58.154	-15	12	41.23	4.502 315 10	
22	15	13	27.870	-16	37	41.96	4.451 021 89		7	14	51	35.381	-15	11	13.80	4.509 935 20	
23	15	13	0.086	-16	35	51.52	4.445 681 18		8	14	51	13.128	-15	9	48.69	4.517 803 75	
24	15	12	31.971	-16	33	59.81	4.440 628 17		9	14	50	51.408	-15	8	25.96	4.525 917 67	
25	15	12	3.541	-16	32	6.88	4.435 864 28		10	14	50	30.237	-15	7	5.68	4.534 273 79	
26	15	11	34.819	-16	30	12.80	4.431 390 87		11	14	50	9.628	-15	5	47.91	4.542 868 79	
27	15	11	5.824	-16	28	17.65	4.427 209 16	12	14	49	49.595	-15	4	32.74	4.551 699 21		
28	15	10	36.577	-16	26	21.49	4.423 320 36	13	14	49	30.151	-15	3	20.22	4.560 761 42		
29	15	10	7.099	-16	24	24.42	4.419 725 57	14	14	49	11.305	-15	2	10.43	4.570 051 61		
30	15	9	37.410	-16	22	26.50	4.416 425 90	15	14	48	53.068	-15	1	3.41	4.579 565 77		
<b>Mai</b>	1	15	9	7.531	-16	20	27.83	4.413 422 39	16	14	48	35.447	-14	59	59.21	4.589 299 72	
	2	15	8	37.482	-16	18	28.48	4.410 716 05	17	14	48	18.451	-14	58	57.87	4.599 249 15	
	3	15	8	7.280	-16	16	28.53	4.408 307 82	18	14	48	2.087	-14	57	59.41	4.609 409 67	
	4	15	7	36.947	-16	14	28.07	4.406 198 59	19	14	47	46.362	-14	57	3.87	4.619 776 86	
	5	15	7	6.502	-16	12	27.16	4.404 389 17	20	14	47	31.286	-14	56	11.29	4.630 346 29	
	6	15	6	35.964	-16	10	25.89	4.402 880 25	21	14	47	16.866	-14	55	21.69	4.641 113 61	
	7	15	6	5.354	-16	8	24.33	4.401 672 46	22	14	47	3.110	-14	54	35.13	4.652 074 49	
	8	15	5	34.692	-16	6	22.56	4.400 766 29	23	14	46	50.023	-14	53	51.62	4.663 224 66	
	9	15	5	3.999	-16	4	20.67	4.400 162 12	24	14	46	37.612	-14	53	11.22	4.674 559 91	
	10	15	4	33.297	-16	2	18.72	4.399 860 23	25	14	46	25.881	-14	52	33.93	4.686 076 08	
	11	15	4	2.609	-16	0	16.82	4.399 860 76	26	14	46	14.834	-14	51	59.79	4.697 769 04	
12	15	3	31.955	-15	58	15.04	4.400 163 71	27	14	46	4.474	-14	51	28.82	4.709 634 71		
13	15	3	1.361	-15	56	13.49	4.400 768 92	28	14	45	54.804	-14	51	1.03	4.721 669 04		
14	15	2	30.849	-15	54	12.25	4.401 676 08	29	14	45	45.827	-14	50	36.43	4.733 868 00		
15	15	2	0.443	-15	52	11.44	4.402 884 65	30	14	45	37.544	-14	50	15.03	4.746 227 59		
16	15	1	30.165	-15	50	11.15	4.404 393 88	<b>Juill.</b>	1	14	45	29.958	-14	49	56.84	4.758 743 80	
17	15	1	0.038	-15	48	11.49	4.406 202 77		2	14	45	23.071	-14	49	41.87	4.771 412 63	

## JUPITER 2018 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	14	45	16.885	-14	49	30.11	4.784 230 09	Août	18	14	53	3.857	-15	36	17.16	5.461 430 09
	4	14	45	11.404	-14	49	21.58	4.797 192 15		19	14	53	29.195	-15	38	21.98	5.476 539 08
	5	14	45	6.630	-14	49	16.27	4.810 294 80		20	14	53	55.106	-15	40	28.97	5.491 604 03
	6	14	45	2.566	-14	49	14.21	4.823 533 98		21	14	54	21.583	-15	42	38.09	5.506 621 75
	7	14	44	59.214	-14	49	15.39	4.836 905 61		22	14	54	48.619	-15	44	49.30	5.521 589 16
	8	14	44	56.578	-14	49	19.83	4.850 405 56		23	14	55	16.209	-15	47	2.55	5.536 503 21
	9	14	44	54.661	-14	49	27.54	4.864 029 65		24	14	55	44.345	-15	49	17.79	5.551 360 93
	10	14	44	53.463	-14	49	38.53	4.877 773 59		25	14	56	13.021	-15	51	34.97	5.566 159 41
	11	14	44	52.988	-14	49	52.81	4.891 633 02		26	14	56	42.232	-15	53	54.06	5.580 895 76
	12	14	44	53.233	-14	50	10.38	4.905 603 44		27	14	57	11.973	-15	56	14.99	5.595 567 14
	13	14	44	54.197	-14	50	31.23	4.919 680 24		28	14	57	42.237	-15	58	37.73	5.610 170 76
	14	14	44	55.878	-14	50	55.35	4.933 858 72		29	14	58	13.022	-16	1	2.25	5.624 703 81
	15	14	44	58.273	-14	51	22.72	4.948 134 11		30	14	58	44.324	-16	3	28.49	5.639 163 51
	16	14	45	1.381	-14	51	53.31	4.962 501 65		31	14	59	16.138	-16	5	56.43	5.653 547 07
	17	14	45	5.200	-14	52	27.10	4.976 956 62		Sept. 1	14	59	48.461	-16	8	26.03	5.667 851 68
	18	14	45	9.730	-14	53	4.08	4.991 494 40		2	15	0	21.288	-16	10	57.27	5.682 074 49
	19	14	45	14.969	-14	53	44.24	5.006 110 49		3	15	0	54.617	-16	13	30.11	5.696 212 61
20	14	45	20.916	-14	54	27.56	5.020 800 49	4	15	1	28.441	-16	16	4.52	5.710 263 11		
21	14	45	27.567	-14	55	14.02	5.035 560 13	5	15	2	2.755	-16	18	40.47	5.724 222 96		
22	14	45	34.920	-14	56	3.61	5.050 385 24	6	15	2	37.552	-16	21	17.91	5.738 089 09		
23	14	45	42.971	-14	56	56.30	5.065 271 72	7	15	3	12.825	-16	23	56.80	5.751 858 37		
24	14	45	51.715	-14	57	52.08	5.080 215 58	8	15	3	48.569	-16	26	37.08	5.765 527 60		
25	14	46	1.147	-14	58	50.91	5.095 212 89	9	15	4	24.777	-16	29	18.71	5.779 093 60		
26	14	46	11.264	-14	59	52.76	5.110 259 77	10	15	5	1.444	-16	32	1.63	5.792 553 21		
27	14	46	22.061	-15	0	57.59	5.125 352 41	11	15	5	38.567	-16	34	45.81	5.805 903 37		
28	14	46	33.532	-15	2	5.38	5.140 487 06	12	15	6	16.140	-16	37	31.20	5.819 141 13		
29	14	46	45.674	-15	3	16.09	5.155 660 00	13	15	6	54.159	-16	40	17.77	5.832 263 67		
30	14	46	58.483	-15	4	29.69	5.170 867 54	14	15	7	32.618	-16	43	5.49	5.845 268 31		
31	14	47	11.954	-15	5	46.14	5.186 106 03	15	15	8	11.511	-16	45	54.31	5.858 152 50		
Août 1	14	47	26.086	-15	7	5.41	5.201 371 82	16	15	8	50.831	-16	48	44.21	5.870 913 80		
2	14	47	40.874	-15	8	27.47	5.216 661 29	17	15	9	30.572	-16	51	35.12	5.883 549 87		
3	14	47	56.317	-15	9	52.30	5.231 970 79	18	15	10	10.727	-16	54	27.02	5.896 058 44		
4	14	48	12.412	-15	11	19.87	5.247 296 69	19	15	10	51.288	-16	57	19.85	5.908 437 31		
5	14	48	29.156	-15	12	50.16	5.262 635 30	20	15	11	32.249	-17	0	13.56	5.920 684 35		
6	14	48	46.546	-15	14	23.15	5.277 982 92	21	15	12	13.605	-17	3	8.12	5.932 797 46		
7	14	49	4.579	-15	15	58.82	5.293 335 77	22	15	12	55.349	-17	6	3.46	5.944 774 61		
8	14	49	23.251	-15	17	37.13	5.308 690 00	23	15	13	37.475	-17	8	59.56	5.956 613 81		
9	14	49	42.556	-15	19	18.06	5.324 041 69	24	15	14	19.980	-17	11	56.36	5.968 313 11		
10	14	50	2.487	-15	21	1.57	5.339 386 83	25	15	15	2.858	-17	14	53.82	5.979 870 58		
11	14	50	23.040	-15	22	47.61	5.354 721 34	26	15	15	46.106	-17	17	51.91	5.991 284 30		
12	14	50	44.206	-15	24	36.14	5.370 041 12	27	15	16	29.721	-17	20	50.60	6.002 552 36		
13	14	51	5.983	-15	26	27.10	5.385 342 12	28	15	17	13.698	-17	23	49.85	6.013 672 84		
14	14	51	28.365	-15	28	20.46	5.400 620 33	29	15	17	58.034	-17	26	49.64	6.024 643 78		
15	14	51	51.348	-15	30	16.18	5.415 871 90	30	15	18	42.724	-17	29	49.94	6.035 463 16		
16	14	52	14.928	-15	32	14.23	5.431 093 09	Oct. 1	15	19	27.765	-17	32	50.72	6.046 128 94		
17	14	52	39.100	-15	34	14.57	5.446 280 31	2	15	20	13.150	-17	35	51.95	6.056 639 00		

## JUPITER 2018 à 0h TT

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

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Oct.	3	15	20	58.874	-17	38	53.60	6.066 991 15	Nov.	18	16	0	35.209	-19	55	18.35	6.343 393 37
	4	15	21	44.930	-17	41	55.61	6.077 183 17		19	16	1	30.805	-19	58	1.10	6.344 611 35
	5	15	22	31.313	-17	44	57.96	6.087 212 77		20	16	2	26.480	-20	0	42.77	6.345 614 14
	6	15	23	18.015	-17	48	0.58	6.097 077 66		21	16	3	22.231	-20	3	23.34	6.346 401 68
	7	15	24	5.033	-17	51	3.45	6.106 775 55		22	16	4	18.053	-20	6	2.79	6.346 973 93
	8	15	24	52.361	-17	54	6.51	6.116 304 20		23	16	5	13.944	-20	8	41.12	6.347 330 81
	9	15	25	39.997	-17	57	9.73	6.125 661 46		24	16	6	9.897	-20	11	18.31	6.347 472 21
	10	15	26	27.936	-18	0	13.08	6.134 845 27		25	16	7	5.907	-20	13	54.37	6.347 397 97
	11	15	27	16.173	-18	3	16.54	6.143 853 71		26	16	8	1.969	-20	16	29.27	6.347 107 83
	12	15	28	4.703	-18	6	20.07	6.152 685 01		27	16	8	58.075	-20	19	3.00	6.346 601 48
	13	15	28	53.519	-18	9	23.64	6.161 337 49		28	16	9	54.217	-20	21	35.53	6.345 878 53
	14	15	29	42.614	-18	12	27.21	6.169 809 60		29	16	10	50.391	-20	24	6.83	6.344 938 57
15	15	30	31.981	-18	15	30.75	6.178 099 89	30	16	11	46.589	-20	26	36.88	6.343 781 20		
16	15	31	21.614	-18	18	34.22	6.186 206 97	Déc.	1	16	12	42.808	-20	29	5.66	6.342 406 02	
17	15	32	11.506	-18	21	37.58	6.194 129 53		2	16	13	39.043	-20	31	33.14	6.340 812 72	
18	15	33	1.652	-18	24	40.79	6.201 866 30	3	16	14	35.290	-20	33	59.32	6.339 001 06		
19	15	33	52.044	-18	27	43.80	6.209 416 09	4	16	15	31.542	-20	36	24.18	6.336 970 89		
20	15	34	42.679	-18	30	46.58	6.216 777 74	5	16	16	27.795	-20	38	47.72	6.334 722 18		
21	15	35	33.550	-18	33	49.09	6.223 950 14	6	16	17	24.043	-20	41	9.92	6.332 255 01		
22	15	36	24.653	-18	36	51.30	6.230 932 21	7	16	18	20.277	-20	43	30.78	6.329 569 59		
23	15	37	15.985	-18	39	53.17	6.237 722 91	8	16	19	16.491	-20	45	50.28	6.326 666 23		
24	15	38	7.541	-18	42	54.68	6.244 321 22	9	16	20	12.676	-20	48	8.42	6.323 545 35		
25	15	38	59.319	-18	45	55.80	6.250 726 11	10	16	21	8.825	-20	50	25.16	6.320 207 48		
26	15	39	51.315	-18	48	56.52	6.256 936 54	11	16	22	4.931	-20	52	40.50	6.316 653 21		
27	15	40	43.524	-18	51	56.80	6.262 951 42	12	16	23	0.985	-20	54	54.41	6.312 883 23		
28	15	41	35.943	-18	54	56.63	6.268 769 61	13	16	23	56.981	-20	57	6.88	6.308 898 28		
29	15	42	28.566	-18	57	56.00	6.274 389 92	14	16	24	52.913	-20	59	17.89	6.304 699 15		
30	15	43	21.386	-19	0	54.87	6.279 811 07	15	16	25	48.775	-21	1	27.42	6.300 286 71		
31	15	44	14.398	-19	3	53.20	6.285 031 74	16	16	26	44.561	-21	3	35.47	6.295 661 86		
Nov.	1	15	45	7.595	-19	6	50.98	6.290 050 56	17	16	27	40.266	-21	5	42.02	6.290 825 54	
2	15	46	0.971	-19	9	48.15	6.294 866 13	18	16	28	35.885	-21	7	47.07	6.285 778 75		
3	15	46	54.522	-19	12	44.68	6.299 477 08	19	16	29	31.414	-21	9	50.61	6.280 522 48		
4	15	47	48.244	-19	15	40.54	6.303 882 04	20	16	30	26.848	-21	11	52.64	6.275 057 78		
5	15	48	42.131	-19	18	35.70	6.308 079 75	21	16	31	22.181	-21	13	53.16	6.269 385 65		
6	15	49	36.180	-19	21	30.14	6.312 068 98	22	16	32	17.408	-21	15	52.19	6.263 507 06		
7	15	50	30.386	-19	24	23.84	6.315 848 66	23	16	33	12.523	-21	17	49.73	6.257 422 92		
8	15	51	24.744	-19	27	16.77	6.319 417 80	24	16	34	7.517	-21	19	45.77	6.251 134 06		
9	15	52	19.248	-19	30	8.91	6.322 775 56	25	16	35	2.383	-21	21	40.31	6.244 641 22		
10	15	53	13.891	-19	33	0.25	6.325 921 22	26	16	35	57.112	-21	23	33.32	6.237 945 07		
11	15	54	8.665	-19	35	50.75	6.328 854 15	27	16	36	51.700	-21	25	24.80	6.231 046 25		
12	15	55	3.564	-19	38	40.38	6.331 573 83	28	16	37	46.139	-21	27	14.74	6.223 945 43		
13	15	55	58.581	-19	41	29.12	6.334 079 81	29	16	38	40.425	-21	29	3.12	6.216 643 30		
14	15	56	53.709	-19	44	16.94	6.336 371 74	30	16	39	34.553	-21	30	49.94	6.209 140 66		
15	15	57	48.941	-19	47	3.80	6.338 449 29	31	16	40	28.516	-21	32	35.21	6.201 438 40		
16	15	58	44.272	-19	49	49.67	6.340 312 20	32	16	41	22.310	-21	34	18.94	6.193 537 51		
17	15	59	39.696	-19	52	34.53	6.341 960 28	33	16	42	15.926	-21	36	1.12	6.185 439 11		

## SATURNE 2018 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	5	30.716	-22	31	52.64	11.036 845 67	Févr.	15	18	26	43.533	-22	24	57.68	10.670 736 50
	1	18	6	1.173	-22	31	51.58	11.034 289 09		16	18	27	6.532	-22	24	43.16	10.657 827 34
	2	18	6	31.582	-22	31	50.10	11.031 475 36		17	18	27	29.253	-22	24	28.56	10.644 748 67
	3	18	7	1.934	-22	31	48.22	11.028 405 10		18	18	27	51.692	-22	24	13.89	10.631 504 00
	4	18	7	32.223	-22	31	45.93	11.025 078 85		19	18	28	13.845	-22	23	59.14	10.618 096 97
	5	18	8	2.444	-22	31	43.21	11.021 497 09		20	18	28	35.709	-22	23	44.33	10.604 531 28
	6	18	8	32.592	-22	31	40.07	11.017 660 26		21	18	28	57.282	-22	23	29.47	10.590 810 68
	7	18	9	2.664	-22	31	36.50	11.013 568 82		22	18	29	18.559	-22	23	14.57	10.576 938 99
	8	18	9	32.656	-22	31	32.49	11.009 223 31		23	18	29	39.538	-22	22	59.65	10.562 920 05
	9	18	10	2.564	-22	31	28.06	11.004 624 35		24	18	30	0.216	-22	22	44.74	10.548 757 70
	10	18	10	32.384	-22	31	23.21	10.999 772 65		25	18	30	20.588	-22	22	29.85	10.534 455 76
	11	18	11	2.113	-22	31	17.95	10.994 669 03		26	18	30	40.648	-22	22	14.99	10.520 018 01
	12	18	11	31.744	-22	31	12.30	10.989 314 44		27	18	31	0.392	-22	22	0.20	10.505 448 14
	13	18	12	1.272	-22	31	6.27	10.983 709 93		28	18	31	19.814	-22	21	45.46	10.490 749 80
14	18	12	30.692	-22	30	59.86	10.977 856 67	Mars	1	18	31	38.909	-22	21	30.80	10.475 926 53	
15	18	12	59.997	-22	30	53.08	10.971 755 93		2	18	31	57.675	-22	21	16.19	10.460 981 81	
16	18	13	29.181	-22	30	45.95	10.965 409 11		3	18	32	16.108	-22	21	1.66	10.445 919 09	
17	18	13	58.238	-22	30	38.46	10.958 817 72		4	18	32	34.208	-22	20	47.19	10.430 741 82	
18	18	14	27.161	-22	30	30.63	10.951 983 38		5	18	32	51.970	-22	20	32.81	10.415 453 52	
19	18	14	55.945	-22	30	22.45	10.944 907 83		6	18	33	9.395	-22	20	18.53	10.400 057 76	
20	18	15	24.584	-22	30	13.93	10.937 592 92		7	18	33	26.477	-22	20	4.36	10.384 558 20	
21	18	15	53.073	-22	30	5.07	10.930 040 61		8	18	33	43.213	-22	19	50.33	10.368 958 61	
22	18	16	21.407	-22	29	55.87	10.922 252 97		9	18	33	59.599	-22	19	36.45	10.353 262 87	
23	18	16	49.582	-22	29	46.32	10.914 232 14		10	18	34	15.631	-22	19	22.74	10.337 474 94	
24	18	17	17.594	-22	29	36.45	10.905 980 39		11	18	34	31.304	-22	19	9.21	10.321 598 86	
25	18	17	45.440	-22	29	26.25	10.897 500 03		12	18	34	46.612	-22	18	55.87	10.305 638 80	
26	18	18	13.116	-22	29	15.74	10.888 793 44		13	18	35	1.553	-22	18	42.74	10.289 598 98	
27	18	18	40.618	-22	29	4.93	10.879 863 04	14	18	35	16.121	-22	18	29.82	10.273 483 72		
28	18	19	7.943	-22	28	53.85	10.870 711 26	15	18	35	30.312	-22	18	17.11	10.257 297 42		
29	18	19	35.083	-22	28	42.51	10.861 340 50	16	18	35	44.122	-22	18	4.63	10.241 044 58		
30	18	20	2.034	-22	28	30.93	10.851 753 12	17	18	35	57.550	-22	17	52.37	10.224 729 77		
Févr.	31	18	20	28.788	-22	28	19.12	10.841 951 39	18	18	36	10.591	-22	17	40.34	10.208 357 67	
	1	18	20	55.339	-22	28	7.07	10.831 937 49	19	18	36	23.245	-22	17	28.54	10.191 933 00	
	2	18	21	21.684	-22	27	54.80	10.821 713 54	20	18	36	35.510	-22	17	16.99	10.175 460 55	
	3	18	21	47.816	-22	27	42.28	10.811 281 66	21	18	36	47.384	-22	17	5.68	10.158 945 15	
	4	18	22	13.735	-22	27	29.53	10.800 643 93	22	18	36	58.867	-22	16	54.65	10.142 391 61	
	5	18	22	39.437	-22	27	16.56	10.789 802 54	23	18	37	9.955	-22	16	43.91	10.125 804 76	
	6	18	23	4.918	-22	27	3.37	10.778 759 73	24	18	37	20.647	-22	16	33.46	10.109 189 35	
	7	18	23	30.175	-22	26	49.99	10.767 517 87	25	18	37	30.940	-22	16	23.35	10.092 550 09	
	8	18	23	55.202	-22	26	36.43	10.756 079 43	26	18	37	40.829	-22	16	13.56	10.075 891 60	
	9	18	24	19.996	-22	26	22.70	10.744 446 99	27	18	37	50.312	-22	16	4.11	10.059 218 40	
	10	18	24	44.551	-22	26	8.82	10.732 623 25	28	18	37	59.386	-22	15	55.01	10.042 534 92	
	11	18	25	8.860	-22	25	54.81	10.720 610 99	29	18	38	8.049	-22	15	46.24	10.025 845 52	
	12	18	25	32.919	-22	25	40.68	10.708 413 13	30	18	38	16.300	-22	15	37.81	10.009 154 49	
13	18	25	56.721	-22	25	26.44	10.696 032 67	31	18	38	24.139	-22	15	29.71	9.992 466 06		
14	18	26	20.261	-22	25	12.11	10.683 472 72	Avril	1	18	38	31.566	-22	15	21.95	9.975 784 49	

## SATURNE 2018 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	18	38	38.581	-22	15	14.54	9.959 114 05	<b>Mai</b>	18	18	36	31.711	-22	16	58.08	9.284 915 59
	3	18	38	45.184	-22	15	7.48	9.942 459 04		19	18	36	19.836	-22	17	9.51	9.273 967 28
	4	18	38	51.372	-22	15	0.80	9.925 823 87		20	18	36	7.631	-22	17	21.27	9.263 244 14
	5	18	38	57.145	-22	14	54.51	9.909 212 98		21	18	35	55.102	-22	17	33.35	9.252 749 56
	6	18	39	2.499	-22	14	48.62	9.892 630 90		22	18	35	42.253	-22	17	45.73	9.242 486 72
	7	18	39	7.434	-22	14	43.13	9.876 082 26		23	18	35	29.094	-22	17	58.39	9.232 458 70
	8	18	39	11.946	-22	14	38.05	9.859 571 70		24	18	35	15.630	-22	18	11.30	9.222 668 41
	9	18	39	16.033	-22	14	33.40	9.843 103 97		25	18	35	1.870	-22	18	24.47	9.213 118 71
	10	18	39	19.694	-22	14	29.16	9.826 683 86		26	18	34	47.823	-22	18	37.87	9.203 812 36
	11	18	39	22.927	-22	14	25.35	9.810 316 20		27	18	34	33.496	-22	18	51.51	9.194 752 08
	12	18	39	25.731	-22	14	21.95	9.794 005 90		28	18	34	18.896	-22	19	5.37	9.185 940 56
13	18	39	28.106	-22	14	18.97	9.777 757 91	29	18	34	4.030	-22	19	19.46	9.177 380 45		
14	18	39	30.051	-22	14	16.41	9.761 577 24	30	18	33	48.906	-22	19	33.78	9.169 074 39		
15	18	39	31.567	-22	14	14.25	9.745 468 95	31	18	33	33.528	-22	19	48.31	9.161 025 00		
16	18	39	32.656	-22	14	12.50	9.729 438 13	<b>Juin</b>	1	18	33	17.904	-22	20	3.06	9.153 234 88	
17	18	39	33.319	-22	14	11.16	9.713 489 91		2	18	33	2.039	-22	20	18.01	9.145 706 62	
18	18	39	33.558	-22	14	10.24	9.697 629 37		3	18	32	45.939	-22	20	33.16	9.138 442 78	
19	18	39	33.376	-22	14	9.74	9.681 861 57		4	18	32	29.612	-22	20	48.49	9.131 445 90	
20	18	39	32.771	-22	14	9.69	9.666 191 49		5	18	32	13.064	-22	21	3.98	9.124 718 47	
21	18	39	31.745	-22	14	10.09	9.650 624 00		6	18	31	56.304	-22	21	19.62	9.118 262 95	
22	18	39	30.296	-22	14	10.94	9.635 163 84		7	18	31	39.339	-22	21	35.40	9.112 081 76	
23	18	39	28.426	-22	14	12.25	9.619 815 62		8	18	31	22.178	-22	21	51.30	9.106 177 26	
24	18	39	26.134	-22	14	14.00	9.604 583 82		9	18	31	4.830	-22	22	7.30	9.100 551 80	
25	18	39	23.422	-22	14	16.19	9.589 472 80		10	18	30	47.306	-22	22	23.39	9.095 207 62	
26	18	39	20.293	-22	14	18.80	9.574 486 85		11	18	30	29.615	-22	22	39.57	9.090 146 94	
27	18	39	16.750	-22	14	21.83	9.559 630 14	12	18	30	11.769	-22	22	55.83	9.085 371 86		
28	18	39	12.796	-22	14	25.27	9.544 906 82	13	18	29	53.776	-22	23	12.17	9.080 884 34		
29	18	39	8.435	-22	14	29.12	9.530 321 00	14	18	29	35.646	-22	23	28.59	9.076 686 22		
30	18	39	3.670	-22	14	33.37	9.515 876 80	15	18	29	17.387	-22	23	45.10	9.072 779 08		
<b>Mai</b>	1	18	38	58.505	-22	14	38.04	9.501 578 35	16	18	28	59.006	-22	24	1.68	9.069 164 28	
	2	18	38	52.940	-22	14	43.13	9.487 429 79	17	18	28	40.511	-22	24	18.34	9.065 842 96	
	3	18	38	46.979	-22	14	48.64	9.473 435 32	18	18	28	21.911	-22	24	35.04	9.062 815 98	
	4	18	38	40.622	-22	14	54.57	9.459 599 14	19	18	28	3.216	-22	24	51.77	9.060 084 04	
	5	18	38	33.871	-22	15	0.92	9.445 925 52	20	18	27	44.437	-22	25	8.50	9.057 647 65	
	6	18	38	26.729	-22	15	7.69	9.432 418 72	21	18	27	25.584	-22	25	25.23	9.055 507 23	
	7	18	38	19.196	-22	15	14.86	9.419 083 02	22	18	27	6.670	-22	25	41.95	9.053 663 07	
	8	18	38	11.277	-22	15	22.44	9.405 922 73	23	18	26	47.705	-22	25	58.65	9.052 115 41	
	9	18	38	2.973	-22	15	30.41	9.392 942 16	24	18	26	28.699	-22	26	15.33	9.050 864 41	
	10	18	37	54.288	-22	15	38.77	9.380 145 64	25	18	26	9.661	-22	26	31.99	9.049 910 21	
	11	18	37	45.227	-22	15	47.49	9.367 537 47	26	18	25	50.601	-22	26	48.63	9.049 252 88	
12	18	37	35.793	-22	15	56.56	9.355 122 01	27	18	25	31.527	-22	27	5.25	9.048 892 45		
13	18	37	25.994	-22	16	5.98	9.342 903 56	28	18	25	12.448	-22	27	21.84	9.048 828 92		
14	18	37	15.834	-22	16	15.73	9.330 886 46	29	18	24	53.372	-22	27	38.40	9.049 062 25		
15	18	37	5.320	-22	16	25.81	9.319 074 96	30	18	24	34.307	-22	27	54.93	9.049 592 34		
16	18	36	54.458	-22	16	36.23	9.307 473 29	<b>Juill.</b>	1	18	24	15.261	-22	28	11.41	9.050 419 06	
17	18	36	43.253	-22	16	46.98	9.296 085 51		2	18	23	56.243	-22	28	27.83	9.051 542 23	



## SATURNE 2018 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	18	23	37.263	-22	28	44.19	9.052 961 60	<b>Août</b>	18	18	12	19.590	-22	39	14.68	9.411 975 42
	4	18	23	18.329	-22	29	0.47	9.054 676 89		19	18	12	11.870	-22	39	25.54	9.425 165 95
	5	18	22	59.452	-22	29	16.66	9.056 687 73		20	18	12	4.539	-22	39	36.31	9.438 527 74
	6	18	22	40.641	-22	29	32.75	9.058 993 71		21	18	11	57.599	-22	39	46.98	9.452 056 49
	7	18	22	21.908	-22	29	48.73	9.061 594 32		22	18	11	51.052	-22	39	57.55	9.465 747 94
	8	18	22	3.263	-22	30	4.60	9.064 489 00		23	18	11	44.900	-22	40	8.03	9.479 597 84
	9	18	21	44.717	-22	30	20.37	9.067 677 07		24	18	11	39.144	-22	40	18.42	9.493 601 96
	10	18	21	26.280	-22	30	36.02	9.071 157 75		25	18	11	33.787	-22	40	28.70	9.507 756 10
	11	18	21	7.963	-22	30	51.58	9.074 930 10		26	18	11	28.829	-22	40	38.88	9.522 056 07
	12	18	20	49.774	-22	31	7.05	9.078 993 03		27	18	11	24.274	-22	40	48.96	9.536 497 72
	13	18	20	31.721	-22	31	22.43	9.083 345 18		28	18	11	20.123	-22	40	58.91	9.551 076 89
	14	18	20	13.811	-22	31	37.73	9.087 984 99		29	18	11	16.380	-22	41	8.74	9.565 789 44
15	18	19	56.052	-22	31	52.93	9.092 910 62	30	18	11	13.047	-22	41	18.45	9.580 631 22		
16	18	19	38.453	-22	32	8.01	9.098 120 05	31	18	11	10.127	-22	41	28.03	9.595 598 08		
17	18	19	21.023	-22	32	22.96	9.103 611 03	<b>Sept.</b>	1	18	11	7.624	-22	41	37.48	9.610 685 86	
18	18	19	3.773	-22	32	37.77	9.109 381 22	2	18	11	5.540	-22	41	46.81	9.625 890 33		
19	18	18	46.714	-22	32	52.45	9.115 428 17	3	18	11	3.877	-22	41	56.04	9.641 207 24		
20	18	18	29.856	-22	33	6.98	9.121 749 38	4	18	11	2.636	-22	42	5.16	9.656 632 25		
21	18	18	13.207	-22	33	21.38	9.128 342 32	5	18	11	1.818	-22	42	14.18	9.672 160 93		
22	18	17	56.775	-22	33	35.65	9.135 204 42	6	18	11	1.423	-22	42	23.11	9.687 788 74		
23	18	17	40.569	-22	33	49.79	9.142 333 12	7	18	11	1.450	-22	42	31.94	9.703 511 00		
24	18	17	24.596	-22	34	3.82	9.149 725 79	8	18	11	1.899	-22	42	40.68	9.719 322 90		
25	18	17	8.860	-22	34	17.74	9.157 379 83	9	18	11	2.769	-22	42	49.29	9.735 219 49		
26	18	16	53.370	-22	34	31.54	9.165 292 57	10	18	11	4.063	-22	42	57.77	9.751 195 75		
27	18	16	38.131	-22	34	45.23	9.173 461 36	11	18	11	5.782	-22	43	6.11	9.767 246 56		
28	18	16	23.149	-22	34	58.81	9.181 883 51	12	18	11	7.928	-22	43	14.30	9.783 366 81		
29	18	16	8.430	-22	35	12.26	9.190 556 29	13	18	11	10.504	-22	43	22.35	9.799 551 44		
30	18	15	53.981	-22	35	25.59	9.199 476 98	14	18	11	13.509	-22	43	30.26	9.815 795 43		
31	18	15	39.809	-22	35	38.79	9.208 642 80	15	18	11	16.942	-22	43	38.03	9.832 093 84		
<b>Août</b>	1	18	15	25.920	-22	35	51.85	9.218 050 96	16	18	11	20.803	-22	43	45.68	9.848 441 83	
2	18	15	12.322	-22	36	4.77	9.227 698 60	17	18	11	25.089	-22	43	53.20	9.864 834 62		
3	18	14	59.022	-22	36	17.55	9.237 582 85	18	18	11	29.798	-22	44	0.60	9.881 267 51		
4	18	14	46.029	-22	36	30.19	9.247 700 75	19	18	11	34.928	-22	44	7.86	9.897 735 87		
5	18	14	33.349	-22	36	42.68	9.258 049 32	20	18	11	40.477	-22	44	14.99	9.914 235 12		
6	18	14	20.989	-22	36	55.05	9.268 625 45	21	18	11	46.442	-22	44	21.98	9.930 760 74		
7	18	14	8.957	-22	37	7.29	9.279 425 98	22	18	11	52.821	-22	44	28.81	9.947 308 28		
8	18	13	57.258	-22	37	19.42	9.290 447 58	23	18	11	59.614	-22	44	35.49	9.963 873 34		
9	18	13	45.897	-22	37	31.46	9.301 686 80	24	18	12	6.817	-22	44	41.99	9.980 451 56		
10	18	13	34.877	-22	37	43.40	9.313 139 98	25	18	12	14.431	-22	44	48.31	9.997 038 65		
11	18	13	24.202	-22	37	55.24	9.324 803 29	26	18	12	22.455	-22	44	54.44	10.013 630 36		
12	18	13	13.877	-22	38	6.97	9.336 672 69	27	18	12	30.887	-22	45	0.37	10.030 222 46		
13	18	13	3.906	-22	38	18.58	9.348 743 96	28	18	12	39.729	-22	45	6.11	10.046 810 75		
14	18	12	54.296	-22	38	30.06	9.361 012 78	29	18	12	48.978	-22	45	11.65	10.063 391 02		
15	18	12	45.054	-22	38	41.41	9.373 474 75	30	18	12	58.634	-22	45	17.00	10.079 959 06		
16	18	12	36.186	-22	38	52.62	9.386 125 45	<b>Oct.</b>	1	18	13	8.694	-22	45	22.16	10.096 510 60	
17	18	12	27.696	-22	39	3.71	9.398 960 47	2	18	13	19.157	-22	45	27.13	10.113 041 31		

## SATURNE 2018 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	18 13 30.018	-22 45 31.91	10.129 546 82	Nov.	18	18 28 5.311	-22 43 51.69	10.788 381 65
	4	18 13 41.274	-22 45 36.51	10.146 022 64		19	18 28 31.048	-22 43 40.45	10.799 128 78
	5	18 13 52.922	-22 45 40.90	10.162 464 20		20	18 28 57.000	-22 43 28.74	10.809 673 34
	6	18 14 4.958	-22 45 45.08	10.178 866 86		21	18 29 23.163	-22 43 16.54	10.820 013 08
	7	18 14 17.381	-22 45 49.03	10.195 225 90		22	18 29 49.532	-22 43 3.85	10.830 145 84
	8	18 14 30.190	-22 45 52.73	10.211 536 54		23	18 30 16.105	-22 42 50.69	10.840 069 49
	9	18 14 43.382	-22 45 56.17	10.227 794 03		24	18 30 42.878	-22 42 37.05	10.849 781 93
	10	18 14 56.958	-22 45 59.34	10.243 993 62		25	18 31 9.846	-22 42 22.94	10.859 281 06
	11	18 15 10.915	-22 46 2.25	10.260 130 65		26	18 31 37.002	-22 42 8.37	10.868 564 70
	12	18 15 25.251	-22 46 4.91	10.276 200 55		27	18 32 4.340	-22 41 53.35	10.877 630 65
	13	18 15 39.962	-22 46 7.31	10.292 198 86		28	18 32 31.854	-22 41 37.86	10.886 476 62
	14	18 15 55.044	-22 46 9.45	10.308 121 23		29	18 32 59.539	-22 41 21.89	10.895 100 27
15	18 16 10.491	-22 46 11.33	10.323 963 42	30	18 33 27.390	-22 41 5.44	10.903 499 23		
16	18 16 26.299	-22 46 12.95	10.339 721 28	Déc.	1	18 33 55.402	-22 40 48.49	10.911 671 11	
17	18 16 42.463	-22 46 14.30	10.355 390 76		2	18 34 23.574	-22 40 31.03	10.919 613 54	
18	18 16 58.979	-22 46 15.37	10.370 967 90	3	18 34 51.901	-22 40 13.05	10.927 324 19		
19	18 17 15.842	-22 46 16.16	10.386 448 81	4	18 35 20.381	-22 39 54.57	10.934 800 81		
20	18 17 33.049	-22 46 16.64	10.401 829 69	5	18 35 49.009	-22 39 35.58	10.942 041 24		
21	18 17 50.595	-22 46 16.80	10.417 106 81	6	18 36 17.780	-22 39 16.10	10.949 043 43		
22	18 18 8.477	-22 46 16.64	10.432 276 52	7	18 36 46.689	-22 38 56.12	10.955 805 43		
23	18 18 26.692	-22 46 16.15	10.447 335 24	8	18 37 15.730	-22 38 35.66	10.962 325 44		
24	18 18 45.238	-22 46 15.30	10.462 279 47	9	18 37 44.895	-22 38 14.72	10.968 601 79		
25	18 19 4.113	-22 46 14.11	10.477 105 73	10	18 38 14.179	-22 37 53.31	10.974 632 92		
26	18 19 23.313	-22 46 12.57	10.491 810 62	11	18 38 43.576	-22 37 31.41	10.980 417 42		
27	18 19 42.836	-22 46 10.67	10.506 390 72	12	18 39 13.078	-22 37 9.04	10.985 953 97		
28	18 20 2.678	-22 46 8.43	10.520 842 60	13	18 39 42.680	-22 36 46.18	10.991 241 38		
29	18 20 22.835	-22 46 5.85	10.535 162 80	14	18 40 12.378	-22 36 22.83	10.996 278 54		
30	18 20 43.301	-22 46 2.92	10.549 347 81	15	18 40 42.165	-22 35 58.99	11.001 064 45		
31	18 21 4.072	-22 45 59.65	10.563 394 03	16	18 41 12.037	-22 35 34.66	11.005 598 21		
Nov.	1	18 21 25.142	-22 45 56.02	10.577 297 83	17	18 41 41.991	-22 35 9.83	11.009 879 01	
2	18 21 46.506	-22 45 52.02	10.591 055 49	18	18 42 12.021	-22 34 44.49	11.013 906 12		
3	18 22 8.161	-22 45 47.63	10.604 663 27	19	18 42 42.125	-22 34 18.67	11.017 678 93		
4	18 22 30.104	-22 45 42.84	10.618 117 39	20	18 43 12.298	-22 33 52.35	11.021 196 85		
5	18 22 52.331	-22 45 37.64	10.631 414 08	21	18 43 42.537	-22 33 25.55	11.024 459 39		
6	18 23 14.841	-22 45 32.02	10.644 549 61	22	18 44 12.837	-22 32 58.29	11.027 466 05		
7	18 23 37.630	-22 45 25.97	10.657 520 33	23	18 44 43.192	-22 32 30.58	11.030 216 34		
8	18 24 0.695	-22 45 19.51	10.670 322 65	24	18 45 13.595	-22 32 2.44	11.032 709 73		
9	18 24 24.031	-22 45 12.62	10.682 953 10	25	18 45 44.040	-22 31 33.86	11.034 945 61		
10	18 24 47.633	-22 45 5.33	10.695 408 37	26	18 46 14.521	-22 31 4.84	11.036 923 28		
11	18 25 11.495	-22 44 57.62	10.707 685 22	27	18 46 45.031	-22 30 35.38	11.038 642 02		
12	18 25 35.610	-22 44 49.50	10.719 780 57	28	18 47 15.567	-22 30 5.47	11.040 101 06		
13	18 25 59.973	-22 44 40.96	10.731 691 44	29	18 47 46.126	-22 29 35.10	11.041 299 64		
14	18 26 24.578	-22 44 31.99	10.743 414 97	30	18 48 16.705	-22 29 4.27	11.042 237 05		
15	18 26 49.419	-22 44 22.59	10.754 948 38	31	18 48 47.300	-22 28 33.00	11.042 912 65		
16	18 27 14.492	-22 44 12.75	10.766 289 00	32	18 49 17.907	-22 28 1.29	11.043 325 92		
17	18 27 39.790	-22 44 2.45	10.777 434 26	33	18 49 48.521	-22 27 29.16	11.043 476 41		

