


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

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 0 5


EDP
SCIENCES

BUREAU DES LONGITUDES

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE
ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2005

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2005.

Agenda astronomique pour 2005.

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).

Les Éclipses de Soleil. L'Éclipse totale du 11 août 1999 (1999).

Publication éditée par Edinautic, Paris

Éphémérides Nautiques 2005.

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

Suppléments à la Connaissance des Temps.

Éphémérides des satellites faibles de Jupiter (VI, VII, VIII, IX) et de Saturne (IX) pour 2004.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2004.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2004.

Le Calendrier Républicain (réédition en 1994).

Notes scientifiques et techniques de l'Institut de Mécanique Céleste.

Encyclopédie scientifique de l'Univers.

La physique (1981).

La Terre, les eaux, l'atmosphère (réédition en 1984), épuisé.

Les étoiles, le système solaire (réédition en 1986).

La galaxie, l'univers extragalactique (réédition en 1988).

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 l'utilisation des éphémérides.

La première partie de cet ouvrage comprend six 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 les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie.

La deuxième partie contient les coefficients des développements en polynômes de Tchebychev des coordonnées du Soleil, de la Lune, des planètes principales, de Pluton, Cérès, Pallas, Junon et Vesta et les coefficients des fonctions mixtes des coordonnées tangentielles des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus. Le système de constantes astronomiques utilisé est celui que l'UAI a adopté en 1976. L'époque standard est l'époque J2000 et l'échelle de temps adoptée (TAI + 32.184s) est conforme aux décisions de l'UAI 1976. Les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2000, sont appliquées progressivement. Parallèlement de nouvelles théories des mouvements des corps du système solaire ont été construites (satellites) ou sont en construction (planètes et Lune) à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Elles vont être introduites dans nos éphémérides.

Ainsi, deux améliorations importantes ont été effectuées dans la *Connaissance des Temps* 2005 :

- les éphémérides ont été calculées en introduisant le modèle de précession UAI 2000 et le modèle de nutation UAI 2000A ;
- les éphémérides des satellites de Saturne sont issues de la théorie Tass1.6 (Vienne et Duriez, 1995) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan, Japet et de la théorie de Duriez et Vienne (1997) pour Hypérion.

La présente édition représente ainsi une nouvelle étape 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.

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 327^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création et qui, à différentes époques, a subi dans sa composition et sa présentation d'utiles modifications.

À la suite du congrès international des Éphémérides Astronomiques (Paris, 23-26 octobre 1911), une collaboration s'est établie entre le Bureau des longitudes et les instituts qui remplissent le même office ; l'Union Astronomique Internationale (UAI) assure à présent la liaison entre les services

nationaux par l'intermédiaire de sa commission des éphémérides (commission 4). Une certaine répartition des tâches s'est alors établie. Ainsi, par exemple, la *Connaissance des Temps* est la seule, depuis 1985, à publier les éphémérides précises de satellites naturels.

Un autre principe, retenu par la conférence de 1911, était que les différentes éphémérides conservaient le libre choix de leurs sources. La *Connaissance des Temps* a publié jusqu'en 1983 les éphémérides du Soleil et des planètes de Le Verrier et Gaillot et celles de la Lune d'après l'Improved Lunar Ephemeris ; depuis 1984, elle utilise des théories beaucoup plus précises établies au sein du Service des calculs et de mécanique céleste du Bureau des longitudes, laboratoire devenu l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE) en 1998.

À partir de 1979, une présentation des coordonnées sous forme de développements en polynômes de Tchebychev ou en fonctions mixtes a permis de réduire le volume des données préalablement publiées sous la forme de tables à interpoler. Cette présentation permet à l'utilisateur, à partir d'un tableau de coefficients et en utilisant des moyens informatiques simples, de calculer les coordonnées des objets à un instant donné avec la précision maximale.

L'IMCCE publie aussi d'autres éphémérides : le Guide de données astronomiques - Annuaire du Bureau des longitudes, éphémérides plus particulièrement destinées au grand public et aux astronomes amateurs, les Ephémérides nautiques, destinées aux marins, les Ephémérides aéronautiques destinées aux aviateurs. 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.

W. Thuillot

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

A. Fienga, J.-L. Simon

Responsables de la publication

Comité de rédaction

A. Fienga (IMCCE/observatoire de Paris), D. Gambis (SYRTE/observatoire de Paris),
J.-L. Simon (IMCCE/observatoire de Paris), W. Thuillot (IMCCE/observatoire de Paris).

Collaboration technique : S. Lemaître-Pottier, V. Raoult, Ch. Ruatti.

Remerciements. Nous remercions vivement M. Chapront-Touzé qui nous a autorisé à reproduire de larges extraits du chapitre 4 qu'elle avait rédigé pour l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* et P. Teyssandier qui nous a conseillé pour la traduction de la section 3.2.

LISTE DES ACRONYMES

AIG	Association Internationale de Géodésie (voir aussi IAG)
BCRS	Barycentric Celestial Reference System
BEP	Basic Earth Parameters
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie
BRS	Barycentric Reference System
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
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
GAIA	Global Astrometris Interferometer for Astrophysics
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 coordonnée barycentrique
TCG	Temps coordonnée géocentrique
TDB	Temps dynamique barycentrique
TDT	Temps dynamique terrestre
TE	Temps des éphémérides (voir aussi ET)
TEO	Terrestrial Ephemeris Origin
TIO	Terrestrial Intermediate Origin
TT	Temps terrestre
TU	Temps universel (voir aussi UT)
UAI	Union Astronomique Internationale (voir aussi IAU)
UGGI	Union Géodésique et Géophysique Internationale
UT	Universal Time (voir aussi TU)
UTC	Universal Time Coordinated (Temps universel coordonné)
VLBA	Very Long Baseline Array
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

NOTATIONS

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

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

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

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

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

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

Le serveur Minitel 3615 ou 3616 code BDL

Le serveur Minitel de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides met à la disposition des professionnels et des amateurs les informations suivantes :

- les heures du lever et du coucher du Soleil et de la Lune, les azimuts et hauteurs du Soleil en n'importe quel lieu, de -4000 à 2500 ;
- les phases de la Lune et les dates des saisons de -4000 à 2500 ;
- les éclipses du Soleil et de la Lune pour six années courantes ;
- les positions apparentes géocentriques, les hauteurs et azimuts, les heures du lever et du coucher du Soleil, de la Lune et des planètes de 1900 à 2020 ;
- les coordonnées héliocentriques moyennes des planètes de 1900 à 2020 dans le repère de la date ;
- les positions des satellites naturels, les phénomènes des satellites galiléens pour trois ans ;
- les définitions et les concordances des calendriers, les fêtes légales et religieuses, l'heure légale en France, les dates de changement d'heure et le calcul du jour de la semaine.

Il fournit également des informations régulières comme le ciel du mois et la visibilité des planètes et des informations ponctuelles comme les passages des comètes et des astéroïdes, les dates des essaims météoriques, etc.

Le serveur sur Internet <http://www.imcce.fr>

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

Ce serveur est accessible à l'adresse <http://www.imcce.fr>.

TABLE DES MATIÈRES

Préface	iii
Liste des acronymes	v
Notations	vii
Table des matières	ix
PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES	I. 1
1. Définitions et données astronomiques	I. 3
1.1. Introduction	I. 3
1.2. Systèmes d'unités	I. 4
1.3. Le système UAI de constantes astronomiques	I. 8
1.4. Données concernant les corps du système solaire	I. 16
1.5. Autres constantes et unités	I. 30
1.6. Bibliographie.	I. 33
2. Échelles de temps	I. 37
2.1. Introduction. Le temps et les astronomes	I. 37
2.2. Évolution des échelles de temps	I. 38
2.3. Le temps universel (TU ou UT, Universal Time)	I. 40
2.4. Le temps atomique international (TAI)	I. 41
2.5. Le temps universel coordonné (UTC, Universal Time Coordinated)	I. 43
2.6. Le temps des éphémérides (TE ou ET, Ephemeris Time)	I. 46
2.7. Les échelles de temps relativistes	I. 47
2.8. Bibliographie	I. 52
3. Systèmes de référence	I. 59
3.1. Introduction aux systèmes de référence	I. 59
3.2. Systèmes de référence relativistes	I. 61
3.3. Systèmes de référence dynamiques	I. 68
3.4. Le système de référence céleste international ICRS	I. 76
3.5. Le système international de référence terrestre ITRS	I. 82

3.6. Passage du système de référence céleste géocentrique au système de référence terrestre	I. 92
3.7. Bibliographie	I. 106
4. Rotation de la Terre	I. 113
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 113
4.2. La précession	I. 118
4.3. Modèles de nutation	I. 122
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 134
4.5. Bibliographie	I. 143
5. Changements de coordonnées	I. 147
5.1. Notions préliminaires	I. 147
5.2. Coordonnées usuelles	I. 149
5.3. Formules de changements de coordonnées	I. 154
5.4. Bibliographie	I. 162
6. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 163
6.1. Présentation des éphémérides	I. 163
6.2. Sources des éphémérides	I. 165
6.3. Utilisation des éphémérides	I. 166
6.4. Précision des éphémérides	I. 174
6.5. Phénomènes des satellites galiléens	I. 175
6.6. Bibliographie	I. 178
DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2005	II. 1
Temps sidéral, nutation, aberration	II. 3
Temps sidéral, nutation en longitude et obliquité	II. 4
Constantes C et D	II. 8
Soleil	II. 11
Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 12
Ascension droite, déclinaison, temps de passage	II. 14
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 16
Lune	II. 19
Ascension droite, déclinaison, distance	II. 20
Planètes principales	II. 33
Coordonnées héliocentriques	II. 34

Mercure	II. 34
Vénus, Mars	II. 36
Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune	II. 37
Coordonnées géocentriques	II. 38
Mercure	II. 38
Vénus	II. 40
Mars	II. 42
Jupiter	II. 44
Saturne	II. 46
Uranus	II. 48
Neptune	II. 50
Pluton et petites planètes	II. 53
Coordonnées géocentriques	II. 54
Pluton	II. 54
Cérès	II. 56
Pallas	II. 58
Jupon	II. 60
Vesta	II. 62
Satellites de Mars	II. 65
Coordonnées différentielles tangentielles	II. 66
Phobos	II. 66
Déimos	II. 71
Satellites de Jupiter	II. 77
Coordonnées différentielles tangentielles	II. 78
Io	II. 78
Europe	II. 89
Ganymède	II. 97
Callisto	II. 101
Phénomènes des satellites galiléens	II. 105
Io	II. 106
Europe	II. 106
Ganymède	II. 107
Callisto	II. 107

Satellites de Saturne	II. 109
Coordonnées différentielles tangentielles	II. 110
Mimas	II. 110
Encelade	II. 118
Téthys	II. 120
Dioné	II. 122
Rhéa	II. 124
Titan	II. 126
Hypériorion	II. 129
Japet	II. 133
Satellites d'Uranus	II. 135
Coordonnées différentielles tangentielles	II. 136
Miranda	II. 136
Ariel	II. 140
Umbriel	II. 141
Titania	II. 143
Obéron	II. 145
Calendrier	II. 147
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides	II. 151
Composition du Bureau des longitudes	II. 153

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES

Chapitre 1. Définitions et données astronomiques	I. 3
Chapitre 2. Échelles de temps	I. 37
Chapitre 3. Systèmes de référence	I. 59
Chapitre 4. Rotation de la Terre	I. 113
Chapitre 5. Changements de coordonnées	I. 147
Chapitre 6. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 163

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

A. BEC-BORSENBERGER AVEC LA COLLABORATION DE 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) ;
- Seidelmann et al. 2002, les données publiées par le *groupe de travail* commun à l'UAI et à l'Association Internationale de Géodésie (IAG, International Association of Geodesy) sur les coordonnées cartographiques et les éléments rotationnels des planètes et des satellites ;
- Fukushima 2000, les propositions du *groupe de travail* de l'UAI sur les constantes astronomiques.

1.2. SYSTÈMES D'UNITÉS

1.2.1. Système fondamental

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2.2. Système UAI d'unités astronomiques

Unités de base

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

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

Grandeur	Unité	Symbole
Longueur	unité astronomique	ua
Temps	jour	d
Masse	masse du Soleil	S

Définitions

L'unité de temps est le jour, égal à 86 400 secondes du Système International.

L'unité de masse est la masse du Soleil.

L'unité de longueur ou unité de distance est 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. La valeur de k , donnée dans la table 1.6, est celle adoptée par l'UAI en 1938 (UAI, 1939).

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 de 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 de 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. 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 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_B et L_G , cette dernière étant désormais classée par l'UAI comme constante de définition (UAI, 2000).

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

Vitesse de la lumière : 299 792 458 m/s.

1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

Le caractère des constantes astronomiques comme celui des constantes physiques fondamentales dépend des conventions adoptées pour fixer les unités et leur définition. On classe les constantes en trois catégories :

- les constantes de définition dont la valeur est fixée arbitrairement, utilisées dans les relations de définition des unités ; le choix des constantes de définition peut varier d'un système de constantes à un autre ;

- les constantes primaires, constantes nécessaires à la réduction des observations et dont les valeurs ne peuvent être déterminées qu'à partir des observations elles-mêmes ;
- les constantes dérivées déduites des constantes de définition et des constantes primaires selon des relations algébriques simples.

1.3.1. Origine des temps

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

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

$$2\,451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75, \text{ soit le 1 janvier 1995 à 6 heures.}$$

1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

La table 1.6 fournit les valeurs des constantes astronomiques dans le système UAI 1976, complété en ce qui concerne les constantes L_B , L_C et L_G , par les valeurs recommandées par la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI en 2000 (UAI, 2000). En parallèle, figurent dans la dernière colonne les valeurs de ces mêmes constantes adoptées dans le système IERS 2003 avec une estimation de leurs incertitudes.

Remarquons que la valeur de la vitesse de la lumière, qui était une constante primaire en 1976, est devenue une constante de définition depuis le changement de la définition du mètre en 1983.

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 1976, le système IERS 1992 et les éphémérides DE405/LE405 (Standish, 1998). Notons que les masses IERS 1992 sont celles utilisées dans les théories planétaires VSOP200x (Moisson et Bretagnon, 2001 ; Bretagnon, 2002 ; Fienga et Simon, 2004).

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 très mal déterminées. À titre indicatif les masses des trois plus gros astéroïdes données dans les éphémérides DE405/LE405 sont, exprimées en masse solaire, :

4.7×10^{-10} pour Cérés

1.0×10^{-10} pour Pallas

1.3×10^{-10} pour Vesta

Ce sont ces valeurs qui ont été utilisées pour la construction des solutions planétaires VSOP200x

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 1976 et Seidelmann et al. 2002.

Champ de gravitation des planètes et de la Lune

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

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

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

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

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

Table 1.6. Constantes de définition, constantes primaires et constantes dérivées dans les systèmes UAI 1976, UAI 2000 et IERS 2003.

	UAI 1976, UAI 2000	IERS 2003
Constantes de définition		
Constante de Gauss, k	0.017 202 098 95 ⁽¹⁾	
Vitesse de la lumière, c		299 792 458 m s ⁻¹
1-d(TT)/d(TCG), L_G	6.969 290 134 × 10 ⁻¹⁰ ⁽²⁾	6.969 290 134 × 10 ⁻¹⁰
Constantes primaires		
Vitesse de la lumière, c	299 792 458 m s ⁻¹	
Temps de lumière pour l'unité de distance, τ_A	499.004 782 s	499.004 783 8061 s ± 0.000 000 02 s
Rayon équatorial de la Terre, R	6 378 140 m	6 378 136.6 ± 0.1 m
Facteur d'ellipticité géopotential de la Terre, J_2	0.001 082 63	0.001 082 6359 ± 1.0 × 10 ⁻¹⁰
Constante géocentrique de la gravitation, GM	3.986 005 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻²	3.986 004 418 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻² ± 8 × 10 ⁵ m ³ s ⁻²
Constante de la gravitation, G	6.672 × 10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	6.673 × 10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻² ± 1 × 10 ⁻¹³ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, μ	0.012 300 02	0.012 300 0383 ± 5 × 10 ⁻¹⁰
Constante de la précession par siècle julien pour J2000, p	5 029''.0966	
Obliquité de l'écliptique pour J2000, ε_0	23° 26' 21''.448	23° 26' 21''.4059 ± 0.0003''
Potentiel de gravité à la surface du géoïde, W		62 636 856.0 m ² s ⁻² ⁽³⁾ ± 0.5 m ² s ⁻²
Vitesse angulaire moyenne de rotation de la Terre, ω		7.292 115 × 10 ⁻⁵ rad s ⁻¹ (variable)
Constantes dérivées et relations		
Constante de la nutation pour J2000, N_0	9''.2025 ⁽⁴⁾	
Unité de distance (unité astronomique), $A = c\tau_A$	1.495 978 70 × 10 ¹¹ m	1.495 978 706 91 × 10 ¹¹ m ± 6 m
Parallaxe solaire, $\pi_0 = \arcsin(R/A)$	8''.794 148	
Constante de l'aberration pour J2000, κ	20''.495 52	

Table 1.6. (fin).

	UAI 1976, UAI 2000	IERS 2003
Aplatissement de la Terre, f	0.003 352 81 = 1/298.257	1/298.256 42± 1/0.00001
Constante héliocentrique de la gravitation, $GS = A^3 k^2 d^{-2}$	1.327 124 38×10 ²⁰ m ³ s ⁻²	1.327 124 420 76×10 ²⁰ m ³ s ⁻² ± 5 × 10 ¹⁰ m ³ s ⁻²
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	
Masse du Soleil, $GS/G = S$	1.9891×10 ³⁰ kg	
Valeur moyenne de 1-d(TT)/d(TCB), L_B	1.550 519 767 72×10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷	1.550 519 767 72×10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷
Valeur moyenne de 1-d(TCG)/d(TCB), L_C	1.480 826 867 41×10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷	1.480 826 867 41×10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷

⁽¹⁾ $k = 0.985\,607\,668\,601\,425$ degré/jour.

⁽²⁾ Système UAI 2000 seulement.

⁽³⁾ Bursa, 1992.

⁽⁴⁾ Système UAI 1976 seulement.

Table 1.7. Rapport de la masse du Soleil aux masses des planètes principales dans les systèmes UAI 1976, IERS1992 et DE405/LE405.

	UAI 1976	IERS 1992	DE405/LE405
Mercure	6 023 600	6 023 600	6 023 600
Vénus	408 523.5	408 523.71	408 523.71
Terre + Lune	328 900.5	328 900.56	328 900.561 400
Mars	3 098 710	3 098 708	3 098 708
Jupiter + satellites galiléens	1 047.355	1 047.3486	1 047.3486
Saturne + satellites	3 498.5	3 497.90	3 497.898
Uranus + satellites	22 869	22 902.94	22 902.98
Neptune + satellites	19 314	19 412.24 ⁽¹⁾	19 412.24 ⁽¹⁾
Pluton + Charon	130 000 000 ⁽²⁾	135 000 000	135 200 000

⁽¹⁾ Neptune + Triton

⁽²⁾ La valeur donnée pour Pluton (Harrington et Christy, 1980) est différente de celle du système UAI 1976 qui était 3 000 000. Elle a été révisée à la suite de la découverte de Charon, satellite de Pluton.

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	Campbell et Synnot 1985 (a) Campbell et Anderson 1989 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	4.70×10^{-5}	4.705×10^{-5} (a)
	Europe	2.56×10^{-5}	2.527×10^{-5} (a)
	Ganymède	7.84×10^{-5}	7.804×10^{-5} (a)
	Callisto	5.6×10^{-5}	5.668×10^{-5} (a)
Saturne	Titan	2.41×10^{-4}	2.367×10^{-4} (b)
Neptune	Triton	2×10^{-3}	2.09×10^{-4} (c)

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

	UAI 1976	Seidelmann et al. 2002
Mercure	2 439	$2\,439.7 \pm 1.0$
Vénus	6 052	$6\,051.8 \pm 1.0$
Terre	6 378.140	$6\,378.14 \pm 0.01$
Mars	3 397.2	$3\,396.19 \pm 0.1$
Jupiter	71 398	$71\,492 \pm 4$ ⁽¹⁾
Saturne	60 000	$60\,268 \pm 4$ ⁽¹⁾
Uranus	25 400	$25\,559 \pm 4$ ⁽¹⁾
Neptune	24 300	$24\,764 \pm 15$ ⁽¹⁾
Pluton	2 500	$1\,195 \pm 5$
Lune	1 738	$1\,737.4 \pm 1$
Soleil	696 000	

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

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

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

UAI 1976		Fukushima 1990 (a) ; IERS 1992 (b) ; Campbell et Synnot 1985 (c) ; Campbell et Anderson 1989 (d) ; Owen et al. 1991 (e) ;	
Vénus			
J_2		+ 0.000 006	(a)
Terre			
J_2	+ 0.001 082 63	+ 0.001 082 6362	(b)
J_3	- 0.000 002 54	- 0.000 002 533	(b)
J_4	- 0.000 001 61	- 0.000 001 619	(b)
Mars			
J_2	+ 0.001 964	+ 0.001 960	(a)
J_3	+ 0.000 036	+ 0.000 036	(a)
J_4		- 0.000 032	(a)
C_{22}	- 0.000 055	- 0.000 055	(a)
S_{22}	+ 0.000 031	+ 0.000 031	(a)
S_{31}	+ 0.000 026	+ 0.000 026	(a)
Jupiter			
J_2	+ 0.014 75	+ 0.014 736	(c)
J_3		+ 0.000 001	(c)
J_4	- 0.000 58	- 0.000 587	(c)
J_6		+ 0.000 031	(c)
Saturne			
J_2	+ 0.016 45	+ 0.016 298	(d)
J_4	- 0.001 0	- 0.000 915	(d)
J_6		+ 0.000 103	(d)
Uranus			
J_2	+ 0.012	+ 0.003 339	(a)
J_4		- 0.000 032	(a)
Neptune			
J_2	+ 0.004	+ 0.003 41	(e)
J_4		- 0.000 03	(e)

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 et des satellites découverts avant 1990

Nous donnons dans la table 1.12 les éléments orbitaux des planètes principales et de Pluton pour les variables a (demi-grand axe de l'orbite), λ (longitude moyenne), k ($e \cos \varpi$, où e est l'excentricité de l'orbite et ϖ , la longitude du périhélie), h ($e \sin \varpi$), q ($\sin \frac{I}{2} \cos \Omega$, où I est l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique et Ω la longitude du nœud de l'orbite sur l'écliptique) et p ($\sin \frac{I}{2} \sin \Omega$). Ces éléments sont rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques inertiels (*cf.* 3.3.2) J2000. Ce sont les parties constantes des éléments moyens donnés par Simon et al. (1994) pour les planètes principales et par Simon (2004) pour Pluton ; on peut les considérer comme des valeurs moyennes sur l'intervalle de temps [J2000–6000, J2000+6000] pour les planètes principales et sur [J2000–1000, J2000+1000] pour Pluton.

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

Planète	a (ua)	λ (degrés)	k	h	q	p
Mercure	0.387 098 31	252.250 905 52	0.044 660 60	0.200 723 31	0.040 615 63	0.045 635 50
Vénus	0.723 329 82	181.979 800 85	–0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 10	0.028 822 86
Terre	1.000 001 02	100.466 456 83	–0.003 740 82	0.016 284 48	0	0
Mars	1.523 679 34	355.432 999 58	0.085 365 60	–0.037 899 73	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	34.351 518 74	0.046 985 75	0.012 003 88	–0.002 065 60	0.011 183 75
Saturne	9.554 909 19	50.077 444 30	–0.002 959 99	0.055 429 61	–0.008 717 47	0.019 891 48
Uranus	19.218 446 06	314.055 005 11	–0.045 951 32	0.005 637 91	0.001 859 15	0.006 486 17
Neptune	30.110 386 87	304.348 665 48	0.005 999 78	0.006 692 42	–0.010 291 48	0.011 516 84
Pluton	39.544 705 89	238.702 479 79	–0.178 724 68	–0.173 415 54	–0.005 170 29	0.139 779 69

Dans la table 1.13 figurent les périodes de révolution sidérale P des planètes 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).

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, 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.

Planètes	P (jours)	T	
Mercure	87.969	58.646 225	(¹)
Vénus	224.701	243.018 484	(¹) (²)
Terre	365.256	23.934 471	(³)
Mars	686.980	24.622 962	(³)
Jupiter	4 332.59	9.924 912	(³) (⁴) (⁵)
Saturne	10 759.2	10.656 222	(³) (⁴)
Uranus	30 688.5	17.240 000	(²) (³) (⁴)
Neptune	60 182.3	16.110 000	(³) (⁴)
Pluton	90 469.7	153.293 904	(²) (³)

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

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

Les éléments moyens des satellites de Mars sont déduits de la théorie de leur mouvement (Chapront-Touzé, 1988 et 1990).

Pour Jupiter, les éléments publiés pour les anneaux et pour les nouveaux satellites 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 Lieske (1980, 1987) et à Thuillot et Vu (1986), ceux de JXIII sont dus à Aksnes (1978). Les éléments de JV, JX, JXI et JXII sont extraits de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986), le demi-grand axe de JV étant toutefois calculé à partir de la valeur de la période. Les éléments de JVI, JVII, JVIII et JIX proviennent d'intégrations numériques effectuées par Rocher (1996) dont les résultats sont publiés dans le *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites faibles (Bureau des longitudes, 1997).

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). Ils sont tirés de Showalter et al. (1986) et Showalter (1990) pour SXVIII, de Synnott et al. (1981) pour SX, SXI, SXII, SXV, SXVI et SXVII, du *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus (Bureau des longitudes, 1995) pour SXIII et SXIV, de Dourneau (1993) pour les huit principaux satellites. Ils proviennent d'une intégration numérique effectuée par Arlot et al. (2003) pour SIX (Phœbé).

Pour Uranus, les éléments des anneaux sont tirés de French et al. (1988), ceux des cinq principaux satellites de Laskar et Jacobson (1987) et ceux des dix petits satellites de Owen et Synnott (1987).

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

Enfin, pour Pluton les éléments de Charon donnés avec, entre parenthèses, l'incertitude en unités de la dernière décimale, sont dus à Tholen et Buie (1997).

Table 1.14. Éléments orbitaux des satellites découverts avant 1990.

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Terre							
Lune		383.398	0.055 546	5.156 69 (E)	27.3217		
Mars							
Phobos		9.38	0.0151	1.1 (e)	0.3189	Hall	1877
Déimos		23.46	0.0002	0.9/2.7 (e)	1.2624	Hall	1877
Jupiter							
Anneaux		125.6/126.6				Voyager 1	1979
Métis	XVI	127.979	≤ 0.005	≤ 0.1 (e)	0.294 779	Voyager 1/2	1979–1980
Adrastéia	XV	128.980	≤ 0.005	≤ 0.3 (e)	0.298 260	Voyager 1	1979–1980
Amalthée	V	181.2	0.003	0.4 (e)	0.498 179	Barnard	1892
Thébé	XIV	221.895	0.015	0.8 (e)	0.6745	Voyager 1	1979–1980
Io	I	422	0.004	0.02/0.04 (e)	1.769 138	Galilée	1610
Europe	II	671	0.009	0.42/0.51 (e)	3.551 181	Galilée	1610
Ganymède	III	1 070	0.002	0.06/0.30 (e)	7.154 553	Galilée	1610
Callisto	IV	1 883	0.007	0.15/0.74 (e)	16.689 018	Galilée	1610
Léda ⁽⁹⁾	XIII	11 150	0.116/0.210	1.5/50.6 ⁽³⁾	240.5	Kowal	1974
Himalia ⁽⁹⁾	VI	11 443	0.112/0.207	4.5/51.9 ⁽³⁾	250.1	Perrine	1904–1905
Lysithéa ⁽⁹⁾	X	11 700	0.081/0.155	23.2/51.4 ⁽³⁾	258.5	Nicholson	1938
Elara ⁽⁹⁾	VII	11 716	0.155/0.272	1.4/46.7 ⁽³⁾	259.1	Perrine	1904–1905
Ananké ⁽⁹⁾	XII	21 048	0.083/0.452	122.2/172.9 ⁽³⁾	624.1	Nicholson	1951
Carmé ⁽⁹⁾	XI	23 280	0.132/0.414	140.6/172.4 ⁽³⁾	726.3	Nicholson	1938
Pasiphaé ⁽⁹⁾	VIII	23 658	0.184/0.668	119.1/174.2 ⁽³⁾	744.2	Melotte	1908
Sinopé ⁽⁹⁾	IX	23 848	0.108/0.425	132.3/179.4 ⁽³⁾	753.2	Nicholson	1914
Saturne							
Anneau D		67			0.2	Voyager 1	1981
Anneau C		74.5 /92.06 ⁽¹⁾	0	0 (e)	0.24/0.33	Bond	1851
Anneau B		92.06/117.50 ⁽¹⁾	0.0006		0.33/0.48	Galilée	1610
Anneau A		122.20/136.77 ⁽¹⁾			0.50/0.60	Galilée	1610
Anneau F		140.2	0.003		0.618	Pioneer 11	1980
Anneau G		169				Pioneer 11	1980
Anneau E		180/480 ⁽¹⁾				Feibelman	1967
Pan	XVIII	133.6			0.575	Showalter ⁽²⁾	1990

Table 1.14. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte		
Saturne								
Atlas ⁽⁴⁾	XV	137.67	0.002	0.3	(e) 0.6019	Voyager 2	1980	
Prométhée ⁽⁴⁾	XVI	139.35	0.002	0.0	(e) 0.612 99	Voyager 2	1978	
Pandore ⁽⁴⁾	XVII	141.70	0.004	0.0	(e) 0.6285	Voyager 2	1980	
Épiméthée ⁽⁴⁾	XI	151.42	0.009	0.34	(e) 0.694 32	Fountain/Larson	1978	
Janus ⁽⁴⁾	X	151.47	0.007	0.14	(e) 0.694 66	Dollfus	1966	
Mimas	I	185.54	0.019 05	1.56	(e) 0.942 422	Herschel	1789	
Encelade	II	238.20	0.0049	0.03	(e) 1.370 218	Herschel	1789	
Téthys	III	294.992	0.0	1.10	(e) 1.887 803	Cassini	1684	
Télésto	XIII	294.66			1.8878	Voyager 2	1980	
Calypso	XIV	294.66			1.8878	Voyager 2	1980	
Dioné	IV	377.654	0.0022	0.01	(e) 2.736 916	Cassini	1684	
Hélène ⁽⁴⁾	XII	378.06	0.005	0.15	(e) 2.7391	Lecacheux/Laques	1980	
Rhée	V	527.367	0.0003	0.35	(e) 4.517 503	Cassini	1672	
Titan	VI	1 221.803	0.0291	0.30	(e) 15.945 446	Huygens	1655	
Hypérior	VII	1 481.1	0.1035	0.64	(e) 21.276 673	Bond/Lassel	1848	
Japet	VIII	3 561.85	0.0283	18.5	(e) 79.330 954	Cassini	1671	
Phœbé	IX	12 905.95	0.175 18	173.70	(e) 547.4	Pickering	1898	
Uranus								
Anneaux		42/51	0.0001/0.0008	0.06/0.0002	(e)	Elliot et al.	1977	
Cordélia	VI	49.752	0.000 47	0.14	(e) 0.335 03	Voyager 2	1986	
Ophélie	VII	53.764	0.0101	0.09	(e) 0.376 41	Voyager 2	1986	
Bianca	VIII	59.165	0.000 88	0.16	(e) 0.434 58	Voyager 2	1986	
Cressida	IX	61.767	0.000 23	0.04	(e) 0.463 57	Voyager 2	1986	
Desdémone	X	62.659	0.000 23	0.16	(e) 0.473 65	Voyager 2	1986	
Juliette	XI	64.358	0.000 59	0.06	(e) 0.493 07	Voyager 2	1986	
Portia	XII	66.097	0.000 17	0.09	(e) 0.513 20	Voyager 2	1986	
Rosalinde	XIII	69.927	0.000 09	0.28	(e) 0.558 46	Voyager 2	1986	
Belinda	XIV	75.255	0.000 11	0.03	(e) 0.623 52	Voyager 2	1986	
Puck	XV	86.004	0.000 05	0.31	(e) 0.761 83	Voyager 2	1985	
Miranda	V	129.872	0.0013 ⁽⁷⁾	4.34	(e) 1.413 479	Kuiper	1948	
Ariel	I	190.945	0.0012 ⁽⁷⁾	0.04	⁽⁷⁾ (e) 2.520 379	Lassell	1851	
Umbriel	II	265.998	0.0040 ⁽⁷⁾	0.13	⁽⁷⁾ (e) 4.144 176	Lassell	1851	
Titania	III	436.298	0.0014 ⁽⁷⁾	0.08	⁽⁷⁾ (e) 8.705 867	Herschel	1787	
Obéron	IV	583.519	0.0016 ⁽⁷⁾	0.07	⁽⁷⁾ (e) 13.463 234	Herschel	1787	
Neptune								
Anneaux		55.1/62.9				Hubbard et al.	1986	
Naïade	III	48.227	0.000 33	4.74	(e) 0.294 40	Voyager 2	1989	
Thalassa	IV	50.075	0.000 16	0.21	(e) 0.311 48	Voyager 2	1989	
Despina	V	52.526	0.000 139	0.07	(e) 0.334 66	Voyager 2	1989	
Galatée	VI	61.953	0.000 12	0.05	(e) 0.428 75	Voyager 2	1989	
Larissa	VII	73.548	0.001 39	0.20	(e) 0.554 65	Voyager 2	1989	
Protée	VIII	117.647	0.000 44	0.04	(e) 1.122 32	Voyager 2	1981–1989	

Table 1.14. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Neptune							
Triton	I	354.759	0.000 02	156.3	(e) 5.876 85	Lassell	1846
Néréide	II	5 513.41	0.751	6.68	(e) 360.135	Kuiper	1949
Pluton							
Charon	I	19.636(8)	0.0076(5)	96.163(32)	(e) 6.387 223(17)	Christy/Harrington	1978

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

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

(³) Équateur céleste J2000.

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

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

(⁶) Équateur céleste J2000. Éléments osculateurs pour l’époque 13 janvier 1993 à 13 h.

(⁷) Valeur médiane sur l’intervalle de temps [1955, 2005].

(⁸) Plan de Laplace du satellite.

(⁹) Valeurs médianes (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 les éléments osculateurs des satellites des grosses planètes découverts depuis 1990.

a désigne le demi-grand axe de l’orbite, e l’excentricité, I l’inclinaison de l’orbite du satellite par rapport à l’écliptique J2000, ϖ la longitude du périhélie, Ω la longitude du nœud de l’orbite sur l’écliptique J2000 et P la période de révolution sidérale.

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

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

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ϖ (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
Themisto	XVIII	7 387	0.204	45.67	238.15	202.39	129.71	2000	13/09/00	IAUC 7525
Euporie	XXXIV	19 456	0.128	145.70	87.45	67.56	554.43	2001	22/11/02	M2003-C53
Iocaste	XXIV	20 424	0.389	150.37	80.01	271.32	596.29	2000	18/10/01	M2001-W07
Thyone	XXIX	20 770	0.283	148.29	86.28	244.59	611.52	2001	22/11/02	M2002-V06
Harpalyke	XXII	20 836	0.165	147.31	129.87	39.97	614.45	2000	18/10/01	M2001-U21
Euanthe	XXXIII	20 983	0.143	146.03	314.60	268.85	620.96	2001	22/11/02	M2003-A23
Hermippe	XXX	21 048	0.248	149.78	304.58	347.22	623.84	2001	22/11/02	M2002-V06
Orthosie	XXXV	21 263	0.240	141.95	223.56	222.85	633.44	2001	10/06/03	M2003-D36
Praxidike	XXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Aitne	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Kale	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Taygete	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldene	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Kalyke	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Megaclite	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
Pasithee	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isonoe	XXVI	23 795	0.296	165.88	145.64	149.81	749.88	2000	18/10/01	M2002-A12
Eurydome	XXXII	23 831	0.326	150.43	254.92	306.71	751.57	2001	22/11/02	M2003-A21
Erinome	XXV	24 062	0.192	162.95	355.99	321.69	762.55	2000	18/10/01	M2001-W33
Callirhoe	XVII	24 176	0.125	143.06	49.29	281.10	767.94	1999	13/09/00	IAUC 7469
Sponde	XXXVI	24 356	0.483	155.09	81.02	128.13	776.52	2001	10/06/03	M2003-E05
Autonoe	XXVIII	24 413	0.459	152.06	57.62	273.23	779.27	2001	22/11/02	M2002-V03
S/2000 J 11		12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	M2001-A29
S/2002 J 1		23 712	0.149	164.59	190.35	353.53	745.94	2002	14/07/04	M2004-D43
S/2003 J 1		24 491	0.345	163.38	344.76	218.73	783.03	2003	10/06/03	M2003-E29
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 6		20 923	0.157	156.12	285.54	100.93	618.28	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 7		24 010	0.519	160.66	104.71	200.60	760.08	2003	27/12/03	M2004-B43
S/2003 J 8		24 448	0.264	152.62	235.38	327.61	780.96	2003	10/06/03	M2003-E24
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 11		22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	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 13		23 545	0.412	141.01	208.38	258.94	738.07	2003	10/06/03	M2003-G09
S/2003 J 14		24 974	0.222	140.89	124.42	339.81	806.29	2003	10/06/03	M2003-G10
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
S/2003 J 17		22 511	0.187	163.74	333.48	306.80	689.98	2003	10/06/03	M2003-G19
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64

Table 1.15. (suite et fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ϖ (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
S/2003 J 20		17 056	0.295	55.15	83.28	45.26	455.07	2003	10/06/03	M2003-G67
S/2003 J 21		20 823	0.223	148.51	62.18	19.66	613.88	2003	27/12/03	M2004-B42
S/2003 J 22		21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
Saturne										
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
Skadi	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
Erriapo	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarvos	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
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
Suttung	XXIII	19 186	0.145	174.65	73.01	252.94	992.16	2000	18/10/01	M2001-T06
Thrym	XXX	19 958	0.565	174.91	86.56	246.25	1 052.63	2000	18/10/01	M2001-X20
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
S/2003 S 1		19 244	0.313	136.39	175.00	184.35	996.71	2003	14/07/04	M2004-D41
Uranus										
Caliban	XVI	7 169	0.082	139.68	339.46	174.99	579.44	1997	6/07/98	IAUC 6870
Stephano	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
Prospero	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Setebos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
S/2001 U 2		20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
S/2001 U 3		4 270	0.143	147.61	123.19	103.06	266.57	2001	27/12/03	M2003-T29
S/2003 U 3		14 649	0.783	50.65	77.97	18.01	1 693.88	2003	27/12/03	M2003-T58
Neptune										
S/2002 N 1		16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
S/2002 N 2		22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
S/2002 N 3		22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
S/2002 N 4		47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
S/2003 N 1		49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19

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

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

1.4.3. Paramètres physiques

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

On donne également, pour le Soleil et les planètes principales, une estimation de la masse volumique ρ et, pour les planètes principales, la température superficielle moyenne T , l'albédo de Bond B, et l'albédo géométrique G issues de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des

Table 1.17. Figures géométriques représentant le Soleil, les planètes et la Lune.

Nom	R_p (km)	a_1 (km)	f_p (10^{-3})	f_e (10^{-3})	L_e (degrés)	a_s (km)	a_r (m)	f_g ($\times 10^{-10}$)
Soleil								21 210
Mercure	2 439.7					2 439.7		
Vénus	6 051.8	6 051.476	1/113.8	1/253.2	- 6.2	6 051.8	0.003 614 54	5.973 06
Lune	1 737.4	1 735.554	1/2.67	1/7.49	0.03	1 737.4	5.455 098 $\times 10^{-5}$	0.313 958
Terre	6 356.75	6 378.171		1/920	-14.9	6 371.00	0.004 435 03	6.969 290
Mars	R_p^M 3 376.20 R_p^N 3 373.19 R_p^S 3 379.21	3 396.510	1/0.184	1/2.63	75.0	3 390	0.000 476 529	1.407 87
Jupiter ⁽¹⁾	66 854					69 911	1.409 577	197.166
Saturne ⁽¹⁾	54 364					58 232	0.422 04	70.027
Uranus ⁽¹⁾	24 973					25 362	0.064 4663	25.223
Neptune ⁽¹⁾	24 341					24 622	0.076 05	30.71
Pluton	1 195					1 195		

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

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 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 ;
- Duxbury et Callahan (1989) pour Phobos et Déimos ;
- Campbell et Synnott (1985) pour les satellites galiléens ;
- Fukushima 1990 pour les autres satellites de Jupiter, les anneaux de Saturne, Hypérion, Phœbé et Néréide ;
- Campbell et Anderson (1989) pour Titan ;
- Tyler et al. (1982) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa et Japet ;
- Thomas et al. (1989) pour les petits satellites d'Uranus Cordélia et Ophélie ;
- Jacobson et al. (1992) pour les anciens satellites d'Uranus (Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Obéron) ;
- Banfield et Murray (1992) pour les six petits satellites de Neptune ;
- Owen et al. (1991) pour Triton ;
- Tholen et Buie (1997) pour Charon.

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

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

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

Table 1.18. Masses des principaux satellites.

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Terre				
Lune		$3.694\,3037 \times 10^{-8}$	$1.230\,0038 \times 10^{-2}$	$4.902\,8006 \times 10^{12}$
Mars				
Phobos		6.39×10^{-15}	1.98×10^{-8}	8.47×10^5
Déimos		9.1×10^{-16}	2.8×10^{-9}	1.20×10^5
Jupiter				
Métis	XVI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Adrastéia	XV	9.5×10^{-15}	1×10^{-11}	1.3×10^6
Amalthée	V	3.6×10^{-12}	3.8×10^{-9}	4.8×10^8
Thébé	XIV	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Io	I	4.49×10^{-8}	4.705×10^{-5}	5.96×10^{12}
Europe	II	2.41×10^{-8}	2.527×10^{-5}	3.20×10^{12}
Ganymède	III	7.45×10^{-8}	7.804×10^{-5}	9.89×10^{12}
Callisto	IV	5.41×10^{-8}	5.668×10^{-5}	7.18×10^{12}
Léda	XIII	2.9×10^{-15}	3×10^{-12}	3.8×10^5
Himalia	VI	4.8×10^{-12}	5.0×10^{-9}	6.3×10^8
Lysithéa	X	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Elara	VII	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Ananké	XII	1.9×10^{-14}	2×10^{-11}	2.5×10^6
Carmé	XI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Pasiphaé	VIII	9.5×10^{-14}	1×10^{-10}	1.3×10^7
Sinopé	IX	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Saturne				
Anneaux C		4.9×10^{-13}	1.7×10^{-9}	6.4×10^7
Anneaux B		1.2×10^{-11}	4.2×10^{-8}	1.6×10^9
Anneaux A		3.1×10^{-12}	1.1×10^{-8}	4.2×10^8
Mimas	I	2.29×10^{-11}	8.00×10^{-8}	3.04×10^9
Encelade	II	3.7×10^{-11}	1.3×10^{-7}	4.9×10^9
Téthys	III	3.4×10^{-10}	1.2×10^{-6}	4.5×10^{10}
Dioné	IV	5.29×10^{-10}	1.85×10^{-6}	7.0×10^{10}
Rhéa	V	1.16×10^{-9}	4.06×10^{-6}	1.54×10^{11}
Titan	VI	6.7652×10^{-8}	2.3670×10^{-4}	8.9782×10^{12}

Table 1.18. (fin).

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Saturne				
Hypérior	VII	8.6×10^{-12}	3×10^{-8}	1.1×10^9
Japet	VIII	7.99×10^{-10}	2.79×10^{-6}	1.06×10^{11}
Phœbé	IX	2×10^{-13}	7×10^{-10}	2.7×10^7
Uranus				
Cordélia	VI	7.0×10^{-15}	1.6×10^{-10}	9.3×10^5
Ophélie	VII	1.3×10^{-14}	2.9×10^{-10}	1.7×10^6
Miranda	V	0.33×10^{-10}	0.76×10^{-6}	4.4×10^9
Ariel	I	6.80×10^{-10}	1.56×10^{-5}	90.3×10^9
Umbriel	II	5.89×10^{-10}	1.35×10^{-5}	78.2×10^9
Titania	III	17.73×10^{-10}	4.061×10^{-5}	235.3×10^9
Obéron	IV	15.15×10^{-10}	3.471×10^{-5}	201.1×10^9
Neptune				
Naïade	III	5.0×10^{-14}	9.7×10^{-10}	6.6×10^6
Thalassa	IV	1.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	2.1×10^7
Despina	V	1.1×10^{-12}	2.1×10^{-8}	1.4×10^8
Galatée	VI	1.9×10^{-12}	3.6×10^{-8}	2.5×10^8
Larissa	VII	2.2×10^{-12}	4.2×10^{-8}	2.9×10^8
Protée	VIII	2.0×10^{-11}	3.9×10^{-7}	2.7×10^9
Triton	I	1.08×10^{-8}	2.09×10^{-4}	1.428×10^{12}
Néréide	II	1×10^{-11}	2×10^{-7}	1.4×10^9
Pluton				
Charon	I	0.733×10^{-9}	0.110	9.73×10^{10}

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

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Terre							
Lune		1737.4±1	1737.4 - 1737.4 - 1737.4	73.476	3.34	-12.7	0.12
Mars							
Phobos	I	11.1±0.15	13.4 - 11.2 - 9.2	1.27×10^{-5}	2.22	11.6	0.06
Déimos	II	6.2±0.18	7.5 - 6.1 - 5.2	1.8×10^{-6}	1.8	12.7	0.06
Jupiter							
Métis	XVI	21.5±4	30 - - 20	9.5×10^{-5}	2.3	17.5	0.05
Adrastéia	XV	8.2±4	10 - 8 - 7	1.9×10^{-5}	8.2	18.9	0.05
Amalthée	V	83.5±3	125 - 73 - 64	7.2×10^{-3}	3.0	14.1	0.05
Thébé	XIV	49.3±4	58 - 49 - 42	7.6×10^{-4}	1.5	15.7	0.04
Io	I	1821.46	1829.4 - 1819.3 - 1815.7	89.3	3.53	5.02	0.61
Europe	II	1562.09	1564.13 - 1561.23 - 1560.93	48.0	3.00	5.29	0.64
Ganymède	III	2632.345	2632.4 - 2632.29 - 2632.35	148.2	1.94	4.61	0.42
Callisto	IV	2409.3	2409.4 - 2409.2 - 2409.3	107.6	1.84	5.65	0.20
Léda	XIII	5		5.7×10^{-6}	11	20	
Himalia	VI	85±10		9.5×10^{-3}	3.7	14.8	0.03
Lysithéa	X	12		7.6×10^{-5}	10.5	18.4	
Elara	VII	40±10		7.6×10^{-4}	2.8	16.8	0.03
Ananké	XII	10		3.8×10^{-5}	9.1	18.9	
Carmé	XI	15		9.5×10^{-5}	6.7	18.0	
Pasiphaé	VIII	18		1.9×10^{-4}	7.8	17.0	
Sinopé	IX	14		7.6×10^{-5}	6.6	18.3	
Saturne							
Anneau C				9.7×10^{-4}			
Anneau B				2.4×10^{-2}			
Anneau A				6.3×10^{-3}			
Pan	XVIII	10±3					0.4-0.7
Atlas	XV	16±4	18.5 - 17.2 - 13.5			18	0.4
Prométhée	XVI	50.1±3	74.0 - 50.0 - 34.0			15	0.6
Pandore	XVII	41.9±2	55.0 - 44.0 - 31.0			15.5	0.6
Épiméthée	XI	59.5±3	69.0 - 55.0 - 55.0			15	0.4
Janus	X	88.8±4	97.0 - 95.0 - 77.0			14	0.4
Mimas	I	198.6±0.6	209.1 - 196.2 - 191.4	0.0455	1.4	12.9	0.77
Encelade	II	249.4±0.3	256.3 - 247.3 - 244.6	0.074	1.1	11.7	1.04
Téthys	III	529.8±1.5	535.6 - 528.2 - 525.8	0.674	1.1	10.3	0.8
Télesto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6

Table 1.19. (fin).

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Saturne							
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
Rhéa	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
Hypérion	VII	133±8	164 - 130 - 107	0.017	1.7	14.19	0.19/0.25
Japet	VIII	718±8	718 - 718 - 718	1.59	1.3	10.2/11.9	0.5 ⁽¹⁾
Phœbé	IX	110±10	115 - 110 - 105	0.0004	0.07	16.5	0.06
Uranus							
Cordélia	VI	13±2		1.4×10^{-5}	1.5	24.2 ⁽²⁾	
Ophélie	VII	15±2		2.5×10^{-5}	1.5	23.9 ⁽²⁾	
Bianca	VIII	21±3				23.1 ⁽²⁾	
Cressida	IX	31±4				22.3 ⁽²⁾	
Desdémone	X	27±3				22.5 ⁽²⁾	
Juliette	XI	42±5				21.7 ⁽²⁾	
Portia	XII	54±6				21.1 ⁽²⁾	
Rosalinde	XIII	27±4				22.5	
Belinda	XIV	33±4				22.1	
Puck	XV	77±5				20.4	0.07
Miranda	V	235.8±0.7	240.4 - 234.2 - 232.9	0.066	1.2	16.5	0.34
Ariel	I	578.9±0.6	581.1 - 577.9 - 577.7	1.35	1.7	14.4	0.40
Umbriel	II	584.7±2.8	584.7 - 584.7 - 584.7	1.17	1.4	15.3	0.19
Titania	III	788.9±1.8	788.9 - 788.9 - 788.9	3.526	1.7	13.9	0.28
Obéron	IV	761.4±2.6	761.4 - 761.4 - 761.4	3.014	1.6	14.2	0.24
Neptune							
Naïade	III	29±6		0.99×10^{-4}	1.0	24.7	
Thalassa	IV	40±8		3.2×10^{-4}	1.2	23.8	
Despina	V	74±10		2.1×10^{-3}	1.2	22.6	0.06
Galatée	VI	79±12		3.7×10^{-3}	1.8	22.3	0.06
Larissa	VII	96±7	104 - - 89	4.3×10^{-3}	1.2	22.0	0.06
Protée	VIII	208±8	218 - 208 - 201	4.0×10^{-2}	1.1	20.3	0.06
Triton	I	1352.6±2.4		21.4	2.1	13.7	0.7
Néréide	II	170±25		0.02	1.0	18.7	0.4
Pluton							
Charon	I	593±13		1.46	1.7	16.8	0.4

⁽¹⁾ Côté brillant 0.5 ; côté non brillant 0.07.

⁽²⁾ Calculée en supposant que le satellite a le même albédo que Puck.

1.5. AUTRES CONSTANTES ET UNITÉS

1.5.1. Système de référence galactique

Les axes de coordonnées du système de référence galactique, par rapport à un système de référence, sont déterminés par les coordonnées dans ce système du pôle galactique et du centre galactique définis à la suite de l'Assemblée générale de l'UAI de 1958 (Blaauw et al., 1960).

Dans le système de référence FK5 (J2000), les coordonnées équatoriales héliocentriques du pôle galactique Z sont (Murray, 1989) :

$$\begin{aligned}\alpha_Z &= 12 \text{ h } 51 \text{ min } 26.2755 \text{ s,} \\ \delta_Z &= 27^\circ 7' 41''.704.\end{aligned}$$

Les coordonnées équatoriales héliocentriques du centre galactique sont :

$$\begin{aligned}\alpha_X &= 17 \text{ h } 45 \text{ min } 37.1991 \text{ s,} \\ \delta_X &= -28^\circ 56' 10''.221;\end{aligned}$$

et la longitude galactique du pôle céleste nord est :

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

1.5.2. Situation du Soleil dans la galaxie

Après avoir passé en revue diverses déterminations des constantes galactiques, Kerr et Lynden-Bell (1986), ont publié l'ensemble de valeurs suivant, relatif aux quatre principales constantes galactiques, distance du Soleil au centre galactique (R_0), vitesse circulaire du Soleil autour du centre galactique (θ_0) et constantes de Oort (A, B) :

$$\begin{aligned}R_0 &= 8.5 \pm 1.1 \text{ kpc,} \\ \theta_0 &= 222 \pm 20 \text{ km s}^{-1}, \\ A &= 14.4 \pm 1.2 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}, \\ B &= -12.0 \pm 2.8 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}, \\ A - B &= 26.4 \pm 1.9 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}.\end{aligned}$$

Compte tenu des incertitudes sur la détermination des valeurs de ces paramètres, l'assemblée générale de l'UAI (1985) a recommandé l'utilisation des valeurs suivantes pour les constantes (R_0) et (θ_0),

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

Par contre, il n'y a pas de valeurs recommandées pour les constantes de Oort, A et B , mais seulement une remarque concernant la différence $A - B$ qui, avec les valeurs de R_0 et θ_0 adoptées vaut :

$$A - B = 25.9 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}.$$

1.5.3. Système de référence extragalactique

Les sources extragalactiques observées par interférométrie à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry) permettent de constituer un système de référence extragalactique. On définit l'origine des ascensions droites en fixant l'ascension droite (J2000) du quasar 3 C 273 B (1226+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

Paramètres post-newtoniens (PPN) :

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.0000 \pm 0.0002, \\ \gamma &= 1.000 \pm 0.002, \\ \frac{2 + 2\gamma - \beta}{3} &= 1.00 \pm 0.02.\end{aligned}$$

Bien que le paramètre α n'apparaisse pas formellement dans les paramètres PPN, il apparaît comme un facteur clé en astrométrie pour exprimer la dilatation du temps et le *décalage vers le rouge* ($3/2 + \alpha$). Les paramètres β et γ caractérisent la plupart des effets relativistes en astrométrie ; $1 + \gamma$ caractérise le *retard* et la déflexion de la lumière, $2 + 2\gamma - \beta$ caractérise le *décalage du péricentre*.