## URANUS 2018 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	31	53.388	8	59	19.95	19.624 311 3	Févr.	15	1	34	49.925	9	18	6.59	20.386 650 4
	1	1	31	52.927	8	59	19.54	19.640 948 7		16	1	34	57.928	9	18	54.84	20.401 357 6
	2	1	31	52.662	8	59	20.28	19.657 658 9		17	1	35	6.084	9	19	43.94	20.415 911 2
	3	1	31	52.591	8	59	22.17	19.674 436 8		18	1	35	14.389	9	20	33.86	20.430 307 0
	4	1	31	52.713	8	59	25.20	19.691 277 8		19	1	35	22.844	9	21	24.60	20.444 540 8
	5	1	31	53.026	8	59	29.36	19.708 177 0		20	1	35	31.448	9	22	16.16	20.458 608 7
	6	1	31	53.533	8	59	34.63	19.725 129 4		21	1	35	40.197	9	23	8.52	20.472 506 6
	7	1	31	54.233	8	59	41.03	19.742 130 1		22	1	35	49.093	9	24	1.68	20.486 230 8
	8	1	31	55.129	8	59	48.57	19.759 174 0		23	1	35	58.132	9	24	55.63	20.499 777 8
	9	1	31	56.222	8	59	57.24	19.776 255 7		24	1	36	7.313	9	25	50.36	20.513 144 0
	10	1	31	57.514	9	0	7.06	19.793 370 1		25	1	36	16.632	9	26	45.85	20.526 326 1
	11	1	31	59.005	9	0	18.04	19.810 511 8		26	1	36	26.085	9	27	42.09	20.539 321 1
	12	1	32	0.694	9	0	30.17	19.827 675 3		27	1	36	35.669	9	28	39.04	20.552 125 8
	13	1	32	2.583	9	0	43.46	19.844 855 1		28	1	36	45.379	9	29	36.69	20.564 737 4
14	1	32	4.670	9	0	57.91	19.862 045 8	Mars	1	1	36	55.212	9	30	35.01	20.577 153 0	
15	1	32	6.954	9	1	13.50	19.879 241 8		2	1	37	5.167	9	31	33.97	20.589 369 9	
16	1	32	9.434	9	1	30.24	19.896 437 6		3	1	37	15.242	9	32	33.58	20.601 385 2	
17	1	32	12.109	9	1	48.11	19.913 627 7		4	1	37	25.437	9	33	33.81	20.613 196 0	
18	1	32	14.977	9	2	7.10	19.930 806 4		5	1	37	35.751	9	34	34.67	20.624 799 5	
19	1	32	18.038	9	2	27.21	19.947 968 3		6	1	37	46.183	9	35	36.15	20.636 192 6	
20	1	32	21.291	9	2	48.43	19.965 107 9		7	1	37	56.732	9	36	38.25	20.647 372 5	
21	1	32	24.734	9	3	10.75	19.982 219 7		8	1	38	7.395	9	37	40.94	20.658 336 3	
22	1	32	28.368	9	3	34.16	19.999 298 2		9	1	38	18.170	9	38	44.23	20.669 080 8	
23	1	32	32.192	9	3	58.67	20.016 338 3		10	1	38	29.053	9	39	48.09	20.679 603 3	
24	1	32	36.206	9	4	24.26	20.033 334 5		11	1	38	40.042	9	40	52.51	20.689 900 8	
25	1	32	40.410	9	4	50.94	20.050 281 7		12	1	38	51.134	9	41	57.47	20.699 970 6	
26	1	32	44.803	9	5	18.71	20.067 174 9		13	1	39	2.325	9	43	2.95	20.709 809 8	
27	1	32	49.386	9	5	47.56	20.084 009 1		14	1	39	13.612	9	44	8.93	20.719 415 8	
28	1	32	54.157	9	6	17.50	20.100 779 6	15	1	39	24.993	9	45	15.39	20.728 785 8		
29	1	32	59.112	9	6	48.50	20.117 481 7	16	1	39	36.465	9	46	22.31	20.737 917 3		
30	1	33	4.249	9	7	20.56	20.134 110 9	17	1	39	48.025	9	47	29.68	20.746 807 9		
Févr.	31	1	33	9.565	9	7	53.64	20.150 662 9	18	1	39	59.672	9	48	37.47	20.755 455 1	
	1	1	33	15.056	9	8	27.74	20.167 133 2	19	1	40	11.404	9	49	45.69	20.763 856 6	
	2	1	33	20.720	9	9	2.82	20.183 517 7	20	1	40	23.220	9	50	54.31	20.772 010 4	
	3	1	33	26.558	9	9	38.89	20.199 811 8	21	1	40	35.117	9	52	3.34	20.779 914 4	
	4	1	33	32.570	9	10	15.93	20.216 011 2	22	1	40	47.095	9	53	12.75	20.787 566 8	
	5	1	33	38.755	9	10	53.94	20.232 111 5	23	1	40	59.149	9	54	22.55	20.794 966 1	
	6	1	33	45.114	9	11	32.93	20.248 108 0	24	1	41	11.276	9	55	32.71	20.802 110 6	
	7	1	33	51.646	9	12	12.90	20.263 996 2	25	1	41	23.473	9	56	43.21	20.808 999 2	
	8	1	33	58.350	9	12	53.83	20.279 771 5	26	1	41	35.735	9	57	54.03	20.815 630 5	
	9	1	34	5.224	9	13	35.73	20.295 429 2	27	1	41	48.058	9	59	5.14	20.822 003 6	
	10	1	34	12.267	9	14	18.58	20.310 964 8	28	1	42	0.438	10	0	16.52	20.828 117 3	
	11	1	34	19.476	9	15	2.36	20.326 373 6	29	1	42	12.872	10	1	28.14	20.833 970 9	
	12	1	34	26.849	9	15	47.07	20.341 651 1	30	1	42	25.360	10	2	39.99	20.839 563 3	
	13	1	34	34.383	9	16	32.69	20.356 792 7	31	1	42	37.899	10	3	52.05	20.844 893 7	
14	1	34	42.076	9	17	19.21	20.371 794 0	Avril	1	1	42	50.490	10	5	4.33	20.849 961 0	

## URANUS 2018 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	43	3.130	10	6	16.81	20.854 764 3	Mai	18	1	52	52.468	11	1	21.03	20.784 473 4
	3	1	43	15.818	10	7	29.49	20.859 302 5		19	1	53	4.488	11	2	26.89	20.776 815 7
	4	1	43	28.552	10	8	42.36	20.863 574 7		20	1	53	16.432	11	3	32.28	20.768 918 2
	5	1	43	41.330	10	9	55.41	20.867 579 7		21	1	53	28.295	11	4	37.16	20.760 783 6
	6	1	43	54.147	10	11	8.62	20.871 316 7		22	1	53	40.075	11	5	41.53	20.752 414 2
	7	1	44	7.002	10	12	21.97	20.874 784 5		23	1	53	51.770	11	6	45.37	20.743 812 8
	8	1	44	19.890	10	13	35.45	20.877 982 4		24	1	54	3.379	11	7	48.67	20.734 981 7
	9	1	44	32.808	10	14	49.04	20.880 909 4		25	1	54	14.901	11	8	51.42	20.725 923 5
	10	1	44	45.754	10	16	2.71	20.883 564 6		26	1	54	26.335	11	9	53.62	20.716 640 7
	11	1	44	58.723	10	17	16.46	20.885 947 4		27	1	54	37.681	11	10	55.26	20.707 135 7
	12	1	45	11.714	10	18	30.25	20.888 057 1		28	1	54	48.937	11	11	56.36	20.697 410 9
13	1	45	24.723	10	19	44.07	20.889 893 0	29	1	55	0.101	11	12	56.88	20.687 468 7		
14	1	45	37.749	10	20	57.91	20.891 454 6	30	1	55	11.170	11	13	56.84	20.677 311 4		
15	1	45	50.789	10	22	11.75	20.892 741 5	31	1	55	22.142	11	14	56.22	20.666 941 5		
16	1	46	3.843	10	23	25.59	20.893 753 4	Juin	1	1	55	33.013	11	15	54.99	20.656 361 3	
17	1	46	16.908	10	24	39.42	20.894 490 2		2	1	55	43.781	11	16	53.16	20.645 573 2	
18	1	46	29.983	10	25	53.22	20.894 951 9		3	1	55	54.444	11	17	50.71	20.634 579 7	
19	1	46	43.064	10	27	7.00	20.895 138 7		4	1	56	4.997	11	18	47.61	20.623 383 3	
20	1	46	56.149	10	28	20.73	20.895 050 8		5	1	56	15.439	11	19	43.85	20.611 986 4	
21	1	47	9.234	10	29	34.39	20.894 689 0		6	1	56	25.768	11	20	39.43	20.600 391 8	
22	1	47	22.313	10	30	47.97	20.894 053 7		7	1	56	35.981	11	21	34.32	20.588 601 9	
23	1	47	35.383	10	32	1.43	20.893 145 9		8	1	56	46.077	11	22	28.53	20.576 619 6	
24	1	47	48.440	10	33	14.76	20.891 966 3		9	1	56	56.055	11	23	22.03	20.564 447 7	
25	1	48	1.481	10	34	27.93	20.890 515 8		10	1	57	5.914	11	24	14.83	20.552 089 0	
26	1	48	14.504	10	35	40.92	20.888 795 3		11	1	57	15.652	11	25	6.93	20.539 546 5	
27	1	48	27.509	10	36	53.72	20.886 805 8	12	1	57	25.269	11	25	58.31	20.526 823 4		
28	1	48	40.493	10	38	6.33	20.884 548 1	13	1	57	34.762	11	26	48.99	20.513 923 0		
29	1	48	53.456	10	39	18.74	20.882 023 2	14	1	57	44.129	11	27	38.94	20.500 848 8		
30	1	49	6.397	10	40	30.95	20.879 231 7	15	1	57	53.365	11	28	28.16	20.487 604 3		
Mai	1	1	49	19.314	10	41	42.95	20.876 174 6	16	1	58	2.466	11	29	16.62	20.474 193 4	
	2	1	49	32.204	10	42	54.73	20.872 852 7	17	1	58	11.429	11	30	4.30	20.460 619 9	
	3	1	49	45.064	10	44	6.28	20.869 266 7	18	1	58	20.250	11	30	51.17	20.446 887 8	
	4	1	49	57.891	10	45	17.58	20.865 417 5	19	1	58	28.928	11	31	37.23	20.433 000 9	
	5	1	50	10.683	10	46	28.61	20.861 305 9	20	1	58	37.463	11	32	22.47	20.418 963 1	
	6	1	50	23.435	10	47	39.37	20.856 932 8	21	1	58	45.853	11	33	6.88	20.404 778 2	
	7	1	50	36.144	10	48	49.83	20.852 299 2	22	1	58	54.100	11	33	50.46	20.390 450 1	
	8	1	50	48.809	10	49	59.97	20.847 406 0	23	1	59	2.202	11	34	33.22	20.375 982 4	
	9	1	51	1.424	10	51	9.77	20.842 254 4	24	1	59	10.159	11	35	15.16	20.361 378 8	
	10	1	51	13.990	10	52	19.23	20.836 845 4	25	1	59	17.970	11	35	56.27	20.346 643 0	
	11	1	51	26.502	10	53	28.32	20.831 180 2	26	1	59	25.632	11	36	36.54	20.331 778 6	
12	1	51	38.960	10	54	37.04	20.825 260 1	27	1	59	33.144	11	37	15.98	20.316 789 2		
13	1	51	51.362	10	55	45.37	20.819 086 5	28	1	59	40.503	11	37	54.57	20.301 678 4		
14	1	52	3.706	10	56	53.31	20.812 660 8	29	1	59	47.707	11	38	32.30	20.286 449 8		
15	1	52	15.991	10	58	0.85	20.805 984 8	30	1	59	54.753	11	39	9.16	20.271 107 1		
16	1	52	28.215	10	59	8.00	20.799 060 2	Juill.	1	2	0	1.640	11	39	45.14	20.255 653 9	
17	1	52	40.376	11	0	14.73	20.791 889 0		2	2	0	8.365	11	40	20.23	20.240 093 8	

## URANUS 2018 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	2	0	14.927	11	40	54.42	20.224 430 7	<b>Août</b>	18	2	2	3.951	11	49	40.29	19.467 938 7	
	4	2	0	21.325	11	41	27.69	20.208 668 2		19	2	2	1.946	11	49	28.28	19.452 441 0	
	5	2	0	27.557	11	42	0.05	20.192 810 2		20	2	1	59.760	11	49	15.32	19.437 059 5	
	6	2	0	33.623	11	42	31.48	20.176 860 5		21	2	1	57.393	11	49	1.41	19.421 798 6	
	7	2	0	39.523	11	43	1.99	20.160 823 2		22	2	1	54.845	11	48	46.54	19.406 662 6	
	8	2	0	45.256	11	43	31.58	20.144 702 3		23	2	1	52.117	11	48	30.73	19.391 655 8	
	9	2	0	50.821	11	44	0.24	20.128 501 9		24	2	1	49.209	11	48	13.96	19.376 782 6	
	10	2	0	56.218	11	44	27.98	20.112 226 3		25	2	1	46.121	11	47	56.25	19.362 047 0	
	11	2	1	1.446	11	44	54.79	20.095 879 8		26	2	1	42.855	11	47	37.60	19.347 453 4	
	12	2	1	6.500	11	45	20.68	20.079 467 2		27	2	1	39.412	11	47	18.00	19.333 005 9	
	13	2	1	11.379	11	45	45.62	20.062 992 9		28	2	1	35.793	11	46	57.47	19.318 708 7	
	14	2	1	16.078	11	46	9.60	20.046 462 0		29	2	1	32.000	11	46	36.02	19.304 565 9	
	15	2	1	20.596	11	46	32.59	20.029 879 1		30	2	1	28.037	11	46	13.65	19.290 581 8	
	16	2	1	24.929	11	46	54.59	20.013 249 4		31	2	1	23.904	11	45	50.37	19.276 760 5	
	17	2	1	29.080	11	47	15.58	19.996 577 4		<b>Sept.</b>	1	2	1	19.605	11	45	26.21	19.263 106 3
	18	2	1	33.048	11	47	35.58	19.979 868 2			2	2	1	15.141	11	45	1.18	19.249 623 5
	19	2	1	36.834	11	47	54.57	19.963 126 3			3	2	1	10.515	11	44	35.29	19.236 316 5
20	2	1	40.439	11	48	12.57	19.946 356 3	4	2		1	5.726	11	44	8.54	19.223 189 5		
21	2	1	43.863	11	48	29.59	19.929 562 9	5	2		1	0.777	11	43	40.96	19.210 247 0		
22	2	1	47.107	11	48	45.63	19.912 750 4	6	2		0	55.666	11	43	12.54	19.197 493 6		
23	2	1	50.169	11	49	0.69	19.895 923 3	7	2		0	50.394	11	42	43.27	19.184 933 7		
24	2	1	53.048	11	49	14.76	19.879 086 0	8	2		0	44.962	11	42	13.16	19.172 571 9		
25	2	1	55.743	11	49	27.86	19.862 242 9	9	2		0	39.371	11	41	42.21	19.160 412 6		
26	2	1	58.253	11	49	39.96	19.845 398 2	10	2		0	33.624	11	41	10.43	19.148 460 2		
27	2	2	0.576	11	49	51.06	19.828 556 5	11	2		0	27.726	11	40	37.82	19.136 719 0		
28	2	2	2.711	11	50	1.17	19.811 721 9	12	2		0	21.680	11	40	4.43	19.125 193 0		
29	2	2	4.658	11	50	10.26	19.794 898 9	13	2		0	15.492	11	39	30.26	19.113 886 2		
30	2	2	6.415	11	50	18.35	19.778 091 7	14	2		0	9.163	11	38	55.35	19.102 802 3		
31	2	2	7.984	11	50	25.41	19.761 304 9	15	2		0	2.698	11	38	19.70	19.091 944 8		
<b>Août</b>	1	2	2	9.362	11	50	31.46	19.744 542 7	16		1	59	56.098	11	37	43.35	19.081 317 3	
	2	2	2	10.552	11	50	36.49	19.727 809 7	17		1	59	49.365	11	37	6.30	19.070 923 0	
	3	2	2	11.554	11	50	40.50	19.711 110 3	18	1	59	42.502	11	36	28.56	19.060 765 2		
	4	2	2	12.368	11	50	43.51	19.694 449 1	19	1	59	35.510	11	35	50.15	19.050 847 2		
	5	2	2	12.995	11	50	45.51	19.677 830 8	20	1	59	28.391	11	35	11.07	19.041 171 8		
	6	2	2	13.436	11	50	46.52	19.661 259 9	21	1	59	21.149	11	34	31.34	19.031 742 2		
	7	2	2	13.690	11	50	46.53	19.644 741 5	22	1	59	13.784	11	33	50.97	19.022 561 3		
	8	2	2	13.757	11	50	45.56	19.628 280 2	23	1	59	6.301	11	33	9.97	19.013 632 0		
	9	2	2	13.635	11	50	43.60	19.611 881 3	24	1	58	58.702	11	32	28.35	19.004 957 0		
	10	2	2	13.322	11	50	40.63	19.595 549 7	25	1	58	50.991	11	31	46.13	18.996 539 1		
	11	2	2	12.817	11	50	36.65	19.579 290 7	26	1	58	43.173	11	31	3.33	18.988 381 0		
	12	2	2	12.118	11	50	31.64	19.563 109 6	27	1	58	35.250	11	30	19.98	18.980 485 5		
	13	2	2	11.226	11	50	25.61	19.547 011 3	28	1	58	27.228	11	29	36.08	18.972 855 2		
	14	2	2	10.143	11	50	18.54	19.531 001 2	29	1	58	19.109	11	28	51.68	18.965 492 9		
	15	2	2	8.872	11	50	10.47	19.515 084 0	30	1	58	10.898	11	28	6.78	18.958 401 1		
	16	2	2	7.415	11	50	1.39	19.499 264 8	<b>Oct.</b>	1	1	58	2.597	11	27	21.42	18.951 582 7	
	17	2	2	5.774	11	49	51.32	19.483 548 1		2	1	57	54.208	11	26	35.60	18.945 040 3	

## URANUS 2018 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	57	45.733	11	25	49.34	18.938 776 6	Nov.	18	1	50	49.920	10	48	11.98	18.973 981 4	
	4	1	57	37.174	11	25	2.65	18.932 794 4		19	1	50	41.815	10	47	28.36	18.981 748 1	
	5	1	57	28.533	11	24	15.53	18.927 096 2		20	1	50	33.813	10	46	45.30	18.989 789 5	
	6	1	57	19.813	11	23	27.99	18.921 684 7		21	1	50	25.917	10	46	2.84	18.998 102 9	
	7	1	57	11.018	11	22	40.05	18.916 562 2		22	1	50	18.132	10	45	21.01	19.006 685 4	
	8	1	57	2.153	11	21	51.73	18.911 731 1		23	1	50	10.462	10	44	39.82	19.015 534 2	
	9	1	56	53.224	11	21	3.06	18.907 193 5		24	1	50	2.910	10	43	59.30	19.024 646 5	
	10	1	56	44.236	11	20	14.07	18.902 951 3		25	1	49	55.478	10	43	19.48	19.034 019 6	
	11	1	56	35.195	11	19	24.79	18.899 006 2		26	1	49	48.168	10	42	40.36	19.043 650 7	
	12	1	56	26.105	11	18	35.24	18.895 359 6		27	1	49	40.981	10	42	1.94	19.053 537 0	
	13	1	56	16.969	11	17	45.46	18.892 012 9		Déc.	28	1	49	33.918	10	41	24.24	19.063 675 7
	14	1	56	7.792	11	16	55.47	18.888 967 3			29	1	49	26.982	10	40	47.27	19.074 063 9
15	1	55	58.576	11	16	5.29	18.886 223 6	30	1		49	20.175	10	40	11.02	19.084 698 5		
16	1	55	49.325	11	15	14.93	18.883 782 9	1	1		49	13.501	10	39	35.52	19.095 576 4		
17	1	55	40.041	11	14	24.41	18.881 645 8	2	1		49	6.966	10	39	0.80	19.106 694 3		
18	1	55	30.728	11	13	33.74	18.879 813 0	3	1		49	0.573	10	38	26.87	19.118 048 6		
19	1	55	21.390	11	12	42.96	18.878 285 0	4	1		48	54.328	10	37	53.76	19.129 635 7		
20	1	55	12.031	11	11	52.06	18.877 062 3	5	1		48	48.233	10	37	21.50	19.141 451 7		
21	1	55	2.654	11	11	1.08	18.876 145 3	6	1		48	42.292	10	36	50.11	19.153 492 7		
22	1	54	53.264	11	10	10.04	18.875 534 1	7	1		48	36.508	10	36	19.60	19.165 754 3		
23	1	54	43.866	11	9	18.95	18.875 229 1	8	1		48	30.882	10	35	50.00	19.178 232 4		
24	1	54	34.464	11	8	27.85	18.875 230 3	9	1		48	25.417	10	35	21.31	19.190 922 5		
25	1	54	25.065	11	7	36.76	18.875 537 8	10	1	48	20.112	10	34	53.54	19.203 820 1			
26	1	54	15.672	11	6	45.71	18.876 151 8	11	1	48	14.971	10	34	26.70	19.216 920 7			
27	1	54	6.290	11	5	54.74	18.877 072 2	12	1	48	9.994	10	34	0.80	19.230 219 5			
28	1	53	56.923	11	5	3.86	18.878 299 1	13	1	48	5.184	10	33	35.85	19.243 711 8			
29	1	53	47.572	11	4	13.10	18.879 832 5	14	1	48	0.542	10	33	11.85	19.257 393 0			
30	1	53	38.242	11	3	22.47	18.881 672 5	15	1	47	56.071	10	32	48.81	19.271 258 1			
31	1	53	28.933	11	2	31.98	18.883 819 0	16	1	47	51.774	10	32	26.75	19.285 302 5			
Nov.	1	1	53	19.649	11	1	41.64	18.886 272 0	17	1	47	47.652	10	32	5.68	19.299 521 2		
2	1	53	10.392	11	0	51.48	18.889 031 1	18	1	47	43.710	10	31	45.61	19.313 909 4			
3	1	53	1.168	11	0	1.49	18.892 096 1	19	1	47	39.948	10	31	26.56	19.328 462 3			
4	1	52	51.981	10	59	11.72	18.895 466 5	20	1	47	36.370	10	31	8.55	19.343 175 0			
5	1	52	42.837	10	58	22.18	18.899 141 6	21	1	47	32.978	10	30	51.58	19.358 042 8			
6	1	52	33.741	10	57	32.91	18.903 120 4	22	1	47	29.772	10	30	35.68	19.373 061 0			
7	1	52	24.700	10	56	43.93	18.907 402 0	23	1	47	26.753	10	30	20.85	19.388 224 9			
8	1	52	15.719	10	55	55.29	18.911 984 9	24	1	47	23.920	10	30	7.08	19.403 529 9			
9	1	52	6.800	10	55	7.01	18.916 867 7	25	1	47	21.271	10	29	54.36	19.418 971 5			
10	1	51	57.949	10	54	19.12	18.922 048 6	26	1	47	18.807	10	29	42.70	19.434 545 2			
11	1	51	49.167	10	53	31.63	18.927 525 9	27	1	47	16.529	10	29	32.08	19.450 246 4			
12	1	51	40.459	10	52	44.56	18.933 297 5	28	1	47	14.439	10	29	22.52	19.466 070 2			
13	1	51	31.827	10	51	57.94	18.939 361 2	29	1	47	12.538	10	29	14.02	19.482 012 0			
14	1	51	23.273	10	51	11.77	18.945 714 9	30	1	47	10.831	10	29	6.59	19.498 066 8			
15	1	51	14.802	10	50	26.07	18.952 356 3	31	1	47	9.319	10	29	0.26	19.514 229 4			
16	1	51	6.417	10	49	40.86	18.959 282 8	32	1	47	8.005	10	28	55.03	19.530 494 6			
17	1	50	58.122	10	48	56.16	18.966 492 1	33	1	47	6.889	10	28	50.92	19.546 857 2			

## NEPTUNE 2018 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 54 33.987	− 7 56 52.64	30.387 722 9	Févr.	15	22 59 44.278	− 7 24 30.90	30.886 849 2
	1	22 54 38.770	− 7 56 22.10	30.403 025 4		16	22 59 52.481	− 7 23 40.17	30.891 951 8
	2	22 54 43.662	− 7 55 50.92	30.418 185 9		17	23 0 0.714	− 7 22 49.27	30.896 774 0
	3	22 54 48.661	− 7 55 19.10	30.433 200 4		18	23 0 8.976	− 7 21 58.20	30.901 314 6
	4	22 54 53.763	− 7 54 46.67	30.448 064 9		19	23 0 17.266	− 7 21 6.98	30.905 572 4
	5	22 54 58.967	− 7 54 13.63	30.462 775 3		20	23 0 25.582	− 7 20 15.61	30.909 546 6
	6	22 55 4.270	− 7 53 39.99	30.477 327 4		21	23 0 33.924	− 7 19 24.10	30.913 236 4
	7	22 55 9.674	− 7 53 5.75	30.491 717 1		22	23 0 42.291	− 7 18 32.45	30.916 641 2
	8	22 55 15.177	− 7 52 30.90	30.505 940 1		23	23 0 50.681	− 7 17 40.67	30.919 760 4
	9	22 55 20.781	− 7 51 55.45	30.519 992 1		24	23 0 59.093	− 7 16 48.78	30.922 594 0
	10	22 55 26.485	− 7 51 19.40	30.533 868 7		25	23 1 7.523	− 7 15 56.80	30.925 141 5
	11	22 55 32.288	− 7 50 42.75	30.547 565 8		26	23 1 15.969	− 7 15 4.75	30.927 403 1
	12	22 55 38.190	− 7 50 5.51	30.561 079 0		27	23 1 24.427	− 7 14 12.65	30.929 378 6
	13	22 55 44.188	− 7 49 27.69	30.574 404 2		28	23 1 32.893	− 7 13 20.53	30.931 068 2
14	22 55 50.281	− 7 48 49.32	30.587 537 2	Mars	1	23 1 41.365	− 7 12 28.39	30.932 471 8	
15	22 55 56.467	− 7 48 10.39	30.600 474 1	2	23 1 49.841	− 7 11 36.25	30.933 589 5		
16	22 56 2.744	− 7 47 30.93	30.613 210 7	3	23 1 58.320	− 7 10 44.11	30.934 421 1		
17	22 56 9.109	− 7 46 50.95	30.625 743 2	4	23 2 6.801	− 7 9 51.97	30.934 966 7		
18	22 56 15.559	− 7 46 10.46	30.638 067 8	5	23 2 15.284	− 7 8 59.83	30.935 226 2		
19	22 56 22.093	− 7 45 29.48	30.650 180 8	6	23 2 23.769	− 7 8 7.69	30.935 199 3		
20	22 56 28.709	− 7 44 48.01	30.662 078 6	7	23 2 32.254	− 7 7 15.58	30.934 886 1		
21	22 56 35.405	− 7 44 6.07	30.673 757 7	8	23 2 40.738	− 7 6 23.50	30.934 286 5		
22	22 56 42.179	− 7 43 23.66	30.685 214 8	9	23 2 49.218	− 7 5 31.46	30.933 400 7		
23	22 56 49.030	− 7 42 40.78	30.696 446 8	10	23 2 57.692	− 7 4 39.49	30.932 228 6		
24	22 56 55.959	− 7 41 57.45	30.707 450 4	11	23 3 6.157	− 7 3 47.60	30.930 770 7		
25	22 57 2.963	− 7 41 13.66	30.718 222 9	12	23 3 14.611	− 7 2 55.80	30.929 027 2		
26	22 57 10.043	− 7 40 29.42	30.728 761 6	13	23 3 23.051	− 7 2 4.12	30.926 998 5		
27	22 57 17.196	− 7 39 44.74	30.739 063 7	14	23 3 31.474	− 7 1 12.56	30.924 685 2		
28	22 57 24.422	− 7 38 59.63	30.749 126 9	15	23 3 39.878	− 7 0 21.15	30.922 088 0		
29	22 57 31.718	− 7 38 14.12	30.758 948 9	16	23 3 48.261	− 6 59 29.89	30.919 207 5		
30	22 57 39.080	− 7 37 28.23	30.768 527 5	17	23 3 56.621	− 6 58 38.79	30.916 044 8		
31	22 57 46.505	− 7 36 41.98	30.777 860 4	18	23 4 4.957	− 6 57 47.86	30.912 600 9		
Févr.	1	22 57 53.988	− 7 35 55.38	30.786 945 5	19	23 4 13.266	− 6 56 57.10	30.908 876 9	
	2	22 58 1.529	− 7 35 8.46	30.795 780 5	20	23 4 21.550	− 6 56 6.53	30.904 874 3	
	3	22 58 9.125	− 7 34 21.20	30.804 363 3	21	23 4 29.807	− 6 55 16.14	30.900 594 5	
	4	22 58 16.776	− 7 33 33.62	30.812 691 5	22	23 4 38.035	− 6 54 25.94	30.896 039 2	
	5	22 58 24.482	− 7 32 45.72	30.820 762 6	23	23 4 46.233	− 6 53 35.95	30.891 210 3	
	6	22 58 32.244	− 7 31 57.49	30.828 574 4	24	23 4 54.399	− 6 52 46.19	30.886 109 6	
	7	22 58 40.059	− 7 31 8.94	30.836 124 6	25	23 5 2.529	− 6 51 56.68	30.880 739 2	
	8	22 58 47.926	− 7 30 20.09	30.843 410 8	26	23 5 10.621	− 6 51 7.43	30.875 101 2	
	9	22 58 55.844	− 7 29 30.95	30.850 430 9	27	23 5 18.671	− 6 50 18.47	30.869 197 7	
	10	22 59 3.810	− 7 28 41.54	30.857 182 7	28	23 5 26.677	− 6 49 29.81	30.863 030 8	
	11	22 59 11.823	− 7 27 51.86	30.863 664 1	29	23 5 34.635	− 6 48 41.47	30.856 602 5	
	12	22 59 19.878	− 7 27 1.95	30.869 873 3	30	23 5 42.546	− 6 47 53.44	30.849 915 0	
	13	22 59 27.975	− 7 26 11.80	30.875 808 4	31	23 5 50.409	− 6 47 5.72	30.842 970 2	
	14	22 59 36.109	− 7 25 21.45	30.881 467 5	Avril	1	23 5 58.223	− 6 46 18.33	30.835 770 1

## NEPTUNE 2018 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	6	5.989	- 6	45	31.25	30.828 316 7	Mai	18	23	10	43.326	- 6	18	7.45	30.259 619 2
	3	23	6	13.706	- 6	44	44.50	30.820 611 9		19	23	10	47.130	- 6	17	46.06	30.243 659 9
	4	23	6	21.373	- 6	43	58.09	30.812 657 6		20	23	10	50.821	- 6	17	25.40	30.227 613 1
	5	23	6	28.987	- 6	43	12.03	30.804 455 9		21	23	10	54.397	- 6	17	5.48	30.211 483 7
	6	23	6	36.546	- 6	42	26.33	30.796 008 9		22	23	10	57.856	- 6	16	46.30	30.195 276 3
	7	23	6	44.049	- 6	41	41.01	30.787 318 7		23	23	11	1.198	- 6	16	27.87	30.178 995 6
	8	23	6	51.493	- 6	40	56.08	30.778 387 6		24	23	11	4.424	- 6	16	10.18	30.162 646 1
	9	23	6	58.875	- 6	40	11.57	30.769 217 8		25	23	11	7.534	- 6	15	53.22	30.146 232 2
	10	23	7	6.193	- 6	39	27.48	30.759 811 8		26	23	11	10.529	- 6	15	36.99	30.129 758 5
	11	23	7	13.444	- 6	38	43.83	30.750 172 0		27	23	11	13.409	- 6	15	21.48	30.113 229 2
	12	23	7	20.628	- 6	38	0.62	30.740 301 2		28	23	11	16.176	- 6	15	6.70	30.096 648 6
13	23	7	27.743	- 6	37	17.87	30.730 201 9	29	23	11	18.829	- 6	14	52.65	30.080 021 1		
14	23	7	34.786	- 6	36	35.57	30.719 877 1	30	23	11	21.366	- 6	14	39.33	30.063 350 9		
15	23	7	41.758	- 6	35	53.74	30.709 329 6	31	23	11	23.788	- 6	14	26.75	30.046 642 3		
16	23	7	48.657	- 6	35	12.38	30.698 562 6	Juin	1	23	11	26.093	- 6	14	14.92	30.029 899 6	
17	23	7	55.484	- 6	34	31.48	30.687 579 3		2	23	11	28.279	- 6	14	3.84	30.013 127 2	
18	23	8	2.238	- 6	33	51.06	30.676 383 1		3	23	11	30.345	- 6	13	53.53	29.996 329 4	
19	23	8	8.918	- 6	33	11.12	30.664 977 5		4	23	11	32.291	- 6	13	43.98	29.979 510 8	
20	23	8	15.521	- 6	32	31.69	30.653 366 2		5	23	11	34.116	- 6	13	35.21	29.962 675 7	
21	23	8	22.046	- 6	31	52.76	30.641 552 9		6	23	11	35.818	- 6	13	27.20	29.945 828 7	
22	23	8	28.489	- 6	31	14.38	30.629 541 4		7	23	11	37.399	- 6	13	19.96	29.928 974 4	
23	23	8	34.848	- 6	30	36.54	30.617 335 3		8	23	11	38.857	- 6	13	13.50	29.912 117 4	
24	23	8	41.119	- 6	29	59.28	30.604 938 5		9	23	11	40.194	- 6	13	7.79	29.895 262 5	
25	23	8	47.302	- 6	29	22.59	30.592 354 7		10	23	11	41.411	- 6	13	2.84	29.878 414 4	
26	23	8	53.395	- 6	28	46.48	30.579 587 5		11	23	11	42.508	- 6	12	58.64	29.861 578 1	
27	23	8	59.399	- 6	28	10.94	30.566 640 5	12	23	11	43.487	- 6	12	55.18	29.844 758 5		
28	23	9	5.313	- 6	27	35.98	30.553 517 3	13	23	11	44.347	- 6	12	52.47	29.827 960 7		
29	23	9	11.138	- 6	27	1.59	30.540 221 3	14	23	11	45.088	- 6	12	50.50	29.811 189 8		
30	23	9	16.874	- 6	26	27.77	30.526 756 1	15	23	11	45.709	- 6	12	49.30	29.794 451 2		
Mai	1	23	9	22.519	- 6	25	54.54	30.513 125 0	16	23	11	46.208	- 6	12	48.88	29.777 749 8	
	2	23	9	28.074	- 6	25	21.90	30.499 331 7	17	23	11	46.582	- 6	12	49.24	29.761 090 9	
	3	23	9	33.536	- 6	24	49.86	30.485 379 5	18	23	11	46.831	- 6	12	50.39	29.744 479 5	
	4	23	9	38.903	- 6	24	18.43	30.471 272 1	19	23	11	46.955	- 6	12	52.32	29.727 920 4	
	5	23	9	44.175	- 6	23	47.63	30.457 012 9	20	23	11	46.956	- 6	12	55.02	29.711 418 5	
	6	23	9	49.348	- 6	23	17.46	30.442 605 8	21	23	11	46.835	- 6	12	58.48	29.694 978 2	
	7	23	9	54.420	- 6	22	47.95	30.428 054 5	22	23	11	46.594	- 6	13	2.68	29.678 604 2	
	8	23	9	59.391	- 6	22	19.09	30.413 362 6	23	23	11	46.235	- 6	13	7.62	29.662 301 0	
	9	23	10	4.259	- 6	21	50.89	30.398 534 3	24	23	11	45.759	- 6	13	13.29	29.646 072 8	
	10	23	10	9.022	- 6	21	23.37	30.383 573 2	25	23	11	45.166	- 6	13	19.69	29.629 924 0	
	11	23	10	13.680	- 6	20	56.52	30.368 483 7	26	23	11	44.456	- 6	13	26.81	29.613 858 9	
12	23	10	18.233	- 6	20	30.34	30.353 269 6	27	23	11	43.631	- 6	13	34.67	29.597 881 8		
13	23	10	22.679	- 6	20	4.84	30.337 935 5	28	23	11	42.689	- 6	13	43.25	29.581 996 9		
14	23	10	27.020	- 6	19	40.01	30.322 485 5	29	23	11	41.630	- 6	13	52.56	29.566 208 5		
15	23	10	31.256	- 6	19	15.85	30.306 924 2	30	23	11	40.454	- 6	14	2.60	29.550 520 9		
16	23	10	35.386	- 6	18	52.36	30.291 256 2	Juill.	1	23	11	39.161	- 6	14	13.38	29.534 938 2	
17	23	10	39.410	- 6	18	29.56	30.275 486 3		2	23	11	37.750	- 6	14	24.88	29.519 464 8	



## NEPTUNE 2018 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	11	36.222	- 6	14	37.11	29.504 105 0	<b>Août</b>	18	23	8	39.309	- 6	34	44.97	28.991 307 2	
	4	23	11	34.577	- 6	14	50.05	29.488 863 1		19	23	8	33.692	- 6	35	21.58	28.985 673 4	
	5	23	11	32.818	- 6	15	3.71	29.473 743 5		20	23	8	28.030	- 6	35	58.42	28.980 317 3	
	6	23	11	30.944	- 6	15	18.06	29.458 750 6		21	23	8	22.326	- 6	36	35.49	28.975 240 6	
	7	23	11	28.958	- 6	15	33.10	29.443 888 7		22	23	8	16.581	- 6	37	12.79	28.970 444 6	
	8	23	11	26.861	- 6	15	48.82	29.429 162 3		23	23	8	10.797	- 6	37	50.29	28.965 930 7	
	9	23	11	24.656	- 6	16	5.20	29.414 576 1		24	23	8	4.974	- 6	38	27.99	28.961 700 2	
	10	23	11	22.343	- 6	16	22.24	29.400 134 5		25	23	7	59.114	- 6	39	5.88	28.957 754 4	
	11	23	11	19.924	- 6	16	39.94	29.385 842 2		26	23	7	53.220	- 6	39	43.95	28.954 094 6	
	12	23	11	17.398	- 6	16	58.28	29.371 703 8		27	23	7	47.292	- 6	40	22.18	28.950 721 8	
	13	23	11	14.765	- 6	17	17.29	29.357 724 1		28	23	7	41.335	- 6	41	0.55	28.947 637 4	
	14	23	11	12.024	- 6	17	36.97	29.343 907 5		29	23	7	35.349	- 6	41	39.05	28.944 842 3	
	15	23	11	9.174	- 6	17	57.32	29.330 258 6		30	23	7	29.339	- 6	42	17.66	28.942 337 8	
	16	23	11	6.215	- 6	18	18.33	29.316 781 7		31	23	7	23.307	- 6	42	56.35	28.940 124 9	
	17	23	11	3.150	- 6	18	39.98	29.303 480 9		<b>Sept.</b>	1	23	7	17.256	- 6	43	35.10	28.938 204 7
	18	23	10	59.981	- 6	19	2.26	29.290 360 2		2	23	7	11.191	- 6	44	13.91	28.936 578 4	
	19	23	10	56.712	- 6	19	25.14	29.277 423 4		3	23	7	5.112	- 6	44	52.74	28.935 246 8	
20	23	10	53.344	- 6	19	48.61	29.264 674 0	4	23	6	59.023	- 6	45	31.60	28.934 211 0			
21	23	10	49.881	- 6	20	12.66	29.252 115 9	5	23	6	52.925	- 6	46	10.48	28.933 472 1			
22	23	10	46.323	- 6	20	37.28	29.239 752 3	6	23	6	46.818	- 6	46	49.37	28.933 030 8			
23	23	10	42.673	- 6	21	2.45	29.227 586 7	7	23	6	40.703	- 6	47	28.27	28.932 887 9			
24	23	10	38.931	- 6	21	28.18	29.215 622 5	8	23	6	34.581	- 6	48	7.17	28.933 044 0			
25	23	10	35.098	- 6	21	54.46	29.203 862 9	9	23	6	28.454	- 6	48	46.06	28.933 499 7			
26	23	10	31.175	- 6	22	21.28	29.192 311 4	10	23	6	22.325	- 6	49	24.91	28.934 255 0			
27	23	10	27.162	- 6	22	48.65	29.180 971 0	11	23	6	16.199	- 6	50	3.70	28.935 309 9			
28	23	10	23.059	- 6	23	16.55	29.169 845 0	12	23	6	10.078	- 6	50	42.39	28.936 664 3			
29	23	10	18.868	- 6	23	44.97	29.158 936 7	13	23	6	3.968	- 6	51	20.97	28.938 317 6			
30	23	10	14.591	- 6	24	13.92	29.148 249 1	14	23	5	57.872	- 6	51	59.42	28.940 269 2			
31	23	10	10.227	- 6	24	43.36	29.137 785 6	15	23	5	51.792	- 6	52	37.71	28.942 518 5			
<b>Août</b>	1	23	10	5.780	- 6	25	13.30	29.127 549 1	16	23	5	45.730	- 6	53	15.85	28.945 064 6		
2	23	10	1.252	- 6	25	43.72	29.117 543 0	17	23	5	39.689	- 6	53	53.83	28.947 906 6			
3	23	9	56.644	- 6	26	14.59	29.107 770 4	18	23	5	33.669	- 6	54	31.62	28.951 043 4			
4	23	9	51.960	- 6	26	45.91	29.098 234 4	19	23	5	27.673	- 6	55	9.23	28.954 474 1			
5	23	9	47.202	- 6	27	17.66	29.088 938 3	20	23	5	21.701	- 6	55	46.64	28.958 197 5			
6	23	9	42.372	- 6	27	49.81	29.079 885 3	21	23	5	15.756	- 6	56	23.85	28.962 212 3			
7	23	9	37.473	- 6	28	22.37	29.071 078 6	22	23	5	9.839	- 6	57	0.84	28.966 517 5			
8	23	9	32.507	- 6	28	55.32	29.062 521 3	23	23	5	3.952	- 6	57	37.59	28.971 111 7			
9	23	9	27.472	- 6	29	28.66	29.054 216 7	24	23	4	58.098	- 6	58	14.09	28.975 993 5			
10	23	9	22.370	- 6	30	2.40	29.046 167 9	25	23	4	52.280	- 6	58	50.32	28.981 161 7			
11	23	9	17.200	- 6	30	36.52	29.038 377 9	26	23	4	46.500	- 6	59	26.27	28.986 614 9			
12	23	9	11.964	- 6	31	11.04	29.030 849 5	27	23	4	40.762	- 7	0	1.90	28.992 351 6			
13	23	9	6.663	- 6	31	45.91	29.023 585 4	28	23	4	35.068	- 7	0	37.21	28.998 370 4			
14	23	9	1.300	- 6	32	21.14	29.016 588 0	29	23	4	29.423	- 7	1	12.17	29.004 670 0			
15	23	8	55.880	- 6	32	56.67	29.009 859 5	30	23	4	23.828	- 7	1	46.77	29.011 248 8			
16	23	8	50.406	- 6	33	32.50	29.003 402 0	<b>Oct.</b>	1	23	4	18.285	- 7	2	21.00	29.018 105 4		
17	23	8	44.882	- 6	34	8.61	28.997 217 3	2	23	4	12.796	- 7	2	54.87	29.025 238 3			