Pour la relativité générale d'Einstein, on a :

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

1.5.5. Autres unités

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

L'électronvolt

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

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

L'angström

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

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

Le gauss

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

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

Le gamma

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

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

L'atmosphère

L'atmosphère, unité employée pour la pression, vaut 101325 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

- Arlot, J.-E., Bec-Borsenberger, A., Fienga, A., Baron, N. : 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., Pawsey, J.L., Westerhout, G. : 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.
- Duxbury, T.C., Callahan, J.D. : 1989, Phobos and Deimos control networks, *Icarus* **77**, 275.
- Elliot, J.L., Dunham, E., Millis, R.L. : 1977, Discovering the rings of Uranus, *Sky and Telescope* **53**, 412.
- 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., Holberg, J.B., Marouf, E.A., Tyler, G.L., Porco, C.C. : 1984, Saturn's rings, in *Saturn*, T. Gehrels and M.S. Matthews eds., 473.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feibelman, W.A. : 1967, Concerning the "D" ring of Saturn, *Nature* **214**, 793.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Les solutions planétaires de l'IMCCE, bilan et perspectives. *Notes scientifiques et techniques de l'Institut de mécanique céleste* S81.
- Fountain, J.W., Larson, S.M. : 1978, Saturn's ring and nearby faint satellites, *Icarus* **36**, 92.
- French, R.G., Elliot, J.L., French, L.M., Kangas, J.A., Meech, K.J., Ressler, M.E., Buie, M.W., Frogel, J.A., Holberg, J.B., Fuensalida, J.J., Joy, M. : 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., Beshore, E., Blenman, C., Burke, J.J., Castillo, N.D., Da Costa, B., Degewij, J., Doose, L.R., Fountain, J.W., Gotobed, J., Kenknight, C.E., Kingston, R., McLaughlin, G., McMillan, R., Murphy, R., Smith, P.H., Stoll, C.P., Strickland, R.N., Tomasko, M.G., Wijesinghe, M.P., Coffeen, D.L., Esposito, L.W. : 1980, Imaging photopolarimeter on Pioneer Saturn, *Science* **207**, 434.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1980, The satellite of Pluto, II, *Astron. J.* **85**, 442.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al., 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1981, The satellite of Pluto, III, *Astron. J.* **86**, 442.
- Hubbard, W., Brahic, A., Sicardy, B., Elicer, L.A., Roques, F., Vilas, F. : 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.
- Jacobson, R.A. : 1990, The orbits of the satellites of Neptune, *Astron. Astrophys.* **231**, 241.
- Jacobson, R.A., Campbell, J.K., Taylor, A.H., Synnott, S.P. : 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.

- Johnson, T., Becklin, E.E., Wynn-Williams, C.G., Pilcher, C.B., Morgan, J.S. : 1979, Jupiter, *Circ. UAI* **3338**.
- Kerr, F.J., Lynden-Bell, D. : 1986, Review of galactic constants, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **221**, 1023.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- 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.
- Melbourne, W., Anderle, R., Feissel, M., King, R., McCarthy, D.D., Smith, D., Tapley, B., Vicente, R. : 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., Matthews, K., Elias, J.H., Gilmore, G. : 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.
- 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., Schmidt, R.E., Seidelmann, P.K., Hershey, J.L. : 1992, B, V photometry of Thebe (JXIV), *Icarus* **98**, 38.
- Rocher, P. : 1996, Communication privée.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales ?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Seidelmann, P.K., Abalakin, V.K., Bursa, M., Davies, M. E., De Bergh, C., Lieske, J.H., Oberst, J., Simon, J.-L., Standish, E. M., Stooke, P., Thomas, P. C. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2002, *Celest. Mech.* **82**, 83.
- Showalter, M.R., Cuzzi, J.N., Marouf, E.A., Esposito, L.W. : 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. : 2004, Communication privée.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G., Laskar, J. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Smith, B.A., Soderblom, L., Beebe, R., Boyce, J., Briggs, G., Bunker, A., Collins, S.A., Hansen, C.J., Johnson, T.V., Mitchell, J.L., Terrile, R.J., Carr, M., Cook II, A.F., Cuzzi, J.N., Pollack,

- J.B., Danielson, G.E., Ingersoll, A., Davies, M.E., Hunt, G.E., Masursky, H., Shoemaker, E., Morrison, D., Owen, T., Sagan, C., Veverka, J., Strom, R., Suomi, V.E. : 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, C.F., Smith, B.A., Morabito, L.A. : 1981, Orbits of the small satellites of Saturn, *Science* **212**, 191.
- Synnott, S.P., Terrile, R.J., Jacobson, R.A., Smith, B.A. : 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., 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., Anderson, J.D., Levy, G.S., Lindal, G.F., Wood, G.E., Croft, T.A. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- 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.
- Young, L.A., Olkin, C.B., Elliot, J.L., Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1994, The Charon-Pluto mass ratio from MKO astrometry, *Icarus* **108**, 186.

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.

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

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

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

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

– Le TAI est la base des mesures précises de temps et des comparaisons d'horloges. Il sert en pratique à matérialiser le TT. En revanche le TDT disparaît.

– On voit apparaître le TCB et le TCG ainsi, éventuellement, que les temps-coordonnée liés à d'autres systèmes de masses.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.4. LE TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL (TAI)

2.4.1. Étalons de fréquence. La seconde SI

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

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

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

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

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

2.4.2. Réalisation du Temps atomique international

L'étalon de fréquence permet par accumulation des secondes SI de construire une échelle de temps continue, pour autant que l'horloge ou les horloges qui servent à construire cette échelle aient un fonctionnement continu. Une définition a été proposée en 1970 par le Comité consultatif pour la

définition de la seconde (CCDS), approuvée la même année par le Comité international des poids et mesures. Finalement la quatorzième conférence générale des poids et mesures, en octobre 1971, a défini la référence temporelle, le Temps atomique international (TAI) :

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

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

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

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

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

2.4.3. Uniformité du TAI

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

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

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

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

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

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

Finalement la réalisation du Temps atomique à partir des étalons au césium repose sur l'hypothèse, non démentie par l'expérience, de l'invariabilité dans l'espace et dans le temps de la fréquence associée à la transition entre deux niveaux déterminés d'un atome de césium 133 non perturbé.

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

2.5.1. Définition et propriétés

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

En premier lieu son origine arbitraire impliquait que la datation d'un événement bien identifié dans cette échelle ne coïncidait pas avec la datation donnée dans une autre échelle, temps solaire

ou Temps des éphémérides. Ce n'est pas un défaut bien gênant et il était toujours possible d'y remédier par un choix adapté de l'origine.

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

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

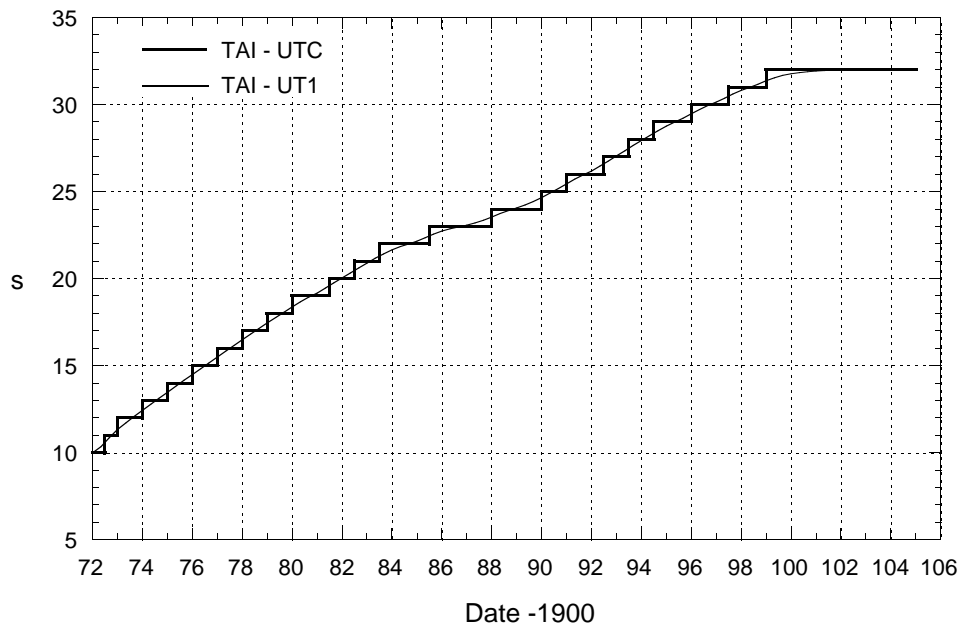
2.5.2. Le futur de l'UTC

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 des sauts de seconde, 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. 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,

Table 2.2. Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2005 (selon l'IERS).

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

**Fig. 2.1.** Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1972 à 2005.

- 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 86400 secondes par jour solaire moyen.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Idéalement, pour réaliser le Temps des éphémérides il faut observer la longitude du Soleil, effectuer toutes les corrections permettant d'en déterminer la longitude géométrique moyenne, puis résoudre l'équation de définition pour l'inconnue T . Mathématiquement il y a de nombreuses solutions, mais un encadrement préalable au moyen d'un garde-temps permet d'aboutir à une solution unique. Avec une précision typique de $0''.5$ sur la détermination de la longitude du Soleil, on obtiendrait une incertitude de 12 s sur la lecture de l'horloge céleste. Heureusement on n'avait recours au Soleil (et à la Lune dont le mouvement est treize fois plus rapide) que pour des mesures d'intervalles longs.

Puisqu'on est amené à rejeter l'échelle TU, insuffisamment uniforme, le TE est la seule échelle de temps uniforme disponible pour l'analyse des observations des corps du système solaire faites avant l'introduction du TAI. Les définitions des nouvelles échelles assurent la continuité du TDT, puis du TT, avec le TE pour les époques antérieures à 1955, compte tenu de la précision des observations des planètes et des satellites. Elles assurent également la continuité du TE avec le TDB puisque, comme nous le verrons, TDB et TDT diffèrent de termes périodiques d'amplitudes inférieures à 1.7 millième 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 consacrée aux systèmes de référence. Dans ce chapitre nous considérons uniquement les conséquences sur les échelles de temps avec l'introduction des deux échelles de temps-coordonnée TCB et TCG, qui seront ensuite reliées à des réalisations, dont le TAI. La théorie de la relativité et la précision atteinte aujourd'hui dans les observations amènent à distinguer les échelles de temps dynamiques selon qu'elles sont considérées comme échelles de temps-coordonnée ou comme échelles de temps propre. On présente ici les calculs qui établissent la relation la plus importante entre ces échelles.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Rappelons que l'on ne doit pas attacher de signification particulière aux coordonnées x^α ; il ne s'agit au départ que de quatre quantités permettant d'étiqueter un point de l'espace-temps et il y a une grande liberté dans leur choix. Cependant, au travers de l'interprétation des mesures et de la comparaison aux modèles paramétrés par ces coordonnées, on finit par leur donner une signification

plus physique en terme de distance, instant d'arrivée d'un signal, etc. Par exemple la coordonnée x^0 , divisée par la vitesse de la lumière c , est le temps t qui serait indiqué par une horloge au repos par rapport au barycentre du système solaire et infiniment éloignée des planètes. Ce temps, appelé temps-coordonnée, diffère de celui lu sur une horloge atomique dans un laboratoire, laquelle fournit le temps propre τ de l'horloge sur sa ligne d'Univers. Le TAI d'un autre côté est construit pour être une coordonnée de repérage temporel mais ne coïncide pas avec le x^0/c de la métrique ci-dessus. Le raccordement entre les échelles TCB, TCG et le TAI est examiné dans la section suivante.

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

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

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

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

où

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

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

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

qui conduit par intégration à l'équation suivante :

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

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

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

Pour intégrer cette équation il faut tout d'abord particulariser le mouvement de l'horloge par une trajectoire paramétrée au moyen des coordonnées t et x^i , puis exprimer le potentiel $U(\mathbf{x})$ provenant des planètes et de la Lune en chaque point. Sans entrer dans le détail, on voit déjà que pour une horloge placée au géocentre, le terme principal sera une dérive séculaire entre les deux échelles puisque la valeur moyenne de la fonction à intégrer n'est pas nulle. En prenant pour la Terre une orbite circulaire de rayon $a = 1$ UA on obtient pour l'action du Soleil, $U/c^2 \sim GM_{\odot}/a c^2 \sim 9.872 \times 10^{-9}$ et $v^2/2c^2 \sim 4.935 \times 10^{-9}$, soit $\langle d\tau/dt \rangle \sim 1 - 1.4807 \times 10^{-8}$.

La valeur exacte de cette constante dépend de l'éphéméride utilisée pour l'intégration, du temps d'intégration et de la procédure de calcul pour obtenir cette moyenne. Il reste donc une certaine ambiguïté dans sa définition et sa valeur. Selon la durée de l'intervalle un terme à longue période peut devenir un terme séculaire et donc contribuer à la valeur moyenne. Ceci est particulièrement évident dans le cas où l'on effectue des intégrations numériques des mouvements car ôter les termes séculaires ne peut se faire qu'en effectuant des moyennes sur des intervalles de temps dont la longueur est arbitrairement choisie. L'estimation la plus récente (Irwin et Fukushima, 1999) donne,

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

avec

$$L_C = 1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}.$$

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

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

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

2.7.2. Les échelles TT et TDB

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

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

Entre 1976 et 1991, l'échelle TT avait été introduite sous le nom de *Temps dynamique terrestre* (TDT). Le mot *dynamique* n'était pas heureux, car cette échelle, tout en étant idéalement identique

au Temps des éphémérides, n'est en aucun cas associée à la théorie du mouvement d'un corps du système solaire. Ce n'est donc pas un temps dynamique. Par ailleurs on avait tendance à confondre le TDT avec le temps propre au centre de masse de la Terre, alors qu'il est beaucoup plus proche d'un temps propre à la surface de la Terre. En revanche le temps-coordonnée TCG, peut être considéré comme étant le temps propre d'une horloge idéale placée au centre de masse de la Terre.

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

$$\frac{dT_T}{dT_{CG}} = 1 - L_G \approx 1 - \frac{W_0}{c^2}$$

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 de TCB cette échelle se comporte en moyenne comme TT. On a,

$$dTDB/dTCB = 1 - L_B$$

avec

$$L_B = L_C + L_G = 1.550\,519\,767\,72 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}$$

et

$$TDB = TT + P$$

où P représente l'ensemble des termes périodiques obtenus à partir de l'intégrale (2.4) dépouillée de ses termes séculaires.

2.7.3. Relations entre les échelles de temps

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

barycentrique et TCG pour le système géocentrique.

$$\text{TCB} - \text{TCG} = L_C \times (JD - 2443144.5) \times 86400 + P + \mathbf{v}_E \cdot \mathbf{r}/c^2, \quad L_C = 1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$$

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 $\text{TCB} - \text{TCG}$ est de l'ordre de 2×10^{-6} secondes.

$$\text{TCB} - \text{TDB} = L_B \times (JD - 2443144.5) \times 86400, \quad L_B = 1.550\,519\,767\,72 \times 10^{-8}$$

$$\text{TCG} - \text{TT} = L_G \times (JD - 2443144.5) \times 86400, \quad L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10}$$

$$\text{TT}(\text{TAI}) = \text{TAI} + 32.184\text{ s}$$

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

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.*, à paraître.
- 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).
- USNO : 1992, *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, P.K. Seidelmann ed., University science books, Mill Valley, California.

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

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	0	1656.674564	628.3075850	6.2400542	1.00	49	0	0.040184	-0.7113547	3.5659756	883.27
2	0	22.417471	575.3384885	4.2969774	1.09	50	0	0.036955	315.4687085	5.0718014	1.99
3	0	13.839792	1256.6151700	6.1969044	0.50	51	0	0.036564	508.8628840	3.3246790	1.23
4	0	4.770086	52.9690965	0.4444016	11.86	52	0	0.036507	80.1820931	6.2488660	7.84
5	0	4.676740	606.9776755	4.0211951	1.04	53	0	0.034867	52.2577418	5.2100641	12.02
6	0	2.256707	21.3299095	5.5431133	29.46	54	0	0.033529	943.7762935	2.4047142	0.67
7	0	1.694205	-0.3523118	5.0251327	1783.42	55	0	0.033477	606.2663208	4.1449873	1.04
8	0	1.554905	7771.3771468	5.1984666	0.08	56	0	0.032438	607.6890302	0.7493174	1.03
9	0	1.276839	786.0419392	5.9888223	0.80	57	0	0.032423	882.7390270	5.5414736	0.71
10	0	1.193379	522.3693920	3.6498237	1.20	58	0	0.030215	708.4896781	3.3896103	0.89
11	0	1.115322	393.0209696	1.4227451	1.60	59	0	0.029862	1213.9553509	1.7701810	0.52
12	0	0.794185	1150.6769770	2.3223131	0.55	60	0	0.029247	-7143.0695618	4.1831792	0.09
13	0	0.600309	157.7343542	2.6782719	3.98	61	0	0.028244	-628.6598968	5.0696635	1.00
14	0	0.496817	620.8294251	5.6967018	1.01	62	0	0.027567	627.9552732	5.0408460	1.00
15	0	0.486306	588.4926847	0.5200072	1.07	63	0	0.025196	174.8016413	2.9018833	3.59
16	0	0.468597	624.4942814	5.8663988	1.01	64	0	0.024816	-119.4447010	1.0871369	5.26
17	0	0.447061	2.6298320	3.6157965	238.92	65	0	0.022567	613.3512653	3.3079848	1.02
18	0	0.435206	-39.8149003	4.3493383	15.78	66	0	0.022509	1044.7387840	1.4607262	0.60
19	0	0.432392	7.4781599	2.4358983	84.02	67	0	0.021691	1414.3495242	5.9526580	0.44
20	0	0.375510	550.7553239	4.1034768	1.14	68	0	0.020937	842.9241266	0.6523034	0.75
21	0	0.243085	-77.5522611	3.6518379	8.10	69	0	0.020322	41.9484644	3.7354306	14.98
22	0	0.230685	585.6477659	4.7738526	1.07	70	0	0.017806	7.3297126	3.4759751	85.72
23	0	0.203747	1203.6460735	4.3339878	0.52	71	0	0.017673	681.2766815	3.1861298	0.92
24	0	0.173435	1884.9227550	6.1537435	0.33	72	0	0.016155	1021.3285546	1.3311032	0.62
25	0	0.159080	1097.7078805	1.8900752	0.57	73	0	0.015974	-235.2866154	6.1453094	2.67
26	0	0.143935	-79.6298007	5.9575178	7.89	74	0	0.015949	-22.0412642	4.0052983	28.51
27	0	0.137927	1179.0629089	1.1359347	0.53	75	0	0.015078	1965.1048481	3.9694808	0.32
28	0	0.119979	3.8133036	4.5515858	164.77	76	0	0.014751	134.9867410	4.3089333	4.65
29	0	0.118971	548.6777843	1.9145472	1.15	77	0	0.014318	1673.0463690	3.0160581	0.38
30	0	0.116120	105.9381930	0.8735041	5.93	78	0	0.014223	1778.9845620	2.1045513	0.35
31	0	0.101868	-557.3142802	5.9845034	1.13	79	0	0.013671	-53.6804512	5.9716726	11.70
32	0	0.098358	254.4314420	0.0927939	2.47	80	0	0.012462	10.3092774	1.7374388	60.95
33	0	0.080164	20.6185548	2.0953777	30.47	81	0	0.012420	469.0479836	4.7340904	1.34
34	0	0.079645	469.4002955	2.9492336	1.34	82	0	0.011942	803.1092263	2.0534147	0.78
35	0	0.075019	294.2463423	4.9809318	2.14	83	0	0.011847	564.3178564	5.4890054	1.11
36	0	0.064397	574.6271338	1.2803087	1.09	84	0	0.011707	-470.5732308	2.6541256	1.34
37	0	0.063814	576.0498432	4.1679017	1.09	85	0	0.011622	512.0601146	4.8639319	1.23
38	0	0.062617	2.0775395	2.6543948	302.43	86	0	0.010962	0.3590429	2.1965677	1749.98
39	0	0.058844	42.6598191	4.8396501	14.73	87	0	0.010825	55.3569403	0.8427150	11.35
40	0	0.054139	1726.0154655	3.4110911	0.36	88	0	0.010453	586.3591206	1.9137046	1.07
41	0	0.048373	15.5420399	2.2515737	40.43	89	0	0.010396	95.1718406	5.7177996	6.60
42	0	0.048042	214.6165416	1.4958460	2.93	90	0	0.010099	28.3859319	1.9421770	22.13
43	0	0.046551	-0.0980321	0.9215735	6409.31	91	0	0.009963	14.9563197	4.8706906	42.01
44	0	0.042732	63.2783739	5.7206222	9.93	92	0	0.009858	630.9374170	1.0618164	1.00
45	0	0.042560	16100.0685737	1.2708372	0.04	93	0	0.009370	14985.4400134	0.6738790	0.04
46	0	0.042411	627.5962303	2.8695670	1.00	94	0	0.008666	-13.5065080	3.2934065	46.52
47	0	0.040759	1235.2852605	3.9814970	0.51	95	0	0.008610	334.0612427	3.6616989	1.88
48	0	0.040480	1572.0838785	2.5466101	0.40	96	0	0.008323	1176.9853693	1.2293920	0.53

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
97	0	0.008107	1336.7972631	3.7932353	0.47	145	0	0.002954	-628.3008540	4.5334712	1.00
98	0	0.007959	31.6391870	2.4650426	19.86	146	0	0.002954	628.3143160	4.4472038	1.00
99	0	0.007857	1216.8002697	0.5257335	0.52	147	0	0.002881	73.5876514	0.3492503	8.54
100	0	0.007505	523.0807467	4.9209370	1.20	148	0	0.002872	2.8449187	1.1586930	220.86
101	0	0.007490	-625.6777530	3.6584447	1.00	149	0	0.002863	1729.8182327	5.2409638	0.36
102	0	0.007332	3.6648563	0.1148587	171.44	150	0	0.002775	991.7696875	1.0300263	0.63
103	0	0.007147	-24.2728604	3.6614870	25.89	151	0	0.002740	1831.9536585	4.3205195	0.34
104	0	0.007117	3.8027673	5.2942495	165.23	152	0	0.002646	1097.3555686	3.9182592	0.57
105	0	0.007019	620.6809779	0.8376888	1.01	153	0	0.002575	2513.2303400	6.1096590	0.25
106	0	0.006919	668.1224853	6.0185015	0.94	154	0	0.002493	638.6168624	0.6450265	0.98
107	0	0.006858	521.6580373	0.6420633	1.20	155	0	0.002464	20.2253395	4.6982031	31.07
108	0	0.006826	763.2943260	3.4586541	0.82	156	0	0.002409	0.2542797	5.3250093	2470.97
109	0	0.006731	565.0292111	5.6399066	1.11	157	0	0.002401	1620.0772725	2.6055471	0.39
110	0	0.006603	2358.1258177	5.3931369	0.27	158	0	0.002397	624.3458342	3.8092900	1.01
111	0	0.006366	416.4311990	2.2620818	1.51	159	0	0.002381	6.3735898	0.7591882	98.58
112	0	0.006304	1192.6254414	2.5129292	0.53	160	0	0.002366	0.3932153	6.2158854	1597.90
113	0	0.006056	95.5599742	4.1945351	6.58	161	0	0.002353	63.9897286	3.7345481	9.82
114	0	0.005680	2301.3539540	4.5578148	0.27	162	0	0.002353	624.6427287	4.7817198	1.01
115	0	0.005582	596.6683980	2.2461743	1.05	163	0	0.002303	1807.3704939	1.0891004	0.35
116	0	0.005488	-0.3455808	0.0906754	1818.15	164	0	0.002303	8399.6847318	2.0136864	0.07
117	0	0.005308	-159.2596014	2.5003824	3.95	165	0	0.002296	649.6374945	5.0618107	0.97
118	0	0.005123	-0.1484473	2.9996410	4232.60	166	0	0.002229	49.1557929	1.5710071	12.78
119	0	0.005119	643.8496249	1.4865392	0.98	167	0	0.002199	-24.5831646	5.9561523	25.56
120	0	0.005096	1137.1704690	2.5471078	0.55	168	0	0.002186	45.4909367	1.4021015	13.81
121	0	0.004892	543.6993015	1.4754156	1.16	169	0	0.002183	116.2474704	6.1796117	5.41
122	0	0.004841	533.3900241	0.4370781	1.18	170	0	0.002169	1101.5106477	4.8452977	0.57
123	0	0.004648	158.9072895	1.2758471	3.95	171	0	0.002103	-707.9373857	5.7566416	0.89
124	0	0.004553	1149.9656223	5.5549983	0.55	172	0	0.002085	3.5164090	1.4051585	178.68
125	0	0.004521	429.2330833	6.1406358	1.46	173	0	0.002024	1471.2317116	2.7520359	0.43
126	0	0.004349	1151.3883317	2.1817454	0.55	174	0	0.001897	2248.3848574	4.1679325	0.28
127	0	0.004193	723.4794256	4.8690914	0.87	175	0	0.001896	-312.8388765	4.9142316	2.01
128	0	0.004164	1249.1370101	5.6509319	0.50	176	0	0.001894	105.2268383	5.8171674	5.97
129	0	0.004148	-11.0206321	3.0161734	57.01	177	0	0.001847	1087.3986030	2.9034779	0.58
130	0	0.004080	-705.8598461	3.6903601	0.89	178	0	0.001825	-373.8761430	0.5458288	1.68
131	0	0.004044	473.2030627	1.3987848	1.33	179	0	0.001810	-8886.0057071	0.4873548	0.07
132	0	0.003919	1252.8018664	5.8233197	0.50	180	0	0.001745	24428.7600067	3.6263952	0.03
133	0	0.003742	723.8675592	4.6919762	0.87	181	0	0.001737	629.0189397	5.2808201	1.00
134	0	0.003625	620.9778724	1.4737606	1.01	182	0	0.001729	389.4181830	1.2649766	1.61
135	0	0.003500	26.3083923	1.8921007	23.88	183	0	0.001649	3144.1677570	1.9520493	0.20
136	0	0.003354	-9095.5551695	1.9426562	0.07	184	0	0.001602	1431.4168113	4.2036648	0.44
137	0	0.003279	584.9364112	4.8933844	1.07	185	0	0.001472	459.0910180	4.1649133	1.37
138	0	0.003270	7.6266071	1.5171899	82.39	186	0	0.001421	2.0355319	2.4198866	308.68
139	0	0.003202	2751.1467874	0.5316731	0.23	187	0	0.001416	922.5539273	4.9964084	0.68
140	0	0.003129	683.6645253	0.0038441	0.92	188	0	0.001408	1098.4192352	2.7320848	0.57
141	0	0.003074	94.9175609	5.1858787	6.62	189	0	0.001391	-863.5942004	0.5938915	0.73
142	0	0.003053	23314.1314403	3.0290293	0.03	190	0	0.001388	-0.7046237	1.1661459	891.71
143	0	0.003024	8328.6914270	2.3555561	0.08	191	0	0.001376	1096.9965258	5.1529143	0.57
144	0	0.003002	617.2869529	2.7978228	1.02	192	0	0.001335	-26.6607042	3.9957640	23.57