## NEPTUNE 2018 à 0h TT

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

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Oct.	3	23	4	7.362	- 7	3	28.35	29.032 645 7	Nov.	18	23	1	29.165	- 7	19	3.05	29.617 238 5
	4	23	4	1.984	- 7	4	1.45	29.040 325 9		19	23	1	28.286	- 7	19	6.96	29.633 766 7
	5	23	3	56.661	- 7	4	34.17	29.048 277 1		20	23	1	27.533	- 7	19	10.09	29.650 382 3
	6	23	3	51.397	- 7	5	6.49	29.056 497 3		21	23	1	26.906	- 7	19	12.41	29.667 080 3
	7	23	3	46.192	- 7	5	38.39	29.064 984 1		22	23	1	26.407	- 7	19	13.92	29.683 855 8
	8	23	3	41.050	- 7	6	9.86	29.073 735 2		23	23	1	26.038	- 7	19	14.62	29.700 703 8
	9	23	3	35.976	- 7	6	40.86	29.082 747 8		24	23	1	25.799	- 7	19	14.51	29.717 619 6
	10	23	3	30.972	- 7	7	11.38	29.092 019 2		25	23	1	25.690	- 7	19	13.58	29.734 598 4
	11	23	3	26.043	- 7	7	41.40	29.101 546 3		26	23	1	25.710	- 7	19	11.86	29.751 635 3
	12	23	3	21.191	- 7	8	10.90	29.111 325 9		27	23	1	25.857	- 7	19	9.35	29.768 725 7
	13	23	3	16.418	- 7	8	39.87	29.121 354 8		28	23	1	26.130	- 7	19	6.06	29.785 864 5
	14	23	3	11.724	- 7	9	8.31	29.131 629 6		29	23	1	26.528	- 7	19	2.00	29.803 046 8
15	23	3	7.113	- 7	9	36.21	29.142 146 9	30	23	1	27.051	- 7	18	57.15	29.820 267 6		
16	23	3	2.583	- 7	10	3.58	29.152 903 2	Déc.	1	23	1	27.701	- 7	18	51.51	29.837 521 5	
17	23	2	58.137	- 7	10	30.39	29.163 895 1		2	23	1	28.478	- 7	18	45.08	29.854 803 4	
18	23	2	53.775	- 7	10	56.65	29.175 118 9	3	23	1	29.384	- 7	18	37.84	29.872 107 7		
19	23	2	49.499	- 7	11	22.35	29.186 571 1	4	23	1	30.421	- 7	18	29.78	29.889 428 9		
20	23	2	45.310	- 7	11	47.47	29.198 248 1	5	23	1	31.589	- 7	18	20.90	29.906 761 6		
21	23	2	41.209	- 7	12	12.01	29.210 146 2	6	23	1	32.890	- 7	18	11.21	29.924 099 9		
22	23	2	37.199	- 7	12	35.95	29.222 261 8	7	23	1	34.323	- 7	18	0.70	29.941 438 3		
23	23	2	33.283	- 7	12	59.28	29.234 591 2	8	23	1	35.886	- 7	17	49.38	29.958 771 1		
24	23	2	29.462	- 7	13	21.97	29.247 130 7	9	23	1	37.579	- 7	17	37.27	29.976 092 8		
25	23	2	25.739	- 7	13	44.02	29.259 876 7	10	23	1	39.401	- 7	17	24.37	29.993 397 6		
26	23	2	22.117	- 7	14	5.42	29.272 825 6	11	23	1	41.350	- 7	17	10.68	30.010 680 2		
27	23	2	18.597	- 7	14	26.14	29.285 973 6	12	23	1	43.426	- 7	16	56.23	30.027 934 9		
28	23	2	15.182	- 7	14	46.19	29.299 317 3	13	23	1	45.626	- 7	16	41.00	30.045 156 3		
29	23	2	11.872	- 7	15	5.57	29.312 852 8	14	23	1	47.951	- 7	16	25.00	30.062 339 1		
30	23	2	8.666	- 7	15	24.28	29.326 576 5	15	23	1	50.401	- 7	16	8.23	30.079 478 0		
31	23	2	5.565	- 7	15	42.31	29.340 484 6	16	23	1	52.974	- 7	15	50.70	30.096 567 8		
Nov.	1	23	2	2.569	- 7	15	59.68	29.354 573 1	17	23	1	55.672	- 7	15	32.39	30.113 603 3	
2	23	1	59.678	- 7	16	16.37	29.368 838 1	18	23	1	58.495	- 7	15	13.32	30.130 579 4		
3	23	1	56.894	- 7	16	32.38	29.383 275 2	19	23	2	1.443	- 7	14	53.47	30.147 491 3		
4	23	1	54.218	- 7	16	47.69	29.397 880 1	20	23	2	4.515	- 7	14	32.85	30.164 334 0		
5	23	1	51.654	- 7	17	2.27	29.412 648 4	21	23	2	7.713	- 7	14	11.46	30.181 102 8		
6	23	1	49.204	- 7	17	16.13	29.427 575 2	22	23	2	11.036	- 7	13	49.31	30.197 793 0		
7	23	1	46.871	- 7	17	29.23	29.442 655 8	23	23	2	14.481	- 7	13	26.41	30.214 400 1		
8	23	1	44.658	- 7	17	41.57	29.457 885 2	24	23	2	18.046	- 7	13	2.78	30.230 919 6		
9	23	1	42.564	- 7	17	53.15	29.473 258 3	25	23	2	21.727	- 7	12	38.45	30.247 346 9		
10	23	1	40.591	- 7	18	3.97	29.488 770 1	26	23	2	25.524	- 7	12	13.42	30.263 677 4		
11	23	1	38.739	- 7	18	14.02	29.504 415 5	27	23	2	29.434	- 7	11	47.70	30.279 906 7		
12	23	1	37.008	- 7	18	23.31	29.520 189 2	28	23	2	33.457	- 7	11	21.28	30.296 029 8		
13	23	1	35.398	- 7	18	31.84	29.536 086 1	29	23	2	37.594	- 7	10	54.17	30.312 042 1		
14	23	1	33.909	- 7	18	39.62	29.552 101 0	30	23	2	41.845	- 7	10	26.35	30.327 938 5		
15	23	1	32.540	- 7	18	46.63	29.568 228 9	31	23	2	46.211	- 7	9	57.83	30.343 714 3		
16	23	1	31.293	- 7	18	52.87	29.584 464 5	32	23	2	50.692	- 7	9	28.61	30.359 364 5		
17	23	1	30.168	- 7	18	58.35	29.600 802 8	33	23	2	55.287	- 7	8	58.68	30.374 884 1		



# PLUTON ET ASTÉROÏDES

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

PLUTON .....	II. 92
CÉRÈS .....	II. 93
PALLAS .....	II. 94
JUNON .....	II. 95
VESTA .....	II. 96

## PLUTON 2018 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	19	19	53.338	-21	42	33.94	34.445 381 66	<b>Juill.</b>	3	19	26	23.891	-21	46	3.18	32.589 984 19	
	4	19	20	28.180	-21	41	49.81	34.456 745 92		7	19	25	59.332	-21	47	17.06	32.584 053 66	
	8	19	21	3.193	-21	41	4.65	34.463 451 36		11	19	25	34.560	-21	48	31.22	32.582 774 35	
	12	19	21	38.248	-21	40	18.71	34.465 460 80		15	19	25	9.727	-21	49	45.33	32.586 187 82	
	16	19	22	13.211	-21	39	32.26	34.462 759 41		19	19	24	44.995	-21	50	59.07	32.594 292 21	
	20	19	22	47.942	-21	38	45.60	34.455 365 50		23	19	24	20.514	-21	52	12.14	32.607 042 44	
	24	19	23	22.300	-21	37	59.01	34.443 333 46		27	19	23	56.429	-21	53	24.24	32.624 373 92	
	28	19	23	56.152	-21	37	12.78	34.426 752 77		31	19	23	32.874	-21	54	35.09	32.646 214 17	
<b>Févr.</b>	1	19	24	29.375	-21	36	27.19	34.405 736 96	<b>Août</b>	4	19	23	9.984	-21	55	44.43	32.672 483 67	
	5	19	25	1.855	-21	35	42.52	34.380 400 31		8	19	22	47.894	-21	56	51.98	32.703 092 92	
	9	19	25	33.476	-21	34	59.07	34.350 855 74			12	19	22	26.744	-21	57	57.49	32.737 931 63
	13	19	26	4.115	-21	34	17.12	34.317 238 18			16	19	22	6.676	-21	59	0.70	32.776 846 84
	17	19	26	33.651	-21	33	36.98	34.279 713 78			20	19	21	47.815	-22	0	1.40	32.819 647 18
	21	19	27	1.969	-21	32	58.92	34.238 481 12		24	19	21	30.273	-22	0	59.38	32.866 128 43	
	25	19	27	28.960	-21	32	23.22	34.193 768 03		28	19	21	14.152	-22	1	54.45	32.916 084 41	
<b>Mars</b>	1	19	27	54.532	-21	31	50.14	34.145 816 87	<b>Sept.</b>	1	19	20	59.547	-22	2	46.43	32.969 305 85	
	5	19	28	18.604	-21	31	19.91	34.094 863 32		5	19	20	46.550	-22	3	35.16	33.025 577 39	
	9	19	28	41.093	-21	30	52.79	34.041 137 71		9	19	20	35.257	-22	4	20.49	33.084 664 42	
	13	19	29	1.916	-21	30	28.99	33.984 887 39		13	19	20	25.754	-22	5	2.26	33.146 295 59	
	17	19	29	20.992	-21	30	8.74	33.926 384 09		17	19	20	18.112	-22	5	40.38	33.210 170 80	
	21	19	29	38.249	-21	29	52.23	33.865 924 71		21	19	20	12.383	-22	6	14.75	33.275 988 32	
	25	19	29	53.629	-21	29	39.65	33.803 825 85		25	19	20	8.608	-22	6	45.28	33.343 452 37	
	29	19	30	7.089	-21	29	31.12	33.740 405 46		29	19	20	6.818	-22	7	11.91	33.412 272 93	
<b>Avril</b>	2	19	30	18.600	-21	29	26.78	33.675 964 60	<b>Oct.</b>	3	19	20	7.046	-22	7	34.59	33.482 160 58	
	6	19	30	28.132	-21	29	26.73	33.610 793 42		7	19	20	9.318	-22	7	53.26	33.552 811 59	
	10	19	30	35.657	-21	29	31.06	33.545 191 05			11	19	20	13.653	-22	8	7.89	33.623 894 96
	14	19	30	41.151	-21	29	39.85	33.479 472 63			15	19	20	20.053	-22	8	18.48	33.695 064 88
	18	19	30	44.603	-21	29	53.13	33.413 968 32			19	19	20	28.499	-22	8	25.05	33.765 985 61
	22	19	30	46.016	-21	30	10.91	33.349 017 15		23	19	20	38.963	-22	8	27.60	33.836 338 12	
	26	19	30	45.414	-21	30	33.16	33.284 945 34		27	19	20	51.411	-22	8	26.18	33.905 818 96	
<b>Mai</b>	30	19	30	42.829	-21	30	59.83	33.222 050 95	<b>Nov.</b>	31	19	21	5.807	-22	8	20.84	33.974 133 92	
	4	19	30	38.294	-21	31	30.85	33.160 615 87		4	19	21	22.114	-22	8	11.62	34.040 981 25	
	8	19	30	31.845	-21	32	6.15	33.100 923 17		8	19	21	40.283	-22	7	58.61	34.106 042 48	
	12	19	30	23.523	-21	32	45.59	33.043 262 15		12	19	22	0.250	-22	7	41.89	34.168 999 61	
	16	19	30	13.383	-21	33	29.06	32.987 927 10		16	19	22	21.935	-22	7	21.57	34.229 556 81	
	20	19	30	1.496	-21	34	16.37	32.935 210 84		20	19	22	45.250	-22	6	57.78	34.287 444 25	
	24	19	29	47.949	-21	35	7.33	32.885 378 80		24	19	23	10.104	-22	6	30.66	34.342 417 80	
	28	19	29	32.838	-21	36	1.71	32.838 660 13		28	19	23	36.409	-22	6	0.35	34.394 250 52	
<b>Juin</b>	1	19	29	16.257	-21	36	59.30	32.795 262 79	<b>Déc.</b>	2	19	24	4.075	-22	5	27.00	34.442 713 69	
	5	19	28	58.299	-21	37	59.86	32.755 389 82		6	19	24	33.003	-22	4	50.79	34.487 572 31	
	9	19	28	39.067	-21	39	3.12	32.719 242 24			10	19	25	3.082	-22	4	11.90	34.528 605 37
	13	19	28	18.670	-21	40	8.81	32.687 017 85			14	19	25	34.188	-22	3	30.56	34.565 623 08
	17	19	27	57.236	-21	41	16.65	32.658 902 49			18	19	26	6.195	-22	2	46.96	34.598 469 79
	21	19	27	34.903	-21	42	26.31	32.635 045 17		22	19	26	38.977	-22	2	1.36	34.627 021 18	
	25	19	27	11.811	-21	43	37.49	32.615 551 91		26	19	27	12.412	-22	1	13.98	34.651 175 29	
	29	19	26	48.096	-21	44	49.88	32.600 506 35		30	19	27	46.385	-22	0	25.07	34.670 832 45	

## CÉRÈS 2018 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	9	33	16.551	25	58	15.25	1.743 994 44	Juill.	3	10	27	41.691	19	7	51.73	3.074 206 67
	4	9	31	56.948	26	29	21.53	1.712 520 21		7	10	33	47.845	18	26	12.58	3.112 577 41
	8	9	30	9.488	27	1	44.18	1.684 541 48		11	10	39	56.834	17	43	56.37	3.149 750 71
	12	9	27	55.239	27	34	55.51	1.660 305 45		15	10	46	8.394	17	1	5.40	3.185 663 60
	16	9	25	16.083	28	8	23.17	1.640 045 33		19	10	52	22.190	16	17	42.46	3.220 258 39
Févr.	20	9	22	14.756	28	41	31.65	1.623 958 50	Août	23	10	58	37.898	15	33	50.34	3.253 501 22
	24	9	18	54.799	29	13	44.08	1.612 192 20		27	11	4	55.285	14	49	31.59	3.285 372 81
	28	9	15	20.408	29	44	24.43	1.604 834 05		31	11	11	14.200	14	4	48.53	3.315 853 14
	1	9	11	36.180	30	12	59.60	1.601 913 03		4	11	17	34.553	13	19	43.44	3.344 915 21
	5	9	7	46.894	30	39	0.45	1.603 421 55		8	11	23	56.279	12	34	18.63	3.372 519 82
Mars	9	9	3	57.584	31	2	1.88	1.609 328 22	Sept.	12	11	30	19.293	11	48	36.73	3.398 614 56
	13	9	0	13.518	31	21	44.00	1.619 559 38		16	11	36	43.435	11	2	40.86	3.423 149 03
	17	8	56	39.921	31	37	53.33	1.633 988 38		20	11	43	8.533	10	16	34.22	3.446 096 53
	21	8	53	21.689	31	50	23.21	1.652 435 33		24	11	49	34.480	9	30	19.71	3.467 444 57
	25	8	50	23.101	31	59	13.63	1.674 672 17		28	11	56	1.237	8	44	0.03	3.487 180 62
Avril	1	8	47	47.571	32	4	30.22	1.700 440 81	Oct.	1	12	2	28.806	7	57	37.71	3.505 285 38
	5	8	45	37.624	32	6	22.28	1.729 482 69		5	12	8	57.206	7	11	15.32	3.521 727 10
	9	8	43	55.144	32	5	0.93	1.761 550 62		9	12	15	26.429	6	24	55.67	3.536 460 42
	13	8	42	41.511	32	0	38.50	1.796 393 26		13	12	21	56.384	5	38	42.06	3.549 441 43
	17	8	41	57.558	31	53	28.22	1.833 748 56		17	12	28	26.956	4	52	37.90	3.560 648 63
Mai	21	8	41	43.568	31	43	43.72	1.873 343 89	Nov.	21	12	34	58.072	4	6	46.34	3.570 075 77
	25	8	41	59.250	31	31	38.59	1.914 900 48		25	12	41	29.713	3	21	10.24	3.577 718 23
	29	8	42	43.747	31	17	25.73	1.958 150 36		29	12	48	1.893	2	35	52.29	3.583 565 52
	2	8	43	55.826	31	1	16.51	2.002 857 50		3	12	54	34.638	1	50	55.14	3.587 594 92
	6	8	45	34.146	30	43	20.32	2.048 817 29		7	13	1	7.935	1	6	21.66	3.589 769 90
Juin	10	8	47	37.378	30	23	45.03	2.095 837 71	Déc.	11	13	7	41.687	0	22	15.14	3.590 056 34
	14	8	50	4.161	30	2	37.45	2.143 728 86		15	13	14	15.754	-0	21	20.98	3.588 441 07
	18	8	52	53.099	29	40	3.58	2.192 300 16		19	13	20	50.027	-1	4	23.51	3.584 927 79
	22	8	56	2.688	29	16	8.89	2.241 360 48		23	13	27	24.431	-1	46	49.61	3.579 523 83
	26	8	59	31.300	28	50	58.27	2.290 734 77		27	13	33	58.925	-2	28	36.66	3.572 232 90
Juillet	30	9	3	17.309	28	24	35.63	2.340 280 62	Nov.	31	13	40	33.474	-3	9	42.19	3.563 046 33
	4	9	7	19.245	27	57	3.86	2.389 881 83		4	13	47	7.994	-3	50	3.53	3.551 942 06
	8	9	11	35.816	27	28	25.18	2.439 430 25		8	13	53	42.306	-4	29	37.65	3.538 901 45
	12	9	16	5.856	26	58	41.56	2.488 816 45		12	14	0	16.180	-5	8	21.41	3.523 926 68
	16	9	20	48.273	26	27	54.85	2.537 926 02		16	14	6	49.397	-5	46	11.99	3.507 037 83
Août	20	9	25	41.977	25	56	7.13	2.586 638 15	Déc.	20	14	13	21.764	-6	23	6.91	3.488 260 88
	24	9	30	45.830	25	23	20.63	2.634 844 62		24	14	19	53.114	-6	59	4.05	3.467 620 69
	28	9	35	58.747	24	49	37.33	2.682 464 85		28	14	26	23.288	-7	34	1.52	3.445 130 48
	1	9	41	19.804	24	14	58.79	2.729 438 31		2	14	32	52.066	-8	7	57.33	3.420 789 48
	5	9	46	48.230	23	39	26.35	2.775 706 96		6	14	39	19.121	-8	40	49.20	3.394 601 81
Sept.	9	9	52	23.367	23	3	1.36	2.821 208 34	Janv.	10	14	45	44.063	-9	12	34.86	3.366 592 91
	13	9	58	4.620	22	25	45.30	2.865 870 83		14	14	52	6.496	-9	43	12.38	3.336 807 01
	17	10	3	51.396	21	47	40.07	2.909 612 23		18	14	58	26.048	-10	12	40.28	3.305 295 68
	21	10	9	43.046	21	8	47.96	2.952 358 63		22	15	4	42.362	-10	40	57.53	3.272 112 56
	25	10	15	38.954	20	29	11.24	2.994 061 59		26	15	10	55.095	-11	8	3.46	3.237 300 00
Oct.	29	10	21	38.628	19	48	51.89	3.034 688 44	Févr.	30	15	17	3.836	-11	33	57.39	3.200 886 31

## PALLAS 2018 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	2	33	46.430	-26	1	26.48	1.978 360 99	<b>Juill.</b>	3	7	32	29.422	1	51	19.11	3.025 970 82		
	4	2	34	45.002	-25	25	35.05	2.009 197 58		7	7	41	21.399	1	53	23.66	3.036 720 04		
	8	2	36	9.434	-24	46	51.93	2.040 421 11		11	7	50	12.676	1	53	39.04	3.046 758 36		
	12	2	37	59.049	-24	5	37.78	2.071 902 45		15	7	59	2.917	1	52	8.04	3.056 028 17		
	16	2	40	13.098	-23	22	12.56	2.103 510 14		19	8	7	51.732	1	48	54.28	3.064 485 76		
	20	2	42	50.709	-22	36	55.45	2.135 116 15	23	8	16	38.802	1	44	2.07	3.072 105 12			
	24	2	45	50.881	-21	50	4.62	2.166 601 91	27	8	25	23.908	1	37	35.84	3.078 860 83			
	28	2	49	12.512	-21	1	56.89	2.197 865 65	31	8	34	6.895	1	29	39.97	3.084 717 27			
<b>Févr.</b>	1	2	52	54.445	-20	12	47.07	2.228 832 58	<b>Août</b>	4	8	42	47.631	1	20	18.72	3.089 627 46		
	5	2	56	55.637	-19	22	47.52	2.259 454 65		8	8	51	25.980	1	9	36.38	3.093 532 56		
	9	3	1	15.222	-18	32	9.30	2.289 687 74		12	9	0	1.753	0	57	37.49	3.096 367 35		
	13	3	5	52.407	-17	41	3.31	2.319 480 83		16	9	8	34.703	0	44	27.31	3.098 079 30		
	17	3	10	46.392	-16	49	40.37	2.348 781 94		20	9	17	4.634	0	30	11.62	3.098 637 33		
	21	3	15	56.354	-15	58	11.05	2.377 543 30	24	9	25	31.447	0	14	56.15	3.098 014 65			
	25	3	21	21.428	-15	6	45.33	2.405 729 36	28	9	33	55.103	-	0	1	13.59	3.096 177 28		
<b>Mars</b>	1	3	27	0.754	-14	15	32.10	2.433 326 65	<b>Sept.</b>	1	9	42	15.587	-	0	18	12.28	3.093 081 98	
	5	3	32	53.585	-13	24	38.77	2.460 342 70		5	9	50	32.876	-	0	35	54.65	3.088 674 43	
	9	3	38	59.341	-12	34	12.12	2.486 785 41		9	9	58	46.885	-	0	54	15.22	3.082 894 85	
	13	3	45	17.506	-11	44	19.15	2.512 651 39		13	10	6	57.460	-	1	13	7.81	3.075 696 18	
	17	3	51	47.561	-10	55	7.15	2.537 931 24		17	10	15	4.476	-	1	32	25.83	3.067 055 28	
	21	3	58	28.953	-10	6	43.52	2.562 613 82	21	10	23	7.886	-	1	52	2.80	3.056 957 15		
	25	4	5	21.071	-	9	19	15.45	2.586 695 18	25	10	31	7.696	-	2	11	52.52	3.045 383 46	
	29	4	12	23.292	-	8	32	49.35	2.610 189 70	29	10	39	3.930	-	2	31	49.03	3.032 308 14	
<b>Avril</b>	2	4	19	35.073	-	7	47	30.57	2.633 128 01	<b>Oct.</b>	3	10	46	56.594	-	2	51	46.45	3.017 695 15
	6	4	26	55.996	-	7	3	24.04	2.655 538 49		7	10	54	45.615	-	3	11	38.56	3.001 503 71
	10	4	34	25.688	-	6	20	34.90	2.677 435 64		11	11	2	30.841	-	3	31	18.46	2.983 707 11
	14	4	42	3.760	-	5	39	8.52	2.698 823 61		15	11	10	12.115	-	3	50	38.79	2.964 303 55
	18	4	49	49.777	-	4	59	10.39	2.719 699 42		19	11	17	49.343	-	4	9	32.32	2.943 303 56
	22	4	57	43.223	-	4	20	45.81	2.740 062 59	23	11	25	22.466	-	4	27	52.09	2.920 717 65	
	26	5	5	43.547	-	3	43	59.28	2.759 928 15	27	11	32	51.440	-	4	45	31.33	2.896 551 22	
<b>Mai</b>	30	5	13	50.262	-	3	8	54.33	2.779 324 96	<b>Nov.</b>	31	11	40	16.191	-	5	2	23.33	2.870 799 72
	4	5	22	2.977	-	2	35	34.06	2.798 277 62		4	11	47	36.543	-	5	18	20.91	2.843 454 96
	8	5	30	21.340	-	2	4	1.62	2.816 796 10		8	11	54	52.218	-	5	33	16.06	2.814 524 81
	12	5	38	44.981	-	1	34	20.19	2.834 877 07		12	12	2	2.910	-	5	47	0.30	2.784 043 16
	16	5	47	13.486	-	1	6	32.92	2.852 506 75		16	12	9	8.349	-	5	59	25.21	2.752 059 49
	20	5	55	46.355	-	0	40	42.67	2.869 668 86	20	12	16	8.286	-	6	10	22.58	2.718 626 86	
	24	6	4	23.043	-	0	16	51.39	2.886 361 93	24	12	23	2.478	-	6	19	44.35	2.683 795 82	
	28	6	13	3.065	0	4	59.94	2.902 597 43	28	12	29	50.640	-	6	27	22.45	2.647 607 72		
<b>Juin</b>	1	6	21	46.028	0	24	50.76	2.918 382 69	<b>Déc.</b>	2	12	36	32.357	-	6	33	8.14	2.610 100 78	
	5	6	30	31.583	0	42	40.61	2.933 710 79		6	12	43	7.078	-	6	36	51.73	2.571 332 28	
	9	6	39	19.379	0	58	29.10	2.948 560 65		10	12	49	34.206	-	6	38	23.04	2.531 387 43	
	13	6	48	9.033	1	12	15.98	2.962 899 10		14	12	55	53.149	-	6	37	31.94	2.490 370 34	
	17	6	57	0.092	1	24	1.39	2.976 687 39		18	13	2	3.327	-	6	34	8.49	2.448 391 34	
	21	7	5	52.051	1	33	46.35	2.989 900 81	22	13	8	4.155	-	6	28	2.92	2.405 562 65		
	25	7	14	44.475	1	41	32.78	3.002 529 57	26	13	13	54.996	-	6	19	5.46	2.361 988 01		
	29	7	23	37.026	1	47	22.94	3.014 561 31	30	13	19	35.057	-	6	7	5.58	2.317 770 01		

## JUNON 2018 à 0h TT

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

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

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	20	25	49.414	-13	21	51.89	3.494 110 11	Juill.	3	1	57	51.084	8	44	27.67	2.281 070 35
	4	20	32	37.163	-13	7	26.71	3.506 684 24		7	2	5	4.269	9	2	7.74	2.231 079 67
	8	20	39	28.313	-12	51	36.59	3.517 176 71		11	2	12	14.764	9	17	52.01	2.180 965 79
	12	20	46	22.600	-12	34	22.96	3.525 564 39		15	2	19	21.877	9	31	33.36	2.130 794 56
	16	20	53	19.712	-12	15	47.55	3.531 823 02		19	2	26	24.936	9	43	5.09	2.080 651 06
Févr.	20	21	0	19.311	-11	55	52.47	3.535 938 70	Août	23	2	33	23.334	9	52	21.31	2.030 614 75
	24	21	7	21.062	-11	34	40.11	3.537 912 56		27	2	40	16.425	9	59	16.37	1.980 747 59
	28	21	14	24.655	-11	12	13.15	3.537 763 69		31	2	47	3.435	10	3	44.48	1.931 102 28
	1	21	21	29.866	-10	48	34.28	3.535 525 65		4	2	53	43.439	10	5	39.54	1.881 730 51
	5	21	28	36.568	-10	23	46.07	3.531 226 22		8	3	0	15.333	10	4	55.23	1.832 691 47
Mars	9	21	35	44.646	-9	57	51.06	3.524 873 86	Sept.	12	3	6	37.860	10	1	25.18	1.784 063 26
	13	21	42	53.939	-9	30	52.14	3.516 473 53		16	3	12	49.754	9	55	3.94	1.735 947 16
	17	21	50	4.257	-9	2	52.50	3.506 038 58		20	3	18	49.837	9	45	47.32	1.688 442 06
	21	21	57	15.402	-8	33	55.65	3.493 595 81		24	3	24	36.885	9	33	31.84	1.641 632 78
	25	22	4	27.201	-8	4	5.29	3.479 189 58		28	3	30	9.537	9	18	14.25	1.595 597 08
Avril	1	22	11	39.557	-7	33	25.08	3.462 877 31	Oct.	1	3	35	26.254	8	59	51.63	1.550 414 93
	5	22	18	52.463	-7	1	58.40	3.444 710 65		5	3	40	25.299	8	38	21.52	1.506 177 52
	9	22	26	5.929	-6	29	48.59	3.424 721 78		9	3	45	4.784	8	13	42.57	1.463 000 33
	13	22	33	19.917	-5	56	59.25	3.402 936 41		13	3	49	22.870	7	45	55.77	1.421 024 94
	17	22	40	34.353	-5	23	34.34	3.379 386 01		17	3	53	17.903	7	15	4.89	1.380 395 78
Mai	21	22	47	49.142	-4	49	38.11	3.354 113 59	Nov.	21	3	56	48.296	6	41	15.87	1.341 246 38
	25	22	55	4.201	-4	15	15.02	3.327 179 43		25	3	59	52.436	6	4	36.69	1.303 706 72
	29	23	2	19.516	-3	40	29.37	3.298 656 07		29	4	2	28.668	5	25	17.70	1.267 911 29
	2	23	9	35.157	-3	5	25.14	3.268 609 15		3	4	4	35.324	4	43	32.25	1.234 009 14
	6	23	16	51.210	-2	30	6.20	3.237 085 33		7	4	6	10.859	3	59	38.04	1.202 175 78
Juin	10	23	24	7.706	-1	54	36.70	3.204 121 95	Déc.	11	4	7	14.185	3	13	58.70	1.172 608 72
	14	23	31	24.633	-1	19	1.15	3.169 759 86		15	4	7	44.869	2	27	3.78	1.145 502 20
	18	23	38	41.937	-0	43	24.41	3.134 048 62		19	4	7	43.055	1	39	27.52	1.121 031 04
	22	23	45	59.558	-0	7	51.59	3.097 055 60		23	4	7	9.402	0	51	48.19	1.099 354 82
	26	23	53	17.502	0	27	32.38	3.058 860 22		27	4	6	5.100	0	4	47.63	1.080 621 99
Juillet	30	0	0	35.849	1	2	43.01	3.019 534 12	Janv.	31	4	4	31.909	-0	40	49.11	1.064 977 98
	4	0	7	54.689	1	37	35.87	2.979 129 93		4	4	2	32.367	-1	24	13.61	1.052 571 15
	8	0	15	14.051	2	12	6.27	2.937 690 02		8	4	0	10.077	-2	4	35.05	1.043 538 67
	12	0	22	33.904	2	46	9.11	2.895 257 29		12	3	57	29.686	-2	41	3.65	1.037 977 48
	16	0	29	54.154	3	19	38.85	2.851 881 71		16	3	54	36.511	-3	12	54.70	1.035 932 44
Août	20	0	37	14.675	3	52	29.64	2.807 630 86	Févr.	20	3	51	36.196	-3	39	30.95	1.037 403 67
	24	0	44	35.396	4	24	35.87	2.762 585 78		24	3	48	34.420	-4	0	24.17	1.042 354 88
	28	0	51	56.319	4	55	52.37	2.716 819 43		28	3	45	36.678	-4	15	15.35	1.050 728 45
	1	0	59	17.439	5	26	14.09	2.670 385 49		2	3	42	48.284	-4	23	53.69	1.062 456 45
	5	1	6	38.682	5	55	35.68	2.623 327 59		6	3	40	14.419	-4	26	16.47	1.077 447 57
Sept.	9	1	13	59.884	6	23	51.32	2.575 687 38	Mars	10	3	37	59.842	-4	22	30.38	1.095 570 24
	13	1	21	20.796	6	50	54.76	2.527 513 04		14	3	36	8.526	-4	12	51.22	1.116 656 84
	17	1	28	41.098	7	16	39.32	2.478 869 73		18	3	34	43.479	-3	57	42.03	1.140 520 98
	21	1	36	0.508	7	40	58.66	2.429 838 75		22	3	33	46.741	-3	37	30.88	1.166 969 96
	25	1	43	18.815	8	3	46.98	2.380 493 52		26	3	33	19.480	-3	12	48.27	1.195 824 34
29	1	50	35.784	8	24	58.64	2.330 889 23	30	3	33	22.318	-2	44	4.53	1.226 925 37		



## VESTA 2018 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	15	25	35.915	-13	9	11.25	2.745 089 87	<b>Juill.</b>	3	17	39	30.268	-20	44	11.44	1.164 134 70
	4	15	33	24.236	-13	36	11.22	2.706 931 20		7	17	36	2.255	-21	1	36.12	1.179 020 24
	8	15	41	11.059	-14	1	40.68	2.667 769 69		11	17	32	56.345	-21	18	53.93	1.197 453 60
	12	15	48	55.894	-14	25	38.03	2.627 629 30		15	17	30	16.569	-21	36	1.72	1.219 274 11
	16	15	56	38.156	-14	48	1.86	2.586 550 32		19	17	28	6.179	-21	52	57.65	1.244 273 61
<b>Févr.</b>	20	16	4	17.226	-15	8	51.19	2.544 588 08	23	17	26	27.335	-22	9	40.25	1.272 217 12	
	24	16	11	52.485	-15	28	5.66	2.501 808 72	27	17	25	21.225	-22	26	7.91	1.302 873 88	
	28	16	19	23.347	-15	45	45.59	2.458 282 86	31	17	24	48.363	-22	42	18.93	1.336 027 49	
	1	16	26	49.275	-16	1	51.98	2.414 072 30	<b>Août</b>	4	17	24	48.792	-22	58	11.39	1.371 475 06
	5	16	34	9.687	-16	16	26.23	2.369 218 38		8	17	25	22.248	-23	13	43.23	1.409 023 42
<b>Mars</b>	9	16	41	23.836	-16	29	29.83	2.323 758 58	12	17	26	28.254	-23	28	52.28	1.448 477 59	
	13	16	48	30.852	-16	41	4.61	2.277 746 62	16	17	28	6.030	-23	43	36.05	1.489 626 43	
	17	16	55	29.822	-16	51	12.99	2.231 252 24	20	17	30	14.327	-23	57	51.23	1.532 260 35	
	21	17	2	19.827	-16	59	58.12	2.184 358 02	24	17	32	51.615	-24	11	33.67	1.576 194 16	
	25	17	8	59.993	-17	7	23.91	2.137 152 74	28	17	35	56.305	-24	24	38.80	1.621 269 36	
<b>Avril</b>	1	17	15	29.505	-17	13	35.03	2.089 717 19	<b>Sept.</b>	1	17	39	26.859	-24	37	1.86	1.667 347 55
	5	17	21	47.498	-17	18	36.58	2.042 113 71		5	17	43	21.860	-24	48	38.05	1.714 303 21
	9	17	27	52.919	-17	22	33.92	1.994 401 00		9	17	47	40.024	-24	59	22.73	1.762 008 60
	13	17	33	44.562	-17	25	32.86	1.946 654 85		13	17	52	20.056	-25	9	11.34	1.810 321 56
	17	17	39	21.155	-17	27	39.89	1.898 969 41		17	17	57	20.498	-25	17	59.12	1.859 100 02
<b>Mai</b>	21	17	44	41.412	-17	29	2.18	1.851 455 76	21	18	2	39.833	-25	25	41.18	1.908 223 22	
	25	17	49	44.109	-17	29	47.72	1.804 234 68	25	18	8	16.613	-25	32	12.71	1.957 591 40	
	29	17	54	28.097	-17	30	5.07	1.757 420 71	29	18	14	9.524	-25	37	29.15	2.007 120 63	
	2	17	58	52.166	-17	30	3.13	1.711 113 85	<b>Oct.</b>	3	18	20	17.411	-25	41	26.26	2.056 734 61
	6	18	2	54.898	-17	29	51.02	1.665 414 81		7	18	26	39.272	-25	44	0.21	2.106 349 43
<b>Juin</b>	10	18	6	34.710	-17	29	38.19	1.620 444 50	11	18	33	14.109	-25	45	7.56	2.155 863 93	
	14	18	9	49.975	-17	29	34.50	1.576 347 37	15	18	40	0.821	-25	44	45.14	2.205 173 47	
	18	18	12	39.099	-17	29	50.15	1.533 290 43	19	18	46	58.262	-25	42	50.03	2.254 189 60	
	22	18	15	0.674	-17	30	35.58	1.491 455 32	23	18	54	5.342	-25	39	19.64	2.302 840 88	
	26	18	16	53.503	-17	32	1.05	1.451 019 40	27	19	1	21.074	-25	34	11.77	2.351 069 34	
<b>Juillet</b>	30	18	18	16.449	-17	34	16.29	1.412 148 82	<b>Nov.</b>	31	19	8	44.615	-25	27	24.56	2.398 822 72
	4	18	19	8.329	-17	37	30.18	1.375 015 85		4	19	16	15.246	-25	18	56.60	2.446 038 39
	8	18	19	28.043	-17	41	50.75	1.339 814 98		8	19	23	52.252	-25	8	46.94	2.492 634 81
	12	18	19	14.774	-17	47	24.84	1.306 764 32		12	19	31	34.836	-24	56	55.09	2.538 525 95
	16	18	18	28.183	-17	54	17.84	1.276 101 40		16	19	39	22.161	-24	43	20.97	2.583 638 77
<b>Sept.</b>	20	18	17	8.664	-18	2	33.29	1.248 070 97	20	19	47	13.433	-24	28	4.91	2.627 915 00	
	24	18	15	17.397	-18	12	12.51	1.222 897 40	24	19	55	7.940	-24	11	7.52	2.671 310 01	
	28	18	12	56.151	-18	23	14.17	1.200 778 33	28	20	3	5.099	-23	52	29.71	2.713 785 79	
	1	18	10	7.202	-18	35	34.35	1.181 899 54	<b>Déc.</b>	2	20	11	4.446	-23	32	12.63	2.755 293 18
	5	18	6	53.499	-18	49	6.72	1.166 443 83		6	20	19	5.527	-23	10	17.83	2.795 763 59
<b>Oct.</b>	9	18	3	18.795	-19	3	42.97	1.154 584 85	10	20	27	7.823	-22	46	47.36	2.835 124 28	
	13	17	59	27.728	-19	19	13.27	1.146 476 52	14	20	35	10.784	-22	21	43.67	2.873 313 13	
	17	17	55	25.832	-19	35	27.06	1.142 235 11	18	20	43	13.897	-21	55	9.52	2.910 282 73	
	21	17	51	19.214	-19	52	13.68	1.141 910 79	22	20	51	16.710	-21	27	7.86	2.945 999 17	
	25	17	47	13.960	-20	9	22.77	1.145 490 87	26	20	59	18.887	-20	57	41.71	2.980 437 80	
29	17	43	15.839	-20	26	44.78	1.152 924 32	30	21	7	20.210	-20	26	54.06	3.013 563 95		

# SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS .....	II. 98
DÉIMOS.....	II. 106

## PHOBOS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
<b>Janv.</b>	1 5	5.368	-3.784	<b>Janv.</b>	16 13	5.344	-4.420	<b>Janv.</b>	31 20	6.296	-4.138
	1 13	5.060	-4.171		16 20	5.718	-3.693		<b>Févr.</b>	1 4	6.267
	1 20	5.301	-3.184		17 4	5.746	-4.231	1 12		5.746	-4.528
	2 4	5.379	-3.844		17 12	5.327	-4.434	1 19		6.351	-4.196
	2 12	5.041	-4.203		17 19	5.764	-3.766	2 3		6.286	-4.537
	2 19	5.340	-3.266		18 3	5.761	-4.274	2 11		5.727	-4.516
	3 3	5.389	-3.902		18 11	5.308	-4.445	2 18		6.404	-4.250
	3 11	5.020	-4.232		18 18	5.808	-3.835	3 2		6.304	-4.558
	3 18	5.377	-3.346		19 2	5.773	-4.315	3 10		5.707	-4.501
	4 2	5.397	-3.957		19 10	5.287	-4.452	3 17		6.456	-4.302
	4 10	4.997	-4.257		19 17	5.851	-3.903	4 1		6.319	-4.574
	4 17	5.413	-3.424		20 1	5.784	-4.352	4 9		5.683	-4.481
	5 1	5.403	-4.010		20 9	5.264	-4.456	4 16		6.506	-4.349
	5 9	4.973	-4.280		20 16	5.893	-3.967	5 0		6.332	-4.588
	5 16	5.448	-3.500		21 0	5.793	-4.386	5 7		6.257	-3.843
	6 0	5.408	-4.060		21 8	5.239	-4.456	5 15		6.555	-4.394
6 8	4.947	-4.299	21 15	5.933	-4.029	5 23	6.343	-4.597			
6 15	5.482	-3.574	21 23	5.800	-4.417	6 6	6.337	-3.916			
6 23	5.411	-4.107	22 7	5.212	-4.453	6 14	6.601	-4.435			
7 7	4.919	-4.316	22 14	5.971	-4.089	6 22	6.352	-4.602			
7 14	5.513	-3.646	22 22	5.806	-4.445	7 5	6.417	-3.986			
7 22	5.412	-4.152	23 6	5.183	-4.446	7 13	6.647	-4.473			
8 6	4.889	-4.329	23 13	6.009	-4.145	7 21	6.358	-4.604			
8 13	5.544	-3.716	23 21	5.809	-4.469	8 4	6.495	-4.054			
8 21	5.412	-4.194	24 4	5.809	-3.577	8 12	6.690	-4.507			
9 5	4.857	-4.340	24 12	6.044	-4.199	8 20	6.362	-4.602			
9 12	5.572	-3.783	24 20	5.810	-4.490	9 3	6.572	-4.118			
9 20	5.410	-4.233	25 3	5.874	-3.656	9 11	6.731	-4.538			
10 4	4.824	-4.347	25 11	6.078	-4.249	9 19	6.363	-4.596			
10 11	5.600	-3.848	25 19	5.810	-4.507	10 2	6.648	-4.179			
10 19	5.406	-4.269	26 2	5.938	-3.733	10 10	6.770	-4.564			
11 3	4.788	-4.350	26 10	6.110	-4.297	10 18	6.362	-4.586			
11 10	5.625	-3.911	26 18	5.807	-4.521	11 1	6.722	-4.237			
11 18	5.400	-4.302	27 1	6.001	-3.807	11 9	6.808	-4.587			
12 2	4.751	-4.351	27 9	6.141	-4.341	11 17	6.358	-4.572			
12 9	5.650	-3.971	27 17	5.802	-4.531	12 0	6.795	-4.291			
12 17	5.393	-4.332	28 0	6.063	-3.879	12 8	6.843	-4.607			
13 0	5.521	-3.382	28 8	6.170	-4.382	12 16	6.352	-4.553			
13 8	5.672	-4.028	28 16	5.795	-4.538	12 23	6.867	-4.342			
13 16	5.383	-4.359	28 23	6.123	-3.948	13 7	6.875	-4.622			
13 23	5.572	-3.463	29 7	6.197	-4.420	13 15	6.343	-4.531			
14 7	5.693	-4.083	29 15	5.786	-4.541	13 22	6.937	-4.390			
14 15	5.372	-4.382	29 22	6.182	-4.014	14 6	6.906	-4.633			
14 22	5.622	-3.542	30 6	6.222	-4.455	14 14	6.330	-4.505			
15 6	5.713	-4.135	30 14	5.775	-4.541	14 21	7.005	-4.434			
15 14	5.359	-4.403	30 21	6.240	-4.078	15 5	6.934	-4.641			
15 21	5.671	-3.619	31 5	6.245	-4.486	15 13	6.315	-4.475			
16 5	5.730	-4.185	31 13	5.761	-4.536	15 20	7.072	-4.475			

## PHOBOS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Févr.	16 4	6.960	-4.644	Mars	3 11	7.800	-4.400	Mars	18 19	9.383	-4.563
	16 11	6.735	-4.021		3 19	8.146	-4.656		19 3	8.868	-4.160
	16 19	7.137	-4.511		4 3	7.852	-4.538		19 10	9.284	-4.607
	17 3	6.983	-4.643		4 10	7.916	-4.444		19 18	9.456	-4.532
	17 10	6.834	-4.088		4 18	8.216	-4.660		20 2	8.878	-4.088
	17 18	7.200	-4.544		5 2	7.871	-4.502		20 9	9.412	-4.614
	18 2	7.004	-4.638		5 9	8.030	-4.484		20 17	9.526	-4.496
	18 9	6.933	-4.152		5 17	8.284	-4.660		21 0	8.737	-4.406
	18 17	7.261	-4.573		6 1	7.886	-4.461		21 8	9.537	-4.616
	19 1	7.022	-4.629		6 8	8.142	-4.519		21 16	9.591	-4.455
	19 8	7.030	-4.213		6 16	8.349	-4.655		21 23	8.909	-4.446
	19 16	7.320	-4.598		7 0	7.898	-4.416		22 7	9.659	-4.613
	20 0	7.037	-4.616		7 7	8.252	-4.550		22 15	9.652	-4.409
	20 7	7.126	-4.270		7 15	8.411	-4.646		22 22	9.080	-4.481
	20 15	7.377	-4.619		7 23	7.905	-4.366		23 6	9.778	-4.605
20 23	7.049	-4.599	8 6	8.361	-4.577	23 14	9.709	-4.357			
21 6	7.221	-4.324	8 14	8.470	-4.632	23 21	9.249	-4.511			
21 14	7.431	-4.636	8 22	7.909	-4.312	24 5	9.893	-4.592			
21 22	7.058	-4.577	9 5	8.467	-4.600	24 13	9.760	-4.301			
22 5	7.314	-4.375	9 13	8.525	-4.613	24 20	9.416	-4.537			
22 13	7.483	-4.649	9 21	7.908	-4.253	25 4	10.006	-4.573			
22 21	7.064	-4.551	10 4	8.571	-4.618	25 12	9.807	-4.239			
23 4	7.406	-4.421	10 12	8.578	-4.590	25 19	9.582	-4.557			
23 12	7.533	-4.658	10 19	8.041	-4.328	26 3	10.114	-4.549			
23 20	7.067	-4.520	11 3	8.673	-4.631	26 11	9.849	-4.172			
24 3	7.496	-4.463	11 11	8.626	-4.561	26 18	9.745	-4.572			
24 11	7.580	-4.662	11 18	8.186	-4.378	27 2	10.219	-4.520			
24 19	7.066	-4.486	12 2	8.772	-4.639	27 10	9.885	-4.100			
25 2	7.584	-4.502	12 10	8.671	-4.528	27 17	9.906	-4.582			
25 10	7.624	-4.662	12 17	8.329	-4.422	28 1	10.320	-4.485			
25 18	7.062	-4.446	13 1	8.868	-4.643	28 9	9.916	-4.023			
26 1	7.671	-4.537	13 9	8.712	-4.490	28 16	10.065	-4.587			
26 9	7.666	-4.658	13 16	8.471	-4.462	29 0	10.417	-4.445			
26 17	7.055	-4.403	14 0	8.962	-4.642	29 8	9.942	-3.941			
27 0	7.755	-4.567	14 8	8.749	-4.447	29 15	10.221	-4.586			
27 8	7.705	-4.649	14 15	8.612	-4.498	29 23	10.509	-4.400			
27 15	7.324	-4.184	14 23	9.053	-4.636	30 7	9.961	-3.854			
27 23	7.838	-4.594	15 7	8.782	-4.400	30 14	10.374	-4.580			
28 7	7.741	-4.636	15 14	8.750	-4.529	30 22	10.596	-4.349			
28 14	7.445	-4.244	15 22	9.141	-4.625	31 6	9.975	-3.762			
28 22	7.918	-4.616	16 6	8.810	-4.347	31 13	10.524	-4.569			
Mars	1 6	7.773	-4.618	16 13	8.887	-4.556	31 21	10.679	-4.293		
	1 13	7.564	-4.300	16 21	9.225	-4.609	Avril 1 4	9.748	-4.504		
	1 21	7.997	-4.633	17 5	8.834	-4.290	1 12	10.671	-4.552		
	2 5	7.803	-4.596	17 12	9.022	-4.578	1 20	10.757	-4.231		
	2 12	7.683	-4.352	17 20	9.306	-4.589	2 3	9.949	-4.527		
2 20	8.072	-4.647	18 4	8.854	-4.227	2 11	10.814	-4.529			
3 4	7.829	-4.569	18 11	9.154	-4.595	2 19	10.829	-4.164			

## PHOBOS 2018

---

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	10.148	-4.545	<b>Avril</b>	18	10	12.913	-4.046	<b>Mai</b>	3	17	13.831	-4.528
	3	10	10.953	-4.501		18	18	12.482	-3.276		4	1	15.126	-3.947
	3	18	10.896	-4.091		19	1	12.532	-4.449		4	9	15.225	-3.040
	4	1	10.346	-4.557		19	9	13.046	-3.964		4	16	14.138	-4.484
	4	9	11.089	-4.467		19	17	12.520	-3.152		5	0	15.341	-3.852
	4	17	10.958	-4.013		20	0	12.744	-4.408		5	8	15.329	-2.900
	5	0	10.541	-4.564		20	8	13.173	-3.876		5	15	14.442	-4.433
	5	8	11.220	-4.427		20	16	12.550	-3.023		5	23	15.549	-3.749
	5	16	11.013	-3.930		20	23	12.951	-4.362		6	7	15.424	-2.753
	5	23	10.734	-4.565		21	7	13.293	-3.782		6	14	14.741	-4.375
	6	7	11.347	-4.382		21	15	12.572	-2.889		6	22	15.750	-3.640
	6	15	11.062	-3.841		21	22	13.153	-4.309		7	6	15.508	-2.602
	6	22	10.924	-4.561		22	6	13.406	-3.682		7	13	15.037	-4.310
	7	6	11.469	-4.331		22	13	12.140	-4.573		7	21	15.944	-3.525
	7	14	11.105	-3.747		22	21	13.351	-4.249		8	5	15.581	-2.444
	7	21	11.111	-4.551		23	5	13.512	-3.576		8	12	15.327	-4.238
	8	5	11.586	-4.274		23	12	12.409	-4.557		8	20	16.129	-3.402
	8	13	11.141	-3.648		23	20	13.544	-4.183		9	4	15.644	-2.282
8	20	11.295	-4.534	24	4	13.610	-3.465	9	11	15.612	-4.158			
9	4	11.699	-4.212	24	11	12.676	-4.535	9	19	16.305	-3.274			
9	12	11.171	-3.543	24	19	13.731	-4.110	10	3	15.695	-2.114			
9	19	11.476	-4.513	25	3	13.701	-3.347	10	10	15.891	-4.072			
10	3	11.805	-4.144	25	10	12.940	-4.507	10	18	16.473	-3.139			
10	11	11.193	-3.434	25	18	13.912	-4.032	11	2	15.735	-1.942			
10	18	11.654	-4.485	26	2	13.783	-3.224	11	9	16.165	-3.979			
11	2	11.907	-4.070	26	9	13.201	-4.471	11	17	16.631	-2.998			
11	10	11.208	-3.319	26	17	14.087	-3.947	12	1	15.762	-1.765			
11	17	11.827	-4.451	27	1	13.856	-3.096	12	8	16.432	-3.878			
12	1	12.002	-3.990	27	8	13.458	-4.429	12	16	16.779	-2.851			
12	8	10.960	-4.558	27	16	14.256	-3.855	13	0	15.777	-1.583			
12	16	11.997	-4.411	28	0	13.921	-2.961	13	7	16.692	-3.770			
13	0	12.091	-3.905	28	7	13.710	-4.381	13	15	16.916	-2.698			
13	7	11.192	-4.561	28	15	14.418	-3.757	13	22	15.505	-4.468			
13	15	12.162	-4.366	28	23	13.977	-2.821	14	6	16.944	-3.656			
13	23	12.174	-3.814	29	6	13.959	-4.325	14	14	17.043	-2.539			
14	6	11.423	-4.557	29	14	14.572	-3.653	14	21	15.857	-4.400			
14	14	12.323	-4.314	29	22	14.023	-2.676	15	5	17.189	-3.535			
14	22	12.250	-3.717	30	5	14.203	-4.263	15	13	17.159	-2.374			
15	5	11.651	-4.548	30	13	14.719	-3.543	15	20	16.203	-4.323			
15	13	12.478	-4.256	30	21	14.059	-2.526	16	4	17.425	-3.407			
15	21	12.319	-3.615	<b>Mai</b>	1	4	14.442	-4.195	16	12	17.262	-2.204		
16	4	11.876	-4.533		1	12	14.859	-3.426	16	19	16.545	-4.240		
16	12	12.629	-4.192		1	20	14.085	-2.371	17	3	17.652	-3.272		
16	20	12.381	-3.508		2	3	14.676	-4.119	17	11	17.353	-2.029		
17	3	12.098	-4.511		2	11	14.990	-3.303	17	18	16.881	-4.149		
17	11	12.774	-4.122	2	19	14.101	-2.211	18	2	17.869	-3.131			
17	19	12.435	-3.394	3	2	14.904	-4.036	18	10	17.431	-1.848			
18	2	12.317	-4.483	3	10	15.112	-3.175	18	17	17.211	-4.050			

---

## PHOBOS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
<b>Mai</b>	19 1	18.076	-2.983	<b>Juin</b>	3 8	19.803	-4.228	<b>Juin</b>	18 16	25.345	-1.476
	19 9	17.496	-1.663		3 16	21.410	-2.909		19 0	23.876	0.416
	19 16	17.535	-3.945		4 0	21.315	-1.345		19 7	25.171	-3.061
	20 0	18.273	-2.829		4 7	20.247	-4.104		19 15	25.532	-1.263
	20 8	17.547	-1.472		4 15	21.703	-2.735		19 23	23.828	0.646
	20 15	17.851	-3.832		4 23	21.429	-1.135		20 6	25.556	-2.877
	20 23	18.458	-2.668		5 6	20.682	-3.972		20 14	25.695	-1.048
	21 7	17.584	-1.278		5 14	21.982	-2.556		20 21	23.942	-4.325
	21 14	18.160	-3.711		5 22	21.525	-0.921		21 5	25.919	-2.689
	21 22	18.632	-2.502		6 5	21.108	-3.833		21 13	25.830	-0.830
	22 6	17.606	-1.078		6 13	22.246	-2.370		21 20	24.486	-4.176
	22 13	18.460	-3.584		6 21	21.602	-0.704		22 4	26.261	-2.498
	22 21	18.793	-2.330		7 4	21.523	-3.687		22 12	25.937	-0.611
	23 4	17.077	-4.459		7 12	22.494	-2.179		22 19	25.014	-4.021
	23 12	18.751	-3.449		7 20	21.658	-0.483		23 3	26.579	-2.302
23 20	18.941	-2.152	8 3	21.928	-3.535	23 11	26.015	-0.390			
24 3	17.480	-4.371	8 11	22.725	-1.983	23 18	25.524	-3.861			
24 11	19.033	-3.308	8 19	21.694	-0.260	24 2	26.873	-2.103			
24 19	19.076	-1.968	9 2	22.321	-3.375	24 10	26.063	-0.169			
25 2	17.878	-4.275	9 10	22.938	-1.782	24 17	26.016	-3.696			
25 10	19.304	-3.160	9 18	21.707	-0.033	25 1	27.140	-1.902			
25 18	19.196	-1.780	10 1	22.700	-3.209	25 9	26.080	0.053			
26 1	18.270	-4.171	10 9	23.132	-1.576	25 16	26.487	-3.526			
26 9	19.565	-3.005	10 17	21.697	0.195	26 0	27.379	-1.698			
26 17	19.302	-1.586	11 0	23.065	-3.037	26 8	26.063	0.274			
27 0	18.655	-4.059	11 8	23.307	-1.366	26 15	26.936	-3.353			
27 8	19.815	-2.844	11 15	21.506	-4.325	26 23	27.590	-1.492			
27 16	19.393	-1.387	11 23	23.415	-2.859	27 7	26.013	0.495			
27 23	19.032	-3.941	12 7	23.461	-1.153	27 14	27.363	-3.175			
28 7	20.052	-2.677	12 14	22.010	-4.189	27 22	27.770	-1.285			
28 15	19.467	-1.184	12 22	23.748	-2.675	28 6	25.928	0.715			
28 22	19.402	-3.815	13 6	23.594	-0.936	28 13	27.763	-2.994			
29 6	20.276	-2.503	13 13	22.504	-4.047	28 21	27.918	-1.076			
29 14	19.526	-0.977	13 21	24.064	-2.487	29 4	25.996	-4.524			
29 21	19.763	-3.681	14 5	23.703	-0.715	29 12	28.137	-2.810			
30 5	20.487	-2.323	14 12	22.985	-3.898	29 20	28.032	-0.868			
30 13	19.566	-0.766	14 20	24.362	-2.293	30 3	26.574	-4.375			
30 20	20.114	-3.540	15 4	23.789	-0.493	30 11	28.482	-2.624			
31 4	20.684	-2.138	15 11	23.453	-3.742	30 19	28.113	-0.659			
31 12	19.589	-0.551	15 19	24.640	-2.095	<b>Juill.</b> 1 2	27.130	-4.223			
<b>Juin</b>	31 19	20.455	-3.392	16 3	23.850	-0.268	1 10	28.797	-2.436		
	1 3	20.866	-1.947	16 10	23.907	-3.580	1 18	28.157	-0.451		
	1 11	19.594	-0.332	16 18	24.898	-1.892	2 1	27.662	-4.067		
	1 18	20.786	-3.238	17 2	23.886	-0.041	2 9	29.081	-2.247		
	2 2	21.032	-1.751	17 9	24.345	-3.413	2 17	28.163	-0.243		
	2 9	19.352	-4.344	17 17	25.133	-1.686	3 0	28.168	-3.907		
	2 17	21.104	-3.077	18 1	23.895	0.187	3 8	29.331	-2.057		
	3 1	21.182	-1.551	18 8	24.767	-3.239	3 16	28.131	-0.037		

## PHOBOS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
<b>Juill.</b>	3 23	28.647	-3.745	<b>Juill.</b>	19 7	31.116	-1.093	<b>Août</b>	3 14	33.292	-4.499
	4 7	29.546	-1.866		19 14	31.812	-4.729		3 22	31.466	-2.626
	4 15	28.059	0.167		19 22	32.657	-2.947		4 5	32.658	-5.926
	4 22	29.097	-3.581		20 6	30.872	-0.935		4 13	33.161	-4.369
	5 6	29.724	-1.675		20 13	32.173	-4.609		4 21	31.010	-2.471
	5 14	27.947	0.369		20 21	32.694	-2.803		5 4	32.809	-5.826
	5 21	29.516	-3.415		21 5	30.577	-0.778		5 12	32.978	-4.234
	6 5	29.864	-1.484		21 12	32.486	-4.487		5 19	30.458	-6.906
	6 12	27.454	-4.943		21 20	32.679	-2.659		6 3	32.907	-5.721
	6 20	29.901	-3.248		22 3	30.278	-5.878		6 11	32.746	-4.094
7 4	29.964	-1.294	22 11	32.751	-4.365	6 18	30.828	-6.837			
7 11	28.062	-4.809	22 19	32.612	-2.515	7 2	32.955	-5.610			
7 19	30.251	-3.079	23 2	30.806	-5.786	7 10	32.465	-3.949			
8 3	30.023	-1.105	23 10	32.966	-4.242	7 17	31.148	-6.762			
8 10	28.643	-4.672	23 18	32.492	-2.371	8 1	32.951	-5.493			
8 18	30.565	-2.910	24 1	31.289	-5.691	8 9	32.137	-3.798			
9 2	30.039	-0.918	24 9	33.129	-4.119	8 16	31.419	-6.681			
9 9	29.192	-4.532	24 17	32.319	-2.227	9 0	32.897	-5.369			
9 17	30.839	-2.741	25 0	31.726	-5.595	9 8	31.763	-3.641			
10 1	30.011	-0.732	25 8	33.241	-3.994	9 15	31.639	-6.593			
10 8	29.710	-4.391	25 16	32.094	-2.082	9 23	32.794	-5.239			
10 16	31.073	-2.572	25 23	32.114	-5.498	10 7	31.344	-3.478			
11 0	29.938	-0.548	26 7	33.301	-3.867	10 14	31.810	-6.497			
11 7	30.192	-4.249	26 15	31.816	-1.936	10 22	32.644	-5.101			
11 15	31.265	-2.403	26 22	32.453	-5.398	11 6	30.883	-3.308			
11 23	29.818	-0.366	27 6	33.307	-3.739	11 13	31.931	-6.395			
12 6	30.638	-4.105	27 14	31.486	-1.790	11 21	32.446	-4.957			
12 14	31.413	-2.235	27 21	32.741	-5.296	12 5	30.382	-3.132			
12 22	29.652	-0.187	28 5	33.260	-3.609	12 12	32.005	-6.285			
13 5	31.044	-3.961	28 13	31.105	-1.642	12 20	32.203	-4.805			
13 13	31.516	-2.068	28 20	32.977	-5.192	13 3	29.616	-7.212			
13 21	29.437	-0.011	29 4	33.159	-3.477	13 11	32.030	-6.167			
14 4	31.411	-3.816	29 11	30.677	-6.434	13 19	31.917	-4.645			
14 12	31.572	-1.902	29 19	33.162	-5.084	14 2	29.904	-7.136			
14 19	29.354	-5.318	30 3	33.006	-3.344	14 10	32.010	-6.041			
15 3	31.734	-3.671	30 10	31.133	-6.359	14 18	31.589	-4.478			
15 11	31.580	-1.737	30 18	33.293	-4.974	15 1	30.146	-7.051			
15 18	29.926	-5.203	31 2	32.800	-3.207	15 9	31.944	-5.906			
16 2	32.014	-3.526	31 9	31.540	-6.280	15 17	31.220	-4.303			
16 10	31.539	-1.574	31 17	33.372	-4.861	16 0	30.342	-6.958			
16 17	30.460	-5.086	<b>Août</b>	1 1	32.542	-3.067	16 8	31.835	-5.763		
17 1	32.247	-3.381		1 8	31.897	-6.198	16 16	30.814	-4.120		
17 9	31.449	-1.412		1 16	33.398	-4.744	16 23	30.492	-6.856		
17 16	30.954	-4.968		2 0	32.233	-2.924	17 7	31.683	-5.612		
18 0	32.433	-3.236		2 7	32.202	-6.111	17 15	30.371	-3.931		
18 8	31.308	-1.252	2 15	33.371	-4.624	17 22	30.599	-6.745			
18 15	31.405	-4.849	2 23	31.874	-2.777	18 6	31.490	-5.451			
18 23	32.570	-3.091	3 6	32.456	-6.021	18 14	29.894	-3.733			

## PHOBOS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Août	18 21	30.663	-6.624	Sept.	3 5	26.912	-3.525	Sept.	18 12	24.465	-4.131
	19 5	31.258	-5.282		3 12	27.136	-6.200		18 20	23.947	-2.574
	19 13	29.385	-3.529		3 20	27.880	-4.929		19 3	23.117	-5.175
	19 20	30.684	-6.494		4 4	26.454	-3.273		19 11	24.294	-3.895
	20 4	30.988	-5.105		4 11	27.106	-6.024		19 19	23.601	-2.310
	20 11	28.242	-7.298		4 19	27.617	-4.704		20 2	23.116	-4.978
	20 19	30.665	-6.355		5 3	25.979	-3.016		20 10	24.107	-3.654
	21 3	30.682	-4.920		5 10	27.048	-5.839		20 18	23.242	-2.045
	21 10	28.470	-7.207		5 18	27.331	-4.472		21 1	23.096	-4.774
	21 18	30.606	-6.207		6 1	24.816	-6.618		21 9	23.904	-3.409
	22 2	30.342	-4.726		6 9	26.965	-5.647		21 17	22.872	-1.778
	22 9	28.657	-7.105		6 17	27.024	-4.234		22 0	23.057	-4.565
	22 17	30.509	-6.050		7 0	24.934	-6.476		22 8	23.687	-3.161
	23 1	29.970	-4.525		7 8	26.856	-5.446		22 16	22.492	-1.511
	23 8	28.803	-6.993		7 16	26.696	-3.991		22 23	23.001	-4.350
	23 16	30.376	-5.883		7 23	25.026	-6.324		23 7	23.454	-2.910
	24 0	29.566	-4.315		8 7	26.722	-5.237		23 15	22.101	-1.244
	24 7	28.911	-6.872		8 15	26.349	-3.743		23 22	22.928	-4.129
	24 15	30.207	-5.708		8 22	25.090	-6.163		24 6	23.208	-2.657
	24 23	29.134	-4.099		9 6	26.565	-5.022		24 14	21.702	-0.977
25 6	28.982	-6.741	9 14	25.984	-3.490	24 21	22.838	-3.904			
25 14	30.005	-5.524	9 21	25.129	-5.993	25 5	22.949	-2.401			
25 22	28.675	-3.876	10 5	26.387	-4.800	25 12	21.042	-4.919			
26 5	29.016	-6.600	10 13	25.602	-3.233	25 20	22.732	-3.675			
26 13	29.770	-5.331	10 20	25.143	-5.815	26 4	22.678	-2.143			
26 21	28.191	-3.646	11 4	26.187	-4.571	26 11	21.093	-4.729			
27 4	29.014	-6.450	11 12	25.204	-2.972	26 19	22.611	-3.441			
27 12	29.505	-5.130	11 19	25.133	-5.628	27 3	22.394	-1.885			
27 20	27.683	-3.410	12 3	25.967	-4.337	27 10	21.126	-4.533			
28 3	28.979	-6.290	12 11	24.792	-2.708	27 18	22.475	-3.204			
28 11	29.210	-4.921	12 18	25.099	-5.434	28 2	22.100	-1.625			
28 18	26.680	-7.061	13 2	25.728	-4.098	28 9	21.143	-4.332			
29 2	28.911	-6.121	13 10	24.366	-2.441	28 17	22.325	-2.964			
29 10	28.888	-4.705	13 17	25.044	-5.233	29 1	21.795	-1.365			
29 17	26.836	-6.942	14 1	25.471	-3.853	29 8	21.143	-4.125			
30 1	28.811	-5.943	14 9	23.927	-2.173	29 16	22.161	-2.722			
30 9	28.539	-4.482	14 16	24.967	-5.025	30 0	21.480	-1.105			
30 16	26.960	-6.813	15 0	25.197	-3.604	30 7	21.127	-3.914			
31 0	28.680	-5.756	15 7	22.917	-5.893	30 15	21.984	-2.476			
31 8	28.166	-4.252	15 15	24.871	-4.810	30 23	21.155	-0.845			
31 15	27.050	-6.674	15 23	24.907	-3.351	Oct.	1 6	21.096	-3.698		
31 23	28.521	-5.561	16 6	22.999	-5.725		1 14	21.795	-2.229		
Sept.	1 7	27.769	-4.015	16 14	24.754		-4.589	1 22	20.821	-0.586	
	1 14	27.109	-6.525	16 22	24.601		-3.095	2 5	21.050	-3.478	
	1 22	28.333	-5.358	17 5	23.059		-5.549	2 13	21.593	-1.980	
	2 6	27.351	-3.773	17 13	24.618		-4.363	2 21	20.479	-0.328	
2 13	27.137	-6.367	17 21	24.281	-2.836		3 4	20.990	-3.254		
2 21	28.120	-5.147	18 4	23.098	-5.366		3 12	21.379	-1.730		



## PHOBOS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	3 20	20.128	-0.072	Oct.	19 3	18.539	-0.860	Nov.	3 11	15.469	2.660
	4 3	20.916	-3.027		19 11	18.170	0.781		3 18	15.710	-0.401
	4 11	21.155	-1.480		19 18	17.490	-2.218		4 2	16.079	1.276
	4 19	19.771	0.182		20 2	18.408	-0.628		4 10	15.222	2.856
	5 2	20.828	-2.796		20 10	17.921	1.012		4 17	15.654	-0.189
	5 10	20.919	-1.229		20 17	17.475	-2.002		5 1	15.919	1.486
	5 17	19.195	-3.948		21 1	18.267	-0.397		5 9	14.969	3.047
	6 1	20.727	-2.563		21 9	17.665	1.241		5 16	15.590	0.022
	6 9	20.674	-0.977		21 16	17.449	-1.786		6 0	15.752	1.694
	6 16	19.231	-3.746		22 0	18.118	-0.166		6 8	14.712	3.235
	7 0	20.613	-2.328		22 8	17.402	1.467		6 15	15.518	0.232
	7 8	20.419	-0.727		22 15	17.413	-1.567		6 23	15.578	1.899
	7 15	19.254	-3.541		22 23	17.959	0.063		7 7	14.450	3.418
	7 23	20.488	-2.091		23 7	17.133	1.690		7 14	15.437	0.442
	8 7	20.154	-0.476		23 14	17.366	-1.348		7 22	15.398	2.101
	8 14	19.262	-3.331		23 22	17.792	0.292		8 6	14.184	3.596
8 22	20.350	-1.852	24 6	16.859	1.910	8 13	15.349	0.650			
9 6	19.881	-0.227	24 13	17.309	-1.127	8 21	15.212	2.300			
9 13	19.257	-3.118	24 21	17.616	0.519	9 5	13.914	3.769			
9 21	20.201	-1.612	25 5	16.578	2.126	9 12	15.252	0.857			
10 5	19.599	0.021	25 12	17.242	-0.906	9 20	15.020	2.495			
10 12	19.239	-2.902	25 20	17.433	0.745	10 3	14.321	-0.642			
10 20	20.041	-1.371	26 4	16.292	2.339	10 11	15.149	1.063			
11 4	19.309	0.268	26 11	17.165	-0.685	10 19	14.823	2.687			
11 11	19.207	-2.682	26 19	17.242	0.969	11 2	14.310	-0.439			
11 19	19.870	-1.130	27 3	16.001	2.547	11 10	15.037	1.267			
12 3	19.012	0.512	27 10	17.079	-0.463	11 18	14.620	2.876			
12 10	19.164	-2.460	27 18	17.043	1.190	12 1	14.291	-0.236			
12 18	19.689	-0.888	28 1	15.835	-1.873	12 9	14.919	1.468			
13 2	18.708	0.754	28 9	16.984	-0.242	12 17	14.411	3.060			
13 9	19.108	-2.236	28 17	16.837	1.409	13 0	14.263	-0.034			
13 17	19.498	-0.647	29 0	15.847	-1.665	13 8	14.794	1.667			
14 1	18.397	0.993	29 8	16.879	-0.022	13 16	14.198	3.241			
14 8	19.041	-2.010	29 16	16.625	1.626	13 23	14.228	0.168			
14 16	19.298	-0.406	29 23	15.848	-1.456	14 7	14.662	1.864			
15 0	18.079	1.229	30 7	16.766	0.198	14 15	13.981	3.418			
15 7	18.962	-1.781	30 15	16.406	1.839	14 22	14.184	0.369			
15 15	19.089	-0.166	30 22	15.839	-1.247	15 6	14.524	2.059			
15 23	17.756	1.463	31 6	16.644	0.417	15 14	13.758	3.590			
16 6	18.872	-1.552	31 14	16.180	2.050	15 21	14.133	0.569			
16 14	18.871	0.073	31 21	15.821	-1.036	16 5	14.380	2.251			
16 21	17.464	-2.849	Nov.	1 5	16.515	0.634	16 13	13.532	3.758		
17 5	18.771	-1.322		1 13	15.949	2.257	16 20	14.074	0.768		
17 13	18.645	0.311		1 20	15.793	-0.824	17 4	14.230	2.439		
17 20	17.485	-2.641		2 4	16.377	0.850	17 12	13.302	3.922		
18 4	18.660	-1.091	2 12	15.712	2.460	17 19	14.008	0.965			
18 12	18.411	0.547	2 19	15.756	-0.612	18 3	14.074	2.625			
18 19	17.493	-2.431	3 3	16.231	1.064	18 11	13.068	4.081			

## PHOBOS 2018

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	18	13.934	1.161	Déc.	4	2	11.950	3.940	Déc.	19	10	8.974	5.701
	19	2	13.913	2.807		4	10	10.748	5.165		19	17	10.578	3.477
	19	10	12.830	4.235		4	17	12.147	2.578		20	1	10.058	4.811
	19	17	13.854	1.356		5	1	11.785	4.084		20	9	8.772	5.771
	20	1	13.746	2.986		5	9	10.524	5.272		20	16	10.476	3.615
	20	9	12.589	4.384		5	16	12.048	2.744		21	0	9.900	4.917
	20	16	13.767	1.548		6	0	11.617	4.223		21	7	10.212	2.190
	21	0	13.574	3.161		6	8	10.299	5.374		21	15	10.370	3.749
	21	8	12.345	4.529		6	15	11.944	2.907		21	23	9.739	5.018
	21	15	13.674	1.738		6	23	11.445	4.359		22	6	10.164	2.345
	21	23	13.397	3.332		7	6	11.501	1.407		22	14	10.260	3.880
	22	7	12.098	4.668		7	14	11.835	3.067		22	22	9.576	5.115
	22	14	13.574	1.925		7	22	11.269	4.490		23	5	10.112	2.497
	22	22	13.216	3.500		8	5	11.461	1.582		23	13	10.147	4.007
	23	5	12.882	0.396		8	13	11.722	3.224		23	21	9.411	5.207
	23	13	13.468	2.111		8	21	11.091	4.617		24	4	10.055	2.646
	23	21	13.030	3.663		9	4	11.415	1.754		24	12	10.031	4.130
	24	4	12.856	0.588		9	12	11.604	3.377		24	20	9.244	5.294
	24	12	13.356	2.293		9	20	10.909	4.739		25	3	9.994	2.793
	24	20	12.840	3.823		10	3	11.363	1.924		25	11	9.912	4.250
25	3	12.824	0.778	10	11	11.481	3.527	25	19	9.076	5.377			
25	11	13.238	2.473	10	19	10.725	4.857	26	2	9.929	2.936			
25	19	12.645	3.978	11	2	11.306	2.092	26	10	9.790	4.365			
26	2	12.784	0.967	11	10	11.355	3.673	26	18	8.905	5.456			
26	10	13.115	2.650	11	18	10.538	4.970	27	1	9.860	3.077			
26	18	12.447	4.128	12	1	11.244	2.257	27	9	9.665	4.477			
27	1	12.738	1.154	12	9	11.224	3.816	27	17	8.734	5.530			
27	9	12.986	2.824	12	17	10.350	5.078	28	0	9.788	3.214			
27	17	12.246	4.275	13	0	11.177	2.420	28	8	9.537	4.585			
28	0	12.686	1.340	13	8	11.090	3.954	28	16	8.561	5.599			
28	8	12.852	2.994	13	16	10.158	5.181	28	23	9.711	3.348			
28	16	12.040	4.416	13	23	11.105	2.580	29	7	9.407	4.689			
28	23	12.627	1.524	14	7	10.952	4.089	29	15	8.387	5.664			
29	7	12.714	3.161	14	15	9.965	5.280	29	22	9.631	3.479			
29	15	11.832	4.553	14	22	11.028	2.737	30	6	9.275	4.788			
29	22	12.561	1.705	15	6	10.811	4.220	30	14	8.212	5.724			
30	6	12.570	3.324	15	14	9.770	5.374	30	21	9.547	3.607			
30	14	11.620	4.685	15	21	10.947	2.892	31	5	9.140	4.884			
30	21	12.490	1.885	16	5	10.666	4.346	31	13	8.036	5.779			
Déc.	1	5	12.421	3.484	16	13	9.573	5.463	31	20	9.461	3.731		
	1	13	11.406	4.813	16	20	10.861	3.043	Janv.	1	4	9.003	4.975	
	1	20	12.413	2.062	17	4	10.519	4.469		1	12	7.859	5.830	
	2	4	12.269	3.640	17	12	9.374	5.548		1	19	9.371	3.852	
	2	12	11.189	4.935	17	19	10.771	3.191		2	3	8.864	5.062	
	2	19	12.330	2.236	18	3	10.368	4.587		2	11	7.682	5.876	
	3	3	12.112	3.792	18	11	9.175	5.627		2	18	9.278	3.969	
	3	11	10.970	5.052	18	18	10.676	3.335	3	2	8.724	5.145		
	3	18	12.241	2.408	19	2	10.215	4.702	3	10	7.504	5.918		

## DÉIMOS 2018

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 9	12.743	-10.503	<b>Mars</b>	3 2	20.431	-11.348	<b>Mai</b>	2 19	38.246	-6.690
	2 15	13.040	-10.366		4 8	20.676	-11.378		4 1	38.766	-7.173
	3 21	13.261	-10.173		5 14	20.800	-11.358		5 7	39.095	-7.639
	5 4	13.054	-10.608		6 21	21.203	-11.287		6 14	39.857	-6.232
	6 10	13.335	-10.464		8 3	21.424	-11.323		7 20	40.385	-6.742
	7 16	13.535	-10.269		9 10	21.681	-11.116		9 2	40.728	-7.252
	8 23	13.384	-10.706		10 16	22.004	-11.209		10 9	41.535	-5.745
	10 5	13.643	-10.558		11 22	22.208	-11.258		11 15	42.089	-6.294
	11 12	13.408	-10.896		13 5	22.534	-11.012		12 21	42.435	-6.841
	12 18	13.728	-10.797		14 11	22.840	-11.116		14 4	43.299	-5.235
	14 0	13.972	-10.647		15 17	23.023	-11.179		15 10	43.866	-5.824
	15 7	13.788	-10.984		17 0	23.421	-10.891		16 16	44.236	-6.407
16 13	14.094	-10.884	18 6	23.714	-11.010	17 23	45.138	-4.707			
17 19	14.316	-10.728	19 12	23.873	-11.085	19 5	45.734	-5.327			
19 2	14.191	-11.067	20 19	24.348	-10.755	20 11	46.121	-5.960			
20 8	14.477	-10.961	22 1	24.619	-10.886	21 18	47.058	-4.148			
21 14	14.679	-10.806	23 7	24.763	-10.980	23 0	47.690	-4.817			
22 21	14.613	-11.140	24 14	25.309	-10.599	24 6	48.097	-5.485			
24 3	14.879	-11.034	25 20	25.569	-10.747	25 13	49.069	-3.577			
25 9	15.061	-10.875	27 2	25.685	-10.859	26 19	49.728	-4.281			
26 16	15.054	-11.206	28 9	26.313	-10.425	28 1	50.177	-4.995			
27 22	15.303	-11.099	29 15	26.554	-10.593	29 8	51.154	-2.985			
29 5	15.202	-11.319	30 22	26.987	-10.012	30 14	51.868	-3.728			
30 11	15.520	-11.265	<b>Avril</b>	1 4	27.358	-10.235	31 20	52.344	-4.491		
31 17	15.745	-11.155		2 10	27.582	-10.420	<b>Juin</b>	2 3	53.333	-2.374	
<b>Févr.</b>	2 0	15.708	-11.369	3 17	28.087	-9.784	3 9	54.091	-3.168		
	3 6	16.005	-11.313	4 23	28.444	-10.023	4 15	54.617	-3.965		
	4 12	16.212	-11.206	6 5	28.658	-10.233	5 22	55.591	-1.764		
	5 19	16.237	-11.408	7 12	29.228	-9.531	7 4	56.404	-2.589		
	7 1	16.516	-11.354	8 18	29.583	-9.794	8 10	56.985	-3.442		
	8 7	16.699	-11.246	10 0	29.776	-10.028	9 17	57.916	-1.141		
	9 14	16.789	-11.437	11 7	30.424	-9.259	10 23	58.803	-2.018		
	10 20	17.050	-11.385	12 13	30.765	-9.547	12 5	59.432	-2.912		
	12 2	17.210	-11.280	13 19	30.951	-9.805	13 12	60.311	-0.533		
	13 9	17.370	-11.457	15 2	31.668	-8.967	14 18	61.256	-1.454		
	14 15	17.607	-11.405	16 8	32.004	-9.277	16 0	61.962	-2.391		
	15 22	17.657	-11.461	17 14	32.176	-9.569	17 7	62.731	0.052		
17 4	17.974	-11.463	18 21	32.965	-8.650	18 13	63.760	-0.905			
18 10	18.194	-11.418	20 3	33.298	-8.993	19 19	64.529	-1.898			
19 17	18.306	-11.452	21 10	33.823	-7.926	21 2	65.161	0.614			
20 23	18.608	-11.461	22 16	34.324	-8.316	22 8	66.273	-0.402			
22 5	18.803	-11.419	23 22	34.647	-8.685	23 14	67.114	-1.427			
23 12	18.985	-11.432	25 5	35.238	-7.540	24 20	67.696	-2.481			
24 18	19.268	-11.445	26 11	35.736	-7.957	26 3	68.752	0.062			
26 0	19.441	-11.410	27 17	36.065	-8.357	27 9	69.684	-1.017			
27 7	19.694	-11.398	29 0	36.708	-7.130	28 15	70.326	-2.111			
28 13	19.956	-11.417	30 6	37.218	-7.573	29 22	71.170	0.451			
<b>Mars</b>	1 19	20.108	-11.390	<b>Mai</b>	1 12	37.543	-8.012	<b>Juill.</b>	1 4	72.167	-0.675