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
193	0	0.001321	1 820.9330264	2.6248664	0.35	241	0	0.000674	1 494.5316174	6.2705105	0.42
194	0	0.001297	2 122.8392024	0.3826035	0.30	242	0	0.000673	106.6495477	3.8765124	5.89
195	0	0.001297	2 354.3230505	3.0638052	0.27	243	0	0.000662	2 515.8601720	1.7940584	0.25
196	0	0.001288	-199.0745017	3.9130229	3.16	244	0	0.000660	62.5670192	5.8640919	10.04
197	0	0.001284	1 057.5406683	5.3065382	0.59	245	0	0.000647	1 185.6218652	3.3971331	0.53
198	0	0.001278	7.1812653	4.7134865	87.49	246	0	0.000646	1 140.3676996	3.8529595	0.55
199	0	0.001238	480.4209276	5.5033797	1.31	247	0	0.000641	8346.7156353	3.2107273	0.08
200	0	0.001176	27.7034994	3.3355190	22.68	248	0	0.000631	576.7611979	4.0265323	1.09
201	0	0.001169	604.0347246	5.8417190	1.04	249	0	0.000630	3.6027867	0.1563685	174.40
202	0	0.001155	-1.4227094	3.0427008	441.64	250	0	0.000618	2 200.3914635	2.4664270	0.29
203	0	0.001145	605.8731054	1.1694839	1.04	251	0	0.000611	-14 357.1324284	2.4249797	0.04
204	0	0.001077	17.5166060	1.8449131	35.87	252	0	0.000609	1 017.7257680	0.4371223	0.62
205	0	0.001070	-15 471.7609887	1.8276245	0.04	253	0	0.000607	-3.9617508	2.8390216	158.60
206	0	0.001039	554.0085789	2.7697535	1.13	254	0	0.000603	-6 514.7619768	4.1400836	0.10
207	0	0.001004	-17.0672871	0.7550081	36.81	255	0	0.000601	41.2371097	3.9842254	15.24
208	0	0.000991	470.1116502	4.3870018	1.34	256	0	0.000576	1 108.7285126	4.7602931	0.57
209	0	0.000987	-626.2300454	2.6564870	1.00	257	0	0.000575	1 204.3574282	4.2164924	0.52
210	0	0.000979	554.7199336	5.4483760	1.13	258	0	0.000574	7 214.0628666	1.7581909	0.09
211	0	0.000954	628.2095529	0.8822135	1.00	259	0	0.000567	363.4621025	1.6492647	1.73
212	0	0.000954	-628.4056171	0.9684809	1.00	260	0	0.000559	1 119.0377900	5.7832364	0.56
213	0	0.000940	603.7244204	6.1974281	1.04	261	0	0.000553	1 241.6588503	4.7721580	0.51
214	0	0.000908	13.1541962	2.5212575	47.77	262	0	0.000550	490.7302050	0.8640243	1.28
215	0	0.000907	3 537.1887266	3.3701960	0.18	263	0	0.000531	648.9261398	1.6818888	0.97
216	0	0.000890	1 391.6019110	5.6014983	0.45	264	0	0.000520	3 930.2096962	4.7880029	0.16
217	0	0.000885	1 171.2955318	3.2804149	0.54	265	0	0.000520	1 034.4295065	2.4455978	0.61
218	0	0.000884	-155.1045223	1.0888317	4.05	266	0	0.000515	1 863.5928455	3.9453459	0.34
219	0	0.000876	501.7508371	3.9699026	1.25	267	0	0.000509	84.6082835	3.0538746	7.43
220	0	0.000852	19.9072001	2.1896050	31.56	268	0	0.000495	734.2457780	3.8172858	0.86
221	0	0.000845	-43.3711738	4.7492452	14.49	269	0	0.000494	962.3688277	3.0226451	0.65
222	0	0.000819	866.2240324	5.9912478	0.73	270	0	0.000493	1 842.2629359	1.6769393	0.34
223	0	0.000814	1 765.4780540	4.6271226	0.36	271	0	0.000491	22.4344796	0.8783728	28.01
224	0	0.000806	1 511.0466120	5.1428767	0.42	272	0	0.000486	-32.3505417	4.0616739	19.42
225	0	0.000806	30.9278323	6.0540644	20.32	273	0	0.000485	670.2560494	0.2105809	0.94
226	0	0.000798	14.8078724	5.9092251	42.43	274	0	0.000484	1 726.7268202	3.2905891	0.36
227	0	0.000798	51.5463871	5.1519625	12.19	275	0	0.000481	574.9452732	4.3095920	1.09
228	0	0.000773	-413.6910434	0.0220678	1.52	276	0	0.000480	595.9570433	5.0313510	1.05
229	0	0.000764	-612.7655451	2.2363463	1.03	277	0	0.000480	575.7317038	1.1423486	1.09
230	0	0.000738	613.4997126	2.2426689	1.02	278	0	0.000478	126.5567479	5.4873146	4.96
231	0	0.000737	532.6786694	4.9238316	1.18	279	0	0.000472	-1 256.9674818	5.1121333	0.50
232	0	0.000732	237.9164474	2.5018134	2.64	280	0	0.000472	-1.8159247	1.9997076	346.00
233	0	0.000726	542.9879468	6.0396069	1.16	281	0	0.000470	1 202.9347188	1.4056112	0.52
234	0	0.000723	1 725.6631536	6.0687196	0.36	282	0	0.000466	1 256.2628582	4.9595816	0.50
235	0	0.000710	2 876.6924424	5.6726177	0.22	283	0	0.000465	1 725.3041108	0.3534963	0.36
236	0	0.000706	1 255.9038153	2.8248489	0.50	284	0	0.000463	573.9157791	1.4112230	1.09
237	0	0.000704	1 352.1751442	2.3009913	0.46	285	0	0.000461	617.9983076	0.5136693	1.02
238	0	0.000694	349.6032826	2.6683091	1.80	286	0	0.000458	1 213.2439962	1.8801038	0.52
239	0	0.000689	468.6889408	6.2242711	1.34	287	0	0.000449	1 160.9862544	4.1799896	0.54
240	0	0.000678	-548.1254919	6.2496667	1.15	288	0	0.000432	1 685.8482533	1.1792564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
289	0	0.000432	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	0.000430	1 351.787 0106	0.685 8275	0.46	338	0	0.000 268	614.801 0770	5.152 6663	1.02
291	0	0.000426	605.554 9661	4.274 4765	1.04	339	0	0.000 267	1 044.027 4293	4.730 1085	0.60
292	0	0.000416	-747.752 2860	1.082 3563	0.84	340	0	0.000 265	16 728.376 1587	4.369 3024	0.04
293	0	0.000399	1.497 7854	2.094 4419	419.50	341	0	0.000 264	6 656.748 5864	4.601 1012	0.09
294	0	0.000389	1.725 2277	1.395 7532	364.19	342	0	0.000 264	1 887.552 5870	1.417 2634	0.33
295	0	0.000387	1 045.450 1387	2.541 1826	0.60	343	0	0.000 262	83.896 9288	1.327 7203	7.49
296	0	0.000384	1 193.336 7961	5.827 7815	0.53	344	0	0.000 260	81.355 0284	2.389 4389	7.72
297	0	0.000383	2 195.415 7609	3.747 3764	0.29	345	0	0.000 256	-364.635 0377	0.506 3648	1.72
298	0	0.000374	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	0.000368	-575.690 8003	0.731 3743	1.09	347	0	0.000 240	1 248.988 5629	5.684 5490	0.50
300	0	0.000363	-64.087 7607	5.071 8210	9.80	348	0	0.000 236	211.876 3860	1.733 5788	2.97
301	0	0.000362	2 908.881 1416	3.215 9770	0.22	349	0	0.000 234	586.752 3359	5.575 2091	1.07
302	0	0.000362	-453.505 9437	1.583 8496	1.39	350	0	0.000 234	511.348 7599	1.716 0907	1.23
303	0	0.000352	574.986 1767	3.000 2980	1.09	351	0	0.000 228	3 301.902 1112	4.656 9855	0.19
304	0	0.000342	613.202 8180	4.322 2386	1.02	352	0	0.000 227	628.700 8003	2.911 8916	1.00
305	0	0.000341	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	0.000338	606.584 4601	0.877 7761	1.04	354	0	0.000 223	1 980.094 5956	3.069 3274	0.32
307	0	0.000336	-238.889 4020	5.353 7960	2.63	355	0	0.000 222	590.570 2242	3.731 9903	1.06
308	0	0.000332	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	0.000331	1 805.292 9543	0.566 7906	0.35	357	0	0.000 220	-13.562 5325	1.765 4303	46.33
310	0	0.000331	607.370 8908	4.007 8812	1.03	358	0	0.000 216	630.385 1245	3.862 9423	1.00
311	0	0.000330	1 055.759 4161	3.710 0437	0.60	359	0	0.000 211	575.656 6279	3.789 3928	1.09
312	0	0.000329	626.884 8756	3.033 8277	1.00	360	0	0.000 209	-1 098.880 8158	2.636 1401	0.57
313	0	0.000325	1 567.108 1759	2.178 8505	0.40	361	0	0.000 209	575.020 3491	1.661 9435	1.09
314	0	0.000325	2 059.724 3963	0.180 0444	0.31	362	0	0.000 208	-22.752 6189	4.127 8838	27.62
315	0	0.000323	1 259.245 0020	1.072 2628	0.50	363	0	0.000 206	7.032 8180	5.934 0761	89.34
316	0	0.000318	70.993 3048	5.941 2071	8.85	364	0	0.000 205	-627.948 5421	1.829 3627	1.00
317	0	0.000318	13.851 7497	2.253 2530	45.36	365	0	0.000 205	628.666 6279	1.742 8823	1.00
318	0	0.000311	691.585 9589	1.693 5742	0.91	366	0	0.000 204	22.747 6133	5.636 1927	27.62
319	0	0.000305	938.800 5909	0.578 3402	0.67	367	0	0.000 203	158.195 9348	5.549 8536	3.97
320	0	0.000304	-182.317 5189	3.409 0352	3.45	368	0	0.000 200	564.219 8243	1.016 1158	1.11
321	0	0.000301	10.994 5689	0.510 9221	57.15	369	0	0.000 200	680.565 3268	0.868 2210	0.92
322	0	0.000301	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	0.000301	608.082 2455	2.135 3962	1.03	371	0	0.000 197	-7.084 9445	4.690 7025	88.68
324	0	0.000299	31 642.822 8673	5.384 5937	0.02	372	0	0.000 197	53.362 3118	1.048 9829	11.77
325	0	0.000297	2 407.292 1470	1.997 2494	0.26	373	0	0.000 195	406.121 9215	3.308 4634	1.55
326	0	0.000294	-37.737 3608	3.708 7842	16.65	374	0	0.000 191	1 066.068 6935	5.405 5160	0.59
327	0	0.000292	74.299 0061	2.714 3336	8.46	375	0	0.000 191	41.555 2491	4.401 1656	15.12
328	0	0.000292	1 234.573 9058	4.096 0941	0.51	376	0	0.000 191	614.455 8353	5.020 3934	1.02
329	0	0.000290	977.910 8676	1.812 3204	0.64	377	0	0.000 190	2 929.661 5390	4.175 6585	0.21
330	0	0.000290	309.788 3823	4.075 2916	2.03	378	0	0.000 189	523.792 1014	5.245 3130	1.20
331	0	0.000285	-53.321 4083	4.687 3132	11.78	379	0	0.000 189	15.377 8810	4.812 3726	40.86
332	0	0.000284	563.606 5017	5.655 3858	1.11	380	0	0.000 188	1 311.972 1103	2.032 1958	0.48
333	0	0.000280	1 235.996 6152	0.710 8725	0.51	381	0	0.000 188	147.886 6574	5.686 8658	4.25
334	0	0.000280	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	0.000276	2.429 8514	0.770 2994	258.58	383	0	0.000 187	1 191.914 0867	2.629 4566	0.53
336	0	0.000271	1 309.584 2665	3.208 9122	0.48	384	0	0.000 185	-20.936 6942	4.694 7566	30.01

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
385	0	0.000184	-493.3208440	3.3274769	1.27	430	0	0.000131	621.1263197	0.0850770	1.01
386	0	0.000181	1077.0893256	1.9994821	0.58	431	0	0.000130	-588.8449965	4.5276811	1.07
387	0	0.000180	608.4003849	0.6021822	1.03	432	0	0.000130	1129.3470674	0.9390394	0.56
388	0	0.000180	-34.8924420	2.4909021	18.01	433	0	0.000129	169.2165670	0.3514073	3.71
389	0	0.000175	512.7714693	4.7284433	1.23	434	0	0.000129	-8.5827299	2.5406351	73.21
390	0	0.000171	654.6159773	1.1828080	0.96	435	0	0.000128	938.0959673	3.2238443	0.67
391	0	0.000169	2099.5392966	2.1690806	0.30	436	0	0.000128	-652.5804454	3.8034200	0.96
392	0	0.000168	1672.3350143	0.0278606	0.38	437	0	0.000126	565.7405658	5.1465923	1.11
393	0	0.000167	14.6594252	0.7599691	42.86	438	0	0.000126	588.1403728	5.5775025	1.07
394	0	0.000166	2314.1558383	3.4541327	0.27	439	0	0.000126	1130.0584221	3.4852807	0.56
395	0	0.000165	-766.8637425	4.2982121	0.82	440	0	0.000123	1940.2796953	4.5380744	0.32
396	0	0.000163	1778.2732073	4.9605931	0.35	441	0	0.000123	210.7034508	1.7286273	2.98
397	0	0.000162	968.3594581	5.7200924	0.65	442	0	0.000123	606.6595361	4.5170995	1.04
398	0	0.000162	625.4626663	1.4351321	1.00	443	0	0.000121	3694.9230808	6.0723321	0.17
399	0	0.000161	12.7471797	2.8625747	49.29	444	0	0.000121	13.7033024	4.5391082	45.85
400	0	0.000159	1673.7577237	3.6006915	0.38	445	0	0.000121	-54.3918059	6.1094295	11.55
401	0	0.000158	16309.6180361	2.9571285	0.04	446	0	0.000120	5.2596640	0.9485163	119.46
402	0	0.000157	619.7248551	1.2843759	1.01	447	0	0.000119	1002.7903196	3.2174312	0.63
403	0	0.000154	9.5979227	3.3668906	65.46	448	0	0.000119	632.1208886	2.5474963	0.99
404	0	0.000152	-572.9506447	0.7341175	1.10	449	0	0.000119	2280.5735566	2.8690406	0.28
405	0	0.000151	427.4518311	4.4043591	1.47	450	0	0.000118	2274.3409380	4.8811231	0.28
406	0	0.000151	1662.7370915	3.9857021	0.38	451	0	0.000117	607.2958148	0.3663246	1.03
407	0	0.000149	1172.0068865	0.6597219	0.54	452	0	0.000117	-624.5048177	5.3795190	1.01
408	0	0.000148	-641.8140930	3.3841050	0.98	453	0	0.000115	-52.5758812	5.8952222	11.95
409	0	0.000148	15.1047670	3.7991096	41.60	454	0	0.000115	6.5220371	3.5049148	96.34
410	0	0.000146	-417.6041342	4.6600085	1.50	455	0	0.000114	72.8762967	0.5207918	8.62
411	0	0.000146	1108.0171579	3.3696954	0.57	456	0	0.000113	5109.2726051	2.7914831	0.12
412	0	0.000146	-7.7750544	3.1215766	80.81	457	0	0.000113	-787.5671864	2.7257711	0.80
413	0	0.000146	579.2741761	0.7084266	1.08	458	0	0.000113	733.0728427	0.6563721	0.86
414	0	0.000146	448.7817406	4.8152970	1.40	459	0	0.000113	-627.7552926	2.7889041	1.00
415	0	0.000144	-66.4756045	5.3813669	9.45	460	0	0.000112	1609.7679950	3.5890263	0.39
416	0	0.000143	670.9674041	4.3176256	0.94	461	0	0.000109	417.1425537	4.0333381	1.51
417	0	0.000142	8378.3548222	2.9363147	0.07	462	0	0.000109	136.8660253	0.0147305	4.59
418	0	0.000141	621.9339952	0.6790687	1.01	463	0	0.000108	-1253.9853380	3.7161338	0.50
419	0	0.000140	1845.1078547	0.6420491	0.34	464	0	0.000107	1606.2184526	4.0665200	0.39
420	0	0.000139	2353.9707386	2.0281954	0.27	465	0	0.000107	534.1013788	0.2882319	1.18
421	0	0.000138	21.0117702	2.5642161	29.90	466	0	0.000106	562.1842923	1.8153233	1.12
422	0	0.000138	601.6468808	6.0961890	1.04	467	0	0.000104	-56.8821874	2.2057345	11.05
423	0	0.000138	628.1591377	2.7974503	1.00	468	0	0.000104	981.4604100	1.9599672	0.64
424	0	0.000138	197.5492546	2.3146085	3.18	469	0	0.000103	632.1103523	2.4404211	0.99
425	0	0.000135	620.5325306	1.6380540	1.01	470	0	0.000103	90.9818733	2.8127454	6.91
426	0	0.000134	1234.1806904	2.5985768	0.51	471	0	0.000101	624.7911760	3.4413470	1.01
427	0	0.000133	6447.1991241	6.0564041	0.10	472	0	0.000101	179.0642638	1.9657460	3.51
428	0	0.000133	-533.1357444	5.4097019	1.18	473	0	0.000101	269.9734819	5.4816032	2.33
429	0	0.000131	1361.3804277	4.0057329	0.46	474	0	0.000101	11.1430161	5.7110337	56.39

Table 2.3. (fin).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	1	10.215672	628.3075850	4.2490320	1.00	46	1	0.000305	564.3178564	1.3626344	1.11
2	1	0.170681	1256.6151700	4.2059042	0.50	47	1	0.000303	41.9484644	5.2864738	14.98
3	1	0.026967	21.3299095	3.4002905	29.46	48	1	0.000299	469.0479836	6.2358721	1.34
4	1	0.026592	52.9690965	5.8360474	11.86	49	1	0.000297	681.2766815	1.5830127	0.92
5	1	0.021057	-0.3523118	6.2627383	1783.42	50	1	0.000293	521.6580373	2.3199513	1.20
6	1	0.007800	522.3693920	4.6703442	1.20	51	1	0.000289	586.3591206	0.0951976	1.07
7	1	0.005915	2.6298320	1.0830447	238.92	52	1	0.000266	315.4687085	2.4874479	1.99
8	1	0.005476	157.7343542	4.5348002	3.98	53	1	0.000259	1235.2852605	1.9919358	0.51
9	1	0.003442	-39.8149003	5.9800774	15.78	54	1	0.000257	80.1820931	3.4256115	7.84
10	1	0.003359	550.7553239	5.9801623	1.14	55	1	0.000250	643.8496249	2.9947798	0.98
11	1	0.003209	1884.9227550	4.1629135	0.33	56	1	0.000244	1044.7387840	2.3471392	0.60
12	1	0.002920	585.6477659	0.6238119	1.07	57	1	0.000243	523.0807467	3.0847528	1.20
13	1	0.002776	15.5420399	3.7453181	40.43	58	1	0.000205	708.4896781	0.5263239	0.89
14	1	0.002519	574.6271338	2.9803305	1.09	59	1	0.000189	803.1092263	3.5690037	0.78
15	1	0.002498	576.0498432	2.4679137	1.09	60	1	0.000180	-7143.0695618	2.1922960	0.09
16	1	0.002300	-79.6298007	1.1744118	7.89	61	1	0.000178	0.3932153	5.1804337	1597.90
17	1	0.002177	20.6185548	3.8547875	30.47	62	1	0.000174	627.9552732	0.0874840	1.00
18	1	0.001792	-77.5522611	1.0920660	8.10	63	1	0.000174	584.9364112	0.4175584	1.07
19	1	0.001379	42.6598191	2.6998320	14.73	64	1	0.000170	-159.2596014	3.9970977	3.95
20	1	0.001328	606.2663208	5.8458019	1.04	65	1	0.000169	-470.5732308	4.6417792	1.34
21	1	0.001287	607.6890302	5.3334257	1.03	66	1	0.000168	3.8133036	4.1645294	164.77
22	1	0.001215	105.9381930	6.2228745	5.93	67	1	0.000164	842.9241266	2.1806196	0.75
23	1	0.001177	1203.6460735	2.2928321	0.52	68	1	0.000163	763.2943260	4.9684457	0.82
24	1	0.001108	-0.7113547	5.1547250	883.27	69	1	0.000146	429.2330833	1.3560981	1.46
25	1	0.001014	469.4002955	4.0440138	1.34	70	1	0.000144	1149.9656223	0.9743879	0.55
26	1	0.001008	52.2577418	0.7493203	12.02	71	1	0.000144	2.0355319	3.8954394	308.68
27	1	0.000936	548.6777843	3.4160814	1.15	72	1	0.000137	1414.3495242	3.9875766	0.44
28	1	0.000863	627.5962303	4.5620602	1.00	73	1	0.000136	1151.3883317	0.4955723	0.55
29	1	0.000859	1097.7078805	2.7771526	0.57	74	1	0.000134	723.4794256	0.0904543	0.87
30	1	0.000816	-22.0412642	5.8068915	28.51	75	1	0.000126	683.6645253	1.5090694	0.92
31	1	0.000775	254.4314420	1.6031971	2.47	76	1	0.000117	10.3092774	2.8384968	60.95
32	1	0.000767	214.6165416	3.0002004	2.93	77	1	0.000116	416.4311990	3.4083878	1.51
33	1	0.000710	7.4781599	0.4437258	84.02	78	1	0.000109	606.9776755	3.6179427	1.04
34	1	0.000618	-53.6804512	1.3026428	11.70	79	1	0.000101	-625.6777530	0.6618265	1.00
35	1	0.000609	174.8016413	4.4037652	3.59	80	1	0.000101	1778.9845620	0.2863502	0.35
36	1	0.000598	-119.4447010	2.5834726	5.26	81	1	0.000101	63.9897286	1.6107621	9.82
37	1	0.000582	508.8628840	4.8277235	1.23						
38	1	0.000526	55.3569403	2.3361073	11.35	1	2	0.043230	628.3075850	2.6428937	1.00
39	1	0.000494	-628.6598968	0.2683052	1.00	2	2	0.004065	0.0000000	4.7123890	
40	1	0.000477	134.9867410	5.8086367	4.65	3	2	0.001226	1256.6151700	2.4381406	0.50
41	1	0.000469	-24.2728604	5.1548906	25.89	4	2	0.000195	21.3299095	1.6421870	29.46
42	1	0.000423	95.1718406	0.9311722	6.60	5	2	0.000169	52.9690965	4.5109593	11.86
						6	2	0.000134	-0.3523118	1.5022103	1783.42
43	1	0.000340	-235.2866154	2.5521899	2.67						
44	1	0.000321	-0.7046237	1.8637965	891.71	1	3	0.000143	628.3075850	1.1314536	1.00
45	1	0.000306	943.7762935	4.2264206	0.67						

CHAPITRE 3

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

A. FIENGA (3.1 & 3.3) , V.A. BRUMBERG (3.2), F. ARIAS (3.4), Z. ALTAMIMI (3.5),
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. Il est de plus possible de déduire un système inertiel d'un 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'observations, 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 placant dans la configuration des vitesses faibles et de champs faible, introduire des corrections relativistes. Or, dans le cadre de la relativité générale, il n'y a plus de véritable séparation entre les coordonnées spatiales et temporelle. Il devient alors nécessaire de définir de nouveaux concepts de systèmes de référence et d'échelles de temps. Dans le paragraphe 3.2, de tels systèmes et échelles de temps sont présentés et des relations entre les différents systèmes de référence sont établies.

Dans la pratique, l'observateur ou l'utilisateur d'éphémérides est essentiellement concerné par les repères de référence, matérialisations physiques des systèmes de références (voir paragraphe 3.3). Comme toute matérialisation physique, ces repères présentent des imperfections et les progrès des techniques d'observation et des théories de la 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. Enfin, 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). On peut voir à ce sujet les commentaires de Brumberg et Groten (2001), l'explication détaillée de Soffel et al. (2003) et la discussion sur les applications pratiques de cette résolution dans (IERS, 2002).

3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

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

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

au géocentre et inversement. De telles invariances n'ont plus cours en astronomie relativiste. Afin d'éviter des confusions, on doit aller plus loin que le cadre des systèmes ICRS et ITRS.

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

3.2.3. Description mathématique

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

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

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

où P_C et P_Q sont des matrices de rotation constante. Cette rotation constante est aussi présente au niveau géocentrique dans les transformations entre systèmes du même type (D ou K). En comparant

les solutions planétaires VSOP construites dans le BRSC et les éphémérides numériques DE403 dans l'ICRS on a

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

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

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

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

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

et

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dans (3.2.7), la sommation est effectuée sur tous les corps A du système solaire (le Soleil, la Lune et les planètes principales), à l'exception de la Terre notée E . Bretagnon et Brumberg (2003) donnent une expression détaillée de 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 ($L_C = 1.480826855667 \times 10^{-8}$ pour les solutions VSOP) et où $A_p(t)$ est déterminé numériquement ou analytiquement sous la forme

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

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

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

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

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

d'où l'on déduit

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

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

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

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

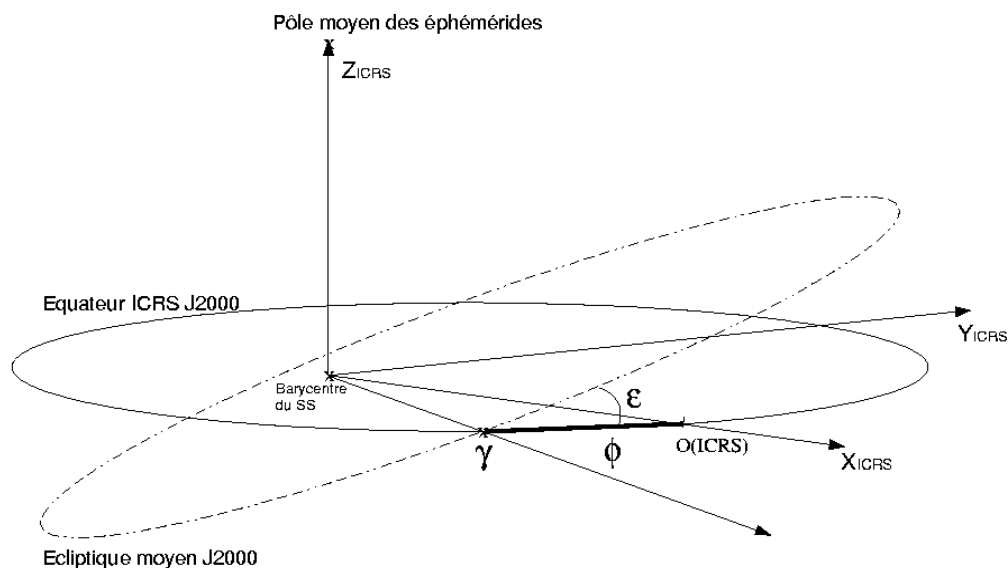


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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

3.3.2. Définitions

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

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

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

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

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

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

3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3.3.2. *Éphémérides semi-analytiques de la Lune*

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

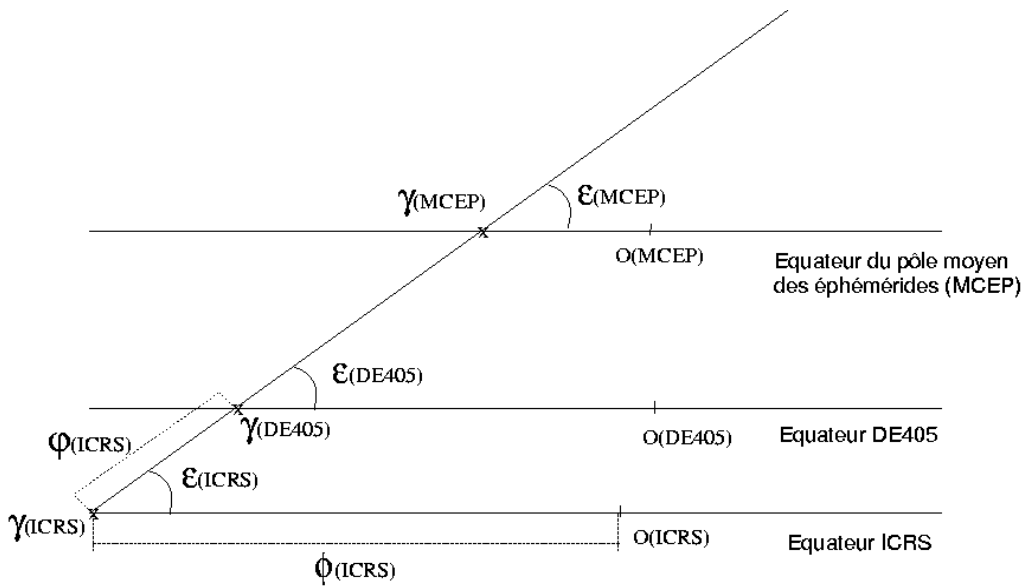


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccordements entre systèmes de référence (d'après Chapront et al., 2002).