## DÉIMOS 2018

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>	2 10	72.897	-1.810	<b>Sept.</b>	1 0	71.431	-8.445	<b>Oct.</b>	31 16	40.848	4.943	
	3 17	73.441	0.745		2 6	70.695	-9.126		<b>Nov.</b>	1 22	40.445	4.169
	4 23	74.524	-0.416		3 12	69.692	-9.755			3 5	39.650	6.243
	6 5	75.319	-1.607		4 19	69.137	-7.716		4 11	39.438	5.480	
	7 11	75.824	-2.793		6 1	68.480	-8.367		5 17	39.032	4.684	
	8 18	76.666	-0.281		7 7	67.534	-8.984		7 0	38.302	6.739	
	10 0	77.522	-1.500		8 14	66.837	-6.891		8 6	38.081	5.962	
	11 6	78.093	-2.737		9 20	66.238	-7.533		9 12	37.656	5.144	
	12 13	78.499	-0.258		11 2	65.358	-8.126		10 19	37.005	7.185	
	13 19	79.428	-1.524		12 9	64.560	-6.006		12 1	36.762	6.384	
	15 1	80.034	-2.790		13 15	64.007	-6.625	13 8	35.819	8.347		
	16 7	80.353	-4.046		14 21	63.194	-7.222	14 14	35.749	7.571		
	17 14	80.921	-1.667	16 3	62.100	-7.783	15 20	35.486	6.766			
	18 20	81.586	-2.955	17 10	61.828	-5.684	17 3	34.631	8.695			
	20 2	81.928	-4.240	18 16	61.051	-6.278	18 9	34.530	7.915			
	21 8	81.966	-5.490	19 22	60.025	-6.845	19 15	34.255	7.088			
	22 15	82.648	-3.229	21 5	59.691	-4.719	20 22	33.473	9.001			
	23 21	83.026	-4.512	22 11	58.968	-5.314	22 4	33.357	8.206			
	25 3	83.091	-5.781	23 17	57.979	-5.901	23 10	33.056	7.366			
	26 10	83.174	-3.566	25 0	57.625	-3.743	24 17	32.360	9.259			
27 16	83.591	-4.859	26 6	56.935	-4.358	25 23	32.214	8.447				
28 22	83.672	-6.110	27 12	55.988	-4.950	27 6	31.274	10.241				
30 4	83.450	-7.325	28 19	55.627	-2.787	28 12	31.278	9.465				
31 11	83.580	-5.225	30 1	54.960	-3.405	29 18	31.111	8.652				
<b>Août</b>	1 17	83.706	-6.457	<b>Oct.</b>	1 7	54.052	-4.024	<b>Déc.</b>	1 1	30.256	10.414	
	2 23	83.493	-7.647		2 14	53.688	-1.843		2 7	30.229	9.637	
	4 5	82.978	-8.776		3 20	53.054	-2.482		3 13	30.042	8.805	
	5 12	83.171	-6.778		5 2	52.162	-3.120		4 20	29.265	10.553	
	6 18	82.999	-7.920		6 9	51.826	-0.931		6 2	29.217	9.761	
	8 0	82.507	-9.018		7 15	51.198	-1.591		7 9	28.231	11.395	
	9 7	82.121	-7.012		8 22	50.392	0.614		8 15	28.313	10.650	
	10 13	81.991	-8.119		10 4	50.021	-0.061		9 21	28.231	9.849	
	11 19	81.533	-9.155		11 10	49.410	-0.731		11 4	27.339	11.465	
	13 1	80.780	-10.135		12 17	48.652	1.456		12 10	27.385	10.708	
	14 8	80.527	-8.184		13 23	48.280	0.776	13 16	27.282	9.906		
	15 14	80.135	-9.171		15 5	47.680	0.074	14 23	26.474	11.494		
	16 20	79.418	-10.091	16 12	46.971	2.263	16 5	26.490	10.739			
	18 2	78.419	-10.942	17 18	46.606	1.556	17 12	25.503	12.207			
	19 9	78.372	-9.035	19 0	46.003	0.839	18 18	25.635	11.500			
	20 15	77.732	-9.896	20 7	45.361	3.013	20 0	25.626	10.730			
	21 21	76.784	-10.702	21 13	44.982	2.289	21 7	24.723	12.187			
	23 4	76.359	-8.737	22 19	44.391	1.553	22 13	24.829	11.469			
	24 10	75.783	-9.556	24 2	43.801	3.709	23 19	24.786	10.697			
	25 16	74.910	-10.305	25 8	43.422	2.974	25 2	23.977	12.136			
26 23	74.170	-8.299	26 14	42.824	2.206	26 8	24.043	11.412				
28 5	73.656	-9.062	27 21	42.299	4.359	27 15	23.077	12.728				
29 11	72.864	-9.779	29 3	41.910	3.594	28 21	23.249	12.056				
30 17	71.772	-10.435	30 10	41.034	5.696	30 3	23.287	11.333				

**DÉIMOS 2018**


---

**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>Déc.</b>	31	10	22.409	12.627	<b>Janv.</b>	2	23	21.531	13.125					
<b>Janv.</b>	1	16	22.547	11.958		4	5	21.762	12.511					

---

# SATELLITES DE JUPITER

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

IO .....	II. 110
EUROPE .....	II. 114
GANYMÈDE .....	II. 116
CALLISTO .....	II. 117

## IO 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	6	-93.164	28.694	Févr.	10	23	-104.725	28.799	Mars	23	15	-118.169	32.498	
	2	3	93.472	-28.812		11	20	105.589	-29.130		24	12	119.099	-32.981	
	3	0	-93.598	29.059		12	17	-105.258	29.301		25	10	-118.826	32.126	
	3	21	93.736	-29.127		13	14	105.931	-29.582		26	7	120.055	-32.702	
	4	19	-93.978	28.583		14	12	-105.865	28.867		27	4	-119.308	32.828	
	5	16	94.347	-28.721		15	9	106.806	-29.228		28	1	120.298	-33.344	
	6	13	-94.453	28.965		16	6	-106.473	29.405		28	23	-119.775	32.410	
	7	10	94.649	-29.054		17	3	107.218	-29.714		29	20	121.079	-33.024	
	8	8	-94.827	28.483		18	1	-107.013	28.953		30	17	-120.361	33.160	
	9	5	95.259	-28.643		18	22	108.024	-29.343		31	14	121.421	-33.710	
	10	2	-95.342	28.883		19	19	-107.701	29.527		Avril	1	11	-120.418	33.774
	10	23	95.603	-28.994		20	16	108.512	-29.865			2	9	122.006	-33.342
	11	21	-95.707	28.395		21	14	-108.156	29.054			3	6	-121.327	33.490
12	18	96.203	-28.576	22	11	109.244	-29.475	4	3	122.449		-34.074			
13	15	-96.270	28.816	23	8	-108.925	29.666	5	0	-121.486		34.150			
14	12	96.590	-28.948	24	5	109.810	-30.034	5	22	122.832	-33.657				
15	10	-96.620	28.319	25	2	-109.186	30.151	6	19	-122.184	33.814				
16	7	97.182	-28.523	26	0	110.453	-29.623	7	16	123.377	-34.432				
17	4	-97.229	28.761	26	21	-110.147	29.823	8	13	-122.453	34.520				
18	1	97.616	-28.916	27	18	111.101	-30.222	9	10	123.383	-35.069				
18	22	-97.340	29.063	Mars	28	15	-110.489	30.346	10	8	-122.931	34.129			
19	20	98.190	-28.482		1	13	111.649	-29.787	11	5	124.186	-34.780			
20	17	-98.224	28.721		2	10	-111.352	29.995	12	2	-123.306	34.878			
21	14	98.673	-28.898		3	7	112.381	-30.425	12	23	124.298	-35.461			
22	11	-98.384	29.047		4	4	-111.785	30.560	13	21	-123.546	34.427			
23	9	99.227	-28.457	5	1	112.596	-30.937	14	18	124.872	-35.114				
24	6	-99.245	28.695	5	23	-112.539	30.182	15	15	-124.033	35.222				
25	3	99.765	-28.897	6	20	113.638	-30.645	16	12	125.083	-35.835				
26	0	-99.459	29.047	7	17	-113.060	30.790	17	9	-123.967	35.867				
26	22	100.290	-28.444	8	14	113.943	-31.200	18	7	125.419	-35.426				
27	19	-100.299	28.685	9	12	-113.692	30.383	19	4	-124.623	35.543				
28	16	100.882	-28.910	10	9	114.869	-30.880	20	1	125.738	-36.189				
29	13	-100.568	29.063	11	6	-114.311	31.036	20	22	-124.664	36.229				
30	11	101.376	-28.448	12	3	115.259	-31.476	21	19	125.513	-36.799				
31	8	-101.373	28.689	13	1	-114.809	30.597	22	17	-125.070	35.839				
Févr.	1	5	102.029	-28.941	13	22	116.057	-31.127	23	14	126.243	-36.515			
	2	2	-101.703	29.096	14	19	-115.523	31.294	24	11	-125.223	36.566			
	3	0	102.482	-28.465	15	16	116.544	-31.769	25	8	126.122	-37.163			
	3	21	-102.475	28.710	16	13	-115.701	31.858	26	6	-125.366	36.103			
	4	18	103.196	-28.987	17	11	117.198	-31.386	27	3	126.603	-36.811			
	5	15	-102.868	29.147	18	8	-116.688	31.564	28	0	-125.627	36.868			
	6	12	103.405	-29.374	19	5	117.776	-32.072	28	21	126.585	-37.494			
	7	10	-103.591	28.745	20	2	-116.966	32.174	29	18	-125.347	37.477			
	8	7	104.386	-29.050	21	0	118.275	-31.654	30	16	126.803	-37.068			
	9	4	-104.052	29.215	21	21	-117.791	31.841	Mai	1	13	-125.880	37.134		
10	1	104.659	-29.469	22	18	118.953	-32.385	2		10	126.889	-37.787			

## IO 2018

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>	3	7	-125.709	37.778	<b>Juin</b>	12	23	-120.541	39.709	<b>Juill.</b>	23	16	-108.546	35.885	
	4	5	126.850	-37.288		13	21	121.325	-39.220		24	13	108.631	-36.201	
	5	2	-125.972	37.358		14	18	-120.342	39.131		25	10	-107.775	36.025	
	5	23	127.040	-38.039		15	15	120.920	-39.676		26	8	108.066	-35.475	
	6	20	-125.912	38.037		16	12	-119.720	39.510		27	5	-107.461	35.378	
	7	17	126.684	-38.628		17	9	119.983	-39.944		28	2	107.544	-35.688	
	8	15	-125.907	37.539		18	7	-119.336	38.869		28	23	-106.758	35.526	
	9	12	127.027	-38.244		19	4	119.946	-39.421		29	21	106.924	-34.942	
	10	9	-125.956	38.249		20	1	-118.821	39.266		30	18	-106.384	34.859	
	11	6	126.779	-38.864		20	22	119.107	-39.704		31	15	106.467	-35.162	
	12	3	-125.449	38.788		21	20	-118.264	38.565		<b>Août</b>	1	12	-105.754	35.017
	13	1	126.860	-38.401		22	17	118.904	-39.124			2	10	105.797	-34.399
	13	22	-125.841	38.412		23	14	-117.847	38.977			3	7	-105.329	34.332
	14	19	126.711	-39.048		24	11	118.163	-39.421			4	4	105.405	-34.626
	15	16	-125.447	38.980		25	8	-116.902	39.203			5	1	-104.760	34.496
16	14	126.531	-38.505	26	6	117.801	-38.786	5	22	104.502	-34.674				
17	11	-125.570	38.522	27	3	-116.817	38.650	6	20	-104.292	33.796				
18	8	126.491	-39.180	28	0	117.154	-39.097	7	17	104.362	-34.082				
19	5	-125.283	39.117	28	21	-115.971	38.891	8	14	-103.787	33.968				
20	2	125.908	-39.679	29	19	116.653	-38.413	9	11	103.517	-34.137				
21	0	-125.148	38.578	<b>Juill.</b>	30	16	-115.736	38.287	10	9	-103.283	33.256			
21	21	126.117	-39.256		1	13	116.099	-38.737	11	6	103.341	-33.531			
22	18	-124.973	39.200		2	10	-114.987	38.543	12	3	-102.833	33.433			
23	15	125.637	-39.778		3	8	115.464	-38.006	13	0	102.556	-33.594			
24	12	-124.255	39.645		4	5	-114.621	37.893	13	22	-102.300	32.711			
25	10	125.602	-39.278	5	2	114.999	-38.343	14	19	102.348	-32.976				
26	7	-124.514	39.226	5	23	-113.965	38.162	15	16	-101.906	32.894				
27	4	125.227	-39.822	6	20	114.003	-38.493	16	13	101.614	-33.044				
28	1	-123.907	39.695	7	18	-113.473	37.469	17	11	-101.351	32.165				
28	23	124.948	-39.243	8	15	113.872	-37.921	18	8	101.382	-32.417				
29	20	-123.925	39.199	9	12	-112.907	37.752	19	5	-101.005	32.351				
30	17	124.676	-39.808	10	9	112.962	-38.082	20	2	100.701	-32.491				
31	14	-123.427	39.690	11	7	-112.311	37.021	21	0	-100.433	31.616				
<b>Juin</b>	1	11	123.864	-40.194	12	4	112.720	-37.471	21	21	100.449	-31.857			
	2	9	-123.206	39.115	13	1	-111.831	37.316	22	18	-100.137	31.807			
	3	6	124.003	-39.740	13	22	111.896	-37.644	23	15	99.813	-31.935			
	4	3	-122.818	39.628	14	20	-111.134	36.550	24	12	-99.336	31.830			
	5	0	123.291	-40.144	15	17	111.559	-36.999	25	10	99.547	-31.295			
	5	22	-122.377	38.981	16	14	-110.738	36.857	26	7	-99.298	31.260			
	6	19	123.210	-39.618	17	11	110.813	-37.182	27	4	98.958	-31.378			
	7	16	-122.095	39.513	18	8	-109.810	36.974	28	1	-98.541	31.288			
	8	13	122.605	-40.041	19	6	110.389	-36.506	28	23	98.683	-30.734			
	9	10	-121.262	39.856	20	3	-109.643	36.380	29	20	-98.495	30.714			
	10	8	122.317	-39.444	21	0	109.723	-36.701	30	17	98.132	-30.819			
	11	5	-121.264	39.346	21	21	-108.792	36.507	31	14	-97.779	30.746			
	12	2	121.809	-39.883	22	19	109.225	-35.998	<b>Sept.</b>	1	12	97.852	-30.172		



## IO 2018

## 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	9	-97.724	30.167	Oct.	13	2	-91.272	24.306	Nov.	22	20	-90.186	18.130	
	3	6	97.342	-30.261		14	0	90.899	-23.612		23	17	89.333	-18.021	
	4	3	-97.045	30.202		14	21	-91.366	23.746		24	15	-90.122	17.510	
	5	1	97.060	-29.612		15	18	90.679	-23.699		25	12	89.525	-17.447	
	5	22	-96.990	29.622		16	15	-90.959	23.782		26	9	-90.293	17.630	
	6	19	96.583	-29.702		17	13	90.576	-23.085		27	6	89.437	-17.520	
	7	16	-96.348	29.659		18	10	-91.079	23.226		28	4	-90.254	17.014	
	8	14	96.303	-29.054		19	7	90.368	-23.169		29	1	89.657	-16.949	
	9	11	-96.291	29.076		20	4	-90.685	23.261		29	22	-90.432	17.132	
	10	8	95.862	-29.146		21	2	90.289	-22.559		30	19	89.578	-17.021	
	11	5	-95.680	29.116		21	23	-90.829	22.707		Déc.	1	17	-90.426	16.520
	12	3	95.587	-28.497		22	20	90.096	-22.643			2	14	89.824	-16.452
	13	0	-95.630	28.534		23	17	-90.442	22.740			3	11	-90.611	16.636
	13	21	95.174	-28.589		24	15	90.044	-22.037			4	8	89.757	-16.525
14	18	-95.050	28.574	25	12	-90.614	22.192	5	6	-90.629		16.027			
15	16	94.907	-27.943	26	9	89.860	-22.119	6	3	90.031	-15.958				
16	13	-95.005	27.992	27	6	-90.239	22.223	7	0	-90.821	16.142				
17	10	94.526	-28.037	28	4	89.833	-21.517	7	21	89.975	-16.031				
18	7	-94.452	28.034	29	1	-90.436	21.678	8	19	-90.870	15.536				
19	5	94.270	-27.391	29	22	89.664	-21.598	9	16	90.274	-15.465				
20	2	-94.419	27.454	30	19	-90.067	21.708	10	13	-91.071	15.650				
20	23	93.912	-27.485	Nov.	31	17	89.663	-21.001	11	10	90.231	-15.541			
21	20	-93.893	27.496		1	14	-90.293	21.165	12	8	-91.144	15.046			
22	18	93.670	-26.842		2	11	89.502	-21.079	13	5	90.558	-14.976			
23	15	-93.871	26.917	3	8	-89.933	21.194	14	2	-91.354	15.160				
24	12	93.339	-26.936	4	6	89.528	-20.486	14	23	90.527	-15.052				
25	9	-93.366	26.959	5	3	-90.187	20.655	15	21	-91.456	14.559				
26	7	93.111	-26.297	6	0	89.381	-20.563	16	18	90.878	-14.489				
27	4	-93.360	26.383	6	21	-89.832	20.682	17	15	-91.676	14.672				
28	1	92.799	-26.389	7	19	89.435	-19.974	18	12	90.861	-14.568				
28	22	-92.877	26.425	8	16	-90.114	20.146	19	10	-91.800	14.074				
29	20	92.589	-25.754	9	13	89.295	-20.049	20	7	91.238	-14.005				
30	17	-92.887	25.851	10	11	-89.933	19.507	21	4	-92.031	14.187				
Oct.	1	14	92.301	-25.846	11	8	89.376	-19.463	22	1	91.235	-14.086			
	2	11	-92.421	25.891	12	5	-90.080	19.639	22	23	-92.182	13.591			
	3	9	92.110	-25.214	13	2	89.249	-19.539	23	20	91.633	-13.523			
	4	6	-92.450	25.321	14	0	-89.926	19.005	24	17	-92.426	13.705			
	5	3	91.837	-25.305	14	21	89.358	-18.956	25	14	91.647	-13.607			
	6	0	-92.003	25.361	15	18	-90.079	19.134	26	12	-92.597	13.110			
	6	22	91.666	-24.677	16	15	89.239	-19.030	27	9	92.069	-13.045			
	7	19	-92.051	24.794	17	13	-89.957	18.505	28	6	-92.853	13.226			
	8	16	91.414	-24.767	18	10	89.375	-18.451	29	3	92.100	-13.132			
	9	13	-91.618	24.832	19	7	-90.116	18.631	30	1	-93.049	12.633			
	10	11	91.265	-24.144	20	4	89.267	-18.524	30	22	92.541	-12.569			
11	8	-91.690	24.269	21	2	-90.020	18.006	31	19	-93.322	12.750				
12	5	91.026	-24.231	21	23	89.433	-17.948	Janv.	1	16	92.592	-12.660			

## IO 2018

---

**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>	2	14	-93.536	12.158	<b>Janv.</b>	4	8	-93.825	12.277	<b>Janv.</b>	6	3	-94.061	11.687
	3	11	93.056	-12.097		5	5	93.126	-12.192		7	0	93.605	-11.629

---

## EUROPE 2018

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>	2	14	-148.919	45.992	<b>Mars</b>	23	13	187.250	-50.747	<b>Juin</b>	11	8	-194.981	64.074	
	4	9	149.318	-45.975		25	7	-191.478	52.408		13	3	191.179	-62.345	
	6	3	-150.383	46.154		27	2	188.901	-51.592		14	21	-193.365	64.046	
	7	22	150.622	-46.091		28	20	-193.073	53.279		16	16	189.696	-62.334	
	9	16	-151.756	46.293		30	15	190.444	-52.455		18	11	-191.992	63.091	
	11	11	151.926	-46.215		<b>Avril</b>	1	9	-194.566		54.183	20	5	188.089	-62.244
	13	6	-153.510	45.780			3	4	191.869		-53.329	22	0	-190.327	62.975
	15	1	153.474	-45.636			4	23	-196.325		54.164	23	18	186.408	-62.088
	16	19	-155.086	45.995			6	17	193.162		-54.210	25	13	-188.520	62.782
	18	14	154.979	-45.836			8	12	-197.712		55.120	27	7	184.620	-61.854
20	8	-156.666	46.230	10	6		194.321	-55.092	29	2	-186.669	62.520			
22	3	156.400	-46.030	12	1		-198.932	56.052	30	21	183.237	-60.765			
23	22	-158.555	45.757	13	20		195.713	-55.012	<b>Juill.</b>	2	15	-184.690	62.184		
25	17	158.158	-45.517	15	14		-199.993	56.993		4	10	181.496	-60.479		
27	11	-160.333	46.077	17	9		196.721	-55.916		6	5	-183.095	61.007		
29	6	159.782	-45.797	19	3	-200.880	57.899	7		23	179.715	-60.141			
<b>Févr.</b>	31	0	-162.020	46.386	20	22	197.561	-56.802	9	18	-181.186	60.624			
	1	19	161.407	-46.098	22	16	-201.583	58.797	11	12	177.852	-59.735			
	3	14	-164.083	45.992	24	11	198.226	-57.662	13	7	-179.265	60.187			
	5	9	163.227	-45.626	26	6	-202.398	58.672	15	2	176.301	-58.497			
	7	3	-165.956	46.392	28	0	198.714	-58.489	16	20	-177.231	59.683			
	8	22	165.039	-46.020	<b>Mai</b>	29	19	-202.872	59.539	18	15	174.562	-58.070		
	10	16	-167.837	46.831		1	13	199.019	-59.276	20	10	-175.582	58.391		
	12	11	166.783	-46.425		3	8	-203.153	60.345	22	4	172.808	-57.601		
	14	6	-169.893	46.468		5	2	199.145	-60.019	23	23	-173.691	57.871		
	16	0	168.512	-46.858		6	21	-203.231	61.113	25	17	170.981	-57.073		
17	19	-171.939	47.007	8		15	199.084	-60.707	27	12	-171.813	57.312			
19	14	170.570	-46.512	10		10	-203.123	61.809	29	7	169.516	-55.783			
21	8	-173.887	47.545	12		5	199.209	-60.368	31	1	-169.830	56.693			
23	3	172.457	-47.048	13		23	-202.808	62.454	<b>Août</b>	1	20	167.859	-55.257		
24	21	-175.822	48.128	15		18	198.907	-60.977		3	15	-168.335	55.372		
26	16	174.276	-47.602	17	12	-202.316	63.015	5		9	166.207	-54.702			
28	11	-178.002	47.889	19	7	198.427	-61.518	7		4	-166.535	54.759			
2	5	176.063	-48.189	21	1	-201.614	63.511	8		22	164.472	-54.089			
4	0	-180.052	48.576	22	20	197.776	-61.988	10		17	-164.751	54.117			
5	19	178.162	-47.950	24	15	-201.072	62.975	12		12	163.255	-52.814			
7	13	-181.998	49.268	26	9	196.954	-62.381	14		7	-163.257	52.752			
9	8	180.054	-48.639	28	4	-200.156	63.363	16		1	161.718	-52.218			
11	2	-183.904	50.006	29	22	195.972	-62.698	17		20	-161.666	52.126			
12	21	181.860	-49.350	31	17	-199.106	63.663	19	14	160.186	-51.599				
14	16	-185.977	49.860	<b>Juin</b>	2	11	194.838	-62.934	21	9	-159.986	51.449			
16	10	183.607	-50.092		4	6	-197.865	63.885	23	4	159.034	-50.302			
18	5	-187.924	50.695		6	0	193.557	-63.092	24	23	-158.681	50.097			
19	23	185.256	-50.854		7	19	-196.514	64.021	26	17	157.705	-49.708			
21	18	-189.739	51.530		9	14	192.564	-62.283	28	12	-157.206	49.445			

## EUROPE 2018

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>	30	6	156.291	-49.061	<b>Oct.</b>	13	18	-144.323	37.679	<b>Nov.</b>	27	5	144.364	-27.794
<b>Sept.</b>	1	1	-155.739	48.770		15	12	145.641	-37.881		29	0	-142.001	26.758
	2	20	155.351	-47.796		17	7	-143.665	37.042		30	19	144.762	-26.622
	4	15	-154.563	47.424		19	2	145.372	-36.668	<b>Déc.</b>	2	14	-142.282	25.556
	6	9	154.136	-47.174		20	21	-143.281	35.790		4	8	144.984	-26.055
	8	4	-153.302	46.777		22	15	144.951	-36.079		6	3	-142.629	25.005
	9	23	153.149	-45.874		24	10	-142.814	35.179		7	22	145.422	-24.876
	11	17	-151.944	46.083		26	5	144.709	-34.855		9	16	-142.910	24.436
	13	12	152.133	-45.278		28	0	-142.458	33.918		11	11	145.807	-24.324
	15	7	-151.036	44.781		29	18	144.454	-34.284		13	6	-143.479	23.264
	17	1	151.115	-44.666		31	13	-142.183	33.332		15	1	146.282	-23.138
	18	20	-149.884	44.117	<b>Nov.</b>	2	8	144.245	-33.051		16	19	-143.952	22.715
	20	15	150.312	-43.385		4	2	-141.856	32.722		18	14	146.828	-22.601
	22	10	-148.961	42.792		5	21	144.156	-32.496		20	9	-144.554	21.537
	24	4	149.487	-42.798		7	16	-141.771	31.498		22	3	147.309	-22.041
	25	23	-148.018	42.159		9	10	143.965	-31.898		23	22	-145.219	21.008
	27	17	148.554	-42.159		11	5	-141.626	30.910		25	17	148.046	-20.889
	29	12	-147.054	41.504		13	0	144.059	-30.715		27	11	-145.819	20.466
<b>Oct.</b>	1	7	148.045	-40.937		14	19	-141.584	29.680		29	6	148.701	-20.347
	3	2	-146.353	40.212		16	13	144.032	-30.133		31	1	-146.704	19.314
	4	20	147.300	-40.322		18	8	-141.624	29.112	<b>Janv.</b>	1	20	149.461	-19.189
	6	15	-145.581	39.584		20	3	144.160	-28.941		3	14	-147.503	18.795
	8	10	146.800	-39.083		21	21	-141.599	28.522		5	9	150.292	-18.667
	10	5	-144.899	38.281		23	16	144.300	-28.375		7	4	-148.414	17.638
	11	23	146.236	-38.490		25	11	-141.841	27.327		8	22	151.024	-18.142

## GANYMÈDE 2018

**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	12	237.394	-73.766	<b>Mai</b>	8	17	-321.255	97.740	<b>Sept.</b>	10	22	242.728	-73.792	
	7	2	-240.535	73.959		12	7	320.309	-98.142		14	12	-242.052	72.734	
	10	16	241.988	-73.573		15	20	-320.447	99.545		18	3	239.536	-70.665	
	14	6	-245.199	73.799		19	10	318.841	-99.715		21	17	-238.989	69.599	
	17	20	246.915	-73.519		23	0	-318.734	100.247		25	7	236.600	-68.028	
	21	11	-250.420	73.287		26	13	316.351	-100.843		28	21	-236.240	66.961	
	25	1	252.369	-73.117		30	3	-315.831	101.184	<b>Oct.</b>	2	11	234.006	-65.406	
<b>Févr.</b>	28	15	-255.885	73.475	<b>Juin</b>	2	17	313.200	-100.868		6	1	-233.865	64.344	
	1	5	257.969	-73.399		6	6	-311.992	101.619		9	16	231.920	-62.355	
	4	19	-261.691	73.867		9	20	309.084	-101.113		13	6	-232.079	61.332	
		8	9	263.808		-73.865		13	10		-307.593	100.950	16	20	230.098
	11	23	-267.712	74.450		17	0	304.415	-100.249	20	10	-230.518	58.781		
	15	13	269.922	-74.550		20	13	-302.474	100.502	24	1	228.776	-56.787		
	19	3	-273.900	75.251		24	3	299.112	-99.636	27	15	-229.419	55.814		
	22	17	276.202	-75.458		27	17	-297.134	99.060	31	5	227.821	-54.288		
<b>Mars</b>	26	6	-280.038	76.869	<b>Juill.</b>	1	7	293.575	-98.022	<b>Nov.</b>	3	19	-228.616	53.312	
	1	20	282.452	-77.227		4	20	-291.394	97.912		7	9	227.226	-51.811	
	5	10	-286.354	78.124		8	10	287.633	-96.694		11	0	-228.233	50.380	
	9	0	288.811	-78.616		12	0	-285.693	95.902		14	14	227.135	-48.921	
	12	14	-292.609	79.601		15	14	281.865	-94.553		18	4	-228.227	47.931	
	16	4	294.962	-80.209		19	4	-279.927	93.674		21	18	227.267	-46.490	
	19	17	-298.436	81.919		22	18	276.131	-92.225		25	9	-228.657	45.058	
	23	7	300.614	-82.631		26	8	-274.224	91.268	<b>Déc.</b>	28	23	227.897	-43.640	
	26	21	-304.209	83.817		29	22	270.567	-89.776		2	13	-229.474	42.672	
	30	11	305.980	-84.550	<b>Août</b>	2	12	-268.658	88.732		6	3	228.769	-41.246	
<b>Avril</b>	3	0	-309.122	86.463		6	2	265.175	-87.216		9	18	-230.654	39.846	
	6	14	310.577	-87.239		9	16	-263.376	86.124		13	8	230.181	-38.442	
	10	4	-313.611	88.537		13	6	260.033	-84.591		16	22	-232.183	37.503	
	13	18	314.630	-89.289		16	20	-258.411	83.470		20	12	231.908	-36.116	
	17	7	-316.998	91.249		20	10	255.183	-81.911		24	2	-234.034	35.175	
	20	21	317.659	-91.998		24	0	-253.827	80.807		27	17	234.122	-33.378	
	24	11	-319.554	93.157		27	14	250.638	-79.199		31	7	-236.385	32.435	
	28	0	319.580	-94.539		31	4	-249.558	78.119	<b>Janv.</b>	3	21	236.643	-31.123	
<b>Mai</b>	1	14	-320.965	95.589	<b>Sept.</b>	3	18	246.493	-76.492		7	11	-239.068	30.185	
	5	4	320.588	-96.153		7	8	-245.630	75.430		11	2	239.554	-28.447	

## CALLISTO 2018

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>	4	17	-422.318	128.483	<b>Mai</b>	18	4	-565.627	173.452	<b>Sept.</b>	28	21	-417.321	116.560
	13	3	427.654	-126.992		26	12	555.606	-174.089		<b>Oct.</b>	7	8	408.073
	21	12	-442.678	127.859	<b>Juin</b>	3	18	-553.885	176.480	15	17	-408.695	105.326	
<b>Févr.</b>	29	22	449.266	-127.085		12	3	540.081	-174.510	24	5	401.461	-98.447	
	7	7	-466.113	128.836	20	9	-534.909	174.798	<b>Nov.</b>	1	14	-404.079	94.086	
<b>Mars</b>	15	17	473.770	-129.001	<b>Juill.</b>	28	18	518.827	-170.931	<b>Déc.</b>	10	1	398.374	-87.668
	24	0	-491.622	132.622		7	1	-511.812	169.047		18	11	-403.237	83.097
	4	10	499.339	-133.795		15	10	495.325	-163.921	26	22	399.159	-76.845	
	12	17	-517.614	138.631	23	18	-487.944	160.476	5	8	-405.994	72.311		
	21	2	524.133	-141.197	<b>Août</b>	1	3	471.953	-154.552	13	19	403.675	-66.266	
<b>Avril</b>	29	9	-540.996	146.970	<b>Sept.</b>	9	11	-465.454	150.554	<b>Janv.</b>	22	5	-412.580	61.782
	6	17	545.015	-150.660		17	22	450.926	-143.555		30	16	411.809	-55.945
	15	0	-558.676	156.793		26	6	-445.775	139.306	8	1	-422.993	51.892	
	23	8	558.529	-160.341	3	17	433.058	-132.312	16	12	423.836	-46.343		
<b>Mai</b>	1	14	-567.503	166.451	12	1	-429.579	127.999						
	9	22	562.227	-168.888	20	12	418.611	-121.084						



# 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 2018

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	4	22.650	-0.816	<b>Janv.</b>	22	9	-23.686	1.387	<b>Févr.</b>	12	14	23.409	-0.959
	1	16	-23.314	3.161		22	21	22.804	-2.936		13	2	-23.852	3.816
	2	3	22.660	-1.976		23	8	-23.696	2.534		13	13	23.526	-2.153
	2	14	-23.558	1.346		23	19	22.946	-1.023		14	0	-24.075	1.964
	3	2	22.412	-3.115		24	7	-23.460	3.657		14	12	23.375	-3.322
	3	13	-23.496	2.472		24	18	22.979	-2.199		14	23	-24.053	3.128
	4	0	22.700	-1.219		25	5	-23.749	1.831		15	10	23.561	-1.411
	4	11	-23.475	0.634		25	17	22.750	-3.351		15	22	-23.776	4.260
	4	23	22.627	-2.375		26	4	-23.674	2.973		16	9	23.586	-2.599
	5	10	-23.575	1.772		26	15	23.040	-1.451		16	20	-24.150	2.425
	5	21	22.625	-0.456		27	2	-23.697	1.119		17	8	23.343	-3.758
	6	9	-23.432	2.893		27	14	22.985	-2.622		17	19	-24.038	3.581
6	20	22.728	-1.624	28	1	-23.785	2.276	18	6	23.684	-1.863			
7	7	-23.548	1.064	28	12	22.987	-0.697	18	17	-24.142	1.710			
7	19	22.572	-2.775	29	0	-23.625	3.411	19	5	23.617	-3.044			
8	6	-23.566	2.199	29	11	23.108	-1.882	19	16	-24.196	2.886			
8	17	22.713	-0.865	29	22	-23.792	1.568	20	3	23.672	-1.120			
9	5	-23.342	3.312	30	10	22.966	-3.045	20	15	-23.991	4.032			
9	16	22.733	-2.031	30	21	-23.795	2.721	21	2	23.780	-2.317			
10	3	-23.597	1.494	31	8	23.117	-1.132	21	13	-24.249	2.176			
10	15	22.494	-3.174	<b>Févr.</b>	31	20	-23.548	3.847	22	1	23.619	-3.488		
11	2	-23.533	2.625		1	7	23.150	-2.312	22	12	-24.210	3.345		
11	13	22.778	-1.277		1	18	-23.861	2.019	22	23	23.831	-1.580		
12	0	-23.523	0.782		2	6	22.921	-3.467	23	11	-23.912	4.480		
12	12	22.715	-2.438		2	17	-23.777	3.166	23	22	23.846	-2.770		
12	23	-23.621	1.926	3	4	23.222	-1.569	24	9	-24.325	2.642			
13	10	22.709	-0.516	3	15	-23.822	1.306	24	21	23.590	-3.930			
13	22	-23.475	3.052	4	3	23.167	-2.743	25	8	-24.193	3.802			
14	9	22.820	-1.690	4	14	-23.902	2.470	25	19	23.961	-2.040			
14	20	-23.604	1.218	5	1	23.180	-0.818	26	6	-24.334	1.925			
15	8	22.673	-2.846	5	13	-23.730	3.609	26	18	23.881	-3.223			
15	19	-23.620	2.359	6	0	23.301	-2.007	27	5	-24.370	3.106			
16	6	22.812	-0.934	6	11	-23.922	1.761	27	16	23.966	-1.301			
16	18	-23.391	3.477	6	23	23.157	-3.174	28	4	-24.143	4.255			
17	5	22.839	-2.105	7	10	-23.914	2.920	28	15	24.061	-2.501			
17	16	-23.661	1.656	7	21	23.322	-1.261	<b>Mars</b>	1	2	-24.442	2.395		
18	4	22.607	-3.253	8	9	-23.654	4.049		1	14	23.884	-3.673		
18	15	-23.593	2.793	8	20	23.353	-2.446		2	1	-24.382	3.568		
19	2	22.891	-1.354	9	7	-23.995	2.217		2	12	24.131	-1.768		
19	13	-23.597	0.944	9	19	23.119	-3.603		3	0	-24.059	4.705		
20	1	22.834	-2.520	10	6	-23.898	3.369	3	11	24.129	-2.961			
20	12	-23.692	2.095	10	17	23.437	-1.706	3	22	-24.517	2.865			
20	23	22.829	-0.596	11	4	-23.970	1.503	4	10	23.855	-4.121			
21	11	-23.540	3.225	11	16	23.379	-2.884	4	21	-24.361	4.028			
21	22	22.947	-1.776	12	3	-24.039	2.673	5	8	24.264	-2.236			

## MIMAS 2018

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>Mars</b>	5	19	-24.546	2.147	<b>Mars</b>	27	0	25.198	-1.711	<b>Avril</b>	17	5	-25.936	3.049
	6	7	24.165	-3.419		27	12	-24.911	4.729		17	17	26.070	-4.432
	6	18	-24.560	3.333		27	23	25.292	-2.925		18	4	-25.834	4.263
	7	5	24.289	-1.500		28	10	-25.264	2.837		18	15	26.404	-2.529
	7	17	-24.305	4.484		28	22	25.104	-4.106		19	2	-25.934	2.295
	8	4	24.366	-2.703		29	9	-25.184	4.034		19	14	26.363	-3.741
	8	15	-24.652	2.621		29	20	25.389	-2.204		20	1	-26.016	3.535
	9	3	24.168	-3.875		30	8	-24.821	5.187		20	13	26.027	-4.911
	9	14	-24.567	3.798		30	19	25.377	-3.408		21	0	-25.796	4.735
	10	1	24.457	-1.975		31	6	-25.349	3.318		21	11	26.548	-3.034
10	13	-24.213	4.935	<b>Avril</b>	31	18	25.080	-4.575	21	22	-26.085	2.788		
11	0	24.434	-3.169		1	5	-25.161	4.502	22	10	26.389	-4.232		
11	11	-24.724	3.094		1	16	25.542	-2.695	22	21	-26.049	4.017		
11	23	24.136	-4.328		2	3	-25.405	2.585	23	8	26.625	-2.314		
12	10	-24.539	4.259		2	15	25.421	-3.888	23	20	-25.710	5.200		
12	21	24.591	-2.449		3	2	-25.394	3.796	24	7	26.643	-3.535		
13	8	-24.773	2.373		3	13	25.598	-1.971	24	18	-26.189	3.277		
13	20	24.468	-3.633		4	1	-25.096	4.965	25	6	26.366	-4.717		
14	7	-24.761	3.564		4	12	25.654	-3.185	25	17	-26.034	4.493		
14	18	24.638	-1.719		4	23	-25.518	3.070	26	4	26.790	-2.824		
15	6	-24.475	4.716	5	11	25.424	-4.363	26	15	-26.216	2.521			
15	17	24.691	-2.922	5	22	-25.397	4.269	27	3	26.689	-4.032			
16	4	-24.876	2.850	6	9	25.779	-2.468	27	14	-26.246	3.762			
16	16	24.466	-4.094	6	20	-25.531	2.329	28	1	26.829	-2.101			
17	3	-24.761	4.030	7	8	25.725	-3.671	28	13	-25.969	4.962			
17	14	24.804	-2.199	7	19	-25.589	3.553	29	0	26.906	-3.331			
18	1	-24.883	2.123	8	6	25.796	-1.741	29	11	-26.346	3.013			
18	13	24.755	-3.394	8	18	-25.356	4.738	29	23	26.684	-4.524			
19	0	-24.942	3.325	9	5	25.919	-2.964	30	10	-26.255	4.242			
19	11	24.808	-1.466	9	16	-25.671	2.818	30	21	27.015	-2.615			
19	23	-24.724	4.493	10	4	25.753	-4.154	<b>Mai</b>	1	8	-26.330	2.247		
20	10	24.935	-2.679	10	15	-25.618	4.031		1	20	26.971	-3.833		
20	21	-25.015	2.604	11	2	26.004	-2.244		2	7	-26.427	3.501		
21	9	24.783	-3.862	11	14	-25.271	5.199		2	19	26.627	-5.009		
21	20	-24.971	3.798	12	1	26.015	-3.457		3	6	-26.212	4.716		
22	7	25.006	-1.953	12	12	-25.770	3.303	3	17	27.150	-3.126			
22	19	-24.649	4.951	13	0	25.735	-4.633	4	4	-26.484	2.742			
23	6	25.030	-3.157	13	11	-25.602	4.504	4	16	26.983	-4.330			
23	17	-25.110	3.084	13	22	26.169	-2.746	5	3	-26.457	3.985			
24	5	24.772	-4.327	14	9	-25.811	2.559	5	14	27.221	-2.405			
24	16	-24.961	4.266	14	21	26.066	-3.947	6	2	-26.118	5.183			
25	3	25.168	-2.440	15	8	-25.825	3.786	6	13	27.232	-3.632			
25	14	-25.140	2.354	15	19	26.215	-2.023	7	0	-26.588	3.233			
26	2	25.087	-3.634	16	7	-25.541	4.971	7	12	26.942	-4.820			
26	13	-25.166	3.560	16	18	26.289	-3.245	7	23	-26.436	4.463			

## MIMAS 2018

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> 8 10	27.374	-2.920	<b>Mai</b> 29 15	-27.126	3.850	<b>Juin</b> 19 20	28.434	-4.201
8 21	-26.603	2.465	30 2	28.194	-2.608	20 7	-27.516	3.116
9 9	27.261	-4.134	30 14	-26.765	5.069	20 18	28.587	-2.237
9 20	-26.640	3.720	31 1	28.151	-3.841	21 6	-27.260	4.361
10 7	27.408	-2.196	31 12	-27.238	3.075	21 17	28.593	-3.480
10 19	-26.361	4.933	<b>Juin</b> 1 0	27.798	-5.033	22 4	-27.528	2.317
11 6	27.473	-3.432	1 11	-27.071	4.324	22 16	28.286	-4.685
11 17	-26.729	2.959	1 22	28.283	-3.124	23 3	-27.470	3.586
12 5	27.234	-4.630	2 9	-27.230	2.285	23 14	28.642	-2.746
12 16	-26.640	4.201	2 21	28.108	-4.342	24 2	-27.078	4.812
13 3	27.577	-2.715	3 8	-27.259	3.559	24 13	28.514	-3.974
13 14	-26.701	2.181	3 19	28.308	-2.394	25 0	-27.559	2.794
14 2	27.516	-3.938	4 7	-26.957	4.790	25 11	28.582	-2.000
14 13	-26.803	3.448	4 18	28.311	-3.634	25 23	-27.365	4.048
15 0	27.573	-1.987	5 5	-27.327	2.775	26 10	28.634	-3.247
15 12	-26.585	4.675	5 17	28.003	-4.835	26 21	-27.526	1.989
15 23	27.691	-3.230	6 4	-27.221	4.035	27 9	28.371	-4.458
16 10	-26.850	2.676	6 15	28.406	-2.911	27 20	-27.530	3.264
16 22	27.502	-4.438	7 2	-27.276	1.978	28 7	28.643	-2.506
17 9	-26.823	3.931	7 14	28.277	-4.136	28 19	-27.200	4.500
17 20	27.757	-2.508	8 1	-27.366	3.259	29 6	28.561	-3.739
18 8	-26.476	5.141	8 12	28.392	-2.175	29 17	-27.574	2.466
18 19	27.747	-3.739	9 0	-27.124	4.503	30 4	28.543	-1.754
19 6	-26.945	3.168	9 11	28.442	-3.421	30 16	-27.442	3.726
19 18	27.430	-4.930	9 22	-27.391	2.468	<b>Juill.</b> 1 3	28.641	-3.004
20 5	-26.788	4.408	10 10	28.179	-4.631	1 14	-27.495	1.656
20 16	27.884	-3.025	10 21	-27.346	3.737	2 2	28.425	-4.221
21 3	-26.949	2.388	11 8	28.498	-2.693	2 13	-27.562	2.935
21 15	27.745	-4.242	11 20	-26.969	4.961	3 0	28.611	-2.257
22 2	-26.985	3.654	12 7	28.414	-3.925	3 12	-27.295	4.178
22 13	27.913	-2.299	12 18	-27.447	2.952	3 23	28.575	-3.494
23 1	-26.697	4.878	13 5	28.446	-1.952	4 10	-27.560	2.131
23 12	27.953	-3.537	13 17	-27.267	4.206	4 22	28.226	-4.692
23 23	-27.064	2.881	14 4	28.541	-3.203	5 9	-27.491	3.396
24 11	27.684	-4.738	14 15	-27.428	2.153	5 20	28.615	-2.753
24 22	-26.968	4.134	15 3	28.322	-4.420	6 8	-27.090	4.620
25 9	28.053	-2.818	15 14	-27.444	3.430	6 19	28.446	-3.974
25 20	-27.024	2.093	16 1	28.559	-2.468	7 6	-27.565	2.599
26 8	27.962	-4.044	16 13	-27.128	4.666	7 17	28.544	-2.000
26 19	-27.123	3.369	17 0	28.520	-3.706	8 5	-27.361	3.848
27 6	28.044	-2.087	17 11	-27.502	2.638	8 16	28.556	-3.240
27 18	-26.895	4.606	17 23	28.167	-4.904	9 3	-27.516	1.791
28 5	28.132	-3.333	18 10	-27.382	3.900	9 15	28.255	-4.444
28 16	-27.159	2.587	18 21	28.608	-2.978	10 2	-27.511	3.059
29 4	27.911	-4.543	19 8	-27.437	1.833	10 13	28.555	-2.492

## MIMAS 2018

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>	11	1	-27.174	4.290	<b>Août</b>	1	5	27.975	-1.819	<b>Août</b>	22	10	-26.687	1.059
	11	12	28.435	-3.718		1	17	-27.073	3.328		22	22	26.696	-4.083
	11	23	-27.538	2.257		2	4	27.938	-3.039		23	9	-26.660	2.270
	12	10	28.444	-1.735		2	15	-27.180	1.293		23	20	27.055	-2.152
	12	22	-27.400	3.511		3	3	27.595	-4.223		24	8	-26.328	3.453
	13	9	28.504	-2.977		3	14	-27.180	2.536		24	19	26.852	-3.334
	13	20	-27.443	1.446		4	1	27.909	-2.277		25	6	-26.639	1.480
	14	8	28.252	-4.185		4	13	-26.860	3.747		25	17	26.913	-1.374
	14	19	-27.503	2.716		5	0	27.748	-3.481		26	5	-26.497	2.679
	15	6	28.462	-2.223		5	11	-27.164	1.735		26	16	26.893	-2.570
	15	18	-27.231	3.952		5	22	27.766	-1.505		27	3	-26.497	0.687
	16	5	28.391	-3.451		6	10	-27.040	2.964		27	15	26.578	-3.737
	16	16	-27.483	1.910		6	21	27.788	-2.725		28	2	-26.546	1.895
	17	4	28.009	-4.641		7	8	-27.028	0.929		28	13	26.819	-1.796
	17	15	-27.410	3.166		7	20	27.504	-3.914		29	1	-26.292	3.080
18	2	28.419	-2.702	8	7	-27.097	2.170	29	12	26.687	-2.980			
18	13	-27.341	1.096	8	18	27.714	-1.958	29	23	-26.474	1.106			
19	1	28.218	-3.915	9	6	-26.849	3.384	30	10	26.630	-1.014			
19	12	-27.465	2.367	9	17	27.613	-3.164	30	22	-26.409	2.304			
19	23	28.336	-1.942	10	4	-27.033	1.369	31	9	26.681	-2.211			
20	11	-27.261	3.607	10	16	27.210	-4.335	<b>Sept.</b>	31	20	-26.283	0.316		
20	22	28.316	-3.173	11	3	-26.979	2.597		1	8	26.439	-3.381		
21	9	-27.398	1.558	11	14	27.609	-2.402		1	19	-26.406	1.520		
21	21	27.987	-4.368	12	2	-26.611	3.793		2	6	26.560	-1.432		
22	8	-27.391	2.816	12	13	27.388	-3.594		2	18	-26.230	2.704		
22	19	28.303	-2.418	13	0	-26.987	1.802	3	5	26.501	-2.617			
23	7	-27.056	4.038	13	11	27.490	-1.629	3	16	-26.283	0.733			
23	18	28.154	-3.634	13	23	-26.813	3.016	4	4	26.150	-3.773			
24	5	-27.398	2.013	14	10	27.452	-2.837	4	15	-26.295	1.927			
24	16	28.177	-1.653	14	21	-26.874	1.001	5	2	26.447	-1.843			
25	4	-27.261	3.256	15	9	27.113	-4.012	5	14	-26.012	3.097			
25	15	28.211	-2.885	15	20	-26.892	2.227	6	1	26.279	-3.016			
26	2	-27.284	1.202	16	7	27.403	-2.068	6	12	-26.241	1.144			
26	14	27.935	-4.084	16	19	-26.599	3.425	6	23	26.276	-1.061			
27	1	-27.344	2.459	17	6	27.247	-3.262	7	11	-26.144	2.328			
27	12	28.155	-2.124	17	17	-26.850	1.431	7	22	26.293	-2.247			
28	0	-27.078	3.686	18	4	27.239	-1.291	8	9	-26.068	0.360			
28	11	28.061	-3.342	18	16	-26.749	2.644	8	21	26.019	-3.407			
28	22	-27.304	1.654	19	3	27.266	-2.499	9	8	-26.157	1.551			
29	10	27.660	-4.522	19	14	-26.688	0.631	9	19	26.189	-1.468			
29	21	-27.235	2.898	20	2	26.994	-3.677	10	7	-25.954	2.721			
30	8	28.074	-2.586	20	13	-26.778	1.854	10	18	26.099	-2.644			
30	20	-26.843	4.106	21	0	27.171	-1.725	11	5	-26.052	0.771			
31	7	27.855	-3.788	21	12	-26.561	3.053	11	17	25.722	-3.790			
31	18	-27.268	2.099	21	23	27.082	-2.921	12	4	-26.034	1.952			

## MIMAS 2018

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	15	26.062	-1.870	Oct.	3	20	-25.316	0.859	Oct.	25	1	24.060	-1.382
	13	3	-25.727	3.108		4	7	24.884	-0.688		25	13	-24.398	2.803
	13	14	25.868	-3.034		4	19	-25.242	2.006		26	0	23.924	-2.521
	14	1	-25.995	1.176		5	6	24.928	-1.852		26	11	-24.618	0.954
	14	12	25.909	-1.087		5	17	-25.135	0.099		26	22	23.901	-0.602
	15	0	-25.873	2.346		6	5	24.695	-2.994		27	10	-24.528	2.076
	15	11	25.898	-2.264		6	16	-25.238	1.251		27	21	23.946	-1.751
	15	22	-25.839	0.399		7	3	24.812	-1.071		28	8	-24.466	0.214
	16	10	25.601	-3.415		7	15	-25.071	2.388		28	20	23.724	-2.881
	16	21	-25.900	1.576		8	2	24.762	-2.227		29	7	-24.546	1.343
	17	8	25.811	-1.485		8	13	-25.120	0.495		29	18	23.849	-0.974
	17	20	-25.676	2.734		9	1	24.436	-3.357		30	6	-24.371	2.456
	18	7	25.697	-2.652		9	12	-25.130	1.640		30	17	23.808	-2.117
	18	18	-25.809	0.803		9	23	24.709	-1.449		31	4	-24.452	0.606
	19	5	25.606	-0.700		10	11	-24.871	2.765		31	16	23.501	-3.236
	19	17	-25.768	1.971		10	22	24.566	-2.597		Nov.	1	3	-24.447
20	4	25.676	-1.878	11	9	-25.073	0.888	1	14	23.773		-1.344		
20	16	-25.443	3.115	11	20	24.538	-0.666	2	2	-24.187		2.832		
21	3	25.462	-3.033	12	8	-24.991	2.025	2	13	23.646		-2.479		
21	14	-25.742	1.202	12	19	24.577	-1.824	3	0	-24.412		0.997		
22	1	25.537	-1.095	13	6	-24.904	0.134	3	11	23.617		-0.565		
22	13	-25.601	2.360	13	18	24.343	-2.961	3	23	-24.322	2.112			
23	0	25.507	-2.264	14	5	-24.996	1.278	4	10	23.672	-1.711			
23	11	-25.601	0.432	14	16	24.470	-1.044	4	21	-24.266	0.262			
23	23	25.194	-3.407	15	4	-24.823	2.405	5	9	23.461	-2.838			
24	10	-25.640	1.598	15	15	24.418	-2.194	5	20	-24.345	1.385			
24	21	25.434	-1.486	16	2	-24.887	0.528	6	7	23.577	-0.936			
25	9	-25.399	2.744	16	14	24.094	-3.320	6	19	-24.171	2.492			
25	20	25.304	-2.645	17	1	-24.888	1.665	7	6	23.547	-2.076			
26	7	-25.562	0.831	17	12	24.373	-1.418	7	17	-24.257	0.654			
26	18	25.242	-0.701	18	0	-24.626	2.782	8	5	23.253	-3.193			
27	6	-25.503	1.988	18	11	24.231	-2.560	8	16	-24.252	1.771			
27	17	25.296	-1.871	18	22	-24.840	0.919	9	3	23.513	-1.305			
28	4	-25.370	0.065	19	9	24.209	-0.636	9	15	-23.997	2.869			
28	16	25.069	-3.019	19	21	-24.752	2.048	10	2	23.399	-2.439			
29	3	-25.489	1.227	20	8	24.249	-1.789	10	13	-24.222	1.045			
29	14	25.170	-1.089	20	19	-24.679	0.172	11	0	23.359	-0.528			
30	2	-25.332	2.374	21	7	24.019	-2.922	11	12	-24.135	2.156			
30	13	25.126	-2.251	21	18	-24.764	1.307	11	23	23.426	-1.673			
Oct.	1	0	-25.360	0.464	22	5	24.148	-1.010	12	10	-24.082	0.317		
	1	12	24.804	-3.387	22	17	-24.588	2.427	12	22	23.229	-2.797		
	1	23	-25.382	1.619	23	4	24.100	-2.157	13	9	-24.162	1.435		
	2	10	25.064	-1.473	23	15	-24.663	0.564	13	20	23.333	-0.899		
	2	22	-25.130	2.754	24	3	23.782	-3.279	14	8	-23.993	2.537		
	3	9	24.925	-2.625	24	14	-24.660	1.693	14	19	23.316	-2.038		

## MIMAS 2018

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>	15	6	-24.079	0.711	<b>Déc.</b>	2	6	-23.554	3.039	<b>Déc.</b>	19	5	-23.524	2.523
	15	18	23.038	-3.153		2	17	22.856	-2.340		19	16	22.683	-1.565
	16	5	-24.077	1.823		3	4	-23.772	1.246		20	4	-23.224	3.589
	16	16	23.284	-1.269		3	16	22.535	-3.442		20	15	22.578	-2.683
	17	4	-23.827	2.916		4	3	-23.700	2.345		21	2	-23.569	1.831
	17	15	23.185	-2.400		4	14	22.880	-1.583		21	13	22.586	-0.810
	18	2	-24.051	1.103		5	1	-23.646	0.534		22	1	-23.431	2.915
	18	13	23.131	-0.495		5	13	22.737	-2.704		22	12	22.659	-1.941
	19	1	-23.968	2.209		6	0	-23.737	1.642		22	23	-23.507	1.132
	19	12	23.212	-1.637		6	11	22.786	-0.819		23	11	22.475	-3.050
	19	23	-23.916	0.380		6	23	-23.587	2.732		23	22	-23.531	2.230
	20	11	23.032	-2.760		7	10	22.821	-1.953		24	9	22.621	-1.191
	20	22	-23.999	1.494		7	21	-23.667	0.933		24	21	-23.316	3.305
	21	9	23.119	-0.866		8	9	22.599	-3.065		25	8	22.614	-2.317
	21	21	-23.835	2.592		8	20	-23.680	2.036		25	19	-23.525	1.537
	22	8	23.119	-2.003		9	7	22.785	-1.194		26	7	22.351	-3.415
	22	19	-23.920	0.775		9	19	-23.452	3.116		26	18	-23.471	2.628
	23	7	22.858	-3.117		10	6	22.741	-2.322		27	5	22.635	-1.573
	23	18	-23.923	1.883		10	17	-23.666	1.333		27	17	-23.178	3.691
	24	5	23.085	-1.237		11	5	22.440	-3.423		28	4	22.548	-2.690
	24	17	-23.680	2.972		11	16	-23.600	2.428		28	15	-23.521	1.941
	25	4	23.004	-2.367		12	3	22.764	-1.569		29	2	22.538	-0.823
	25	15	-23.901	1.170		12	15	-23.294	3.498		29	14	-23.388	3.023
	26	2	22.932	-0.466		13	2	22.640	-2.688		30	1	22.628	-1.953
	26	14	-23.823	2.271		13	13	-23.641	1.731		30	12	-23.464	1.248
	27	1	23.030	-1.607		14	0	22.669	-0.809		31	0	22.462	-3.061
	27	12	-23.771	0.452		14	12	-23.497	2.818		31	11	-23.493	2.344
	28	0	22.868	-2.728		14	23	22.723	-1.942		31	22	22.591	-1.209
	28	11	-23.857	1.563		15	10	-23.575	1.028	<b>Janv.</b>	1	10	-23.282	3.415
	28	22	22.936	-0.839		15	22	22.520	-3.052		1	21	22.601	-2.332
	29	10	-23.700	2.657		16	9	-23.594	2.128		2	8	-23.492	1.655
	29	21	22.953	-1.974		16	20	22.686	-1.187		2	20	22.356	-3.429
	30	8	-23.783	0.850		17	8	-23.372	3.206		3	7	-23.442	2.744
	30	20	22.711	-3.087		17	19	22.661	-2.314		3	18	22.623	-1.594
<b>Déc.</b>	1	7	-23.790	1.955		18	6	-23.583	1.430		4	6	-23.153	3.803
	1	18	22.919	-1.212		18	18	22.379	-3.413		4	17	22.553	-2.709

## ENCELADE 2018

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	2	29.231	-4.036	<b>Janv.</b>	31	22	-30.196	3.673	<b>Mars</b>	3	18	31.105	-3.492	
	1	18	-29.748	2.935		<b>Févr.</b>	1	14	30.043		-2.483	4	10	-31.478	2.428
	2	10	29.473	-1.760			2	7	-30.177		3.940	5	3	31.122	-3.780
	3	3	-29.728	3.193			2	23	30.077		-2.754	5	19	-31.547	2.721
	3	19	29.503	-2.022			3	16	-30.146		4.205	6	12	31.125	-4.070
	4	12	-29.697	3.446			4	8	30.099		-3.027	7	4	-31.604	3.015
	5	4	29.523	-2.284			5	0	-30.401		1.948	7	21	31.115	-4.360
	5	21	-29.658	3.702			5	17	30.111		-3.299	8	13	-31.649	3.310
	6	13	29.533	-2.546			6	9	-30.463		2.223	9	5	31.385	-2.032
	7	6	-29.610	3.956			7	2	30.111		-3.571	9	22	-31.682	3.603
	7	22	29.533	-2.807			7	18	-30.517		2.498	10	14	31.473	-2.331
	8	14	-29.808	1.701			8	11	30.099		-3.841	11	7	-31.701	3.898
	9	7	29.524	-3.064			9	3	-30.558		2.773	11	23	31.551	-2.631
	9	23	-29.847	1.965			9	20	30.078		-4.112	12	16	-31.706	4.193
	10	16	29.505	-3.325			10	12	-30.588		3.049	13	8	31.615	-2.931
	11	8	-29.878	2.228			11	5	30.045		-4.382	14	1	-31.698	4.488
12	1	29.477	-3.583	11	21		-30.607	3.324	14	17	31.667	-3.233			
12	17	-29.899	2.491	12	13	30.374	-2.102	15	9	-31.979	2.168				
13	10	29.438	-3.842	13	6	-30.616	3.597	16	2	31.703	-3.534				
14	2	-29.911	2.751	13	22	30.435	-2.383	16	18	-32.072	2.472				
14	19	29.389	-4.098	14	15	-30.613	3.872	17	11	31.726	-3.836				
15	11	-29.913	3.013	15	7	30.486	-2.663	18	3	-32.150	2.777				
16	3	29.643	-1.826	16	0	-30.598	4.146	18	20	31.735	-4.137				
16	20	-29.905	3.275	16	16	30.526	-2.944	19	12	-32.216	3.082				
17	12	29.686	-2.093	17	9	-30.572	4.421	20	5	31.730	-4.436				
18	5	-29.887	3.536	18	1	30.555	-3.223	20	21	-32.266	3.388				
18	21	29.720	-2.359	18	17	-30.886	2.154	21	13	32.002	-2.077				
19	14	-29.858	3.794	19	10	30.572	-3.504	22	6	-32.303	3.694				
20	6	29.743	-2.626	20	2	-30.954	2.437	22	22	32.100	-2.388				
20	23	-29.821	4.053	20	19	30.576	-3.784	23	15	-32.325	4.000				
21	15	29.755	-2.891	21	11	-31.011	2.721	24	7	32.184	-2.700				
22	7	-30.039	1.800	22	4	30.568	-4.065	25	0	-32.335	4.305				
23	0	29.758	-3.157	22	20	-31.059	3.004	25	16	32.252	-3.011				
23	16	-30.092	2.068	23	13	30.547	-4.343	26	9	-32.327	4.611				
24	9	29.750	-3.419	24	5	-31.093	3.289	27	1	32.307	-3.324				
25	1	-30.135	2.337	24	21	30.837	-2.041	27	17	-32.626	2.261				
25	18	29.732	-3.684	25	14	-31.115	3.573	28	10	32.346	-3.637				
26	10	-30.167	2.605	26	6	30.915	-2.330	29	2	-32.722	2.578				
27	3	29.703	-3.947	26	23	-31.124	3.858	29	19	32.372	-3.949				
27	19	-30.190	2.873	27	15	30.982	-2.620	30	11	-32.803	2.892				
28	12	29.665	-4.211	28	8	-31.122	4.140	31	4	32.381	-4.263				
29	4	-30.202	3.139	<b>Mars</b>	1	0	31.035	-2.911	31	20	-32.870	3.209			
29	20	29.945	-1.938		1	17	-31.106	4.424	<b>Avril</b>	1	13	32.375	-4.576		
30	13	-30.204	3.407		2	9	31.076	-3.201		2	5	-32.921	3.526		
31	5	29.999	-2.210		3	1	-31.395	2.134		2	21	32.670	-2.184		

## ENCELADE 2018

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>Avril</b>	3	14	-32.958	3.845	<b>Mai</b>	4	10	34.275	-4.305	<b>Juin</b>	4	5	-35.868	2.451
	4	6	32.770	-2.504		5	2	-34.718	3.249		4	22	35.628	-3.891
	4	23	-32.977	4.163		5	19	34.262	-4.653		5	14	-35.929	2.826
	5	15	32.855	-2.827		6	11	-34.767	3.601		6	7	35.605	-4.261
	6	8	-32.981	4.481		7	4	34.230	-4.999		6	23	-35.969	3.201
	7	0	32.924	-3.151		7	20	-34.796	3.953		7	16	35.562	-4.630
	7	17	-32.969	4.799		8	12	34.601	-2.492		8	8	-35.984	3.573
	8	9	32.977	-3.476		9	5	-34.805	4.302		9	1	35.493	-4.998
	9	1	-33.308	2.413		9	21	34.684	-2.849		9	17	-35.979	3.945
	9	18	33.012	-3.801		10	14	-34.795	4.653		10	9	35.793	-2.376
	10	10	-33.403	2.741		11	6	34.747	-3.206		11	2	-35.951	4.317
	11	3	33.031	-4.126		11	23	-34.763	5.004		11	18	35.844	-2.754
	11	19	-33.481	3.070		12	15	34.789	-3.564		12	11	-35.901	4.687
	12	12	33.034	-4.451		13	7	-35.081	2.495		13	3	35.874	-3.128
	13	4	-33.543	3.399		14	0	34.813	-3.919		13	20	-35.826	5.055
	13	21	33.021	-4.775		14	16	-35.163	2.856		14	12	35.880	-3.504
14	13	-33.587	3.727	15	9	34.814	-4.277	15	4	-36.088	2.437			
15	5	33.365	-2.348	16	1	-35.227	3.216	15	21	35.863	-3.878			
15	22	-33.615	4.057	16	18	34.795	-4.633	16	13	-36.133	2.816			
16	14	33.461	-2.682	17	10	-35.269	3.578	17	6	35.824	-4.252			
17	7	-33.626	4.387	18	3	34.754	-4.989	17	22	-36.157	3.191			
17	23	33.539	-3.018	18	19	-35.293	3.938	18	15	35.760	-4.622			
18	16	-33.620	4.717	19	11	35.092	-2.437	19	7	-36.157	3.568			
19	8	33.599	-3.352	20	4	-35.293	4.299	20	0	35.675	-4.991			
20	1	-33.595	5.047	20	20	35.169	-2.804	20	16	-36.134	3.943			
20	17	33.643	-3.688	21	13	-35.273	4.659	21	8	35.958	-2.344			
21	9	-33.995	2.628	22	5	35.224	-3.170	22	1	-36.087	4.316			
22	2	33.668	-4.025	22	22	-35.231	5.019	22	17	35.994	-2.723			
22	18	-34.080	2.968	23	14	35.260	-3.536	23	10	-36.018	4.684			
23	11	33.676	-4.362	24	6	-35.524	2.465	24	2	36.006	-3.101			
24	3	-34.149	3.306	24	23	35.273	-3.902	24	19	-35.926	5.052			
24	20	33.664	-4.699	25	15	-35.599	2.835	25	11	35.995	-3.477			
25	12	-34.198	3.648	26	8	35.264	-4.267	26	3	-36.173	2.411			
26	4	33.947	-2.226	27	0	-35.652	3.204	26	20	35.961	-3.852			
26	21	-34.230	3.989	27	17	35.233	-4.631	27	12	-36.201	2.790			
27	13	34.048	-2.572	28	9	-35.684	3.573	28	5	35.905	-4.221			
28	6	-34.242	4.331	29	2	35.182	-4.990	28	21	-36.204	3.168			
28	22	34.133	-2.917	29	18	-35.692	3.941	29	14	35.825	-4.591			
29	15	-34.234	4.670	30	10	35.498	-2.402	30	6	-36.186	3.543			
30	7	34.198	-3.264	31	3	-35.680	4.308	30	23	35.724	-4.958			
<b>Mai</b>	1	0	-34.209	5.011	<b>Juin</b>	31	19	35.565	-2.775	<b>Juill.</b>	1	15	-36.145	3.916
	1	16	34.243	-3.612		1	12	-35.646	4.674		2	7	35.986	-2.295
	2	8	-34.561	2.546		2	4	35.609	-3.149		3	0	-36.083	4.284
	3	1	34.270	-3.960		2	21	-35.592	5.038		3	16	36.002	-2.673
	3	17	-34.650	2.897		3	13	35.629	-3.520		4	9	-35.997	4.653



## ENCELADE 2018

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	1	35.997	-3.049	<b>Août</b>	4	21	-35.292	3.927	<b>Sept.</b>	4	17	33.708	-3.750
	5	18	-35.889	5.018		5	13	35.223	-2.297		5	9	-33.796	2.754
	6	10	35.969	-3.423		6	6	-35.175	4.273		6	2	33.574	-4.059
	7	2	-36.115	2.363		6	22	35.184	-2.649		6	18	-33.711	3.073
	7	19	35.920	-3.793		7	15	-35.038	4.615		7	11	33.424	-4.368
	8	11	-36.122	2.737		8	7	35.125	-3.002		8	3	-33.612	3.388
	9	4	35.848	-4.162		9	0	-34.883	4.953		8	20	33.259	-4.672
	9	20	-36.110	3.111		9	16	35.047	-3.349		9	12	-33.497	3.700
	10	13	35.753	-4.527		10	8	-35.105	2.319		10	4	33.492	-2.121
	11	5	-36.075	3.483		11	1	34.949	-3.694		10	21	-33.370	4.005
	11	22	35.636	-4.890		11	17	-35.065	2.668		11	13	33.430	-2.437
	12	14	-36.019	3.852		12	10	34.832	-4.033		12	6	-33.226	4.309
	13	6	35.869	-2.216		13	2	-35.003	3.016		12	22	33.356	-2.750
	13	23	-35.939	4.218		13	19	34.697	-4.370		13	15	-33.068	4.608
	14	15	35.871	-2.590		14	11	-34.923	3.359		14	7	33.266	-3.060
15	8	-35.839	4.581	15	4	34.544	-4.703	14	23	-33.229	2.071			
16	0	35.850	-2.961	15	20	-34.824	3.699	15	16	33.164	-3.366			
16	17	-35.716	4.940	16	12	34.741	-2.073	16	8	-33.173	2.380			
17	9	35.808	-3.330	17	5	-34.708	4.032	17	1	33.045	-3.669			
18	1	-35.912	2.276	17	21	34.699	-2.418	17	17	-33.104	2.689			
18	18	35.743	-3.696	18	14	-34.574	4.364	18	10	32.913	-3.967			
19	10	-35.907	2.647	19	6	34.640	-2.759	19	2	-33.021	2.993			
20	3	35.658	-4.059	19	23	-34.422	4.691	19	19	32.766	-4.262			
20	19	-35.880	3.014	20	15	34.562	-3.097	20	11	-32.925	3.295			
21	12	35.550	-4.418	21	7	-34.563	2.075	21	4	32.607	-4.551			
22	4	-35.831	3.380	22	0	34.468	-3.429	21	20	-32.813	3.594			
22	21	35.425	-4.772	22	16	-34.520	2.414	22	12	32.820	-2.044			
23	13	-35.760	3.741	23	9	34.356	-3.759	23	5	-32.689	3.889			
24	5	35.618	-2.101	24	1	-34.461	2.750	23	21	32.762	-2.347			
24	22	-35.669	4.100	24	18	34.226	-4.086	24	14	-32.551	4.180			
25	14	35.607	-2.468	25	10	-34.384	3.083	25	6	32.691	-2.648			
26	7	-35.558	4.455	26	3	34.079	-4.408	25	23	-32.402	4.465			
26	23	35.574	-2.832	26	19	-34.292	3.411	26	15	32.605	-2.945			
27	16	-35.427	4.806	27	12	33.915	-4.725	27	7	-32.536	1.969			
28	8	35.520	-3.190	28	4	-34.181	3.737	28	0	32.507	-3.238			
29	1	-35.275	5.154	28	20	34.143	-2.132	28	16	-32.486	2.268			
29	17	35.447	-3.548	29	13	-34.054	4.058	29	9	32.396	-3.529			
30	9	-35.561	2.510	30	5	34.089	-2.463	30	1	-32.423	2.565			
31	2	35.352	-3.903	30	22	-33.911	4.376	30	18	32.274	-3.815			
31	18	-35.524	2.870	31	14	34.019	-2.790	<b>Oct.</b>	1	10	-32.345	2.856		
<b>Août</b>	1	11	35.238	-4.254	<b>Sept.</b>	1	7	-33.751	4.686	2	3	32.137	-4.098	
	2	3	-35.467	3.224		1	23	33.931	-3.114	2	19	-32.256	3.146	
	2	20	35.104	-4.601		2	15	-33.915	2.107	3	12	31.989	-4.378	
	3	12	-35.390	3.577		3	8	33.827	-3.434	4	4	-32.154	3.432	
	4	5	34.950	-4.943		4	0	-33.863	2.432	4	20	32.160	-1.915	

## ENCELADE 2018

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>Oct.</b>	5	13	-32.041	3.716	<b>Nov.</b>	4	17	-30.486	4.293	<b>Déc.</b>	4	20	-29.798	2.208
	6	5	32.109	-2.204		5	9	30.746	-2.874		5	13	29.834	-3.357
	6	22	-31.915	3.996		6	1	-30.633	1.946		6	5	-29.783	2.461
	7	14	32.047	-2.493		6	18	30.673	-3.136		6	22	29.768	-3.602
	8	7	-31.777	4.272		7	10	-30.604	2.212		7	14	-29.760	2.712
	8	23	31.972	-2.779		8	3	30.589	-3.394		8	7	29.693	-3.845
	9	16	-31.627	4.545		8	19	-30.564	2.477		8	23	-29.726	2.961
	10	8	31.886	-3.063		9	12	30.497	-3.651		9	16	29.611	-4.085
	11	0	-31.824	2.104		10	4	-30.514	2.736		10	8	-29.683	3.207
	11	17	31.786	-3.342		10	21	30.393	-3.904		11	1	29.517	-4.324
	12	9	-31.771	2.390		11	13	-30.453	2.996		11	17	-29.632	3.452
	13	2	31.676	-3.618		12	6	30.280	-4.155		12	9	29.765	-2.105
	13	18	-31.707	2.672		12	22	-30.384	3.254		13	2	-29.571	3.696
	14	11	31.554	-3.891		13	14	30.432	-1.839		13	18	29.759	-2.356
	15	3	-31.631	2.952		14	7	-30.304	3.509		14	11	-29.502	3.938
15	20	31.423	-4.160	14	23	30.411	-2.099	15	3	29.744	-2.603			
16	12	-31.542	3.228	15	16	-30.214	3.761	15	20	-29.423	4.178			
17	5	31.279	-4.427	16	8	30.379	-2.359	16	12	29.720	-2.850			
17	21	-31.443	3.502	17	1	-30.115	4.011	17	5	-29.335	4.416			
18	13	31.497	-2.021	17	17	30.337	-2.618	17	21	29.687	-3.097			
19	6	-31.332	3.772	18	10	-30.006	4.259	18	13	-29.578	2.204			
19	22	31.448	-2.301	19	2	30.285	-2.874	19	6	29.646	-3.341			
20	15	-31.213	4.039	19	19	-29.890	4.503	19	22	-29.579	2.452			
21	7	31.386	-2.575	20	11	30.222	-3.127	20	15	29.593	-3.584			
22	0	-31.081	4.304	21	3	-30.142	2.216	21	7	-29.570	2.701			
22	16	31.315	-2.849	21	20	30.151	-3.379	22	0	29.533	-3.825			
23	9	-30.938	4.564	22	12	-30.114	2.474	22	16	-29.552	2.948			
24	1	31.233	-3.120	23	5	30.071	-3.628	23	9	29.464	-4.064			
24	17	-31.170	2.182	23	21	-30.076	2.729	24	1	-29.525	3.194			
25	10	31.140	-3.388	24	14	29.982	-3.876	24	18	29.388	-4.300			
26	2	-31.122	2.453	25	6	-30.028	2.980	25	10	-29.486	3.436			
26	19	31.035	-3.653	25	23	29.883	-4.121	26	2	29.630	-2.114			
27	11	-31.063	2.724	26	15	-29.972	3.232	26	19	-29.441	3.679			
28	4	30.921	-3.915	27	7	30.037	-1.849	27	11	29.639	-2.363			
28	20	-30.993	2.992	28	0	-29.905	3.481	28	4	-29.386	3.919			
29	13	30.796	-4.174	28	16	30.027	-2.105	28	20	29.639	-2.611			
30	5	-30.912	3.259	29	9	-29.830	3.728	29	13	-29.323	4.158			
30	21	30.938	-1.806	30	1	30.007	-2.357	30	5	29.629	-2.855			
31	14	-30.819	3.521	30	18	-29.745	3.973	30	22	-29.250	4.396			
<b>Nov.</b>	1	6	30.906	-2.077	<b>Déc.</b>	1	10	29.978	-2.610	31	14	29.611	-3.101	
1	23	-30.718	3.781	2	3	-29.651	4.216	<b>Janv.</b>	1	6	-29.490	2.213		
2	15	30.864	-2.346	2	19	29.940	-2.861	1	23	29.584	-3.344			
3	8	-30.606	4.039	3	12	-29.547	4.456							
4	0	30.811	-2.612	4	4	29.892	-3.111							

## TÉTHYS 2018

## 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	-36.662	2.632	<b>Févr.</b>	12	13	37.761	-3.111	<b>Mars</b>	27	1	-40.144	4.297	
	2	0	36.664	-3.435		13	12	-37.797	3.921		28	0	40.118	-5.171	
	2	23	-36.587	4.216		14	11	37.740	-4.736		28	23	-39.996	6.013	
	3	21	36.689	-2.657		15	9	-37.892	3.160		29	21	40.329	-4.422	
	4	20	-36.693	3.441		16	8	37.918	-3.980		30	20	-40.294	5.275	
	5	19	36.619	-4.242		17	7	-37.868	4.788		<b>Avril</b>	31	18	40.463	-3.659
	6	17	-36.721	2.663		18	5	38.019	-3.219			1	17	-40.516	4.527
	7	16	36.728	-3.472		19	4	-38.051	4.037			2	16	40.463	-5.408
	8	15	-36.659	4.249		20	3	37.996	-4.855			3	14	-40.663	3.767
	9	14	36.512	-5.043		21	1	-38.158	3.276		4	13	40.693	-4.661	
10	12	-36.774	3.481	22	0	38.187	-4.104	5	12	-40.645	5.524				
11	11	36.702	-4.281	22	23	-38.128	4.913	6	10	40.849	-3.897				
12	10	-36.565	5.053	23	21	38.301	-3.345	7	9	-40.885	4.777				
13	8	36.817	-3.513	24	20	-38.325	4.163	8	8	40.810	-5.662				
14	7	-36.760	4.296	25	19	38.270	-4.991	9	6	-41.051	4.019				
15	6	36.612	-5.087	26	17	-38.446	3.405	10	5	41.060	-4.915				
16	4	-36.880	3.530	27	16	38.472	-4.243	11	4	-40.986	5.791				
17	3	36.814	-4.327	28	15	-38.413	5.054	12	2	41.239	-4.153				
18	2	-36.679	5.106	<b>Mars</b>	1	13	38.598	-3.485	13	1	-41.245	5.044			
19	0	36.939	-3.563		2	12	-38.623	4.306	14	0	41.151	-5.933			
19	23	-36.883	4.352	3	11	38.556	-5.142	14	22	-41.433	4.287				
20	22	36.743	-5.140	4	9	-38.758	3.549	15	21	41.421	-5.188				
21	20	-37.011	3.589	5	8	38.774	-4.397	16	20	-41.319	6.073				
22	19	36.954	-4.385	6	7	-38.711	5.212	17	18	41.619	-4.432				
23	18	-36.817	5.166	7	5	38.915	-3.637	18	17	-41.598	5.325				
24	16	37.086	-3.625	8	4	-38.936	4.468	19	16	41.479	-6.227				
25	15	-37.031	4.414	9	3	38.859	-5.307	20	14	-41.804	4.569				
26	14	36.898	-5.208	10	1	-39.087	3.713	21	13	41.769	-5.483				
27	12	-37.168	3.653	11	0	39.091	-4.563	22	12	-41.634	6.370				
28	11	37.116	-4.458	11	23	-39.021	5.389	23	10	41.987	-4.727				
29	10	-36.982	5.235	12	21	39.251	-3.805	24	9	-41.937	5.625				
30	8	37.258	-3.698	13	20	-39.262	4.646	25	7	42.127	-3.959				
31	7	-37.205	4.487	14	19	39.175	-5.489	26	6	-42.165	4.870				
<b>Févr.</b>	1	6	37.075	-5.286	15	17	-39.430	3.892	27	5	42.095	-5.792			
	2	4	-37.352	3.728	16	16	39.424	-4.746	28	3	-42.318	4.102			
3	3	37.302	-4.539	17	15	-39.340	5.583	29	2	42.332	-5.039				
4	2	-37.173	5.319	18	13	39.603	-3.991	30	1	-42.256	5.941				
5	0	37.451	-3.781	19	12	-39.596	4.839	30	23	42.493	-4.269				
5	23	-37.406	4.573	20	11	39.502	-5.689	<b>Mai</b>	1	22	-42.504	5.188			
6	22	37.270	-5.377	21	9	-39.782	4.087		2	21	42.396	-6.116			
7	20	-37.563	3.816	22	8	39.769	-4.948	3	19	-42.678	4.422				
8	19	37.509	-4.633	23	7	-39.666	5.791	4	18	42.653	-5.363				
9	18	-37.384	5.417	24	5	39.963	-4.198	5	17	-42.544	6.276				
10	16	37.672	-3.874	25	4	-39.942	5.047	6	15	42.838	-4.591				
11	15	-37.627	4.674	26	3	39.832	-5.909	7	14	-42.812	5.523				