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

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

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

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

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

3.3.3.3. Ephémérides 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 Bamberg. Les solutions VSOP200x ont été ajustées à DE403 (Standish et al., 1995), sur l'intervalle de temps [1890, 2000]. Enfin, ces solutions sont de très grande précision, au moins dix fois meilleures que les solutions VSOP82/87 sur un intervalle de temps de l'ordre de quelques dizaines d'années.

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

3.3.4. Conclusion

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

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

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

3.4.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique

Au cours des quinze 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).

3.4.3. Définition de l'ICRS

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

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

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

L'UAI a recommandé que l'origine des ascensions droites de l'ICRS soit proche de l'équinoxe dynamique J2000. Dans l'analyse VLBI, il n'est pas possible de séparer l'origine des ascensions droites, de la longitude de la ligne de base de l'interféromètre car l'origine des ascensions droites

n'est pas fixée. L'axe Ox du système ICRS a été fixé implicitement dans sa première réalisation par l'adoption des ascensions droites des vingt-trois radiosources extragalactiques primaires (Arias et al., 1988). Ces coordonnées ont été dérivées d'un ensemble de catalogues VLBI compilés en adoptant pour l'ascension droite du quasar 3C273B la valeur de Hazard et al. (1971) dans le système FK5 (12h 29m 06.6997s en J2000).

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

3.4.4. Maintenance de l'ICRS

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

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

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

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 (Kovalevsky et al., 1997). Le rattachement entre le repère de référence VLBI et le repère Hipparcos a fait partie du programme Hipparcos.

Les éphémérides planétaires et lunaires sont orientées sur l'ICRS. Des études réalisées par Folkner et al. (1994) montrent que le raccordement entre l'ICRF et le repère dynamique défini à partir des éphémérides planétaires du JPL est connu à mieux que ± 3 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). 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.

L'ICRF (Ma et al. 1997 et 1998) est le résultat de l'analyse de toutes les observations VLBI disponibles sur la période 1979-1995. Les analyses VLBI qui ont servi à l'établissement de l'ICRF ont été effectuées afin de trouver un bon compromis entre des objectifs parfois divergents : le plus grand nombre de données et l'erreur systématique la plus faible possible, les meilleurs modèles et l'utilisation pratique la plus simple, le plus grand nombre de paramètres estimés et le temps de calcul. Les vitesses de retard sont introduites dans l'analyse. Les observations en dessous de 6° de hauteur sont rejetées. Le modèle linéaire de troposphère est complété par l'estimation de gradients. En ce qui concerne la position du pôle céleste, des corrections aux modèles UAI 1976 de la précession et UAI 1980 de la nutation ont été apportées dans l'analyse.

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

Une source radio doit satisfaire les quatre critères pour servir à la définition (et maintenance) des axes du système.

- 1) Concernant l'historique des observations, on demande un minimum de vingt observations sur un intervalle supérieur à deux ans.
- 2) Les incertitudes en ascension droite et en déclinaison doivent être inférieures à 1 mas.
- 3) D'autres solutions VLBI ont été calculées avec des données acquises par des réseaux de stations différents et analysées avec des logiciels différents. Ces solutions indépendantes ont été comparées à la solution qui a servi de base à l'ICRF après avoir enlevé leurs orientations relatives. Les objets

dont les différences de coordonnées étaient supérieures à 0.5 mas, ou pour lesquels la différence avec la solution de base dépassait 3σ (σ étant l'incertitude de la solution pour l'ICRF) n'ont pas été retenus comme sources de définition.

4) En ce qui concerne la structure, plusieurs tests ont été utilisés. D'une part, une variation temporelle dans la structure de la source se manifeste comme un déplacement de son centre d'émission ; on peut donc la détecter en calculant les variations de ses coordonnées avec le temps que l'on peut interpréter comme un mouvement propre apparent. D'autre part, il a été montré que la correction de structure calculée à partir de cartes ne doit pas dépasser 10 picosecondes. Fey et Charlot (1997) ont développé des méthodes de détermination des effets de structure et ont établi des indices pour quantifier ces effets.

Le nombre total de sources radio extragalactiques dans la première réalisation de l'ICRF 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*. Elles pourraient devenir des sources de définition dans le futur. Cent deux sources ont montré d'importants changements dans leurs positions. Elles ont été néanmoins conservées dans le repère comme *autres sources*, quelques unes étant nécessaires pour rattacher l'ICRS avec d'autres systèmes de référence. La plupart des sources de définition de l'ICRF ont des incertitudes inférieures à 0.5 mas. 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.

3.4.7. Extensions de l'ICRF

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'ICRF existent déjà. Elles ont été élaborées par le même groupe d'experts qui a calculé la première réalisation du repère de référence céleste international.

Les deux extensions de l'ICRF ont eu pour objectif de densifier l'ICRF avec l'apport de coordonnées de nouvelles sources au repère. Les sources de définition, de même que leurs coordonnées, restent celles de l'ICRF. La première extension de l'ICRF, 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.

3.4.8. Futur de l'ICRS

Suivant les recommandations de l'UAI, les programmes astrométriques et géodésiques d'observation VLBI incluent des sources radio dans la maintenance de l'ICRF. Des observations de VLBA (Very Long Baseline Array) peuvent être utilisées afin de mieux connaître la structure des sources radio et la densification du repère. Par ailleurs, il y a eu un progrès significatif dans la connaissance des changements des positions des radiosources. Des analyses menées par Feissel-Vernier (2002) ont conclu qu'il est possible de raffiner la sélection des sources radio stables pour conserver l'orientation des axes du système, si aux critères appliqués pour le choix des sources de définition de l'ICRF on ajoute des analyses statistiques sur les séries temporelles des coordonnées des sources radio. Sur la base de cette sélection, Arias et Bouquillon (2004) ont montré qu'avec l'ensemble de sources de Feissel-Vernier les axes de l'ICRS deviennent plus stables. Tenant compte de ces améliorations, il est fort probable qu'une nouvelle version de l'ICRF soit élaborée dans un futur proche.

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. SIM (Space Interferometry Mission) a pour objectif d'étendre les mesures de distance à des objets plus lointains et de faibles magnitudes. Ce projet, qui devrait durer cinq ans, compte mesurer 10^5 objets jusqu'à la magnitude 20 avec une exactitude de 4 micro-secondes de degré pour les parallaxes et 1-2 micro-secondes de degré pour les mouvements propres annuels. GAIA (Global Astrometry Interferometer for Astrophysics) peut être considérée comme une extension de la mission Hipparcos, les 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 et de ses déformations, repose sur le positionnement de points à la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. La détermination des positions nécessite en premier lieu des mesures (ou observations) utilisant des techniques classiques (terrestres) ou spatiales et 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 sont donc des quantités ni 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 définit un *Repère de Référence Terrestre* (RRT) comme matérialisation physique du SRT. La distinction entre "système de référence" et "repère de référence" est donc subtile, le premier étant plutôt invariable et inaccessible, le deuxième étant accessible et perfectible.

L'utilisation des techniques spatiales depuis une vingtaine d'années a bouleversé les techniques de positionnement à la surface de la Terre. 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'UAI, l'UGGI et l'Association Internationale de Géodésie (AIG) à adopter, en 1991, l'ITRS (International Terrestrial Reference System) comme système de référence terrestre unique, pour toutes les applications relatives aux sciences de la Terre.

La réalisation de l'ITRS, appelée ITRF (International Terrestrial Reference Frame), par les techniques modernes de géodésie spatiale a été confiée à l'IERS, créé en 1988. L'IERS est en charge de trois références globales : l'ITRS, l'ICRS et la rotation de la Terre qui relie les deux systèmes.

Le principe 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 telle que l'interférométrie à très longues lignes de base (VLBI), la télémétrie laser de la Lune (LLR) et de satellites (SLR, Satellite Laser Ranging), 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 SRT est un système de référence spatial tournant avec la Terre dans son mouvement diurne dans l'espace. Dans ce système, les 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). Le SRT n'étant théoriquement pas accessible, on lui associe une réalisation physique, appelée RRT, défini par un ensemble de points physiques ayant des coordonnées estimées (cartésiennes, géographiques ou cartographiques) et exprimées dans le SRT.

Afin de suivre la terminologie adoptée depuis une vingtaine par les communautés géodésique et astronomique (Kovalevsky et Mueller, 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.

Un *système de référence conventionnel* est défini par l'ensemble de conventions, paramètres constants et algorithmes qui influence la détermination des coordonnées des points.

Un *repère de référence conventionnel* est défini par un ensemble de points physiques avec leur coordonnées et qui constitue une réalisation physique d'un système de référence idéal.

Un *système de référence idéal* est modélisé par un repère affine (O, E) dans un espace euclidien orthogonal où, O , l'origine, est un point quelconque de l'espace et E est une base orthogonale vérifiant :

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

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

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

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

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

$$X_2 = T + \lambda \mathcal{R} X_1 \quad (3.5.2)$$

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

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

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

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

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

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

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

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 :

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

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. 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, échelle, orientation et évolution temporelle.

Les techniques de géodésie spatiale ne sont pas toutes sensibles à tous les paramètres de définition du RRT. L'origine étant le centre des masses (point autour duquel le satellite gravite) 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, non observables, sont arbitrairement ou conventionnellement définies. Il est cependant recommandé de définir l'évolution temporelle de l'orientation par une condition de non-rotation globale par rapport aux mouvement horizontaux sur la surface de la Terre.

Les observations des techniques de géodésie spatiale ne contenant pas tous les paramètres nécessaires pour établir un RRT, des informations externes supplémentaires sont donc nécessaires

pour compléter la définition du RRT. Cette situation est reflétée par le fait que la matrice normale, N , construite à partir des observations, 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 :

1. *Contraintes d'égalité.* Ce sont des solutions pour lesquelles les positions et vitesses des stations sont contraintes à des valeurs externes à une incertitude (σ) près. L'équation d'observation correspondante peut s'écrire sous la forme suivante :

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

où X est le vecteur des paramètres estimés (positions et/ou vitesses) et X_0 est celui des paramètres a priori. Il y a cependant 3 types de contraintes d'égalité :

- contraintes détachables où les incertitudes (σ) sont de l'ordre de 10^{-5} m pour les positions (respectivement m/an pour les vitesses). Elles portent ce nom car elles peuvent être numériquement dissociées de la solution (si la matrice de contraintes est connue) et être remplacées par des contraintes minimales (voir ci-dessous)
 - contraintes lâches où les incertitudes sont $\sigma \geq 1$ m pour les positions et ≥ 10 cm/an pour les vitesses.
 - contraintes fortes ($\sigma \leq 10^{-10}$ m) qui sont numériquement difficiles à enlever et qui altèrent probablement la qualité des paramètres estimés.
2. *Contraintes minimales.* Elles servent uniquement à définir le RRT avec un minimum d'information. Ce sont des contraintes appliquées non pas sur les paramètres estimés mais sur les paramètres définissant le RRT (origine, échelle, orientation). Pour plus de détails sur les concepts et l'utilisation des contraintes minimales, voir par exemple, (Sillard et Boucher, 2001) et (Altamimi et al., 2001, 2003b).

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

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

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

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

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

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

Le modèle de combinaison ci-dessus peut être étendu pour inclure les paramètres de rotation de la Terre (PRT). L'introduction des PRT dans le modèle de combinaison est gouvernée par les équations suivantes, faisant intervenir les coordonnées du pôle x_s^p , y_s^p et le Temps universel UT_s ainsi que leurs variations journalières \dot{x}_s^p , \dot{y}_s^p et LOD_s :

$$\begin{aligned}
x_s^p &= x^p + R2_k \\
y_s^p &= y^p + R1_k \\
UT_s &= UT - \frac{1}{f} R3_k \\
\dot{x}_s^p &= \dot{x}^p + \dot{R}2_k \\
\dot{y}_s^p &= \dot{y}^p + \dot{R}1_k \\
LOD_s &= LOD + \frac{\Lambda_0}{f} \dot{R}3_k
\end{aligned} \tag{3.5.12}$$

où $f = 1.002737909350795$ est le facteur de conversion de temps universel en temps sidéral. Considérant $LOD = -\Lambda_0 \frac{dUT}{dt}$, Λ_0 est homogène à dt ($\Lambda_0 = 1$ jour en unité temps).

Il faut noter que le lien entre les PRT et le RRT est assuré par les trois angles de rotation $R1$, $R2$, $R3$, et leurs variations par rapport au temps $\dot{R}1$, $\dot{R}2$, $\dot{R}3$. Par conséquent les PRT sont gouvernés par le repère combiné, de sorte que s'il y a un biais dans la définition ou l'établissement du RRT combiné il se répercutera sur les PRT eux-mêmes. Il est de ce fait nécessaire d'assurer la stabilité de l'orientation du RRT dans le temps.

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 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, avant la création, en 1988, de l'IERS.

Depuis, dix versions de l'ITRF ont été publiées, la première étant l'ITRF88 et la dernière, l'ITRF2000, chaque nouvelle version améliorant la précédente.

3.5.4.2. Définition de l'ITRF

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

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

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

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

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

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

La précision des positions de stations ITRF et de leurs vitesses est devenue meilleure, grâce aux améliorations apportées par les centres d'analyses et la réalisation par combinaison de l'ITRF. La figure 3.5.2. représente les erreurs sphériques formelles en positions et en vitesses, comparant ITRF94, 96, 97, et ITRF2000.

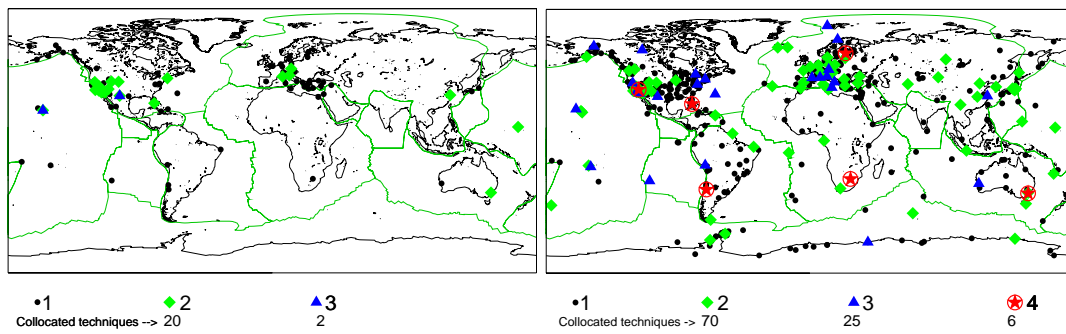


Fig. 3.5.1. Les sites et colocalisations ITRF88 (gauche) et ITRF2000 (droite).

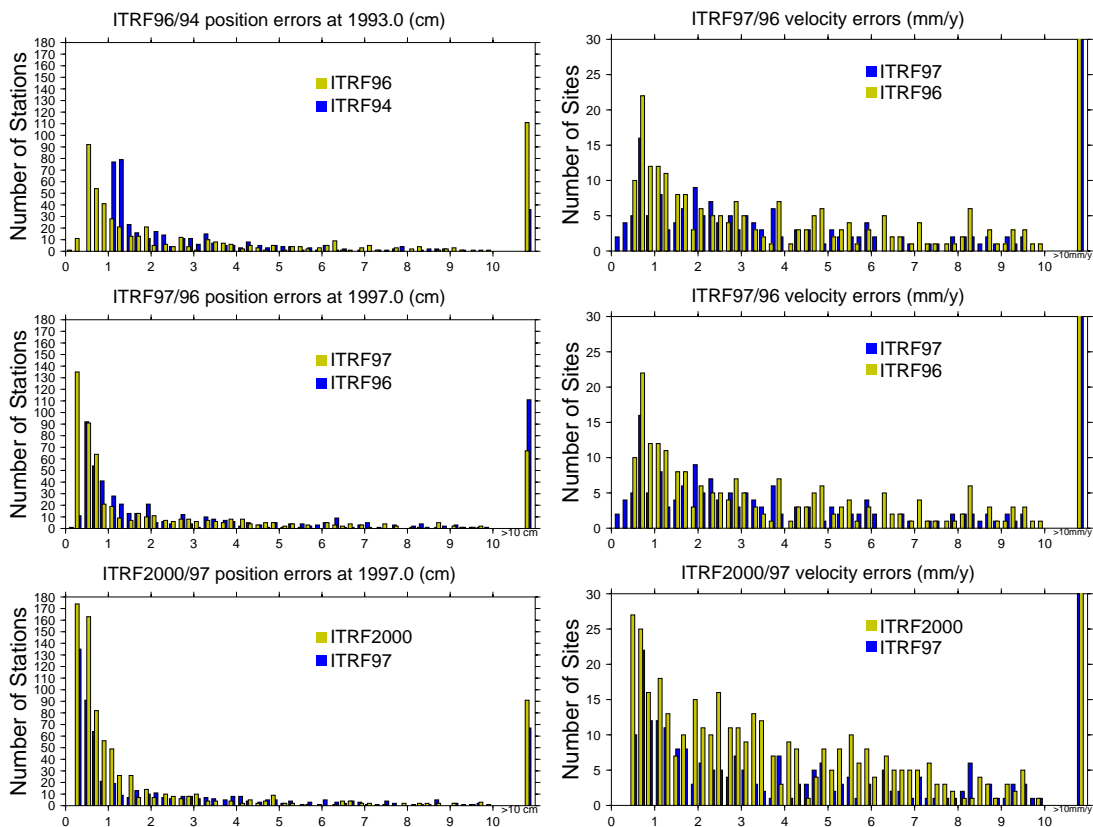


Fig. 3.5.2. Évolution des erreurs formelles selon les versions ITRF en positions (gauche) et en vitesses (droite)

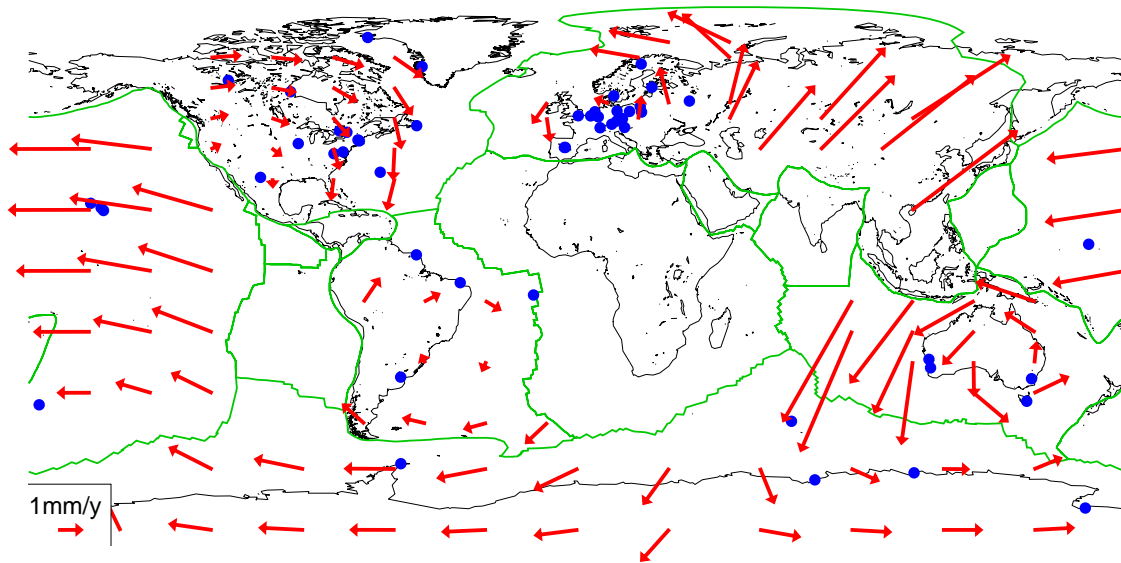


Fig. 3.5.3. Différences des vitesses entre l'ITRF2000 et le modèle NNR-NUVEL-1A

3.5.5. L'ITRF2000

Actuellement, l'ITRF2000 représente la version courante de l'ITRF.

L'ITRF2000 est une solution étendue et améliorée dans le but de servir de référence à la fois pour le positionnement et les applications aux sciences de la Terre. En plus des sites primaires, VLBI, SLR, GPS et DORIS, l'ITRF2000 comprend une densification par des réseaux GPS régionaux en Alaska, Antarctique, Asie, Europe, Amérique 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 obtenue en fixant à zéro les translations et leurs dérivées entre l'ITRF2000 et une moyenne pondérée de cinq solutions SLR.
- L'échelle est obtenue par une moyenne pondérée des cinq solutions SLR et de trois solutions VLBI. Contrairement à l'échelle de l'ITRF97 compatible avec le TCG, l'ITRF2000 est compatible avec le TT.
- L'orientation est obtenue 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).

Les résultats de l'ITRF2000 ont montré un désaccord significatif avec le modèle NUVEL-1A en terme de mouvements relatifs entre plaques tectoniques (Altamimi et al., 2002). Cependant l'alignement de l'orientation différentielle de l'ITRF2000 au modèle NNR-NUVEL-1A est assurée

à 1 mm/an (Altamimi et al., 2003). Par conséquent, bien que l'ITRF2000 soit globalement aligné sur le modèle NNR-NUVEL-1A, des différences de vitesses au niveau régional peuvent atteindre 3mm/an comme le montre la figure 3.5.3.

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

3.6.1. Introduction

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

Cette transformation de coordonnées s'effectue en deux étapes. La première étape, qui correspond au passage d'un système de référence centré au barycentre du système solaire à un système de référence centré au centre de masse de la Terre, a été décrite en 3.2. dans le cadre de la forme générale de la transformation entre les systèmes de référence relativistes notés BCRS et GCRS. Cette transformation prend en compte les effets de parallaxe annuelle et d'aberration annuelle à la date d'observation, ainsi que l'effet de déflexion de la lumière dans le champ gravitationnel des corps du système solaire (excepté la Terre). Cela permet de passer des coordonnées d'un objet céleste données par un catalogue ou par une éphéméride à ses coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS, appelés couramment coordonnées *apparentes* (cf. 3.3). La deuxième étape, qui correspond au passage des coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS aux coordonnées dans le système de référence terrestre ITRS, prend en compte l'orientation de la Terre dans le système de référence céleste à la date d'observation.

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

3.6.2. Expression générale de la transformation

Les directions d'étoiles ou de quasars observés depuis la Terre à une certaine date se rapportent directement à un axe intermédiaire très proche de l'axe instantané de rotation. On est ainsi amené à introduire, dans le passage entre les systèmes de référence ITRS et GCRS, un système de référence céleste instantané dit *intermédiaire*, défini de façon conventionnelle de façon à exprimer au mieux les quantités observées au cours des réductions d'observations. Ainsi, pour effectuer le passage

du GCRS à l'ITRS, on passe d'abord des axes du système de référence céleste géocentrique dans lequel les coordonnées des directions des objets célestes sont calculées aux axes du système de référence intermédiaire instantané. Ce passage inclut (i) une rotation indépendante du temps entre le GCRS et le système de référence équatorial moyen à l'époque de référence t_o et (ii) une rotation pour passer du système de référence équatorial moyen de l'époque t_o au système de référence intermédiaire animé du mouvement de précession et de nutation. L'axe Ox de ce système de référence intermédiaire est arbitraire, les ascensions droites d'étoiles ou de quasars étant déterminées de façon relative. Pour exprimer les coordonnées angulaires d'un astre dans le système de référence terrestre il faut ensuite tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle intermédiaire à partir de l'origine choisie ainsi que du déplacement de ce pôle par rapport à la Terre.

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

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

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

- le mouvement du pôle, ou déplacement du pôle intermédiaire par rapport au système de référence terrestre, dans $W(t)$;
- l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle, c'est-à-dire le long de l'équateur de la date, dans $R(t)$;
- le déplacement céleste du pôle intermédiaire, c'est-à-dire la précession-nutation, ainsi que l'écart entre le système de référence équatorial moyen de l'époque de référence et le système de référence céleste, dans $C(t)$.

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

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

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

d'améliorer l'exactitude de ses différentes composantes. L'utilisation de la NRO a été recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI adoptée en 2000.

3.6.3. Les résolutions 2000 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 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 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 étant appelées respectivement *origine céleste des éphémérides* (CEO, Celestial Ephemeris Origin) et *origine terrestre des éphémérides* (TEO, Terrestrial Ephemeris Origin). Il est à noter que les récentes recommandations du groupe de travail de l'UAI sur la nomenclature pour l'astronomie fondamentale proposent de renommer ces origines 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. On utilisera cette dénomination dans la suite.

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

donnée par Capitaine et al. (2000) :

$$\theta(UT1) = 2\pi (0.779\,057\,273\,2640 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 \times (t - 2451\,545.0)), \quad (3.6.3)$$

où t est la date julienne en UT1.

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

3.6.4. Les paramètres d'orientation de la Terre

3.6.4.1. Définition des paramètres à utiliser

L'orientation de la Terre dans un système de référence céleste, centré au centre de masse de la Terre, est donnée par trois paramètres. En fait, le mouvement de la Terre autour de son centre de masse comporte une composante non prévisible, constituée du mouvement du pôle et des variations de la vitesse angulaire de rotation, et une composante prévisible qui constitue la précession-nutation. Ces diverses composantes sont décrites dans le chapitre 4. La représentation de la rotation de la Terre exige la connaissance du mouvement de l'axe instantané de rotation à la fois dans le système de référence céleste et dans le système de référence terrestre, ainsi que du mouvement de rotation de la Terre autour de son axe de rotation. On utilise ainsi, en pratique, cinq paramètres appelés *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) (cf. 4.4). Deux d'entre eux représentent la trajectoire du pôle intermédiaire sur la sphère céleste, deux autres expriment les coordonnées, x_p , y_p , de ce pôle sur la sphère terrestre et le cinquième, la rotation de la Terre autour de l'axe du pôle. La connaissance de ces cinq paramètres en fonction de la date est indispensable pour effectuer la transformation (3.6.1).

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

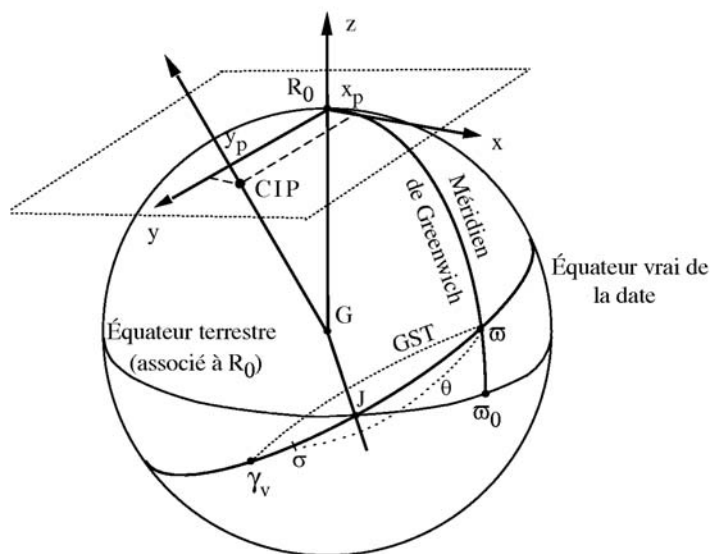


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

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

3.6.4.2. Définition du CIP

Selon la résolution B1.7 de l'UAI, 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 :

l'équateur mobile et les suivantes sont remplies par un choix approprié des valeurs numériques des coefficients.

3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

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

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

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

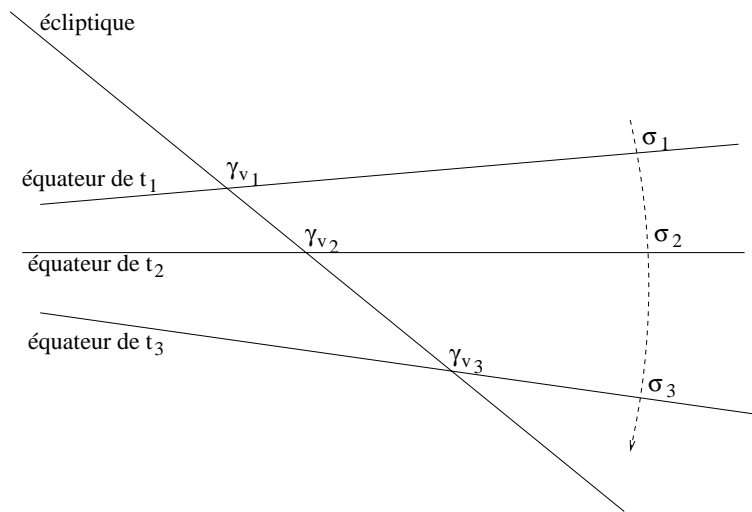


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

Soient d et E les coordonnées sphériques du CIP dans le système de référence céleste GCRS et $X = \sin d \cos E$, $Y = \sin d \sin E$, $Z = \cos d$ les coordonnées cartésiennes du vecteur unitaire dans

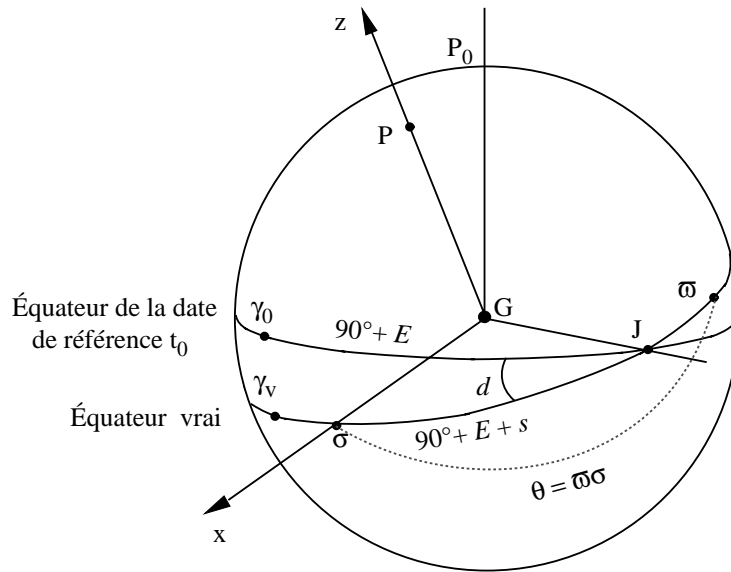


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

la direction du CIP. Avec les notations de la figure 3.6.3, la quantité $s = \sigma J - \gamma_0 J$ qui permet de positionner le CIO à tout instant à partir de l'origine fixe sur l'équateur fixe de l'époque t_0 , s'écrit sous la forme :

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

Ou bien, à des termes en d^4 près :

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

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

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

3.6.5.1). On obtient :

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

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 :

$$\theta = \omega_3 (t - t_0), \quad (3.6.7)$$

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

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

$$UT1 = (1/k) (\theta + a_0). \quad (3.6.8)$$

La définition conventionnelle de UT1 recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI et donnée par l'équation (3.6.3) a été déduite de la définition conceptuelle ci-dessus en utilisant des valeurs de k et a_0 cohérentes avec la précédente définition conventionnelle (Aoki et al., 1982) de UT1 en fonction du temps sidéral.

3.6.4.6. Relation entre le temps sidéral et UT1

Le temps sidéral à Greenwich GST est relié à l'ERA θ , au niveau de la microseconde de degré, par la relation suivante (Aoki & Kinoshita, 1983 ; Capitaine & Gontier, 1993) :

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

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

$\theta - GST$ 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 système 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 de l'UAI.

Désignons par x_p et y_p les coordonnées terrestres du CIP défini en 3.6.4.2. Du fait de la proximité de l'axe des z du système de référence terrestre et de l'axe du CIP, ces coordonnées, appelées *coordonnées du pôle*, sont des coordonnées angulaires différentielles par rapport au pôle terrestre origine. Par convention, elles sont comptées respectivement, le long du méridien terrestre origine, positivement vers Greenwich pour x_p et le long d'un axe perpendiculaire à ce méridien, positivement vers la longitude 90° ouest pour y_p . La matrice qui permet de tenir compte du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre, est le produit de deux matrices de rotation (autour de l'axe Gx pour la coordonnée y_p et de l'axe Gy pour la coordonnée x_p). L'utilisation de l'origine non-tournante dans le système de référence terrestre amène à introduire la quantité s' définie par l'équation (3.6.6). Cette rotation autour de l'axe Gz s'ajoute aux deux rotations précédentes, et l'effet total du déplacement terrestre de l'axe du CIP se traduit par la matrice de rotation :

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

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

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

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

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

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

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

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

3.6.5.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 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) :

$$\begin{aligned}
 X = & -0''.016\,616\,99 + 2\,004''.191\,742\,88t - 0''.427\,219\,05t^2 \\
 & - 0''.198\,620\,54t^3 - 0''.000\,046\,05t^4 + 0''.000\,005\,98t^5 \\
 & + \sum_i [(a_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(a_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(a_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT})] + \dots,
 \end{aligned} \tag{3.6.18}$$

$$\begin{aligned}
 Y = & -0''.006\,950\,78 - 0''.025\,381\,99t - 22''.407\,250\,99t^2 \\
 & + 0''.001\,842\,28t^3 + 0''.001\,113\,06t^4 + 0''.000\,000\,99t^5 \\
 & + \sum_i [(b_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(b_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(b_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT})] + \dots,
 \end{aligned} \tag{3.6.19}$$

où t est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay l, l', F, D, Ω), des longitudes des planètes $L_{Me}, L_{Ve}, L_E, L_{Ma}, L_J, L_{Sa}, L_U, L_{Ne}$ et de la précession p_A . Ces développements ont été déduits des expressions de X et Y (Capitaine, 1990) en fonction des quantités classiques de précession-nutation ; ils sont compatibles avec le modèle de nutation UAI 2000A et incluent les décalages à J2000 par rapport aux axes du GCRS (ξ_0, η_0 pour le CIP et $d\alpha_0$ pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 6.1. 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, $dX_{IAU2000} = d\psi_{IAU2000} \sin \varepsilon$ et $dY_{IAU2000} = d\varepsilon_{IAU2000}$, diffusées par l'IERS.

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 $10 \mu\text{s}$ (Capitaine et al., 2003a) :

$$\begin{aligned}
 s = & -XY/2 + 0''.000\,094 + 0''.003\,808t - 0''.000\,120t^2 - 0''.072\,574t^3 - 0''.002\,641 \sin \Omega \\
 & - 0''.000\,064 \sin 2\Omega - 0''.000\,012 \sin(2\lambda_{\odot} + \Omega) - 0''.000\,011 \sin(2\lambda_{\odot} - \Omega) \\
 & + 0''.000\,744t^2 \sin \Omega + 0''.000\,057t^2 \sin 2\lambda_{\odot} + 0''.000\,010t^2 \sin 2\lambda_{\zeta},
 \end{aligned} \tag{3.6.20}$$

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

Table 6.1. Termes périodiques les plus importants dans les développements des coordonnées $X(t)$ (partie supérieure) et $Y(t)$ (partie inférieure) du CIP dans le GCRS (unité $10^{-6''}$).

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

3.6.6. 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 G_x du système de référence intermédiaire est dirigé vers l'équinoxe.

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

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

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

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

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

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

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 :

$$\begin{aligned} \text{GST} = & 0.014506'' + \theta + 4612.15739966''t + 1.39667721''t^2 - 0.00009344''t^3 + 0.00001882''t^4 \\ & + \Delta\psi \cos \varepsilon_A - \sum_k C'_k \sin \alpha_k - 0.00000087''t \sin \Omega. \end{aligned} \quad (3.6.23)$$

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

Les valeurs numériques des angles de nutation $\Delta\psi$ et $\Delta\varepsilon$ 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 $d\varepsilon_{IAU2000}$. Les valeurs à utiliser pour les décalages à J2000 sont les valeurs associées au modèle UAI 2000 pour ξ_0 et η_0 et la valeur $d\alpha_0 = -0.0146''$ obtenue par Chapront et al. (2002) à partir d'observations LLR.

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

3.6.6.3. Comparaison avec l'expression 1982 de GMST

L'expression de GMST (Greenwich Mean Sidereal Time) compatible avec le modèle UAI 2000 de précession-nutation est donnée en fonction de l'ERA par la première ligne de l'expression (3.6.23) ;

elle est exprimée en secondes de degré puisque GST et ERA sont des angles. Pour comparer cette expression à celle d'Aoki et al. (1982), on l'exprime en fonction de UT1 en utilisant la relation (3.6.3) et on convertit l'expression obtenue en secondes de temps. On obtient ainsi, avec une résolution de $0.1 \mu\text{s}$:

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_u, t) = & \text{UT1} + 24110.5493771 + 8639877.3173760 t_u + 307.4771600 t \\ & + 0.0931118 t^2 - 0.0000062 t^3 + 0.0000013 t^4, \end{aligned} \quad (3.6.24)$$

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 :

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_u, t) = & \text{UT1} + 24110.5493771 + 8640184.7945360 t_u + 307.4771600 (t - t_u) \\ & + 0.0931118 t^2 - 0.0000062 t^3 + 0.0000013 t^4, \end{aligned} \quad (3.6.25)$$

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

$$\begin{aligned} \text{GMST82}(t_u) = & \text{UT1} + 24110.54841 + 8640184.812866 t_u \\ & + 0.093104 t_u^2 - 0.0000062 t_u^3. \end{aligned} \quad (3.6.26)$$

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. : 2003, 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. : 2003, ITRF2000 : From Theory to Implementation, *Proceedings of IAG V Hotine Marussi symposium*.
- Aoki, S., Guinot, B., Kaplan, G. H., Kinoshita, H., McCarthy, D. D., and Seidelmann, P. K. : 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., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 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, (sous presse).
- 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.
- 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., Feissel-Vernier, M., Gontier, A.-M., Jacobs, C., Li J., MacMillan, D.S. : 2004, *Astron. J.*, sous presse.
- Folkner, W.M., Charlot, P., Finger, M.H., Williams, J.G., Sovers, O.J., Newhall, XX, Standish, E.M. : 1994, Determination of the extragalactic-planetary frame tie from joint analysis of radio interferometric and lunar laser ranging measurements, *Astron. Astrophys.* **287**, 279.
- 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 mai
- 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, sous presse.
- 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. : 1989, in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolaczek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 1.
- Kovalevsky, J., Lindegren, L., Perryman, M.A.C., Hemenway, P.D., Johnston, K.J. et 20 co-auteurs : 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., Eubanks, T.M., Fey, A.L., Gontier, A.-M., Jacobs, C.S., Sovers, O.J., Archinal, B.A., Charlot, P. : 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., Requième, Y., Helmer, H., Fabricius, C., Einicke, O.H., Buontempo, M.E., Muiños, J.L., Rapaport, M. : 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.
- 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., Petit, G., Wolf, P., Kopeikin, S.M., Bretagnon, P., Brumberg, V.A. et 13 co-auteurs : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Souchay, J., Feissel, M., Bizouard, C., Capitaine, N., Bougeard, M.L. : 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**.
- 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).
- Schwan, H. : 1983, *Veröffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg* **30**, 47.
- 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),
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 les corps du système solaire (Lune, Soleil, planètes), les couches fluides à la surface du globe ou dans la croûte (atmosphère, océans, eaux souterraines et réseaux hydrologiques) et conditionnées par la structure interne de la planète (manteau, noyau liquide, graine solide) et sa rhéologie. Ce mouvement se décompose en deux parties, l'une modélisable et l'autre non modélisable. La partie modélisable provient de l'attraction gravitationnelle de la Lune, du Soleil et, dans une bien moindre mesure, des planètes, exercée sur le bourrelet équatorial de la Terre. Les mouvements réguliers des corps perturbateurs donnent naissance à des mouvements périodiques de l'axe de rotation terrestre dans un repère céleste : c'est la précession-nutation. Les amplitudes de ces oscillations sont soumises aux lois de la mécanique céleste et sont prédictibles. En revanche, les effets de l'atmosphère, des océans, ou des mouvements au sein de la Terre le sont difficilement. Les raisons sont à chercher dans notre méconnaissance des processus de circulation atmosphérique et océanique, et d'interaction (friction, charge) avec la croûte terrestre ainsi que des processus de couplages topographiques ou électromagnétiques entre le manteau et le noyau.

L'observation astrométrique s'effectue depuis des stations au sol dans un repère de référence terrestre. Les positions et mouvements des corps observés (Lune, étoiles, quasars) sont décrits dans le repère céleste. L'orientation de la Terre est l'orientation relative de ces deux repères de référence,

terrestre et céleste. La séparation entre variations lentes et rapides des angles d'orientation de la Terre, c'est-à-dire entre les mouvements de l'axe de figure de la Terre et la rotation diurne, nécessite 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). L'observation astrométrique donne ainsi accès à la position de cet axe à la fois dans le repère céleste et dans le repère terrestre. Le modèle de précession-nutation décrit la position de cet axe dans le repère céleste. Les observations permettent de déterminer les écarts entre le pôle intermédiaire observé et le pôle intermédiaire modélisé, ainsi que le vecteur joignant le pôle nord géographique à ce pôle céleste intermédiaire, vecteur usuellement rapporté au repère terrestre et que l'on nomme *mouvement du pôle*. Les techniques d'observation actuelles comme la radio-interférométrie à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry), le système de positionnement global (GPS, Global Positioning 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 cet axe à quelques dixièmes de millisecondes de degré près. 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'axe de figure de la Terre subit des variations d'orientation dans un repère céleste sous l'effet du couple gravitationnel externe (principalement luni-solaire mais aussi planétaire) sur le bourrelet équatorial, et, dans une moindre mesure, des couches fluides à la surface du globe et de la rotation libre du noyau fluide. L'axe de figure décrit ainsi dans un repère céleste un cône d'ouverture $23^{\circ}26'$ en 26000 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 rotation 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 la Terre, alors considérée comme indéformable, devrait 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. Chandler, en 1891, découvre que ces variations se scindent en un terme annuel et un terme de 14 mois. Ce terme de 14 mois est bien le mouvement libre prédit par Euler plus d'un siècle auparavant. Sa période est voisine de 433 jours et son allongement 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 de la Terre globale). On a montré récemment que le mécanisme d'excitation de ce mouvement libre est d'origine atmosphérique et océanique.

Outre cette oscillation libre dite *oscillation de Chandler* dont l'amplitude est voisine de 150 millisecondes de degré (mas), 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 $\Omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}$ 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 86400 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 millisecondes ;
- 2) aux marées zonales qui produisent des variations de l'ellipticité dynamique de la Terre 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 le terme annuel et 0.2 ms sur le terme semi-annuel.

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

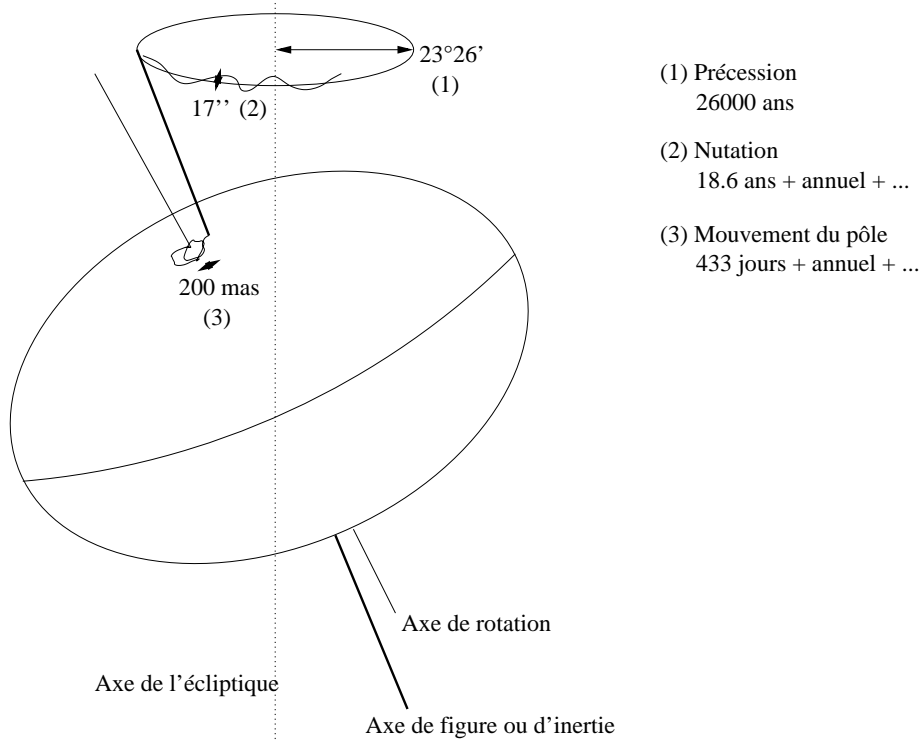


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

instantané de rotation s'exprime dans le repère terrestre par :

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

où $\Omega = 7.292115 \times 10^{-5}$ rad/s est la vitesse de rotation moyenne de la Terre et 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 $\bar{\mathbf{I}}$, et d'un moment cinétique "relatif" \mathbf{h} :

$$\mathbf{H} = \bar{\mathbf{I}}\boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}. \quad (4.1.3)$$

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, sa matrice d'inertie $\bar{\mathbf{I}}$ s'écrit :

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

où $A = B = 8.011 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$ et $C = 8.037 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$ sont les moments d'inertie principaux moyens de la Terre et les c_{ij} des incréments d'inertie supposés petits dus aux déformations ou aux anomalies de masse.

En explicitant l'équation (4.1.1) dans le repère terrestre (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 $m = m_1 + im_2$, $\Gamma = \Gamma_1 + i\Gamma_2$, $h = h_1 + ih_2$ et $c = c_{13} + ic_{23}$, on obtient les équations d'Euler-Liouville linéarisées :

$$\begin{aligned} m + \frac{i}{\sigma_r} \dot{m} &= \frac{i\Gamma}{A\Omega\sigma_r} - \frac{i\dot{c} - \Omega c}{A\sigma_r} - \frac{ih - \Omega h}{A\Omega\sigma_r}, \\ m_3 &= \int \frac{\Gamma_3}{C\Omega} dt - \frac{c_{33}}{C} - \frac{h_3}{C\Omega} + C^{te}, \end{aligned} \quad (4.1.6)$$

où $\sigma_r = \frac{C-A}{A}\Omega$ est la fréquence d'Euler correspondant à une période de 305 jours. Ces équations donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre en fonction d'une excitation qui apparaît sous la forme d'un moment de force extérieur (Γ_i) ou bien d'un déplacement de masse surfacique ou interne (moment cinétique relatif h_i), ou encore sous forme de déformations (les termes c_{ij} du tenseur d'inertie). Toutefois, ces variations c_{ij} sont causées en partie par des mouvements de masses produits par une force externe ou interne ou inertielle (gravitation lunisolaire, effet de charge océanique, atmosphérique, effet centrifuge induit par les variations de la vitesse de rotation, etc...). Le membre de droite prend le nom de fonction d'excitation. La partie indépendante du couple, comprenant donc les déformations et le moment cinétique relatif, est souvent notée χ pour la partie équatoriale et χ_3 pour la partie axiale.

4.1.3.2. Le mouvement du pôle

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

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

4.1.3.3. La durée du jour

L'excès de la longueur du jour par rapport au jour solaire moyen (86400 secondes) est :

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

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 :

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

où ψ est l'angle entre l'origine des longitudes sur l'écliptique moyen de l'époque de référence (équinoxe moyen) et le noeud ascendant de l'équateur sur l'écliptique, θ est l'inclinaison entre l'équateur et l'écliptique (comptée à partir de l'équateur), et ϕ est la longitude écliptique de l'origine du repère terrestre. Pour retrouver les angles de nutation classiques, on a $\Delta\psi \sin \theta = \Delta\psi \sin \epsilon$ et $\Delta\theta = -\Delta\epsilon$. La précession est la partie polynomiale des paramètres ψ et θ alors que la nutation est constituée par leur partie périodique.

4.2. LA PRÉCESSION

4.2.1. Quantités liées à la précession

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

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

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

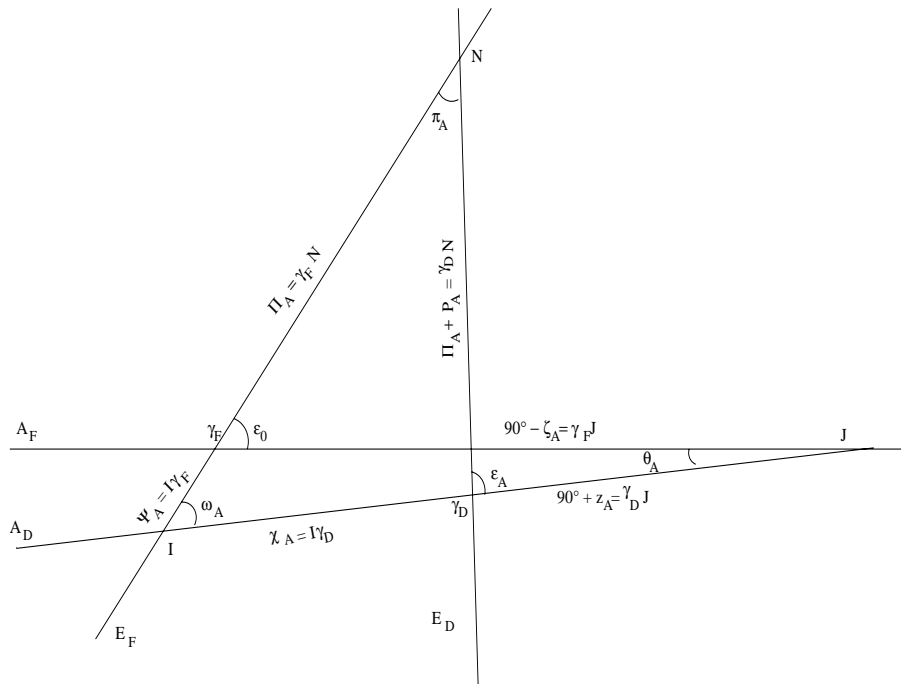


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

On note :

$$P_A = \sin \pi_A \sin \Pi_A, \quad Q_A = \sin \pi_A \cos \Pi_A \tag{4.2.2}$$

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.

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\varepsilon_0 = 84381.40880'' = 23^\circ 26' 21.40880''\tag{4.2.6}.$$

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

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

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

4.2.2.3. Le modèle de Capitaine, Wallace et Chapront (2003)

Pour calculer les quantités liées à la précession de l'écliptique les auteurs de ce modèle qu'ils notent P03, 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 à la non-rigidité de la Terre sont prises en compte d'une manière très complète.

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

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

4.2.2.4. Expressions de la précession et comparaisons entre les modèles

La table 4.2.1. donne les coefficients des polynômes du temps représentant la précession pour les douze variables définies par (4.2.1) et (4.2.2) et pour les trois modèles UAI 2000, B03 et P03. Ces polynômes peuvent aller jusqu'en t^3 pour UAI 2000, t^7 pour B03 et t^5 pour P03. Les coefficients sont exprimés en secondes de degré et le temps est compté en millier d'années juliennes à partir de J2000.

On peut constater que les modèles B03 et P03 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 P03 d'une part et B03 et

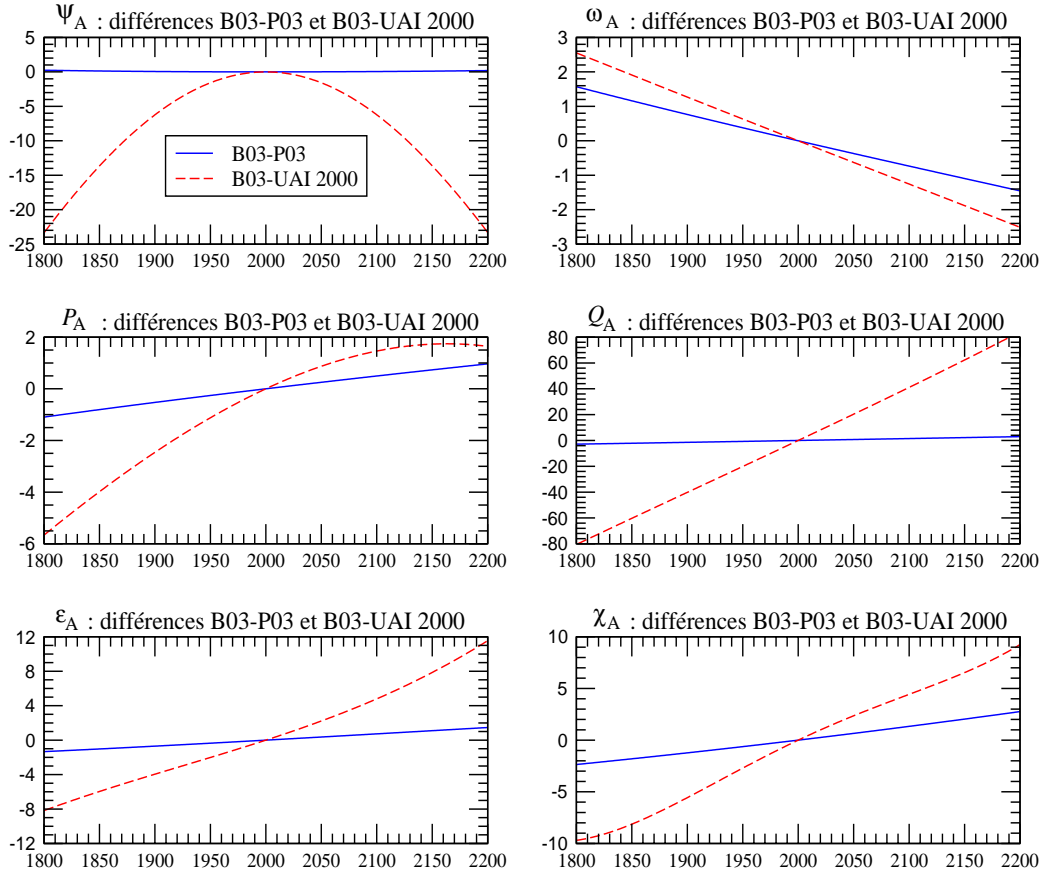


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et P03 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur $[1800, 2200]$, pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas ($0.001''$).

UAI 2000 d'autre part, pour les six variables principales ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . Elles ont été tracées en supposant que le terme en t de ψ_A et le terme constant de ε_A étaient les mêmes pour les trois modèles. Les différences sont exprimées en mas ($0.001''$). On voit que les écarts entre B03 et P03 sont petits. Ils sont inférieurs à 0.25 mas pour ψ_A sur l'ensemble de l'intervalle ; pour les autres variables ils sont inférieurs à 2 mas et sont essentiellement des dérivées linéaires. Les écarts avec UAI 2000 sont beaucoup plus importants et peuvent atteindre, par exemple, 25 mas pour ψ_A et 80 mas pour Q_A .