## TÉTHYS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
<b>Mai</b>	8	13	42.669	-6.451	<b>Juin</b>	20	0	-44.319	6.543	<b>Août</b>	1	11	43.565	-6.232	
	9	11	-43.008	4.758		20	22	44.589	-4.779		2	9	-43.767	4.443	
	10	10	42.948	-5.699		21	21	-44.501	5.754		3	8	43.631	-5.409	
	11	8	-43.128	3.982		22	20	44.289	-6.738		4	7	-43.400	6.356	
	12	7	43.156	-4.933		23	18	-44.611	4.953		5	5	43.621	-4.578	
	13	6	-43.084	5.868		24	17	44.478	-5.945		6	4	-43.475	5.529	
	14	4	43.286	-4.157		25	15	-44.642	4.144		7	3	43.219	-6.479	
	15	3	-43.300	5.103		26	14	44.595	-5.144		8	1	-43.473	4.699	
	16	2	43.207	-6.051		27	13	-44.462	6.119		9	0	43.301	-5.656	
	17	0	-43.441	4.327		28	11	44.634	-4.334		9	22	-43.391	3.861	
	17	23	43.433	-5.288		29	10	-44.587	5.319		10	21	43.306	-4.827	
	18	22	-43.321	6.222		30	9	44.409	-6.301		11	20	-43.131	5.761	
	19	20	43.583	-4.512		<b>Juill.</b>	1	7	-44.633		4.507	12	18	43.231	-3.989
	20	19	-43.557	5.458			2	6	44.543		-5.500	13	17	-43.144	4.932
	21	18	43.419	-6.416			3	5	-44.358		6.474	14	16	42.938	-5.879
	22	16	-43.718	4.681		4	3	44.599	-4.687		15	14	-43.078	4.095	
	23	15	43.665	-5.653		5	2	-44.501	5.673		16	13	42.958	-5.050	
24	14	-43.514	6.588	6	1	44.279	-6.648	17	12	-42.756	5.972				
25	12	43.834	-4.874	6	23	-44.564	4.857	18	10	42.898	-4.209				
26	11	-43.769	5.826	7	22	44.429	-5.847	19	9	-42.786	5.145				
27	9	43.931	-4.086	8	20	-44.554	4.036	20	8	42.546	-6.074				
28	8	-43.950	5.049	9	19	44.504	-5.033	21	6	-42.737	4.309				
29	7	43.847	-6.022	10	18	-44.352	6.010	22	5	42.582	-5.248				
30	5	-44.059	4.261	11	16	44.503	-4.212	23	4	-42.358	6.159				
31	4	44.037	-5.241	12	15	-44.437	5.193	24	2	42.543	-4.409				
<b>Juin</b>	1	3	-43.930	6.200	13	14	44.255	-6.178	25	1	-42.400	5.333			
	2	1	44.154	-4.454	14	12	-44.444	4.371	26	0	42.140	-6.245			
	3	0	-44.131	5.423	15	11	44.347	-5.365	26	22	-42.367	4.500			
	3	23	43.978	-6.395	16	10	-44.151	6.327	27	21	42.192	-5.419			
	4	21	-44.256	4.636	17	8	44.361	-4.543	28	19	-42.255	3.662			
	5	20	44.192	-5.615	18	7	-44.256	5.512	29	18	42.169	-4.586			
	6	19	-44.029	6.576	19	6	44.023	-6.490	30	17	-41.997	5.496			
	7	17	44.327	-4.827	20	4	-44.279	4.690	31	15	42.064	-3.749			
	8	16	-44.251	5.801	21	3	44.132	-5.677	<b>Sept.</b>	1	14	-41.979	4.665		
	9	15	44.056	-6.768	22	2	-43.899	6.628		2	13	41.787	-5.572		
	10	13	-44.396	5.014	23	0	44.163	-4.853	3	11	-41.882	3.827			
	11	12	44.288	-5.992	23	23	-44.018	5.817	4	10	41.777	-4.744			
	12	10	-44.465	4.210	24	21	44.117	-4.017	5	9	-41.586	5.633			
	13	9	44.442	-5.205	25	20	-44.059	4.995	6	7	41.687	-3.909			
	14	8	-44.314	6.173	26	19	43.869	-5.963	7	6	-41.583	4.805			
	15	6	44.520	-4.405	27	17	-44.023	4.164	8	5	41.371	-5.704			
	16	5	-44.477	5.384	28	16	43.918	-5.141	9	3	-41.501	3.972			
17	4	44.321	-6.369	29	15	-43.732	6.099	10	2	41.374	-4.878				
18	2	-44.568	4.580	30	13	43.892	-4.307	11	1	-41.171	5.752				
19	1	44.493	-5.580	31	12	-43.787	5.274	11	23	41.296	-4.043				

## TÉTHYS 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Sept.	12	22	-41.182	4.928	Oct.	20	16	-38.798	3.678	Nov.	27	11	-37.070	4.458	
	13	21	40.950	-5.812		21	15	38.702	-4.496		28	10	36.929	-5.211	
	14	19	-41.114	4.097		22	14	-38.541	5.301		29	8	-37.045	3.689	
	15	18	40.967	-4.989		23	12	38.631	-3.691		30	7	36.980	-4.453	
	16	17	-40.753	5.853		24	11	-38.549	4.502		Déc.	1	6	-36.858	5.193
	17	15	40.905	-4.156		25	10	38.376	-5.304			2	4	36.955	-3.689
	18	14	-40.776	5.033		26	8	-38.481	3.701			3	3	-36.914	4.437
	19	13	40.534	-5.897		27	7	38.389	-4.509			4	2	36.775	-5.187
	20	11	-40.722	4.205		28	6	-38.227	5.302			5	0	-36.894	3.677
	21	10	40.563	-5.078		29	4	38.324	-3.711			5	23	36.833	-4.432
22	9	-40.339	5.934	30	3	-38.246	4.507	6	22	-36.720		5.169			
23	7	40.517	-4.251	31	2	38.073	-5.304	7	20	36.815		-3.674			
24	6	-40.373	5.116	Nov.	1	0	-38.186	3.712	8	19		-36.782	4.420		
25	5	40.125	-5.967		1	23	38.095	-4.515	9	18		36.649	-5.160		
26	3	-40.331	4.293		2	22	-37.937	5.294	10	16	-36.768	3.667			
27	2	40.168	-5.152		3	20	38.038	-3.722	11	15	36.715	-4.411			
28	1	-39.929	5.994		4	19	-37.965	4.507	12	14	-36.609	5.147			
28	23	40.134	-4.331		5	18	37.792	-5.293	13	12	36.702	-3.659			
29	22	-39.978	5.179		6	16	-37.912	3.717	14	11	-36.677	4.404			
30	21	39.727	-6.021		7	15	37.821	-4.511	15	10	36.553	-5.136			
Oct.	1	19	-39.948		4.362	8	14	-37.674	5.281	16	8	-36.666	3.655		
	2	18	39.780		-5.210	9	12	37.770	-3.724	17	7	36.626	-4.395		
	3	16	-39.838	3.539	10	11	-37.707	4.503	18	6	-36.523	5.123			
	4	15	39.755	-4.396	11	10	37.537	-5.276	19	5	36.335	-5.842			
	5	14	-39.597	5.226	12	8	-37.660	3.719	20	3	-36.596	4.387			
	6	12	39.649	-3.575	13	7	37.573	-4.499	21	2	36.488	-5.115			
	7	11	-39.579	4.413	14	6	-37.430	5.266	22	1	-36.311	5.830			
	8	10	39.401	-5.255	15	4	37.529	-3.718	22	23	36.563	-4.381			
	9	8	-39.480	3.595	16	3	-37.470	4.494	23	22	-36.468	5.102			
	10	7	39.387	-4.445	17	2	37.310	-5.255	24	21	36.285	-5.821			
11	6	-39.230	5.263	18	0	-37.428	3.715	25	19	-36.547	4.371				
12	4	39.292	-3.624	18	23	37.352	-4.485	26	18	36.444	-5.100				
13	3	-39.220	4.457	19	22	-37.211	5.245	27	17	-36.279	5.806				
14	2	39.039	-5.280	20	20	37.315	-3.710	28	15	36.525	-4.373				
15	0	-39.134	3.644	21	19	-37.256	4.478	29	14	-36.442	5.087				
15	23	39.034	-4.475	22	18	37.108	-5.234	30	13	36.263	-5.803				
16	22	-38.878	5.289	23	16	-37.222	3.701	31	11	-36.526	4.362				
17	20	38.952	-3.662	24	15	37.155	-4.471	Janv.	1	10	36.426	-5.087			
18	19	-38.876	4.486	25	14	-37.020	5.219		2	9	-36.274	5.791			
19	18	38.697	-5.296	26	12	37.124	-3.701		3	7	36.513	-4.364			

## DIONÉ 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
<b>Janv.</b>	1	1	47.078	-3.643	<b>Mars</b>	3	17	-49.339	6.163	<b>Mai</b>	4	7	54.710	-6.701
	2	10	-46.899	3.906		5	1	49.836	-4.406		5	15	-54.767	4.808
	3	19	47.101	-4.173		6	10	-49.724	4.718		7	0	55.091	-5.220
	5	4	-46.906	4.438		7	19	50.016	-5.027		8	9	-54.949	5.589
	6	13	47.103	-4.703		9	4	-49.879	5.342		9	18	55.243	-6.000
	7	22	-46.901	4.963		10	13	50.161	-5.652		11	3	-55.065	6.376
	9	7	47.085	-5.231		11	22	-50.003	5.962		12	12	55.331	-6.785
	10	16	-46.874	5.493		13	7	50.270	-6.283		13	20	-55.380	4.870
	12	0	47.262	-3.762		14	15	-50.361	4.507		15	5	55.701	-5.295
	13	9	-47.097	4.023		16	0	50.671	-4.842		16	14	-55.538	5.668
14	18	47.318	-4.295	17	9	-50.551	5.153	17	23	55.824	-6.096			
16	3	-47.136	4.561	18	18	50.840	-5.481	19	8	-55.629	6.474			
17	12	47.352	-4.834	20	3	-50.704	5.804	20	17	55.873	-6.893			
18	21	-47.158	5.101	21	12	50.977	-6.129	22	1	-55.932	4.962			
20	6	47.364	-5.373	22	21	-50.817	6.458	23	10	56.229	-5.390			
21	15	-47.161	5.637	24	5	51.355	-4.682	24	19	-56.053	5.780			
22	23	47.576	-3.910	25	14	-51.246	5.007	26	4	56.324	-6.206			
24	8	-47.430	4.175	26	23	51.550	-5.348	27	13	-56.098	6.593			
25	17	47.658	-4.459	28	8	-51.421	5.676	28	22	56.339	-7.024			
27	2	-47.500	4.728	29	17	51.708	-6.019	30	6	-56.383	5.066			
28	11	47.721	-5.005	31	2	-51.553	6.354	<b>Juin</b>	31	15	56.677	-5.516		
29	20	-47.544	5.281	<b>Avril</b>	1	10	52.062		-4.559	2	0	-56.470	5.894	
31	5	47.760	-5.555		2	19	-51.957		4.898	3	9	56.720	-6.339	
<b>Févr.</b>	1	14	-47.569		5.834	4	4		52.278	-5.246	4	18	-56.477	6.724
	2	22	48.023		-4.101	5	13		-52.147	5.590	6	3	56.686	-7.165
	4	7	-47.881		4.380	6	22	52.450	-5.942	7	11	-56.747	5.190	
	5	16	48.128	-4.663	8	7	-52.295	6.284	8	20	57.009	-5.643		
	7	1	-47.973	4.945	9	16	52.573	-6.643	10	5	-56.782	6.022		
8	10	48.212	-5.226	11	0	-52.680	4.818	11	14	57.007	-6.479			
9	19	-48.043	5.512	12	9	53.005	-5.190	12	23	-56.738	6.860			
11	4	48.275	-5.795	13	18	-52.882	5.533	14	7	57.201	-4.936			
12	12	-48.308	4.051	15	3	53.187	-5.904	15	16	-56.990	5.314			
13	21	48.586	-4.349	16	12	-53.032	6.255	17	1	57.226	-5.772			
15	6	-48.446	4.631	17	21	53.313	-6.625	18	10	-56.973	6.159			
16	15	48.711	-4.929	19	5	-53.399	4.783	19	19	57.172	-6.609			
18	0	-48.564	5.215	20	14	53.728	-5.163	21	4	-56.875	6.996			
19	9	48.811	-5.509	21	23	-53.606	5.518	22	12	57.348	-5.057			
20	18	-48.649	5.803	23	8	53.905	-5.901	23	21	-57.105	5.434			
22	3	48.883	-6.094	24	17	-53.753	6.265	25	6	57.320	-5.901			
23	11	-48.971	4.351	26	2	54.028	-6.645	26	15	-57.037	6.275			
24	20	49.254	-4.653	27	10	-54.100	4.782	28	0	57.212	-6.736			
26	5	-49.123	4.948	28	19	54.433	-5.171	29	8	-57.139	4.700			
27	14	49.394	-5.255	30	4	-54.292	5.539	30	17	57.367	-5.171			
28	23	-49.246	5.554	<b>Mai</b>	1	13	54.604	-5.935	<b>Juill.</b>	2	2	-57.096	5.541	
<b>Mars</b>	2	8	49.503		-5.859	2	22	-54.429		6.304	3	11	57.285	-6.008

## DIONÉ 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
<b>Juill.</b>	4	20	-56.975	6.375	<b>Sept.</b>	4	9	53.743	-4.797	<b>Nov.</b>	5	0	-48.564	5.260
	6	5	57.119	-6.839		5	18	-53.392	5.072		6	9	48.633	-5.597
	7	13	-57.061	4.788		7	3	53.450	-5.484		7	18	-48.315	5.791
	8	22	57.251	-5.265		8	12	-53.073	5.747		9	2	48.601	-4.072
	10	7	-56.967	5.623		9	21	53.107	-6.153		10	11	-48.321	4.264
	11	16	57.117	-6.091		11	5	-52.948	4.136		11	20	48.430	-4.611
	13	1	-56.793	6.452		12	14	53.037	-4.554		13	5	-48.140	4.797
	14	10	56.909	-6.904		13	23	-52.690	4.811		14	14	48.237	-5.137
	15	18	-56.848	4.859		15	8	52.754	-5.212		15	23	-47.943	5.321
	17	3	57.022	-5.323		16	17	-52.384	5.470		17	8	48.020	-5.654
	18	12	-56.703	5.679		18	2	52.428	-5.862		18	17	-47.721	5.840
	19	21	56.842	-6.140		19	11	-52.040	6.109		20	1	48.022	-4.148
	21	6	-56.489	6.485		20	19	52.324	-4.269		21	10	-47.766	4.333
	22	15	56.581	-6.941		22	4	-51.986	4.506		22	19	47.881	-4.669
	23	23	-56.526	4.884		23	13	52.055	-4.914		24	4	-47.612	4.852
	25	8	56.670	-5.352		24	22	-51.705	5.145		25	13	47.717	-5.184
	26	17	-56.341	5.690		26	7	51.749	-5.540		26	22	-47.440	5.365
28	2	56.453	-6.145	27	16	-51.386	5.770	28	7	47.532	-5.689			
29	11	-56.080	6.481	29	1	51.412	-6.147	29	16	-47.248	5.871			
30	19	56.413	-4.545	30	9	-51.292	4.183	<b>Déc.</b>	1	0	47.569	-4.199		
<b>Août</b>	1	4	-56.094	4.873	<b>Oct.</b>	1	18	51.370	-4.568	2	9	-47.329	4.387	
	2	13	56.224	-5.336		3	3	-51.033	4.801	3	18	47.457	-4.709	
	3	22	-55.880	5.655		4	12	51.094	-5.178	5	3	-47.204	4.897	
	5	7	55.965	-6.111		5	21	-50.744	5.402	6	12	47.327	-5.216	
	6	16	-55.596	6.431		7	6	50.786	-5.775	7	21	-47.059	5.394	
	8	0	55.900	-4.502		8	15	-50.423	5.993	9	6	47.176	-5.714	
	9	9	-55.583	4.821		9	23	50.701	-4.203	10	15	-46.902	5.889	
	10	18	55.689	-5.268		11	8	-50.384	4.422	11	23	47.245	-4.251	
	12	3	-55.333	5.585		12	17	50.461	-4.793	13	8	-47.017	4.425	
	13	12	55.414	-6.024		14	2	-50.126	5.011	14	17	47.160	-4.749	
	14	21	-55.023	6.334		15	11	50.190	-5.373	16	2	-46.927	4.929	
	16	5	55.324	-4.414		16	20	-49.840	5.587	17	11	47.061	-5.246	
	17	14	-54.988	4.717		18	5	49.887	-5.944	18	20	-46.820	5.428	
	18	23	55.087	-5.160		19	13	-49.761	4.017	20	5	46.945	-5.739	
	20	8	-54.728	5.458		20	22	49.852	-4.390	21	14	-46.692	5.917	
	21	17	54.794	-5.891		22	7	-49.546	4.591	22	22	47.046	-4.294	
	23	2	-54.407	6.184		23	16	49.617	-4.957	24	7	-46.836	4.470	
24	10	54.679	-4.281	25	1	-49.302	5.158	25	16	46.999	-4.793			
25	19	-54.341	4.565	26	10	49.359	-5.509	27	1	-46.782	4.972			
27	4	54.434	-5.005	27	19	-49.027	5.710	28	10	46.932	-5.284			
28	13	-54.073	5.283	29	4	49.075	-6.052	29	19	-46.705	5.470			
29	22	54.135	-5.713	30	12	-48.993	4.166	31	4	46.849	-5.775			
31	7	-53.753	5.988	31	21	49.090	-4.518	<b>Janv.</b>	1	13	-46.610	5.960		
<b>Sept.</b>	1	16	53.782	-6.401	<b>Nov.</b>	2	6	-48.794	4.718	2	21	46.985	-4.347	
	3	0	-53.661	4.374		3	15	48.871	-5.063	4	6	-46.788	4.528	

## RHÉA 2018

## 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	19	65.567	-5.794	<b>Avril</b>	13	13	-74.051	7.525	<b>Juill.</b>	24	3	78.908	-8.285	
	4	1	-65.732	5.301		15	19	74.258	-7.227		26	9	-78.931	7.875	
	6	8	65.582	-6.537		18	1	-74.666	6.819		28	15	78.690	-7.544	
	8	14	-65.799	6.032		20	8	74.670	-8.369		30	21	-78.661	7.140	
	10	20	65.792	-5.603		22	14	-75.116	7.977		<b>Août</b>	2	3	78.380	-6.791
	13	3	-65.855	6.785		24	20	75.321	-7.679		4	9	-78.333	6.367	
	15	9	65.885	-6.351		27	2	-75.714	7.295		6	16	77.866	-8.040	
	17	15	-66.129	5.859		29	8	75.896	-6.991		8	22	-77.826	7.604	
	19	22	65.987	-7.116	<b>Mai</b>	1	15	-76.117	8.493		11	4	77.520	-7.244	
	22	4	-66.247	6.622			3	21	76.298	-8.217		13	10	-77.460	6.817
	24	10	66.319	-6.201			6	3	-76.705	7.835		15	16	77.120	-6.452
	26	16	-66.568	5.712		8	9	76.868	-7.543		17	23	-76.842	7.981	
	28	23	66.472	-6.988		10	15	-77.251	7.178		20	5	76.545	-7.618	
<b>Févr.</b>	31	5	-66.771	6.501		12	22	77.181	-8.816		22	11	-76.454	7.162	
	2	11	66.850	-6.083		15	4	-77.574	8.436		24	17	76.104	-6.785	
		4	18	-66.962	7.308		17	10	77.727	-8.175		26	23	-75.996	6.325
		7	0	67.077	-6.899		19	16	-78.086	7.800		29	6	75.467	-7.885
		9	6	-67.394	6.415		21	22	78.189	-7.527	<b>Sept.</b>	31	12	-75.366	7.430
	11	12	67.493	-6.025		24	4	-78.526	7.153			2	18	75.024	-7.027
	13	19	-67.652	7.252		26	11	78.419	-8.841			5	0	-74.911	6.548
	16	1	67.781	-6.858		28	17	-78.744	8.486		7	6	74.538	-6.159	
	18	7	-68.127	6.392	<b>Juin</b>	30	23	78.834	-8.208		9	13	-74.246	7.596	
	20	13	68.247	-6.002			2	5	-79.145	7.842		11	19	73.901	-7.182
	22	20	-68.427	7.255			4	11	79.183	-7.581		14	1	-73.796	6.703
	25	2	68.597	-6.874			6	17	-79.453	7.208		16	7	73.429	-6.289
	27	8	-68.954	6.416			8	23	79.461	-6.925		18	14	-73.105	7.680
<b>Mars</b>	1	15	68.911	-7.770		11	6	-79.545	8.573		20	20	72.791	-7.264	
	3	21	-69.310	7.318		13	12	79.549	-8.299		23	2	-72.677	6.767	
	6	3	69.487	-6.945		15	18	-79.780	7.924		25	8	72.316	-6.341	
	8	9	-69.863	6.507		18	0	79.766	-7.660		27	14	-72.185	5.839	
		10	16	69.845	-7.884		20	6	-79.959	7.284	<b>Oct.</b>	29	21	71.692	-7.263
	12	22	-70.262	7.437		22	12	79.884	-7.005			2	3	-71.586	6.767
	15	4	70.458	-7.094		24	19	-79.872	8.652			4	9	71.246	-6.324
	17	10	-70.851	6.651		27	1	79.814	-8.368			6	15	-71.126	5.810
	19	17	70.838	-8.066		29	7	-79.960	8.005			8	22	70.643	-7.212
	21	23	-71.280	7.636	<b>Juill.</b>	1	13	79.859	-7.709		11	4	-70.555	6.693	
	24	5	71.490	-7.298			3	19	-79.988	7.327		13	10	70.226	-6.248
	26	11	-71.883	6.873			6	1	79.836	-7.043		15	16	-70.127	5.735
	28	17	72.080	-6.527			8	8	-79.725	8.683		17	23	69.670	-7.094
	31	0	-72.335	7.902			10	14	79.580	-8.379		20	5	-69.582	6.570
<b>Avril</b>	2	6	72.541	-7.583		12	20	-79.677	8.002		22	11	69.296	-6.123	
	4	12	-72.968	7.163		15	2	79.489	-7.696		24	18	-69.038	7.377	
	6	18	73.163	-6.831		17	8	-79.530	7.290		27	0	68.767	-6.933	
	9	1	-73.401	8.254		19	14	79.325	-6.985		29	6	-68.714	6.405	
	11	7	73.618	-7.937		21	20	-79.330	6.582		31	12	68.434	-5.949	



**RHÉA 2018****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>	2	19	-68.214	7.189	<b>Nov.</b>	27	16	66.353	-6.981	<b>Déc.</b>	22	13	-65.598	6.618
	5	1	67.970	-6.732		29	22	-66.390	6.451		24	19	65.513	-6.181
	7	7	-67.932	6.198	<b>Déc.</b>	2	4	66.214	-6.000		27	2	-65.469	7.297
	9	13	67.672	-5.760		4	11	-66.096	7.158		29	8	65.407	-6.879
	11	20	-67.500	6.956		6	17	65.954	-6.712		31	14	-65.537	6.361
14	2	67.271	-6.505	8	23	-66.008	6.180	<b>Janv.</b>	2	21	65.305	-7.555		
16	8	-67.257	5.978	11	6	65.700	-7.408		5	3	-65.480	7.057		
18	15	66.879	-7.240	13	12	-65.793	6.880		7	9	65.442	-6.635		
20	21	-66.880	6.710	15	18	65.670	-6.444		9	15	-65.588	6.119		
23	3	66.693	-6.260	18	0	-65.748	5.921		11	22	65.424	-7.332		
25	10	-66.521	7.422	20	7	65.502	-7.134	14	4	-65.612	6.823			

**TITAN 2018****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>	6	2	147.961	-15.719	<b>Mai</b>	13	23	174.750	-20.288	<b>Sept.</b>	18	5	165.004	-16.850
	14	3	-156.875	14.688		21	23	-185.964	18.734		26	6	-171.918	16.279
	22	3	149.240	-16.533		29	21	177.773	-20.783		<b>Oct.</b>	4	5	160.626
	30	4	-158.603	15.378	<b>Juin</b>	6	21	-188.621	19.416	12		5	-167.558	15.315
<b>Févr.</b>	7	4	151.348	-17.613		14	18	179.722	-20.113	20	5	156.653	-17.447	
	15	5	-161.175	16.384	22	18	-190.001	18.928	<b>Nov.</b>	28	6	-163.510	16.227	
	23	4	154.345	-17.910	30	16	180.077	-20.749		5	5	153.306	-17.176	
<b>Mars</b>	3	5	-164.606	16.706	<b>Juill.</b>	8	15	-189.821		18.319	13	6	-160.278	15.697
	11	4	157.966	-18.622		16	13	179.124		-19.812	21	5	150.711	-16.677
	19	5	-168.633	17.490		24	12	-188.125		17.410	29	7	-157.761	16.044
<b>Avril</b>	27	3	162.166	-18.631	<b>Août</b>	1	10	176.848	-18.495	<b>Déc.</b>	7	6	148.834	-17.164
	4	4	-173.155	17.660		9	10	-185.056	17.338		15	8	-156.141	16.272
	12	2	166.562	-19.122		17	8	173.429	-18.044		23	7	147.846	-17.584
	20	3	-177.763	18.344	25	8	-181.089	16.725	31	9	-155.458	16.488		
	28	1	170.837	-20.112	<b>Sept.</b>	2	7	169.258	-18.359	<b>Janv.</b>	8	8	147.764	-18.041
<b>Mai</b>	6	1	-182.208	18.338		10	7	-176.538	16.780		16	10	-155.717	16.791

**HYPÉRION 2018****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>	8	14	-206.987	24.593	<b>Mai</b>	27	16	194.230	-19.178	<b>Oct.</b>	12	2	-220.643	21.971	
	19	13	164.095	-13.934		<b>Juin</b>	7	4	-249.506		26.191	22	17	170.692	-16.370
	30	3	-210.150	24.110			17	19	196.822		-19.634	<b>Nov.</b>	2	9	-214.356
<b>Févr.</b>	10	0	166.664	-15.395	<b>Juill.</b>	28	7	-251.078	26.218	13	0		165.699	-16.751	
	20	15	-215.519	24.263		8	22	196.487	-18.918	23	16	-209.349	20.237		
<b>Mars</b>	3	11	170.825	-16.602	19	9	-249.220	25.724	<b>Déc.</b>	4	8	162.783	-18.037		
	14	2	-222.451	25.267	30	1	194.227	-17.476		15	1	-206.342	20.018		
	24	21	176.913	-17.427	<b>Août</b>	9	12	-243.660		24.491	25	15	161.236	-19.164	
<b>Avril</b>	4	12	-229.814	25.934		20	3	189.154	-16.721	<b>Janv.</b>	5	10	-205.983	19.202	
	15	4	183.070	-18.620	30	16	-236.509	23.966	15		23	161.383	-19.045		
<b>Mai</b>	25	19	-237.920	26.323	<b>Sept.</b>	10	7	182.690	-16.084	<b>Févr.</b>	26	19	-207.117	19.138	
	6	10	188.919	-18.656		20	20	-228.497	23.006		6	8	163.745	-20.622	
	17	0	-245.267	26.737	<b>Oct.</b>	1	12	176.700	-15.749						

**JAPET 2018****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	8	-448.947	88.519	<b>Juin</b>	12	5	-547.181	96.194	<b>Nov.</b>	17	12	-461.121	80.379
<b>Févr.</b>	13	5	438.994	-79.738	<b>Juill.</b>	21	4	514.130	-94.579	<b>Déc.</b>	28	9	426.924	-67.478
<b>Mars</b>	25	12	-493.141	84.525	<b>Août</b>	29	5	-518.203	97.721					
<b>Mai</b>	4	5	497.291	-84.742	<b>Oct.</b>	8	5	459.380	-85.076					



# SATELLITES D'URANUS

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

MIRANDA .....	II. 140
ARIEL .....	II. 144
UMBRIEL .....	II. 147
TITANIA .....	II. 149
OBÉRON .....	II. 150

## MIRANDA 2018

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date					Date					Date				
Mois	j	h	X	Y	Mois	j	h	X	Y	Mois	j	h	X	Y
<b>Janv.</b>	1	4	-1.784	8.943	<b>Févr.</b>	2	0	2.259	-8.551	<b>Mars</b>	5	19	-1.886	8.481
	1	21	1.818	-8.908		2	17	-2.285	8.556		6	12	1.913	-8.448
	2	14	-1.847	8.923		3	10	2.317	-8.517		7	5	-1.945	8.458
	3	7	1.880	-8.887		4	2	-1.486	8.714		7	22	1.974	-8.425
	4	0	-1.909	8.902		4	19	1.519	-8.686		8	15	-2.005	8.434
	4	17	1.938	-8.865		5	12	-1.547	8.703		9	8	2.035	-8.400
	5	10	-1.971	8.878		6	5	1.579	-8.671		10	1	-2.063	8.409
	6	3	1.999	-8.841		6	22	-1.609	8.688		10	18	2.095	-8.374
	6	20	-2.031	8.853		7	15	1.640	-8.655		11	11	-2.122	8.383
	7	13	2.059	-8.817		8	8	-1.670	8.672		12	4	2.156	-8.346
	8	6	-2.089	8.825		9	1	1.698	-8.639		12	21	-2.182	8.356
	8	23	2.119	-8.790		9	18	-1.731	8.653		13	13	1.341	-8.500
	9	16	-2.148	8.797		10	11	1.758	-8.621		14	6	-1.374	8.521
	10	9	2.179	-8.761		11	4	-1.791	8.634		14	23	1.404	-8.491
	11	2	-2.205	8.769		11	21	1.818	-8.602		15	16	-1.438	8.511
	11	19	2.238	-8.730		12	14	-1.849	8.612		16	9	1.465	-8.483
	12	12	-2.263	8.738		13	7	1.879	-8.581		17	2	-1.501	8.500
	13	5	2.296	-8.697		14	0	-1.908	8.589		17	19	1.528	-8.472
	13	22	-2.320	8.706		14	17	1.939	-8.557		18	12	-1.564	8.487
	14	15	2.351	-8.663		15	10	-1.966	8.567		19	5	1.592	-8.460
	15	8	-2.378	8.673		16	3	1.998	-8.531		19	22	-1.625	8.473
	16	0	1.546	-8.825		16	20	-2.024	8.542		20	15	1.656	-8.445
	16	17	-1.578	8.843		17	13	2.057	-8.505		21	8	-1.687	8.457
	17	10	1.606	-8.812		18	6	-2.083	8.517		22	1	1.719	-8.429
	18	3	-1.640	8.827		18	23	2.113	-8.477		22	18	-1.749	8.442
	18	20	1.668	-8.796		19	16	-2.143	8.489		23	11	1.782	-8.410
	19	13	-1.702	8.810		20	9	2.171	-8.448		24	4	-1.811	8.425
	20	6	1.730	-8.779		21	2	-2.201	8.459		24	21	1.845	-8.391
	20	23	-1.760	8.790		21	19	2.228	-8.420		25	14	-1.875	8.406
	21	16	1.791	-8.760		22	12	-2.259	8.426		26	7	1.905	-8.371
	22	9	-1.820	8.770		23	4	1.425	-8.580		27	0	-1.938	8.385
	23	2	1.852	-8.739		23	21	-1.460	8.596		27	17	1.968	-8.349
	23	19	-1.879	8.750		24	14	1.488	-8.569		28	10	-2.001	8.362
	24	12	1.912	-8.715		25	7	-1.519	8.583		29	3	2.029	-8.327
	25	5	-1.938	8.728		26	0	1.550	-8.556		29	20	-2.063	8.336
	25	22	1.971	-8.691		26	17	-1.580	8.570		30	13	2.092	-8.303
	26	15	-1.998	8.703		27	10	1.612	-8.542		31	6	-2.125	8.311
	27	8	2.027	-8.665		28	3	-1.640	8.556		31	23	2.155	-8.277
	28	1	-2.058	8.677		28	20	1.673	-8.524	<b>Avril</b>	1	15	-1.299	8.475
	28	18	2.086	-8.638	<b>Mars</b>	1	13	-1.702	8.540		2	8	1.332	-8.452
	29	11	-2.116	8.649		2	6	1.733	-8.507		3	1	-1.364	8.469
	30	4	2.143	-8.611		2	23	-1.763	8.522		3	18	1.398	-8.445
	30	21	-2.174	8.619		3	16	1.792	-8.488		4	11	-1.429	8.463
	31	14	2.201	-8.582		4	9	-1.825	8.503		5	4	1.462	-8.435
<b>Févr.</b>	1	7	-2.231	8.588		5	2	1.852	-8.468		5	21	-1.495	8.454

## MIRANDA 2018

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>Avril</b>	6	14	1.527	-8.424	<b>Mai</b>	8	9	-1.195	8.498	<b>Juin</b>	9	5	1.885	-8.477
	7	7	-1.561	8.443		9	2	1.231	-8.476		9	22	-1.925	8.489
	8	0	1.590	-8.413		9	19	-1.266	8.498		10	15	1.962	-8.460
	8	17	-1.627	8.430		10	12	1.301	-8.473		11	8	-1.999	8.474
	9	10	1.656	-8.400		11	5	-1.339	8.496		12	0	1.048	-8.627
	10	3	-1.693	8.416		11	22	1.373	-8.469		12	17	-1.088	8.652
	10	20	1.721	-8.387		12	15	-1.411	8.491		13	10	1.127	-8.631
	11	13	-1.756	8.399		13	8	1.443	-8.464		14	3	-1.166	8.656
	12	6	1.788	-8.371		14	1	-1.484	8.484		14	20	1.203	-8.633
	12	23	-1.822	8.382		14	18	1.514	-8.458		15	13	-1.245	8.658
13	16	1.854	-8.353	15	11	-1.556	8.475	16	6	1.281	-8.633			
14	9	-1.885	8.365	16	4	1.587	-8.450	16	23	-1.325	8.658			
15	2	1.920	-8.333	16	21	-1.625	8.465	17	16	1.358	-8.634			
15	19	-1.950	8.346	17	14	1.660	-8.440	18	9	-1.404	8.655			
16	12	1.986	-8.312	18	7	-1.697	8.454	19	2	1.437	-8.632			
17	5	-2.016	8.325	19	0	1.733	-8.427	19	19	-1.482	8.651			
17	22	2.049	-8.289	19	17	-1.768	8.443	20	12	1.517	-8.628			
18	15	-2.082	8.302	20	10	1.806	-8.413	21	5	-1.559	8.645			
19	7	1.203	-8.447	21	3	-1.840	8.429	21	22	1.597	-8.621			
20	0	-1.241	8.470	21	20	1.878	-8.397	22	15	-1.637	8.638			
20	17	1.270	-8.446	22	13	-1.913	8.413	23	8	1.677	-8.613			
21	10	-1.309	8.465	23	6	1.948	-8.380	24	1	-1.715	8.631			
22	3	1.338	-8.442	23	23	-1.987	8.396	24	18	1.756	-8.601			
22	20	-1.377	8.460	24	16	2.021	-8.361	25	11	-1.794	8.621			
23	13	1.407	-8.436	25	8	-1.099	8.560	26	4	1.835	-8.589			
24	6	-1.443	8.453	26	1	1.130	-8.539	26	21	-1.875	8.608			
24	23	1.477	-8.429	26	18	-1.174	8.561	27	14	1.912	-8.576			
25	16	-1.511	8.444	27	11	1.205	-8.541	28	7	-1.955	8.594			
26	9	1.546	-8.419	28	4	-1.248	8.561	29	0	1.991	-8.561			
27	2	-1.579	8.436	28	21	1.281	-8.541	29	16	-1.020	8.763			
27	19	1.614	-8.407	29	14	-1.320	8.560	<b>Juill.</b>	30	9	1.053	-8.744		
28	12	-1.647	8.425	30	7	1.358	-8.538		1	2	-1.100	8.767		
29	5	1.683	-8.395	31	0	-1.395	8.557		1	19	1.135	-8.749		
29	22	-1.717	8.412	31	17	1.433	-8.534		2	12	-1.182	8.771		
30	15	1.749	-8.381	<b>Juin</b>	1	10	-1.470		8.554	3	5	1.218	-8.752	
<b>Mai</b>	1	8	-1.787	8.397	2	3	1.508	-8.527	3	22	-1.261	8.774		
	2	1	1.818	-8.365	2	20	-1.546	8.549	4	15	1.301	-8.753		
	2	18	-1.856	8.381	3	13	1.584	-8.520	5	8	-1.342	8.775		
	3	11	1.886	-8.350	4	6	-1.623	8.540	6	1	1.383	-8.752		
	4	4	-1.923	8.362	4	23	1.657	-8.512	6	18	-1.424	8.775		
	4	21	1.956	-8.332	5	16	-1.699	8.530	7	11	1.464	-8.748		
	5	14	-1.992	8.342	6	9	1.732	-8.501	8	4	-1.507	8.772		
	6	7	2.025	-8.311	7	2	-1.775	8.518	8	21	1.546	-8.744		
	7	0	-2.059	8.322	7	19	1.808	-8.490	9	14	-1.590	8.766		
	7	16	1.160	-8.477	8	12	-1.849	8.504	10	7	1.626	-8.739		

**MIRANDA 2018****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>	11 0	-1.673	8.759	<b>Août</b>	11 19	1.466	-9.018	<b>Sept.</b>	12 14	-1.261	9.285
	11 17	1.708	-8.731		12 12	-1.513	9.042		13 7	1.303	-9.261
	12 10	-1.755	8.749		13 5	1.552	-9.013		14 0	-1.349	9.284
	13 3	1.790	-8.722		13 22	-1.600	9.036		14 17	1.391	-9.258
	13 20	-1.835	8.738		14 15	1.636	-9.009		15 10	-1.437	9.281
	14 13	1.874	-8.711		15 8	-1.686	9.028		16 3	1.475	-9.252
	15 6	-1.917	8.725		16 1	1.722	-9.001		16 20	-1.525	9.275
	15 23	1.956	-8.697		16 18	-1.772	9.019		17 13	1.562	-9.245
	16 15	-0.957	8.888		17 11	1.809	-8.991		18 6	-1.612	9.267
	17 8	0.998	-8.869		18 4	-1.856	9.007		18 23	1.647	-9.238
	18 1	-1.041	8.896		18 21	1.896	-8.979		19 16	-1.699	9.255
	18 18	1.082	-8.875		19 14	-1.941	8.993		20 9	1.733	-9.227
	19 11	-1.126	8.903		20 7	1.982	-8.964		21 2	-1.784	9.242
	20 4	1.164	-8.880		20 23	-0.950	9.158		21 19	1.820	-9.214
	20 21	-1.212	8.907		21 16	0.991	-9.137		22 12	-1.867	9.228
	21 14	1.249	-8.883		22 9	-1.038	9.166		23 5	1.906	-9.198
	22 7	-1.297	8.908		23 2	1.080	-9.143		23 22	-1.951	9.211
23 0	1.332	-8.885	23 19	-1.127	9.171	24 15	1.991	-9.179			
23 17	-1.381	8.907	24 12	1.165	-9.147	25 8	-2.034	9.194			
24 10	1.417	-8.885	25 5	-1.216	9.174	26 0	0.992	-9.339			
25 3	-1.466	8.905	25 22	1.253	-9.149	26 17	-1.040	9.367			
25 20	1.503	-8.882	26 15	-1.305	9.175	27 10	1.080	-9.341			
26 13	-1.548	8.901	27 8	1.340	-9.151	28 3	-1.129	9.368			
27 6	1.589	-8.877	28 1	-1.391	9.172	28 20	1.164	-9.342			
27 23	-1.632	8.896	28 18	1.428	-9.150	29 13	-1.218	9.367			
28 16	1.674	-8.870	29 11	-1.479	9.169	30 6	1.252	-9.341			
29 9	-1.716	8.890	30 4	1.516	-9.145	30 23	-1.305	9.364			
30 2	1.758	-8.860	30 21	-1.563	9.164	<b>Oct.</b>	1 16	1.338	-9.338		
30 19	-1.800	8.880	31 14	1.605	-9.139		2 9	-1.390	9.357		
31 12	1.842	-8.849	<b>Sept.</b> 1 7	-1.649	9.157		3 2	1.425	-9.333		
<b>Août</b>	1 5	-1.886	8.869	2 0	1.692	-9.130	3 19	-1.476	9.350		
	1 22	1.923	-8.837	2 17	-1.736	9.149	4 12	1.512	-9.324		
	2 15	-1.971	8.854	3 10	1.777	-9.118	5 5	-1.558	9.342		
	3 7	0.945	-9.001	4 3	-1.823	9.138	5 22	1.598	-9.313		
	4 0	-0.997	9.029	4 20	1.863	-9.105	6 15	-1.643	9.331		
	4 17	1.031	-9.010	5 13	-1.909	9.124	7 8	1.683	-9.300		
	5 10	-1.082	9.035	6 6	1.946	-9.091	8 1	-1.727	9.318		
	6 3	1.119	-9.017	6 23	-1.996	9.108	8 18	1.765	-9.284		
	6 20	-1.168	9.039	7 16	2.031	-9.075	9 11	-1.812	9.303		
	7 13	1.207	-9.020	8 8	-1.001	9.277	10 4	1.848	-9.267		
	8 6	-1.252	9.043	9 1	1.035	-9.257	10 21	-1.896	9.285		
	8 23	1.294	-9.021	9 18	-1.087	9.281	11 14	1.929	-9.250		
	9 16	-1.339	9.045	10 11	1.125	-9.261	12 7	-1.979	9.263		
	10 9	1.381	-9.021	11 4	-1.175	9.284	13 0	2.011	-9.229		
	11 2	-1.425	9.045	11 21	1.214	-9.263	13 17	-2.060	9.241		

## MIRANDA 2018

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>Oct.</b>	14	9	1.021	-9.387	<b>Nov.</b>	13	19	-1.724	9.305	<b>Déc.</b>	14	4	1.290	-9.187
	15	2	-1.072	9.409		14	12	1.756	-9.267		14	21	-1.332	9.201
	15	19	1.108	-9.387		15	5	-1.802	9.282		15	14	1.364	-9.169
	16	12	-1.157	9.407		15	22	1.831	-9.246		16	7	-1.406	9.184
	17	5	1.194	-9.383		16	15	-1.879	9.257		17	0	1.437	-9.151
	17	22	-1.240	9.404		17	8	1.907	-9.222		17	17	-1.479	9.166
	18	15	1.279	-9.377		18	1	-1.955	9.231		18	10	1.507	-9.130
	19	8	-1.325	9.398		18	18	1.984	-9.196		19	3	-1.553	9.145
	20	1	1.363	-9.369		19	11	-2.026	9.203		19	20	1.579	-9.109
	20	18	-1.410	9.390		20	4	2.059	-9.167		20	13	-1.625	9.122
21	11	1.444	-9.359	20	21	-2.100	9.173	21	6	1.649	-9.087			
22	4	-1.494	9.380	21	13	1.104	-9.323	21	23	-1.695	9.096			
22	21	1.527	-9.347	22	6	-1.149	9.342	22	16	1.720	-9.062			
23	14	-1.577	9.366	22	23	1.183	-9.312	23	9	-1.765	9.070			
24	7	1.609	-9.336	23	16	-1.228	9.332	24	2	1.791	-9.035			
25	0	-1.659	9.350	24	9	1.261	-9.300	24	19	-1.832	9.042			
25	17	1.691	-9.320	25	2	-1.307	9.320	25	12	1.861	-9.007			
26	10	-1.740	9.333	25	19	1.336	-9.287	26	5	-1.900	9.013			
27	3	1.773	-9.302	26	12	-1.385	9.305	26	22	1.931	-8.976			
27	20	-1.818	9.314	27	5	1.413	-9.273	27	15	-1.968	8.983			
28	13	1.854	-9.282	27	22	-1.462	9.289	28	8	1.998	-8.942			
29	6	-1.897	9.293	28	15	1.489	-9.257	29	1	-2.036	8.951			
29	23	1.935	-9.259	29	8	-1.536	9.269	29	17	1.079	-9.084			
30	16	-1.976	9.272	30	1	1.565	-9.239	30	10	-1.124	9.103			
31	9	2.012	-9.233	30	18	-1.611	9.249	31	3	1.149	-9.072			
<b>Nov.</b>	1	2	-2.055	9.247	<b>Déc.</b>	1	11	1.641	-9.218	<b>Janv.</b>	31	20	-1.197	9.089
	1	19	2.090	-9.207		2	4	-1.683	9.228		1	13	1.220	-9.058
	2	11	-1.083	9.406		2	21	1.716	-9.194		2	6	-1.268	9.073
	3	4	1.115	-9.378		3	14	-1.757	9.205		2	23	1.292	-9.043
	3	21	-1.167	9.400		4	7	1.789	-9.169		3	16	-1.337	9.054
	4	14	1.197	-9.371		5	0	-1.830	9.181		4	9	1.363	-9.025
	5	7	-1.249	9.392		5	17	1.861	-9.142		5	2	-1.407	9.035
	6	0	1.279	-9.364		6	10	-1.903	9.154		5	19	1.434	-9.005
	6	17	-1.329	9.381		7	3	1.933	-9.113		6	12	-1.475	9.016
	7	10	1.361	-9.354		7	20	-1.975	9.124		7	5	1.504	-8.983
8	3	-1.409	9.369	8	13	2.001	-9.085	7	22	-1.544	8.994			
8	20	1.442	-9.341	9	6	-2.046	9.092	8	15	1.574	-8.960			
9	13	-1.487	9.356	9	23	2.072	-9.053	9	8	-1.613	8.971			
10	6	1.523	-9.325	10	15	-1.113	9.242	10	1	1.640	-8.934			
10	23	-1.566	9.341	11	8	1.139	-9.214	10	18	-1.682	8.946			
11	16	1.602	-9.308	12	1	-1.186	9.229	11	11	1.708	-8.908			
12	9	-1.646	9.324	12	18	1.215	-9.202							
13	2	1.678	-9.288	13	11	-1.260	9.215							



## ARIEL 2018

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	12	-3.031	13.047	<b>Févr.</b>	27	5	2.781	-12.506	<b>Avril</b>	24	22	-2.574	12.330
	2	18	2.846	-13.081		28	11	-2.560	12.537		26	4	2.393	-12.377
	4	0	-2.628	13.102	<b>Mars</b>	1	17	2.374	-12.563		27	10	-2.162	12.412
	5	7	3.242	-12.949		3	0	-2.955	12.424		28	17	2.809	-12.282
	6	13	-3.029	12.986		4	6	2.771	-12.467	29	23	-2.590	12.335	
	7	19	2.844	-13.024	5	12	-2.557	12.499	<b>Mai</b>	1	5	2.398	-12.382	
	9	1	-2.619	13.045	6	18	2.372	-12.529		2	11	-2.174	12.419	
	10	8	3.240	-12.889	8	1	-2.947	12.387		3	18	2.826	-12.289	
	11	14	-3.018	12.930	9	7	2.772	-12.432		5	0	-2.598	12.342	
	12	20	2.840	-12.964	10	13	-2.549	12.466		6	6	2.415	-12.392	
	14	2	-2.618	12.987	11	19	2.371	-12.495		7	12	-2.181	12.431	
	15	9	3.227	-12.833	13	2	-2.947	12.354	8	18	1.995	-12.465		
	16	15	-3.015	12.869	14	8	2.765	-12.401	10	1	-2.616	12.354		
	17	21	2.830	-12.909	15	14	-2.550	12.435	11	7	2.424	-12.406		
	19	3	-2.613	12.928	16	20	2.363	-12.469	12	13	-2.199	12.446		
	20	9	2.428	-12.950	18	3	-2.948	12.322	13	19	2.002	-12.484		
	21	16	-3.003	12.815	19	9	2.766	-12.373	15	2	-2.635	12.367		
	22	22	2.826	-12.849	20	15	-2.544	12.410	16	8	2.443	-12.423		
	24	4	-2.604	12.875	21	21	2.365	-12.441	17	14	-2.209	12.466		
25	10	2.423	-12.892	23	4	-2.945	12.300	18	20	2.021	-12.503			
26	17	-2.999	12.758	24	10	2.767	-12.347	20	3	-2.649	12.388			
27	23	2.817	-12.797	25	16	-2.547	12.387	21	9	2.464	-12.441			
29	5	-2.599	12.816	26	22	2.361	-12.423	22	15	-2.230	12.488			
30	11	2.414	-12.842	28	4	-2.139	12.442	23	21	2.033	-12.530			
31	18	-2.991	12.701	29	11	2.767	-12.330	25	4	-2.674	12.407			
<b>Févr.</b>	2	0	2.812	-12.742	30	17	-2.548	12.366	26	10	2.480	-12.468		
	3	6	-2.590	12.766	31	23	2.364	-12.406	27	16	-2.250	12.511		
	4	12	2.408	-12.786	<b>Avril</b>	2	5	-2.137	12.430	28	22	2.054	-12.557	
	5	19	-2.983	12.652		3	12	2.771	-12.309	30	5	-2.693	12.435	
	7	1	2.803	-12.687		4	18	-2.549	12.354	31	11	2.505	-12.491	
	8	7	-2.586	12.715		6	0	2.365	-12.390	<b>Juin</b>	1	17	-2.269	12.544
	9	13	2.401	-12.739	7	6	-2.141	12.419	2		23	2.075	-12.585	
	10	20	-2.975	12.598	8	13	2.775	-12.299	4		6	-2.722	12.461	
	12	2	2.797	-12.641	9	19	-2.553	12.339	5		12	2.527	-12.524	
	13	8	-2.576	12.664	11	1	2.370	-12.384	6		18	-2.292	12.572	
	14	14	2.397	-12.690	12	7	-2.143	12.408	8		0	2.098	-12.622	
	15	21	-2.968	12.552	13	14	2.784	-12.289	9	6	-1.857	12.654		
	17	3	2.788	-12.590	14	20	-2.558	12.335	10	13	2.556	-12.556		
	18	9	-2.572	12.621	16	2	2.373	-12.375	11	19	-2.317	12.610		
	19	15	2.387	-12.643	17	8	-2.149	12.408	13	1	2.120	-12.655		
	20	22	-2.965	12.506	18	15	2.788	-12.281	14	7	-1.881	12.696		
	22	4	2.784	-12.548	19	21	-2.569	12.331	15	14	2.582	-12.589		
	23	10	-2.563	12.575	21	3	2.381	-12.376	16	20	-2.347	12.646		
	24	16	2.385	-12.603	22	9	-2.152	12.405	18	2	2.147	-12.697		
25	23	-2.955	12.462	23	16	2.802	-12.282	19	8	-1.904	12.734			

## ARIEL 2018

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	15	2.615	-12.629	<b>Août</b>	16	7	-1.832	13.364	<b>Oct.</b>	12	0	2.073	-13.772	
	21	21	-2.373	12.683		17	14	2.593	-13.267		13	7	-2.786	13.645	
	23	3	2.179	-12.738		18	20	-2.338	13.322		14	13	2.578	-13.702	
	24	9	-1.933	12.780		20	2	2.134	-13.377		15	19	-2.320	13.739	
	25	16	2.642	-12.666		21	8	-1.875	13.417		17	1	2.112	-13.777	
	26	22	-2.407	12.727		22	15	2.633	-13.310		18	8	-2.818	13.651	
	28	4	2.204	-12.780		23	21	-2.385	13.371		19	14	2.608	-13.700	
	29	10	-1.966	12.824		25	3	2.172	-13.422		20	20	-2.356	13.743	
	30	17	2.678	-12.709		26	9	-1.921	13.464		22	2	2.141	-13.774	
<b>Juill.</b>	1	23	-2.435	12.770		27	16	2.679	-13.355		23	9	-2.851	13.647	
	3	5	2.241	-12.827		28	22	-2.424	13.414		24	15	2.640	-13.698	
	4	11	-1.991	12.871		30	4	2.220	-13.468		25	21	-2.383	13.736	
	5	18	2.717	-12.751	<b>Sept.</b>	31	10	-1.958	13.509		27	3	2.177	-13.771	
	7	0	-2.473	12.816			1	17	2.726	-13.395		28	10	-2.874	13.637
	8	6	2.269	-12.873			2	23	-2.470	13.457		29	16	2.671	-13.688
	9	12	-2.029	12.919		4	5	2.257	-13.509		<b>Nov.</b>	30	22	-2.414	13.727
	10	18	1.819	-12.963		5	11	-2.006	13.552			1	4	2.201	-13.758
	12	1	-2.512	12.861		6	18	2.763	-13.434			2	11	-2.904	13.624
	13	7	2.308	-12.922		8	0	-2.516	13.493			3	17	2.691	-13.672
	14	13	-2.058	12.970		9	6	2.303	-13.549			4	23	-2.444	13.710
	15	19	1.858	-13.013		10	12	-2.043	13.591		6	5	2.230	-13.743	
	17	2	-2.545	12.911		11	19	2.812	-13.467		7	12	-2.921	13.603	
	18	8	2.347	-12.969		13	1	-2.553	13.530		8	18	2.719	-13.651	
	19	14	-2.097	13.021		14	7	2.348	-13.582		10	0	-2.462	13.690	
	20	20	1.889	-13.067		15	13	-2.090	13.627		11	6	2.258	-13.719	
	22	3	-2.588	12.956		16	20	2.848	-13.500		12	13	-2.944	13.579	
	23	9	2.381	-13.022		18	2	-2.600	13.559		13	19	2.733	-13.627	
	24	15	-2.137	13.070		19	8	2.385	-13.616		15	1	-2.489	13.662	
	25	21	1.929	-13.120		20	14	-2.133	13.656		16	7	2.274	-13.694	
	27	4	-2.623	13.008		21	21	2.891	-13.527		17	14	-2.964	13.547	
	28	10	2.424	-13.069		23	3	-2.635	13.589		18	20	2.755	-13.597	
	29	16	-2.172	13.125		24	9	2.430	-13.640		20	2	-2.502	13.633	
	30	22	1.968	-13.170		25	15	-2.170	13.685		21	8	2.298	-13.659	
<b>Août</b>	1	5	-2.669	13.056		26	22	2.932	-13.547		22	15	-2.974	13.516	
	2	11	2.462	-13.122		28	4	-2.678	13.611		23	21	2.772	-13.559	
	3	17	-2.215	13.172		29	10	2.466	-13.665		25	3	-2.522	13.596	
	4	23	2.006	-13.226		30	16	-2.212	13.704		26	9	2.311	-13.625	
	6	6	-2.710	13.101	<b>Oct.</b>	1	23	2.967	-13.569		27	16	-2.989	13.474	
	7	12	2.507	-13.171			3	5	-2.717	13.625		28	22	2.782	-13.523
	8	18	-2.253	13.227			4	11	2.507	-13.682		30	4	-2.536	13.553
	10	0	2.046	-13.274		5	17	-2.247	13.725	<b>Déc.</b>	1	10	2.328	-13.584	
	11	7	-2.754	13.153		6	23	2.037	-13.757			2	17	-2.995	13.435
	12	13	2.548	-13.217		8	6	-2.752	13.642			3	23	2.794	-13.476
	13	19	-2.299	13.276		9	12	2.542	-13.691			5	5	-2.545	13.513
	15	1	2.088	-13.328		10	18	-2.288	13.736			6	11	2.340	-13.536

**ARIEL 2018**


---

**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	18	-3.006	13.388	<b>Déc.</b>	19	2	2.809	-13.326	<b>Déc.</b>	30	10	-2.572	13.249
	9	0	2.800	-13.432		20	8	-2.569	13.361		31	16	2.364	-13.273
	10	6	-2.554	13.462		21	14	2.362	-13.387	<b>Janv.</b>	1	23	-3.013	13.117
	11	12	2.350	-13.492		22	21	-3.011	13.229		3	5	2.811	-13.159
	12	19	-3.009	13.335		24	3	2.815	-13.275		4	11	-2.566	13.190
	14	1	2.809	-13.382		25	9	-2.567	13.304		5	17	2.369	-13.216
	15	7	-2.560	13.415		26	15	2.368	-13.330		7	0	-3.005	13.059
	16	13	2.355	-13.437		27	22	-3.013	13.176		8	6	2.811	-13.099
	17	20	-3.013	13.287		29	4	2.810	-13.216		9	12	-2.567	13.133

---

## UMBRIEL 2018

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 14	-4.335	18.113	<b>Avril</b>	4 19	3.151	-17.325	<b>Juill.</b>	7 1	-3.285	17.850
	3 15	3.722	-18.291		6 21	-3.429	17.192		9 3	3.402	-17.941
	5 17	-3.999	18.126		8 23	3.512	-17.245		11 4	-2.925	17.966
	7 19	4.069	-18.152		11 1	-3.788	17.105		13 6	3.054	-18.071
	9 20	-3.660	18.122		13 2	3.179	-17.302		15 8	-3.370	17.951
	11 22	3.735	-18.155		15 4	-3.449	17.168		17 10	3.489	-18.056
	14 0	-4.003	17.988		17 6	3.546	-17.233		19 11	-3.014	18.075
	16 2	4.083	-18.014		19 7	-3.109	17.224		21 13	3.146	-18.187
	18 3	-3.660	17.986		21 9	3.209	-17.301		23 15	-3.459	18.060
	20 5	3.752	-18.022		23 11	-3.481	17.158		25 16	2.789	-18.313
22 7	-4.005	17.847	25 13	3.577	-17.232	27 18	-3.112	18.183			
24 9	4.088	-17.886	27 14	-3.140	17.224	29 20	3.235	-18.312			
26 10	-3.667	17.847	29 16	3.245	-17.313	31 22	-3.565	18.164			
28 12	3.759	-17.893	<b>Mai</b>	1 18	-3.515	17.159	<b>Août</b>	2 23	2.878	-18.434	
30 14	-4.007	17.713		3 20	3.616	-17.250		5 1	-3.215	18.298	
<b>Févr.</b>	1 16	4.093	-17.757	5 21	-3.185	17.236	7 3	3.331	-18.427		
	3 17	-3.674	17.714	7 23	3.274	-17.338	9 5	-3.677	18.269		
	5 19	3.762	-17.777	10 1	-3.567	17.178	11 6	2.971	-18.556		
	7 21	-4.015	17.579	12 2	2.940	-17.414	13 8	-3.327	18.406		
	9 23	4.092	-17.637	14 4	-3.230	17.266	15 10	3.428	-18.539		
12 0	-3.686	17.595	16 6	3.317	-17.374	17 11	-2.976	18.531			
14 2	3.761	-17.659	18 8	-3.628	17.209	19 13	3.066	-18.664			
16 4	-4.026	17.459	20 9	2.974	-17.461	21 15	-3.441	18.516			
18 5	3.426	-17.671	22 11	-3.291	17.311	23 17	3.532	-18.643			
20 7	-3.696	17.481	24 13	3.366	-17.418	25 18	-3.084	18.640			
22 9	3.762	-17.553	26 14	-2.949	17.403	27 20	3.171	-18.766			
24 11	-4.042	17.354	28 16	3.024	-17.514	29 22	-3.556	18.620			
26 12	3.423	-17.568	30 18	-3.355	17.370	<b>Sept.</b>	1 0	3.632	-18.732		
28 14	-3.712	17.385	1 20	3.419	-17.477		3 1	-3.194	18.746		
<b>Mars</b>	2 16	3.769	-17.454	3 21	-3.012		17.471	5 3	3.284	-18.854	
	4 18	-4.052	17.262	5 23	3.079	-17.578	7 5	-3.658	18.713		
6 19	3.432	-17.477	8 1	-3.420	17.448	9 6	2.925	-18.961			
8 21	-3.729	17.301	10 3	3.486	-17.538	11 8	-3.301	18.836			
10 23	3.772	-17.365	12 4	-3.076	17.554	13 10	3.389	-18.931			
13 0	-3.393	17.335	14 6	3.147	-17.656	15 12	-3.763	18.796			
15 2	3.445	-17.394	16 8	-3.487	17.528	17 13	3.039	-19.032			
17 4	-3.738	17.235	18 9	2.800	-17.755	19 15	-3.394	18.912			
19 6	3.791	-17.288	20 11	-3.143	17.649	21 17	3.506	-18.996			
21 7	-3.405	17.274	22 13	3.222	-17.737	23 19	-3.861	18.856			
23 9	3.458	-17.330	24 15	-3.556	17.621	25 20	3.147	-19.096			
25 11	-3.755	17.179	26 16	2.881	-17.851	27 22	-3.492	18.966			
27 13	3.813	-17.224	28 18	-3.209	17.745	30 0	3.615	-19.044			
29 14	-3.413	17.230	30 20	3.308	-17.836	<b>Oct.</b>	2 1	-3.128	19.055		
31 16	3.485	-17.278	<b>Juill.</b>	2 21	-2.855		17.860	4 3	3.256	-19.140	
<b>Avril</b>	2 18	-3.770		4 23	2.961		-17.956	6 5	-3.585	18.997	

## UMBRIEL 2018

---

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>Oct.</b>	8 7	3.716	-19.082	<b>Nov.</b>	12 12	-3.574	18.975	<b>Déc.</b>	17 18	3.858	-18.639
	10 8	-3.221	19.077		14 14	3.661	-19.063		19 19	-3.402	18.609
	12 10	3.354	-19.170		16 16	-4.003	18.859		21 21	3.495	-18.650
	14 12	-3.679	19.011		18 17	3.296	-19.095		23 23	-3.794	18.475
	16 14	3.808	-19.095		20 19	-3.645	18.903		26 1	3.889	-18.506
	18 15	-3.314	19.081		22 21	3.713	-18.981		28 2	-3.425	18.479
20 17	3.447	-19.181	24 23	-4.066	18.778	30 4	3.532	-18.521			
22 19	-3.766	18.998	27 0	3.354	-19.001	<b>Janv.</b>	1 6	-3.808	18.335		
24 21	3.889	-19.092	29 2	-3.696	18.822		3 8	3.916	-18.375		
26 22	-3.409	19.064	<b>Déc.</b> 1 4	3.769	-18.877		5 9	-3.447	18.338		
29 0	3.521	-19.164	3 6	-4.111	18.681	7 11	3.550	-18.389			
31 2	-3.854	18.970	5 7	3.405	-18.897	9 13	-3.827	18.193			
<b>Nov.</b>	2 3	3.164	-19.214	7 9	-3.741	18.718	11 15	3.936	-18.238		
	4 5	-3.492	19.026	9 11	3.816	-18.760	13 16	-3.460	18.195		
	6 7	3.594	-19.127	11 12	-3.373	18.733	15 18	3.568	-18.256		
	8 9	-3.938	18.922	13 14	3.454	-18.775					
10 10	3.228	-19.166	15 16	-3.771	18.602						

---

## TITANIA 2018

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 15	-6.592	29.889	<b>Mai</b>	9 20	5.401	-28.321	<b>Sept.</b>	13 1	-5.356	31.052
	7 23	6.299	-29.737		14 4	-5.102	28.500		17 10	5.747	-30.981
	12 8	-6.544	29.687		18 13	5.379	-28.387		21 18	-5.472	31.173
	16 16	6.258	-29.488		22 21	-5.131	28.591		26 3	5.850	-31.100
	21 1	-6.522	29.464		27 6	5.403	-28.492		30 11	-5.568	31.274
<b>Févr.</b>	25 9	6.223	-29.268	<b>Juin</b>	31 14	-5.153	28.703	<b>Oct.</b>	4 20	5.954	-31.176
	29 18	-6.488	29.242		4 23	5.449	-28.613		9 4	-5.663	31.365
	3 2	6.201	-29.057		9 7	-5.159	28.865		13 13	6.004	-31.207
	7 11	-6.408	29.050		13 16	5.484	-28.740		17 21	-5.766	31.396
	11 19	6.174	-28.849		18 0	-5.214	29.024		22 5	5.449	-31.337
<b>Mars</b>	16 3	-5.851	28.975	<b>Juill.</b>	22 8	4.931	-29.017	<b>Nov.</b>	26 14	-5.843	31.385
	20 12	6.135	-28.669		26 17	-5.270	29.195		30 22	5.540	-31.305
	24 20	-5.819	28.799		1 1	5.000	-29.204		4 7	-5.876	31.367
	1 5	6.104	-28.529		5 10	-5.284	29.395		8 15	5.601	-31.220
	5 13	-5.745	28.640		9 18	5.076	-29.390		13 0	-5.942	31.285
<b>Avril</b>	9 22	6.084	-28.392	<b>Août</b>	14 3	-5.360	29.601	<b>Déc.</b>	17 8	5.652	-31.121
	14 6	-5.712	28.519		18 11	5.145	-29.594		21 17	-5.989	31.160
	18 15	6.053	-28.278		22 20	-5.448	29.804		26 1	5.709	-30.993
	22 23	-5.695	28.416		27 4	5.227	-29.826		30 10	-5.970	31.018
	27 8	6.005	-28.221		31 12	-4.864	30.114		4 18	5.751	-30.823
<b>Mai</b>	31 16	-5.662	28.323	<b>Sept.</b>	4 21	5.329	-30.037	<b>Janv.</b>	9 3	-5.995	30.843
	5 0	5.454	-28.274		9 5	-4.949	30.332		13 11	5.763	-30.636
	9 9	-5.642	28.281		13 14	5.420	-30.243		17 20	-6.013	30.638
	13 17	5.440	-28.239		17 22	-5.054	30.535		22 4	5.766	-30.454
	18 2	-5.646	28.267		22 7	5.485	-30.472		26 13	-5.976	30.408
<b>Mai</b>	22 10	5.384	-28.247	<b>Sept.</b>	26 15	-5.142	30.709	<b>Janv.</b>	30 21	5.773	-30.233
	26 19	-5.654	28.269		31 0	5.595	-30.662		4 6	-5.964	30.187
	1 3	5.387	-28.275		4 8	-5.238	30.890		8 14	5.758	-30.002
	5 12	-5.655	28.308		8 17	5.700	-30.826		12 23	-5.958	29.954

## OBÉRON 2018

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>	7 1	8.613	-39.827	<b>Mai</b>	21 15	6.970	-38.113	<b>Oct.</b>	3 6	7.501	-41.773
	13 19	-8.552	39.584		28 9	-6.926	38.260		10 0	-7.573	41.895
	20 12	8.431	-39.411	<b>Juin</b>	4 2	6.871	-38.395	16 17	7.569	-41.918	
27 6	-8.358	39.145	10 20		-6.872	38.534	23 11	-7.577	41.947		
<b>Févr.</b>	2 23	8.219	-39.002	17 13	6.800	-38.759	30 4	7.564	-41.932		
	9 17	-8.209	38.732		24 7	-6.812	38.900	<b>Nov.</b>	5 22	-7.601	41.852
	16 10	8.000	-38.630	<b>Juill.</b>	1 0	6.732	-39.166		12 16	8.070	-41.734
<b>Mars</b>	23 4	-8.012	38.391		7 18	-6.836	39.308	19 9	-7.558	41.669	
	1 21	7.790	-38.301	14 11	6.684	-39.605	26 3	7.984	-41.512		
	8 15	-7.861	38.130	21 5	-6.825	39.766	<b>Déc.</b>	2 20	-7.544	41.379	
	15 8	7.588	-38.052		27 22	6.668	-40.049		9 14	7.866	-41.184
<b>Avril</b>	22 2	-7.673	37.943	<b>Août</b>	3 16	-6.879	40.254		16 8	-7.955	40.923
	28 19	7.432	-37.862		10 10	7.223	-40.413		23 1	7.731	-40.764
	4 13	-7.506	37.853		17 3	-6.900	40.727	<b>Janv.</b>	29 19	-7.851	40.527
	11 6	7.266	-37.786		23 21	7.296	-40.823		5 12	7.570	-40.318
	18 0	-7.333	37.838		30 14	-6.941	41.178		12 6	-7.677	40.095
<b>Mai</b>	24 17	7.171	-37.792	<b>Sept.</b>	6 8	7.344	-41.217		18 23	7.432	-39.835
	1 11	-7.173	37.904		13 1	-6.968	41.553		25 17	-7.488	39.671
	8 4	7.040	-37.904		19 19	7.458	-41.534	<b>Févr.</b>	1 11	7.741	-39.301
	14 22	-7.040	38.037		26 12	-6.991	41.834		8 4	-7.272	39.256

# CALENDRIER

Notations :

**D** : Date, jour du mois.

**JOUR** : Jour de la semaine.

**JJ** : Jour Julien à 12h.

**JDA** : Jour de l'année.



## CALENDRIER 2018

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	Lun	2458120	1	1	Jeu	2458151	32	1	Jeu	2458179	60
2	Mar	8121	2	2	Ven	8152	33	2	Ven	8180	61
3	Mer	8122	3	3	Sam	8153	34	3	Sam	8181	62
4	Jeu	8123	4	4	Dim	8154	35	4	Dim	8182	63
5	Ven	8124	5	5	Lun	8155	36	5	Lun	8183	64
6	Sam	8125	6	6	Mar	8156	37	6	Mar	8184	65
7	Dim	8126	7	7	Mer	8157	38	7	Mer	8185	66
8	Lun	8127	8	8	Jeu	8158	39	8	Jeu	8186	67
9	Mar	8128	9	9	Ven	8159	40	9	Ven	8187	68
10	Mer	8129	10	10	Sam	8160	41	10	Sam	8188	69
11	Jeu	8130	11	11	Dim	8161	42	11	Dim	8189	70
12	Ven	8131	12	12	Lun	8162	43	12	Lun	8190	71
13	Sam	8132	13	13	Mar	8163	44	13	Mar	8191	72
14	Dim	8133	14	14	Mer	8164	45	14	Mer	8192	73
15	Lun	8134	15	15	Jeu	8165	46	15	Jeu	8193	74
16	Mar	8135	16	16	Ven	8166	47	16	Ven	8194	75
17	Mer	8136	17	17	Sam	8167	48	17	Sam	8195	76
18	Jeu	8137	18	18	Dim	8168	49	18	Dim	8196	77
19	Ven	8138	19	19	Lun	8169	50	19	Lun	8197	78
20	Sam	8139	20	20	Mar	8170	51	20	Mar	8198	79
21	Dim	8140	21	21	Mer	8171	52	21	Mer	8199	80
22	Lun	8141	22	22	Jeu	8172	53	22	Jeu	8200	81
23	Mar	8142	23	23	Ven	8173	54	23	Ven	8201	82
24	Mer	8143	24	24	Sam	8174	55	24	Sam	8202	83
25	Jeu	8144	25	25	Dim	8175	56	25	Dim	8203	84
26	Ven	8145	26	26	Lun	8176	57	26	Lun	8204	85
27	Sam	8146	27	27	Mar	8177	58	27	Mar	8205	86
28	Dim	8147	28	28	Mer	8178	59	28	Mer	8206	87
29	Lun	8148	29					29	Jeu	8207	88
30	Mar	8149	30					30	Ven	8208	89
31	Mer	8150	31					31	Sam	8209	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	Dim	2458210	91	1	Mar	2458240	121	1	Ven	2458271	152
2	Lun	8211	92	2	Mer	8241	122	2	Sam	8272	153
3	Mar	8212	93	3	Jeu	8242	123	3	Dim	8273	154
4	Mer	8213	94	4	Ven	8243	124	4	Lun	8274	155
5	Jeu	8214	95	5	Sam	8244	125	5	Mar	8275	156
6	Ven	8215	96	6	Dim	8245	126	6	Mer	8276	157
7	Sam	8216	97	7	Lun	8246	127	7	Jeu	8277	158
8	Dim	8217	98	8	Mar	8247	128	8	Ven	8278	159
9	Lun	8218	99	9	Mer	8248	129	9	Sam	8279	160
10	Mar	8219	100	10	Jeu	8249	130	10	Dim	8280	161
11	Mer	8220	101	11	Ven	8250	131	11	Lun	8281	162
12	Jeu	8221	102	12	Sam	8251	132	12	Mar	8282	163
13	Ven	8222	103	13	Dim	8252	133	13	Mer	8283	164
14	Sam	8223	104	14	Lun	8253	134	14	Jeu	8284	165
15	Dim	8224	105	15	Mar	8254	135	15	Ven	8285	166
16	Lun	8225	106	16	Mer	8255	136	16	Sam	8286	167
17	Mar	8226	107	17	Jeu	8256	137	17	Dim	8287	168
18	Mer	8227	108	18	Ven	8257	138	18	Lun	8288	169
19	Jeu	8228	109	19	Sam	8258	139	19	Mar	8289	170
20	Ven	8229	110	20	Dim	8259	140	20	Mer	8290	171
21	Sam	8230	111	21	Lun	8260	141	21	Jeu	8291	172
22	Dim	8231	112	22	Mar	8261	142	22	Ven	8292	173
23	Lun	8232	113	23	Mer	8262	143	23	Sam	8293	174
24	Mar	8233	114	24	Jeu	8263	144	24	Dim	8294	175
25	Mer	8234	115	25	Ven	8264	145	25	Lun	8295	176
26	Jeu	8235	116	26	Sam	8265	146	26	Mar	8296	177
27	Ven	8236	117	27	Dim	8266	147	27	Mer	8297	178
28	Sam	8237	118	28	Lun	8267	148	28	Jeu	8298	179
29	Dim	8238	119	29	Mar	8268	149	29	Ven	8299	180
30	Lun	8239	120	30	Mer	8269	150	30	Sam	8300	181
				31	Jeu	8270	151				

**CALENDRIER 2018**

JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			181	0			212	0			243
1	Dim	2458301	182	1	Mer	2458332	213	1	Sam	2458363	244
2	Lun	8302	183	2	Jeu	8333	214	2	Dim	8364	245
3	Mar	8303	184	3	Ven	8334	215	3	Lun	8365	246
4	Mer	8304	185	4	Sam	8335	216	4	Mar	8366	247
5	Jeu	8305	186	5	Dim	8336	217	5	Mer	8367	248
6	Ven	8306	187	6	Lun	8337	218	6	Jeu	8368	249
7	Sam	8307	188	7	Mar	8338	219	7	Ven	8369	250
8	Dim	8308	189	8	Mer	8339	220	8	Sam	8370	251
9	Lun	8309	190	9	Jeu	8340	221	9	Dim	8371	252
10	Mar	8310	191	10	Ven	8341	222	10	Lun	8372	253
11	Mer	8311	192	11	Sam	8342	223	11	Mar	8373	254
12	Jeu	8312	193	12	Dim	8343	224	12	Mer	8374	255
13	Ven	8313	194	13	Lun	8344	225	13	Jeu	8375	256
14	Sam	8314	195	14	Mar	8345	226	14	Ven	8376	257
15	Dim	8315	196	15	Mer	8346	227	15	Sam	8377	258
16	Lun	8316	197	16	Jeu	8347	228	16	Dim	8378	259
17	Mar	8317	198	17	Ven	8348	229	17	Lun	8379	260
18	Mer	8318	199	18	Sam	8349	230	18	Mar	8380	261
19	Jeu	8319	200	19	Dim	8350	231	19	Mer	8381	262
20	Ven	8320	201	20	Lun	8351	232	20	Jeu	8382	263
21	Sam	8321	202	21	Mar	8352	233	21	Ven	8383	264
22	Dim	8322	203	22	Mer	8353	234	22	Sam	8384	265
23	Lun	8323	204	23	Jeu	8354	235	23	Dim	8385	266
24	Mar	8324	205	24	Ven	8355	236	24	Lun	8386	267
25	Mer	8325	206	25	Sam	8356	237	25	Mar	8387	268
26	Jeu	8326	207	26	Dim	8357	238	26	Mer	8388	269
27	Ven	8327	208	27	Lun	8358	239	27	Jeu	8389	270
28	Sam	8328	209	28	Mar	8359	240	28	Ven	8390	271
29	Dim	8329	210	29	Mer	8360	241	29	Sam	8391	272
30	Lun	8330	211	30	Jeu	8361	242	30	Dim	8392	273
31	Mar	8331	212	31	Ven	8362	243				
OCTOBRE				NOVEMBRE				DÉCEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			273	0			304	0			334
1	Lun	2458393	274	1	Jeu	2458424	305	1	Sam	2458454	335
2	Mar	8394	275	2	Ven	8425	306	2	Dim	8455	336
3	Mer	8395	276	3	Sam	8426	307	3	Lun	8456	337
4	Jeu	8396	277	4	Dim	8427	308	4	Mar	8457	338
5	Ven	8397	278	5	Lun	8428	309	5	Mer	8458	339
6	Sam	8398	279	6	Mar	8429	310	6	Jeu	8459	340
7	Dim	8399	280	7	Mer	8430	311	7	Ven	8460	341
8	Lun	8400	281	8	Jeu	8431	312	8	Sam	8461	342
9	Mar	8401	282	9	Ven	8432	313	9	Dim	8462	343
10	Mer	8402	283	10	Sam	8433	314	10	Lun	8463	344
11	Jeu	8403	284	11	Dim	8434	315	11	Mar	8464	345
12	Ven	8404	285	12	Lun	8435	316	12	Mer	8465	346
13	Sam	8405	286	13	Mar	8436	317	13	Jeu	8466	347
14	Dim	8406	287	14	Mer	8437	318	14	Ven	8467	348
15	Lun	8407	288	15	Jeu	8438	319	15	Sam	8468	349
16	Mar	8408	289	16	Ven	8439	320	16	Dim	8469	350
17	Mer	8409	290	17	Sam	8440	321	17	Lun	8470	351
18	Jeu	8410	291	18	Dim	8441	322	18	Mar	8471	352
19	Ven	8411	292	19	Lun	8442	323	19	Mer	8472	353
20	Sam	8412	293	20	Mar	8443	324	20	Jeu	8473	354
21	Dim	8413	294	21	Mer	8444	325	21	Ven	8474	355
22	Lun	8414	295	22	Jeu	8445	326	22	Sam	8475	356
23	Mar	8415	296	23	Ven	8446	327	23	Dim	8476	357
24	Mer	8416	297	24	Sam	8447	328	24	Lun	8477	358
25	Jeu	8417	298	25	Dim	8448	329	25	Mar	8478	359
26	Ven	8418	299	26	Lun	8449	330	26	Mer	8479	360
27	Sam	8419	300	27	Mar	8450	331	27	Jeu	8480	361
28	Dim	8420	301	28	Mer	8451	332	28	Ven	8481	362
29	Lun	8421	302	29	Jeu	8452	333	29	Sam	8482	363
30	Mar	8422	303	30	Ven	8453	334	30	Dim	8483	364
31	Mer	8423	304					31	Lun	8484	365



# INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

---

*Directeur :* Jacques LASKAR  
*Directeur adjoint :* Florent DELEFLIE  
*Directeur adjoint :* Philippe ROBUTEL

## CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

*Astronomes :* Jean-Eudes ARLOT, (ÉMÉRITE)  
Daniel HESTROFFER,  
William THUILLOT.

*Astronomes adjoints :* Florent DELEFLIE,  
Pascal DESCAMPS,  
Valéry LAINEY,  
Lucie MAQUET,  
Jérémie VAUBAILLON.

## CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

*Directeurs de recherche :* François COLAS,  
Jacques LASKAR.

*Chargés de recherche :* Alain ALBOUY,  
Mirel BIRLAN,  
Philippe ROBUTEL,  
David SAUZIN.

## CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

*Professeurs :* Alain CHENCINER, (ÉMÉRITE)  
Jacques FEJOZ,  
Alain VIENNE.

*Maîtres de conférences :* Gwenaél BOUÉ,  
Marc FOUCHARD,  
Laurent NIEDERMAN,

Nicolas RAMBAUX,  
Stéfan RENNER.

### **CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS**

*Ingénieurs de recherche :* Jérôme BERTHIER,  
Mickaël GASTINEAU,  
Frédéric VACHIER.

*Ingénieurs d'études :* Pedro DAVID,  
Hervé MANCHE,  
Mokhtar SADJI.

*Assistants ingénieurs :* Rachida AMHIDEZ.

### **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,  
Djamila HOUBI (CDD),  
Amélie MOUSLEVSKI,  
Van-Quang NGUYEN (CDD),  
Agnès PATU.

### **ÉTUDIANTS pour l'année 2017**

*Thésitifs :* Farida BAIDOLDA,  
Léo BERNUS,  
Guy BERTRAND,  
Yann DUCHEMIN,  
Bogdan DUMITRU,  
Auriane EGAL,  
Marcelo FARIAS CAETANO,  
Nathan HARA,  
Simon JEANNE,

Myriam PAJUELO,  
Antoine PETIT,  
William POLYCARPE,  
Melanie SAILLENFEST,  
Éléonore SAQUET,  
Delphine THOMASSON,  
Thimothée VAILLANT,  
Xiaojin XI.

*Post doctorants :*

Kevin BAILLÉ,  
Muhammad Ali SAMMUNEH,  
Gouwei YU,  
Christian ZEEEDEN.

## BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

---

### Bureau pour l'année 2017

<i>Président :</i>	Claude BOUCHER
<i>Vice-Président :</i>	Noël DIMARCQ
<i>Secrétaire :</i>	Marie-Françoise LALANCETTE

### MEMBRES TITULAIRES

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 DIMARCQ, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Jacques LASKAR, membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS, directeur de l'IMCCE, observatoire de Paris.

Claude BOUCHER, ingénieur des Ponts, Eaux et Forêts, Conseil général de l'environnement et du développement durable.

François MIGNARD, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.

Anny CAZENAVE, membre de l'Académie des sciences, directrice adjointe du LEGOS, observatoire de Midi-Pyrénées.

### MEMBRES TITULAIRES HONORAIRES

Bernard GUINOT, († le 6 mars 2017) Correspondant de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de Paris.

Roger CAYREL, Correspondant de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de Paris.

Jean KOVALEVSKY membre de l'Académie des sciences, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

---

(\*) Au titre de l'Académie des sciences.

## MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

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 (jusqu'au 3 avril 2017).

Mioara MANDEA, expert thématique "Terre solide", programme Terre, environnement et climat, 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 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, astronome émérite de l'observatoire de Paris, ancien directeur de l'IMCCE.

Victor BRUMBERG, professeur, Institut d'astronomie appliquée, Saint-Pétersbourg.

Jean-Claude HUSSON, membre de l'Académie de l'Air et de l'Espace, ancien président directeur général d'Alcatel Espace.

Jean-Louis SIMON, astronome, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Georges BALMINO, directeur de recherche, Groupe de recherche de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées, ingénieur émérite CNES.

Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.

Pascal WILLIS, ingénieur général des Ponts eaux et forêts, Institut national de l'information géographique et forestière, IPGP.

Sylvio FERRAZ-MELLO, professeur, université de São Paulo.

Elisa Felicitas ARIAS, Directrice du Département du Temps, physicien chercheur principal, Bureau international des poids et mesures.

Catherine TURON, astronome, observatoire de Paris.

Christophe SOTIN, professeur, université de Nantes.

José ACHACHE, professeur, ancien directeur du secrétariat du "Group on Earth observation".

Yves DESNOËS, ingénieur général de l'armement, vice-président de l'Académie de marine, ancien directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Frédérique RÉMY, directeur de recherche au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.

Chantal BALKOWSKI, astronome, observatoire de Paris.

Véronique DEHANT, géophysicienne, chef de section, observatoire royal de Belgique.

Michel DIAMENT, physicien, Institut de physique du globe de Paris.

Annie SOURIAU-THEVENARD, directrice de recherche émérite au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.



Alessandro MORBIDELLI, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.  
Patrick CHARLOT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Bordeaux .  
Terry QUINN, directeur honoraire du BIPM.  
Pierre BRIOLE, directeur de recherche au CNRS, École normale supérieure.  
Luc BLANCHET, directeur de recherche au CNRS, Institut d'astrophysique de Paris.  
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 8

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



29 euros

978-2-7598-2132-7

[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

edp sciences