Table 4.2.1. Coefficients des polynômes de la précession issus des formulaires UAI 2000, B03 (Bretagnon et al., 2003) et P03 (Capitaine 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 P03	P_A		41.976 41.99604 41.99094	19.447 19.39715 19.39873	- 0.179 - 0.22350 - 0.22466	- 0.01035 - 0.01035 - 0.00912	0.00019 0.00019 0.0012		
UAI 2000 B03 P03	Q_A		- 468.150 - 468.09550 - 468.11015	5.059 5.10421 5.10283	0.344 0.52228 0.52413	- 0.00569 - 0.00569 - 0.00646	- 0.00014 - 0.00014 - 0.00172	0.00001	
UAI 2000 B03 P03	π_A		470.029 469.97560 469.98973	- 3.302 - 3.35050 - 3.34926	0.060 - 0.12370 - 0.12559	0.00030 0.00030 0.00113	- 0.00022		
UAI 2000 B03 P03	Π_A	629 554.982 629 543.988 629 546.7936	- 8698.089 - 8679.218 - 8679.5758	3.536 15.342 15.7992	0.005 0.005 - 0.5371	- 0.037 - 0.037 - 0.4797	- 0.001 - 0.001 0.0072		
UAI 2000 B03 P03	\mathcal{P}_A		50287.92262 50287.92262 50287.96195	111.113 111.24406 110.54348	- 0.006 0.07699 0.07964	- 0.23479 - 0.23479 - 0.23857	- 0.00178 - 0.00178 - 0.00383	0.00018	0.00001
UAI 2000 B03 P03	ε_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 468.150 - 468.36051 - 468.36769	- 0.059 - 0.01667 - 0.01831	1.813 1.99911 2.00340	- 0.00523 - 0.00523 - 0.00576	- 0.00248 - 0.00248 - 0.00434	- 0.00003	
UAI 2000 B03 P03	ω_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 0.25240 - 0.26501 - 0.25754	5.127 5.12769 5.12623	- 7.726 - 7.72723 - 7.72503	- 0.00492 - 0.00492 - 0.00467	0.03329 0.03329 0.0337	- 0.00031	- 0.00006
UAI 2000 B03 ⁽¹⁾ P03	ψ_A		50384.78750 50384.78750 50384.81507	- 107.259 - 107.89530 - 107.90069	- 1.147 - 1.14366 - 1.14045	1.32832 1.32832 1.32851	- 0.00940 - 0.00940 - 0.00951	- 0.00350	0.00017
UAI 2000 B03 P03	χ_A		105.526 105.57686 105.56403	- 238.064 - 238.13769 - 238.14292	- 1.125 - 1.21258 - 1.21197	1.70238 1.70238 1.70663	- 0.00770 - 0.00770 - 0.00560	- 0.00399	0.00016

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

Table 4.2.1. (fin).

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000	θ_A		20043.109	- 42.665	- 41.883				
B03			20041.90936	- 42.66980	- 41.82364	- 0.07291	- 0.01127	0.00036	0.00009
P03			20041.91903	- 42.94934	- 41.82264	- 0.07089	- 0.01274		
UAI 2000	ζ_A		23062.181	30.188	17.998				
B03		2.72767	23060.80472	30.23262	18.01752	- 0.05708	- 0.03040	- 0.00013	
P03		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	
P03		- 2.650545	23060.77181	109.27348	18.26837	- 0.28596	- 0.02904		

4.2.3. Dérivées des quantités de précession par rapport aux constantes \mathcal{P}_1 et ε_0

À partir des formules de Simon et al. (1994), nous pouvons calculer les corrections ΔX des quantités de précession X dues à d'éventuelles améliorations $\Delta \mathcal{P}_1$ et $\Delta \varepsilon_0$ de \mathcal{P}_1 et ε_0 . Ces corrections sont de la forme :

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial \mathcal{P}_1} \Delta \mathcal{P}_1 + \frac{\partial X}{\partial \varepsilon_0} \Delta \varepsilon_0. \quad (4.2.8)$$

Pour toutes les quantités de précession de la table 4.2.1, les corrections qui doivent être ajoutées aux polynômes sont données par :

$$\begin{aligned}
\Delta P_A &= 0 \\
\Delta Q_A &= 0 \\
\Delta \pi_A &= 0 \\
\Delta \Pi_A &= 0 \\
\Delta \mathcal{P}_A &= \Delta \mathcal{P}_1 t + (0.0031 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 \\
\Delta \theta_A &= (0.3978 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.2236 \Delta \varepsilon_0) t - (0.0008 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 - (0.0025 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta \zeta_A &= (0.4588 \Delta \mathcal{P}_1 - 0.0485 \Delta \varepsilon_0) t + (0.0009 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 + (0.0011 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta z_A &= (0.4588 \Delta \mathcal{P}_1 - 0.0485 \Delta \varepsilon_0) t + (0.0028 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 + (0.0011 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta \varepsilon_A &= \Delta \varepsilon_0 \\
\Delta \omega_A &= \Delta \varepsilon_0 - (0.0003 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta \psi_A &= (\Delta \mathcal{P}_1 - 0.0013 \Delta \varepsilon_0) t + (-0.0021 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.0021 \Delta \varepsilon_0) t^2 \\
\delta \chi_A &= (-0.0012 \Delta \varepsilon_0) t + (-0.0057 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.0027 \Delta \varepsilon_0) t^2
\end{aligned} \quad (4.2.9)$$

où $\Delta \mathcal{P}_1$ est mesuré en secondes de degré par millier d'années et $\Delta \varepsilon_0$ en secondes de degré.

4.3. MODÈLES DE NUTATION

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

4.3.1. Introduction

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

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

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

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

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

– une graine solide, composée également principalement de fer.

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

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

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

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

- Le modèle intègre la présence d'une graine penchée à l'intérieur du noyau liquide (on considère que l'axe principal d'inertie de la graine et celui du noyau peuvent être non alignés) dans un champ magnétique et considère l'ensemble des couplages gravitationnels entre les différentes couches ellipsoïdales à l'intérieur de la Terre, ainsi que les couplages électromagnétiques aux deux interfaces du noyau.
- Les déformations sont traitées par l'intermédiaire des changements dans la matrice d'inertie

(représentant la répartition des masses à l'intérieur de la Terre ou des différentes couches) et des changements de forme des interfaces et de la surface de la Terre.

– Les effets des marées des océans à la surface de la Terre engendrés par les forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil sont également pris en considération.

– Les effets diurnes de l'atmosphère ne sont pris en compte que pour une fréquence (la fréquence correspondant à exactement un jour solaire est la fréquence principale de ce phénomène), et l'amplitude est évaluée à partir des observations.

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

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

Les théories géophysiques de nutation pour une Terre non rigide supposent, en première approximation, que la Terre est un ellipsoïde de symétrie axiale. A désigne les moments d'inertie par rapport aux axes équatoriaux et C le moment d'inertie par rapport à l'axe polaire. On a $C = (1 + e)A$ où e est l'*ellipticité dynamique* qui vaut environ $1/300$. (En astronomie, on note $H_d \equiv e/(1 + e)$, l'ellipticité dynamique). Le mouvement de nutation est engendré par le moment des forces agissant sur la Terre autour d'un axe équatorial. Ce moment de force est produit par l'attraction gravitationnelle des objets du système solaire (principalement la Lune et le Soleil) sur la structure ellipsoïdale de la Terre caractérisée par le paramètre e ; le moment de force est donc proportionnel à e . La majeure partie du travail mis en place pour obtenir une modélisation précise de la nutation porte sur cette partie dynamique dominante, présentant un spectre de basses fréquences avec des fréquences de moins de $1/2$ cycle par jour sidéral (cpsd, cycle per sidereal day) en amplitude, 1 cpsd étant équivalent à la fréquence angulaire moyenne Ω_0 de la rotation de la Terre. On présentera ici les principaux aspects de ces modèles. D'autres composantes à basses fréquences de la nutation sont produites par de petites déviations *axisymétriques* par rapport à une structure strictement ellipsoïdale. Des composantes de la nutation de fréquences supérieures à $1/2$ cpsd sont générées par de petites déviations de la distribution de densité de la Terre par rapport à la symétrie axiale. Elles doivent être considérées, d'après les résolutions adoptées par l'UAI en 2000 (UAI, 2001), comme mouvement du pôle. Des expressions relativement simples suffisent à décrire l'ensemble de ces composantes. La précession et la nutation sont, respectivement, la partie séculaire et la partie oscillatoire (avec un spectre en fréquences complet) des variations par rapport à des "étoiles fixes" de l'*axe de figure*, ou de façon équivalente, du mouvement du pôle céleste de cet axe. Dans la suite, le terme "axe de figure" se réfère à l'axe de symétrie de la Terre *sans aucune déformation*. Les nutations de l'axe de rotation ou de l'axe du moment d'inertie sont étroitement liées à celles de l'axe de figure et ne seront pas traitées ici. Ensemble, précession et nutation sont nécessairement liées au mouvement du pôle, c'est-à-dire au mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre par rapport à un repère de référence terrestre. Une rotation autour d'un axe autre qu'un axe de symétrie fait apparaître un mouvement de "chancellement".

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

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

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

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

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

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

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

où $\Xi_\nu = \pm(\arg)$ pour la composante prograde ($\nu = \nu_p$), (\arg) étant l'argument du terme des séries de la nutation considéré ; \pm est le signe de $d(\arg)/dt$ ou de la période de ce terme de nutation (par exemple, $-$ pour le terme de 18.6 ans et $+$ pour le terme annuel) ; et $d\Xi_\nu/dt = \nu_p\Omega_0$. Pour le terme rétrograde, \pm doit être remplacé par \mp . L'équation (4.3.3) conduit aux relations reliant $\tilde{\eta}(\nu_p)$ et $\tilde{\eta}(\nu_r)$ aux coefficients de $\cos(\arg)$ et $\sin(\arg)$ dans $\Delta\psi$ et $\Delta\epsilon$ (voir, par exemple, Defraigne et al., 1995).

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

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

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

où $\Omega_0\mathbf{i}_3 \equiv \boldsymbol{\Omega}_0$ est le vecteur vitesse angulaire moyenne du manteau, \mathbf{i}_3 étant son axe de moment d'inertie maximum, que l'on choisit confondu avec l'axe polaire du repère terrestre de référence (TRF, Terrestrial Reference Frame). Les deux premières composantes (équatoriales) de \mathbf{m} sont les variables du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau. Celles de \mathbf{m}_f et \mathbf{m}_s représentent des mouvements des axes instantanés de rotation différentielle du noyau externe fluide et de la graine solide par rapport au manteau. Les troisièmes composantes de ces vecteurs décrivent les variations des vitesses de rotation de chacune des régions. Un autre paramètre à

introduire dans la dynamique du problème est la déviation \mathbf{n}_s de la direction de l'axe de symétrie de la graine par rapport à \mathbf{i}_3 . Les trois équations de bilan du moment cinétique ainsi que l'équation cinématique reliant \mathbf{n}_s à \mathbf{m}_s , constituent un système de quatre équations vectorielles couplées pour les variables dynamiques \mathbf{m} , \mathbf{m}_f , \mathbf{m}_s , et \mathbf{n}_s (toutes très faibles en amplitude, typiquement d'environ 10^{-8} radian). Les propriétés de la Terre importantes pour la nutation sont prises en considération dans ces équations par l'intermédiaire de paramètres que nous appellerons dans la suite les BEP (Basic Earth Parameters). Par exemple, les ellipticités dynamiques de la Terre globale e , du noyau fluide e_f et de la graine solide e_s font partie des BEP, de même que les paramètres représentant les déformations des différentes régions. Dans les équations de bilan du moment cinétique, les termes non linéaires par rapport aux variables dynamiques ne contribuent que marginalement aux solutions. Il faut donc, en premier lieu, linéariser les équations, ce qui transforme le système des quatre équations en deux systèmes d'équations indépendants, l'un pour les mouvements de l'axe instantané de rotation, impliquant seulement les deux premières composantes de chacun des quatre vecteurs, et l'autre pour les variations des vitesses de rotation. Les solutions du système homogène des équations des mouvements de l'axe instantané de rotation donnent les fréquences des modes normaux de rotation de la Terre (on considère les moments de force extérieurs nuls). La solution du système non-homogène donne les mouvements forcés pour les trois régions en réponse à un potentiel extérieur connu. Une fois les amplitudes des mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau calculées pour une Terre non rigide, la fonction de transfert est obtenue directement, puisque l'amplitude de ces mouvements pour une Terre rigide est une fonction très simple de la fréquence. Les amplitudes des nutations pour une Terre non rigide peuvent alors être déterminées en multipliant les amplitudes correspondantes pour une Terre rigide par la fonction de transfert. Des tables regroupant les amplitudes des nutations pour une Terre rigide sont disponibles avec des précisions inférieures à 1 microseconde de degré (μas). Sur la base d'études théoriques poussées, des groupes de scientifiques tels que Bretagnon et al. (1998), Roosbeek et Dehant (1998), Souchay et al. (1999), ont calculé ces tables.

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

4.3.4. Modèle géophysique

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

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

- On a tenu compte de la présence du champ magnétique qui traverse la frontière noyau-manteau et la frontière noyau-graine. Il en résulte un couplage électromagnétique qui modifie les mouvements de l'axe instantané de rotation du noyau fluide par rapport au manteau et à la graine.
- Une autre amélioration a été d'introduire l'interaction entre les différents types de réponses de la Terre à l'action des marées (mouvement de l'axe instantané de rotation, déformation de la Terre solide, marées océaniques) par une intégration globale des trois phénomènes. La contribution totale de l'inélasticité du manteau (par sa contribution sur les déformations), des marées océaniques et des couplages électromagnétiques, sur les nutations, calculée à partir d'une théorie intégrée globalement donne des différences allant jusqu'à 30 μ as par rapport à la somme de chacune des contributions prises individuellement. Ce qui montre l'utilité d'un tel traitement pour l'obtention de solutions de grande précision.
- Un nouveau pas significatif a été l'amélioration des paramètres du modèle de Terre qui influence les nutations par ajustement par moindres carrés, des amplitudes de nutation calculées théoriquement et de la constante de la précession, sur les valeurs très précises obtenues à partir des observations. Ceci était une continuation logique de l'ajustement de ϵ par Wahr et de l'estimation de ϵ_f par Gwinn et al. (1986) sur la base des observations disponibles à l'époque.

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

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

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

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

de l'axe instantané de rotation de fréquence σ cpsd, $\tilde{m} = \tilde{m}(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$, $\tilde{m}_f = \tilde{m}_f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$, $\tilde{c}_3 = c_3(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$, $\tilde{c}_3^f = c_3^f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$ et l'équation s'écrit finalement

$$(\sigma - e)\tilde{m}(\sigma) + (1 + \sigma)(\tilde{c}_3(\sigma)/A) + (A_f/A)\tilde{m}_f(\sigma) = \tilde{\Gamma}(\sigma)/(iA\Omega_0^2). \quad (4.3.6)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Les deux premiers points conduisent à l'expression

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

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

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

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

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

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

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

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

La valeur estimée de la constante de précession du modèle MHB2000 est obtenue directement à partir de la valeur de l'ellipticité e estimée précédemment. Comme pour les amplitudes de la nutation, on utilise au départ la solution d'un système d'équations mis en place avec des valeurs optimisées pour les paramètres de la Terre, puis on obtient une fonction de transfert en divisant $\tilde{m}(\sigma)$ par la solution pour la Terre rigide $\tilde{m}_R(\sigma)$ donnée par (4.3.7). Il faut cependant être prudent : la valeur de e obtenue pour une Terre non rigide n'est pas égale à la valeur e_R utilisée pour une Terre rigide. La différence entre ces valeurs nécessite la multiplication de la fonction de transfert déterminée précédemment par $[(e_r - \sigma)/(e + 1)] (e/e_R)$. On obtient ainsi l'amplitude du terme $\tilde{\eta}(\nu)$ pour une Terre non rigide en multipliant l'amplitude du terme $\tilde{\eta}_R(\nu)$ de nutation de la Terre rigide pour l'ellipticité e_R par la fonction de transfert modifiée et calculée pour la fréquence σ (dans l'approximation linéarisée des équations de moments de force). L'estimation de cette amplitude est faite pour chaque fréquence ν des séries de nutation de la Terre rigide. Les amplitudes de la nutation circulaire déterminées à partir du modèle de Terre rigide REN2000 de Souchay et al. (1999)

ont été utilisées par Mathews et al. (2002) dans le calcul des amplitudes de la Terre non rigide correspondantes. Le résultat final inclut plusieurs petites corrections. Les premières sont celles, mentionnées précédemment, dues aux contributions des termes non linéaires dans les équations. D'autres modélisent un effet relativiste nommé *nutaton géodésique* (voir par exemple Brumberg et al., 1992) ; d'autres, enfin, estimées empiriquement, se rapportent à l'effet des marées thermiques atmosphériques. Les amplitudes progrades et rétrogrades de la nutation sont enfin converties en coefficients de nutation en longitude et obliquité. Une correction due aux termes non linéaires est aussi appliquée à la constante de la précession.

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

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

où les s_α sont des compromis entre les fréquences propres des quatre oscillations libres. On trouvera des valeurs numériques et des résultats détaillés dans Mathews et al. (2002), ainsi que des discussions approfondies concernant les implications géophysiques des valeurs obtenues par ajustement aux observations de nombreux paramètres de la Terre. Les résonances associées à la nutation libre du noyau (FCN, Free Core Nutation et PFCN, Prograde Free Core Nutation) influencent fortement un grand nombre de termes de nutation forcés pour les fréquences proches de leurs fréquences propres (en particulier la nutation annuelle rétrograde et la nutation en 18.6 ans). Grâce à l'impact de ces résonances, il a été possible de déduire de nombreuses propriétés physiques de la Terre jouant un rôle significatif dans la détermination et la caractérisation de ces modes.

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

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 tesseral de degré 2 agissant sur les coefficients de triaxialité $C_{2,2}$ et $S_{2,2}$ (c'est-à-dire représentant les différences entre les deux principaux moments d'inertie équatoriaux). L'amplitude $\tilde{p}(\sigma)$ de la composante circulaire du mouvement du pôle est définie dans le premier cas par $\tilde{p} \equiv x_p - iy_p = \mp i \tilde{p}(\sigma) e^{\pm \Theta_\omega(t)}$, avec $\sigma = \pm(\omega/\Omega_0)$, \pm désignant les mouvements progrades (+) et rétrogrades (-). $\Theta_\omega(t)$ est l'argument de la composante spectrale du potentiel, $\omega = d\Theta_\omega(t)/dt > 0$. Pour les mouvements dus à la triaxialité, tous progrades, l'expression précédente avec un signe + est valable. Dans les deux cas, $\tilde{p}(\sigma) = \tilde{m}(\sigma)/(1 + \sigma)$. Les amplitudes $\tilde{m}(\sigma)$ sont obtenues à partir d'équations de moments de force très simplifiées. Pour de plus amples détails, voir Mathews et Bretagnon (2003).

4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

4.4.1. Introduction

La connaissance de la non-uniformité de la rotation de la Terre permet d'appréhender les phénomènes qui en sont la cause, essentiellement les phénomènes géophysiques externes (mouvements atmosphériques, océaniques, glaciaires ...) et internes (interaction entre les noyaux solide et fluide de la Terre et le manteau). De plus les activités dans les domaines de la navigation, l'astronomie et la géodésie spatiale exigent la connaissance précise des mouvements d'un système de référence terrestre lié à la Terre, et réalisé par le repère de référence terrestre international (ITRF, International Terrestrial Reference Frame; Altamimi et al., 2002) par rapport à un système de référence non-tournant réalisé par le repère de référence céleste international (International Celestial Reference Frame, ICRF; Ma et al., 1998). Ainsi, pour la navigation spatiale, on a besoin de connaître l'orientation de la Terre par rapport à un repère céleste et une erreur dans l'orientation terrestre se propage sur la position calculée du satellite.

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

4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

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

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

4.4.2.1. Mouvement du pôle ou polhodie

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

Le terme de Chandler

C'est un terme libre de période environ 14 mois, réponse résonnante de la Terre au couplage équatorial. L'amplitude atteint $0.15''$ (4.5 m sur la Terre). L'amortissement de cette résonance peut être calculé empiriquement par l'introduction du facteur de qualité Q qui dépend des paramètres rhéologiques de la Terre. L'amortissement du terme de Chandler fournit des informations sur la dissipation à long terme dans la Terre. L'origine de l'excitation du terme de Chandler est restée mal connue pendant très longtemps. On l'a attribuée à divers phénomènes géophysiques comme les excitations atmosphériques, les variations des masses des réserves hydrologiques, les tremblements de terre ou les couplages électromagnétique, topographique ou gravitationnel entre le noyau

liquide et le manteau (Eubanks, 1985). On sait maintenant qu'elle est due à une combinaison de phénomènes atmosphériques et océaniques. Gross (2000) a montré en particulier que les variations de pression atmosphérique dans les fonds des océans et la pression atmosphérique sur les continents expliquaient, respectivement, les deux tiers et un tiers du mouvement total.

Les variations saisonnières

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

Mouvement séculaire

L'étude des variations à long terme du mouvement du pôle montre l'existence d'un terme séculaire d'environ 4 mas par an (12 cm par an sur la Terre) dans la direction 70.7° ouest. Ce terme n'a pu être déterminé avec précision que grâce à l'accumulation de données sur le mouvement du pôle, notamment depuis la contribution des données spatiales depuis plusieurs décades ainsi que par l'utilisation de modèles précis de mouvements locaux des stations d'observation dus aux plaques tectoniques. Ces variations séculaires qui apparaissent dans le mouvement du pôle sont généralement attribuées aux effets du rebond postglaciaire, réponse lente et anélastique de la Terre à la fonte des glaces des calottes polaires depuis le dernier âge glaciaire il y a environ 10 000 ans. Ce phénomène est responsable des variations du terme zonal d'ordre deux, noté J2, ainsi que celles d'autres termes du modèle de champ de gravité de la Terre observées notamment par télémétrie laser du satellite Lageos. Les échelles de temps concernées par le rebond postglaciaire sont si grandes, plusieurs milliers d'années, que le mouvement séculaire du pôle apparaît comme un terme linéaire. L'étude du rebond postglaciaire est de grande importance pour l'analyse de la variation du niveau de la mer provenant du réchauffement global. Les mouvements verticaux de l'ordre de quelques millimètres par an sont comparables aux effets provenant de l'expansion thermique et de ceux résultant de la fonte des glaces. Les données récentes du mouvement du pôle sont sensibles aux redistributions de masse et donnent de fortes contraintes sur les modèles de variation du niveau de la mer. Des études récentes montrent que les fontes de glaciers et les bassins hydrologiques pourraient être également responsables de 20% de l'excitation du mouvement observé du pôle séculaire. Plusieurs auteurs dans le passé ont mis en évidence l'existence d'un terme décennal de période d'environ 20 à 30 ans dite oscillation de Markowitz. L'existence de ce terme que certains ont attribué à des erreurs systématiques dans la position de stations d'observation est cependant controversée.

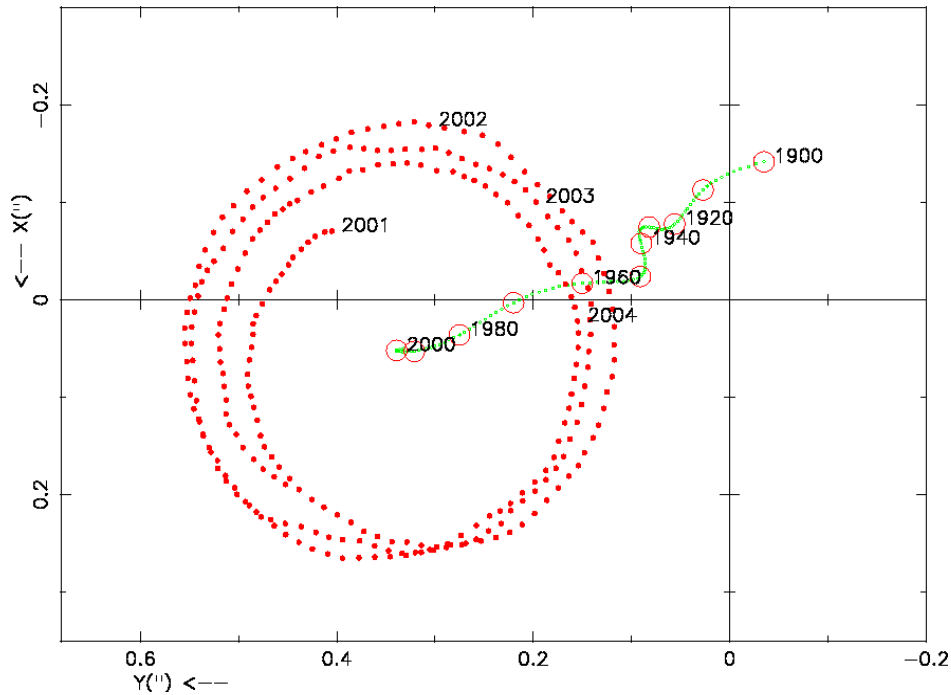


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré. L'axe des X est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des Y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

4.4.2.2. UT1

UT1 est l'angle de rotation autour du pôle. Il est défini par une relation conventionnelle (IERS, 2003) et donne accès à la direction de l'IRM dans l'ICRS. Il est en fait exprimé comme l'une des différences UT1-TAI ou UT1-UTC. DUT1 est la différence UT1-UTC exprimée avec une précision de +/- 0.1 s ; elle est diffusée avec les signaux horaires et annoncée par l'IERS. La différence entre la longueur du jour relative à la rotation de la Terre, *LOD*, et les 86400s du TAI, est appelée l'excès de la durée du jours ΔLOD . Sa relation avec la vitesse moyenne de rotation de la Terre est :

$$\Omega = 72\,921\,151.467\,064 - 0.843\,994\,803 \Delta LOD,$$

où Ω est en picoradians/s et ΔLOD en millisecondes (ms).

UT1 et par suite ΔLOD et Ω , ont des variations dues aux marées zonales dont le modèle comprend 300 termes périodiques avec des périodes comprises entre 5.6 jours et 18.6 ans (IERS, 2003). $UT1R$, $\Delta LODR$, and ΩR sont les valeurs de UT1, ΔLOD , et Ω corrigées des termes à courtes périodes inférieures à 35 jours. L'amplitude de $UT1R-UT1$ est inférieure à 2.5 ms. La

différence $\Delta LODR - \Delta LOD$ est inférieure à 1 ms. Les données fournies par l'IERS n'incluent pas les effets des variations semi-diurnes et diurnes données également par un modèle (IERS, 2003). La différence UT1-UTC n'est théoriquement pas affectée par les nouvelles résolutions de l'UAI.

4.4.2.3. Excès ΔLOD de la durée du jour sur les 86400s

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

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

2) Des variations irrégulières décennales dont l'amplitude est de l'ordre de 3 à 4 millisecondes oscillant sur des périodes comprises entre 20 et 60 ans. Leurs origines sont d'ordre géophysique interne et sont généralement attribuées au couplage entre le noyau et le manteau terrestres et partiellement aux phénomènes océano-atmosphériques à grande échelle, de type El Nino. La vitesse de rotation de la Terre est connue avec une bonne précision depuis les années 1970. Auparavant on disposait de mesures issues des observations d'astrométrie optique classique pour lesquelles la précision était un peu moins bonne. Ce sont les phénomènes d'occultations d'étoiles par la Lune qui fournissent les mesures antérieures. Les éclipses anciennes peuvent également apporter des informations sur les variations à long terme de la vitesse de rotation. Cependant la précision qu'elles donnent est médiocre.

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

4) Des variations irrégulières ayant principalement pour origine des phénomènes rapides atmosphériques et océaniques. En outre, les forces externes appliquées au système climatique dans la haute atmosphère, principalement dues au vent solaire et aux autres forces électromagnétiques, ont dans ce contexte une faible influence. Elles peuvent de ce fait être négligées. Ceci laisse alors

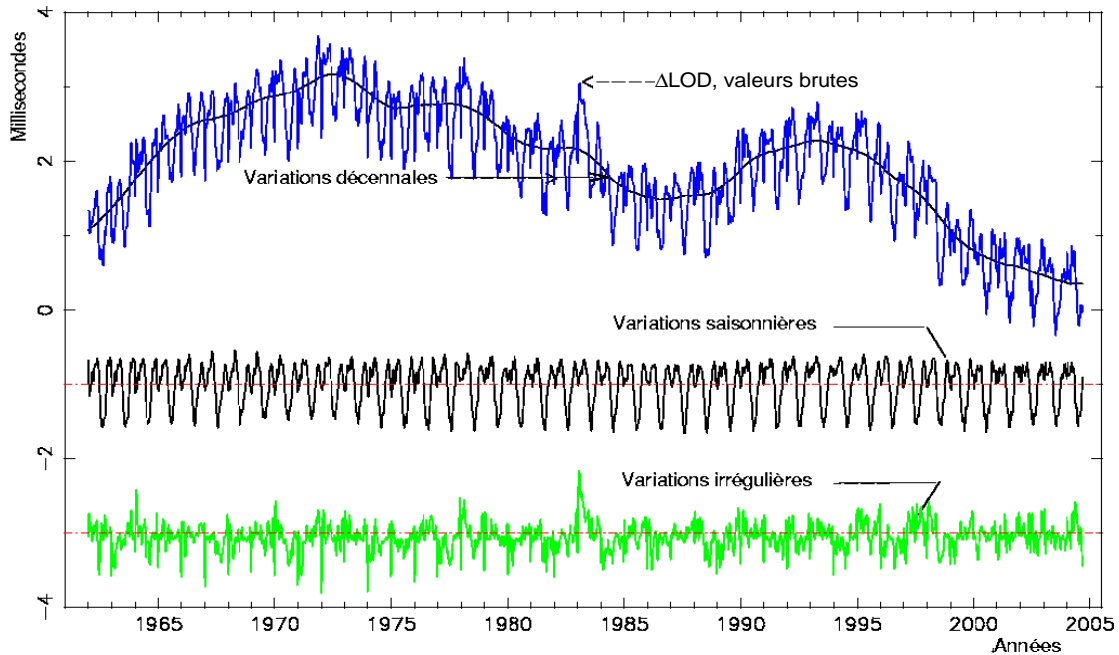


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières.
L'unité est la milliseconde.

libre place à l'important problème géophysique constitué par la détermination et l'étude des effets internes. La figure 4.5 représente le filtrage de l'excès de la durée du jour sous forme de termes décennaux, saisonniers et irréguliers.

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

La précession-nutation se réfère au CIP, qui ne contient par définition, que des termes dont la période dans le repère céleste est supérieure à 2 jours. Elle comporte une partie séculaire et des termes périodiques (principalement de période 18.6 ans, 1 an, 0.5 an et 14 jours). Les oscillations résiduelles sont attribuées à la nutation libre de la Terre. L'IERS ne fournit pas directement les coefficients de la précession-nutation mais les écarts δX et δY par rapport au modèle de référence IAU2000, selon le nouveau formalisme (cf. 3.6). Les variations observées reflètent la différence entre le mouvement céleste réel du pôle et celui prédit par les modèles de précession et de nutation conventionnels. Les angles en longitude et en obliquité déterminés classiquement ($\delta\Delta\psi_{2000}$, $\delta\Delta\epsilon_{2000}$), et référés au nouveau modèle peuvent être aisément calculés. Ces valeurs de δX et δY sont maintenant inférieures à 1 mas et reflètent principalement les effets de la FCN que l'on peut difficilement modéliser. Elles ne peuvent donc pas être incorporées au nouveau modèle de nutation IAU2000 (figure 4.6).

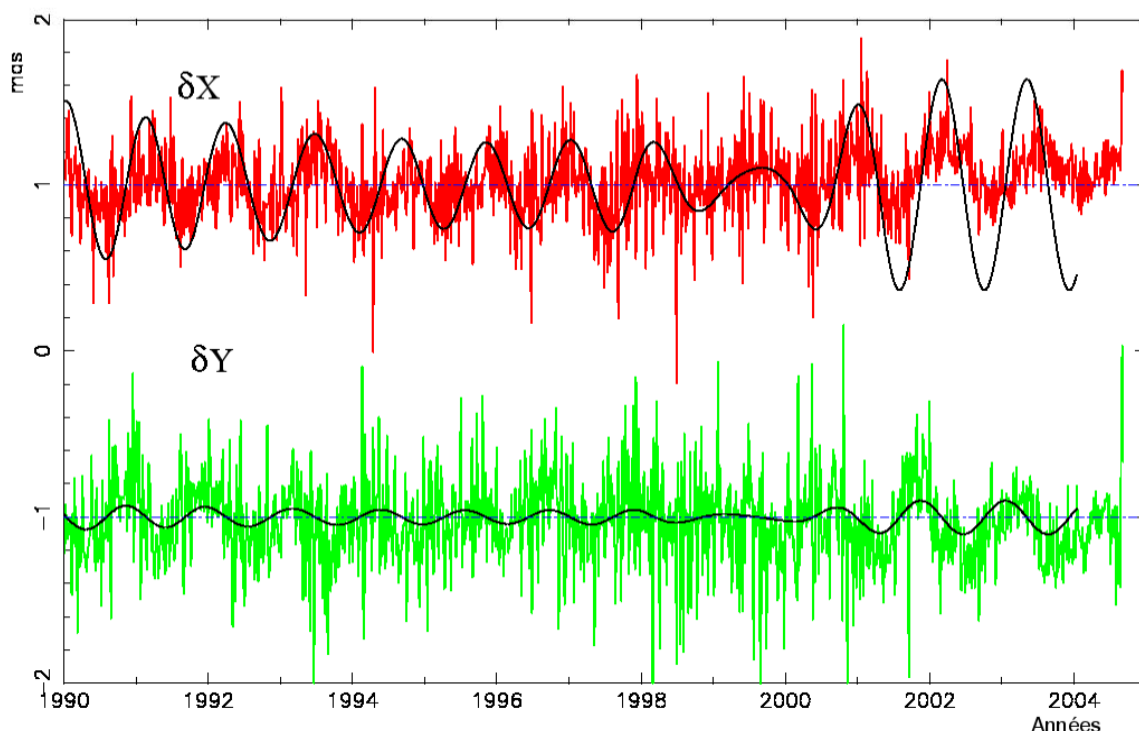


Fig. 4.6. Écarts δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN.
L'unité est le mas.

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 1er 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 1 seconde on introduit dans UTC une seconde intercalaire appelée de manière impropre *saut de seconde* (leap second). Selon cette dernière condition, la décision, ou la non-décision, d'introduire un saut de seconde dans UTC relève de l'IERS et est annoncée dans le Bulletin C six mois à l'avance. Selon les recommandations du CCIR, les dates d'application préférentielles sont un 31 décembre ou un 30 juin de l'année. L'application est mise en œuvre par les autorités nationales responsables de la diffusion du temps. L'organisme français concerné est le Bureau national de métrologie (BNM/SYRTE, sis à l'observatoire de Paris). La dernière seconde intercalaire fut introduite le 1 janvier 1999 à 0h UTC, soit à 1 heure temps légal en France. La prochaine se produira vraisemblablement le 1 janvier 2007 selon les prédictions actuelles, la Terre ayant accéléré depuis quelques années.

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

4.4.3. Les techniques d'observation

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

4.4.3.1. Les méthodes géométriques

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

déterminer ces paramètres il faut mener des programmes d'observation s'étendant sur plusieurs heures.

4.4.3.2. Les méthodes dynamiques

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

Le système GPS conçu par l'armée américaine pour ses besoins propres de positionnement et de navigation, remplace le système de navigation Transit, reposant sur l'effet Doppler et opérationnel jusque dans les années 1980. Actuellement ce système consiste en une constellation d'une vingtaine de satellites d'orbites quasi-circulaires gravitant à 26500 km, de période de révolution de 12h et se trouvant dans six plans inclinés à 55° par rapport à l'équateur. La communauté scientifique civile utilise largement ce système par l'intermédiaire de l'IGS (International GPS service) créé en 1994. Les principales productions de ce service sont la détermination d'orbites précises pour les besoins de positionnement, le calcul de coordonnées de stations, les paramètres d'orientation de la Terre et les paramètres liés à l'état de la troposphère et de l'ionosphère.

Le système radioélectrique DORIS, développé par le CNES, est embarqué sur des satellites bas. Il a volé sur les satellites de télédétection Spot et sur le satellite océanographique Topex- Poseidon. Depuis 2001 il est embarqué sur les satellites Envisat et Jason. À la différence des autres systèmes, le récepteur DORIS se trouve embarqué dans le satellite alors que les balises émettrices sont au sol. Ce réseau de balises est parfaitement distribué sur le globe terrestre, ce qui rend ce système bien adapté à la détermination du système de référence terrestre.

4.4.4. Calcul des paramètres d'orientation de la Terre

L'ensemble des EOP permet d'effectuer la transformation entre l'ITRF et l'ICRF. Ces paramètres sont donnés, par l'IERS, sous forme de séries chronologiques régulières. La série de référence

est la combinaison de séries individuelles dérivées des analyses des observations obtenues par les diverses techniques. La procédure de combinaison est fondée sur le traitement statistique de séries chronologiques, l'objectif étant d'obtenir la meilleure série à toutes les échelles de temps. Les processus incluent notamment lissage de données, interpolation, analyse spectrale, modélisation, prédiction et utilisent de nouvelles méthodes comme les analyses en ondelettes ou les réseaux de neurones (Bougeard et al, 2000 ; Gambis, 2002 ; Vondrák et Cepek, 2000 ; Vondrák et Gambis, 2000).

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

Remarque sur les termes précision et exactitude

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

4.5. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Boucher, C., Gambis, D. : 2004, Long-term Stability of the Terrestrial Reference Frame, soumis à *Adv. Space Research*.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107 (B10)**, 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Anderson, P.H. : 1995, High-precision station positioning and satellite orbit determination, *Ph.D. Thesis, NDRE/publication 95/01094*, FFI/ E, Box 25, N-2007, Kjeller, Norway.
- Barnes, R.T.H., Hide, R., White, A.A., and Wilson, C.A. : 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., 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.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 2000, Nonrigid Earth Rotation Solution, in : *Towards Models and Constants for Sub-microarcsecond Astrometry.*, IAU Colloquium 180, K. Johnson, D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan, eds, Washington, USA, 230.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Francou, G. : 1992, in *Systèmes de référence spatio-temporels. Journées 1991*, N. Capitaine, ed., observatoire de Paris
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2004, Comparison between high precision precession models for the ecliptic and the equator, *Astron. Astrophys.* **421**, 365.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1988, ELP2000-85 : a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astron. Astrophys.* **190**, 342.
- Defraigne, P., Dehant, V., Paquet, P. : 1995, Link between the retrograde-prograde nutations and nutations in obliquity and longitude, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **62**, 363.
- Dziewonski, A.D., Anderson, D.L. : 1981, Preliminary Reference Earth Model., *Phys. Earth planet. Inter.* **25**, 297.
- Eubanks, T.M. : 1993, Variations in Earth Orientation, in *Contributions of Space Techniques to geodynamics*, Smith. D.E., Turcotte, D.L., eds, Wahshington D.C., 1.
- Fukushima, T. : 2003, A New precession formula, *Astron. J.* **126**, 1.
- Gambis, D. : 2002, Allan Variance analysis applied to Earth Orientation Analysis, *Adv. Space Research* **30(2)**, 207.
- Gambis, D. : 2004, Earth Orientation at the IERS using space-geodetic observations., *J. of Geodesy*, sous presse.
- 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.
- 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, sous presse.
- Lambert, S., Capitaine, N. : 2004, Effects of zonal deformations and Earth's rotation rate variations on precession-nutation, *Astron. Astrophys.*, sous presse.
- 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., Eubanks, T.M., Fey, A., Gontier, A.-M., Jacobs, C., Sovers, O.J., Archinal, B., Charlot, P. : 1998, The International Celestial Reference Frame as realized by Very Long Baseline Astrometry, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon, P. : 2003, Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle., *Astron. Astrophys.* **400**, 1113.
- Mathews, P.M., Buffett, B.A., Herring, T.A., Shapiro, I. I. : 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., Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G., Laskar, J. : 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., Kinoshita, H., Folgueira, M. : 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. SIMON¹

5.1. NOTIONS PRÉLIMINAIRES

5.1.1. Coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires

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

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

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

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

¹ Ce chapitre est largement inspiré du chapitre 4.5 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997), rédigé par M. Chapront-Touzé.

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

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

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

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

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

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

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

et

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

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

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

et

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

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

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

et

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

5.2. COORDONNÉES USUELLES

5.2.1. Coordonnées liées à un repère de référence céleste

5.2.1.1 Définitions

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2.1.2. Coordonnées écliptiques et équatoriales

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

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

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

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

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

5.2.1.3. Coordonnées astronomiques

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

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

5.2.1.4. Coordonnées horaires et coordonnées horizontales

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

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

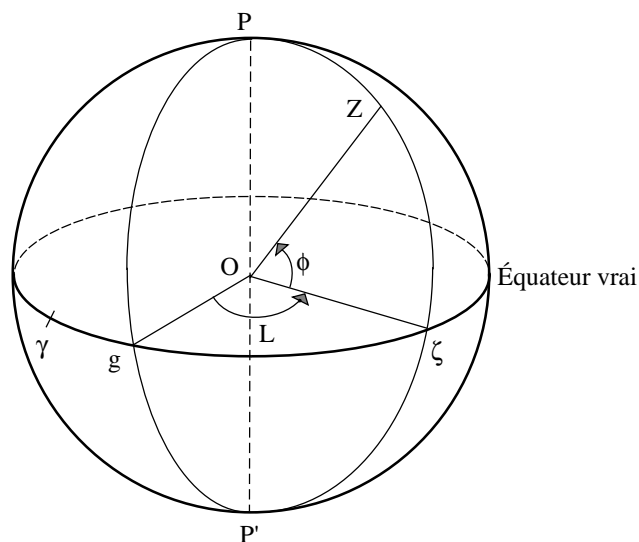


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

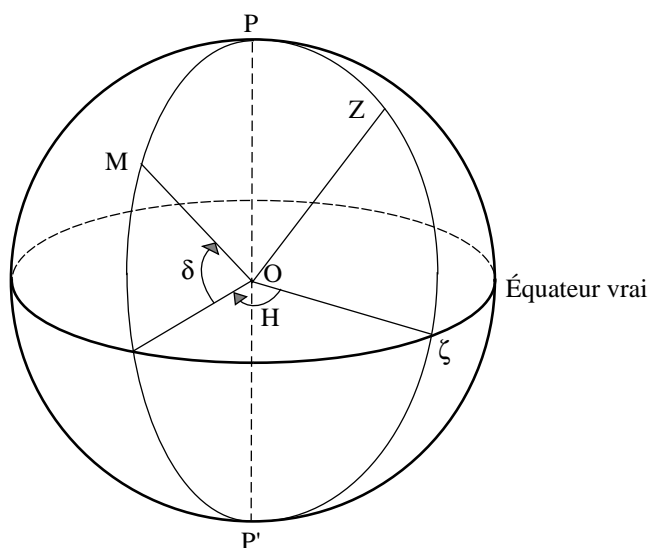


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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

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

les longitudes L et L' des deux lieux étant comptées positivement vers l'ouest. Pour un lieu de longitude astronomique L , l'angle horaire H d'une direction est lié à son ascension droite vraie α_V par la relation :

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

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

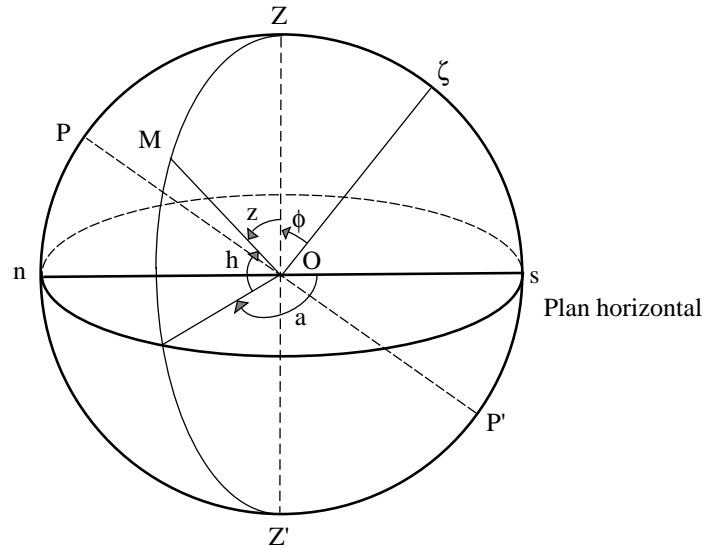


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

- 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*

Table 5.1. Les coordonnées célestes usuelles.

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

(Bureau des longitudes, 1997). Les dénominations ainsi que les corrections appliquées correspondent 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

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

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

en remplaçant le pôle céleste par le pôle terrestre. Les coordonnées d'un point ou d'une direction dans le système d'axes ainsi défini ne diffèrent des coordonnées horaires célestes rapportées au méridien de Greenwich que par l'effet du mouvement du pôle (*cf.* 4.4).

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

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

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

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques

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

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

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

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

En coordonnées polaires :

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

d'où

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

et

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

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

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

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

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

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

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

On peut passer du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) de deux manières.

1) *Première méthode.* On effectue successivement les trois rotations $R_3(-\zeta_A)$, $R_2(\theta_A)$, $R_3(-z_A)$ ou, ce qui est équivalent, les trois rotations $R_3(90^\circ - \zeta_A)$, $R_1(\theta_A)$, $R_3(-90^\circ - z_A)$:

$$\begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix} = R_3(-z_A) R_2(\theta_A) R_3(-\zeta_A) \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix} = R_3(-90^\circ - z_A) R_1(\theta_A) R_3(90^\circ - \zeta_A) \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix}. \quad (5.14)$$

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

$$\begin{aligned} \cos \delta_D \sin(\alpha_D - z_A) &= \cos \delta_F \sin(\alpha_F + \zeta_A), \\ \cos \delta_D \cos(\alpha_D - z_A) &= \cos \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) - \sin \theta_A \sin \delta_F, \\ \sin \delta_D &= \sin \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) + \cos \theta_A \sin \delta_F. \end{aligned} \quad (5.15)$$

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

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

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \alpha_F + (m + n \sin \bar{\alpha} \tan \bar{\delta}) t, \\ \delta_D &= \delta_F + n \cos \bar{\alpha} t, \end{aligned} \quad (5.16)$$

avec

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

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

2) *Deuxième méthode.* On effectue successivement les quatre rotations $R_3(-\chi_A)$, $R_1(\omega_A)$, $R_3(\psi_A)$ et $R_1(\varepsilon_0)$:

$$\begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon_0) R_3(\psi_A) R_1(\omega_A) R_3(-\chi_A) \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix}. \quad (5.17)$$

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

La première méthode n'utilise que trois rotations et conduit à des formules exactes (5.15) ou approchées (5.16) relativement simples mais elle utilise les variables z_A , ζ_A et θ_A qui sont déduites des variables ψ_A , ω_A , ε_A et χ_A et qui sont, de plus, singulières (θ_A et $z_A + \zeta_A$ s'annulent en J2000). Il est donc préférable d'utiliser la deuxième méthode qui est celle que l'on utilise pour les éphémérides publiées dans la *Connaissance des Temps*.

5.3.3. Relations entre les coordonnées écliptiques moyennes de deux dates

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

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

$$\begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} = R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A) R_1(\pi_A) R_3(\Pi_A) \begin{pmatrix} x_F^E \\ y_F^E \\ z_F^E \end{pmatrix} \quad (5.18)$$

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

$$\begin{aligned} \cos \beta_D \cos(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \beta_F \cos(\Pi_A - \lambda_F), \\ \cos \beta_D \sin(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) - \sin \pi_A \sin \beta_F, \\ \sin \beta_D &= \sin \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) + \cos \pi_A \sin \beta_F. \end{aligned} \quad (5.19)$$

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

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

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

$$\begin{pmatrix} x_V^E \\ y_V^E \\ z_V^E \end{pmatrix} = R_3(-\Delta\psi) \begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} \quad (5.20)$$

et

$$\begin{aligned} \lambda_V &= \lambda_D + \Delta\psi, \\ \beta_V &= \beta_D, \end{aligned} \quad (5.21)$$

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

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

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

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

Donc :

$$\begin{pmatrix} x_V^A \\ y_V^A \\ z_V^A \end{pmatrix} = R_1(-\varepsilon'_A) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon_A) \begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix}. \quad (5.22)$$

On déduit de ces produits de matrices

$$\begin{aligned} \cos \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\psi \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\psi (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\psi \cos \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\varepsilon \sin \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \cos \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \delta_D + \sin \Delta\psi \sin \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \sin \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \end{aligned} \quad (5.23)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix} = R_2(90^\circ - \phi) \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} = R_2(\phi - 90^\circ) \begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix}. \quad (5.24)$$

D'où :

$$\begin{aligned} \cos a \cos h &= \sin \phi \cos H \cos \delta - \cos \phi \sin \delta, \\ \sin a \cos h &= \sin H \cos \delta, \\ \sin h &= \cos \phi \cos H \cos \delta + \sin \phi \sin \delta, \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$\begin{aligned} \cos H \cos \delta &= \sin \phi \cos a \cos h + \cos \phi \sin h, \\ \sin H \cos \delta &= \sin a \cos h, \\ \sin \delta &= -\cos \phi \cos a \cos h + \sin \phi \sin h. \end{aligned} \quad (5.26)$$

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

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

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

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

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

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

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

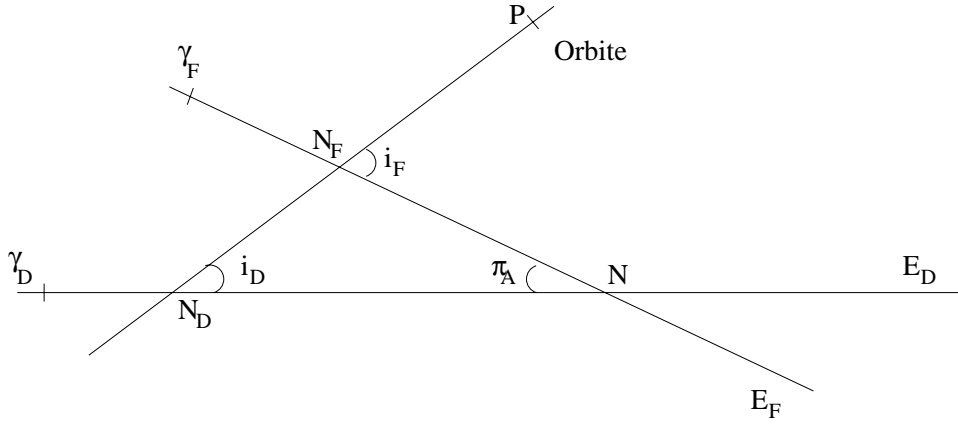


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

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

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

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

$$N_F N = \Pi_A - \Omega_F,$$

$$N_D N = \mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D.$$

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

$$\begin{aligned} \cos i_D &= \cos i_F \cos \pi_A + \sin i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= \sin i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= -\cos i_F \sin \pi_A + \sin i_F \cos \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin \Delta\omega &= \sin \pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos \Delta\omega &= \sin i_F \cos \pi_A - \cos i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \end{aligned} \quad (5.27)$$

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

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

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

5.3.8. Changement de repère de référence

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

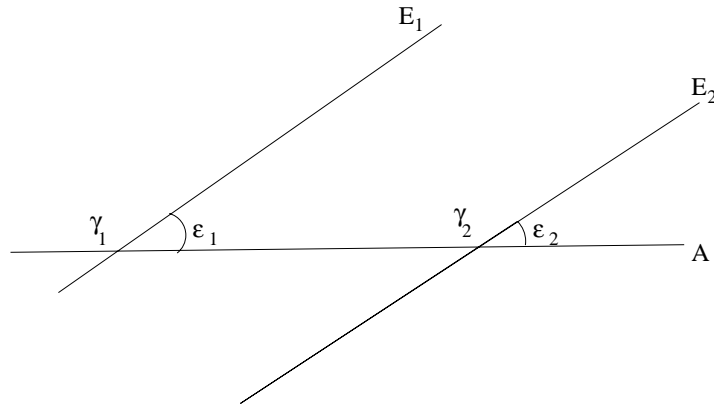


Fig. 5.5. Changement de repère.

On note :

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

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

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \quad (5.28)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.29)$$

et :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon_2) R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}. \quad (5.30)$$

$\Delta\phi$ et $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ étant en général très petits, on pourra le plus souvent utiliser les formules approchées suivantes, déduites des formules (5.28), (5.29) et (5.30) :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi & 0 \\ -\Delta\phi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \quad (5.31)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi & \cos \varepsilon_1 & -\sin \varepsilon_1 \\ 0 & \sin \varepsilon_1 & \cos \varepsilon_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.32)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi \cos \varepsilon_1 & 1 & \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \\ \Delta\phi \sin \varepsilon_1 & -(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.33)$$

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

5.4. 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.

CHAPITRE 6

EXPLICATIONS LIÉES AUX ÉPHÉMÉRIDES DE LA CONNAISSANCE DES TEMPS

J.-L. SIMON

6.1. PRÉSENTATION DES ÉPHÉMÉRIDES

6.1.1. 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* et 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.

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).

L'échelle de temps utilisée est le temps dynamique barycentrique TDB. À la précision des éphémérides, on identifiera cette échelle à TAI + 32.184 secondes où TAI désigne le temps atomique international.

Le *méridien origine* des longitudes géographiques sur la Terre est le *méridien de Greenwich* lorsqu'on utilise le temps universel UT dans les calculs astronomiques. Lorsqu'on utilise le TDB, le méridien origine est le *méridien des éphémérides* dont la longitude par rapport au méridien de Greenwich est l'angle dont la Terre tourne par rapport à l'équinoxe moyen pendant le temps : $\Delta T = \text{TDB} - \text{UT}$, soit $-1.002\,7379\,\Delta T$, si l'on compte les longitudes positivement vers l'ouest.

6.1.2. Contenu de la Connaissance des Temps

La *Connaissance des Temps* contient des tables permettant de calculer :

- Le temps sidéral vrai au méridien origine (méridien de Greenwich ou méridien des éphémérides, cf. 5.2.1.4), les nutations en longitude et en obliquité et les constantes pour la correction d'aberration des fixes C et D.
- Les éphémérides géocentriques du *Soleil* :
 - les coordonnées écliptiques du Soleil, longitude et latitude (en degrés), rayon vecteur géométrique (en ua). La longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000.
 - les coordonnées équatoriales du Soleil, ascension droite (en heures) et déclinaison (en degrés). Ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date.
 - le temps de passage du Soleil au méridien origine (en heures).
 - les coordonnées rectangulaires du Soleil X, Y, Z (en ua). 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.
- Les éphémérides géocentriques de la *Lune* :
 - les coordonnées équatoriales de la Lune, ascension droite (en heures) et déclinaison (en degrés). 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 (en kilomètres).
- Les éphémérides des *planètes principales* Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune :
 - les coordonnées héliocentriques, longitude et latitude héliocentriques (en degrés), rayon vecteur (en ua). La longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000.

– les coordonnées géocentriques, ascension droite (en heures), déclinaison (en degrés), distance à la Terre (en ua). 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.

• Les éphémérides de *Pluton* et des *petites planètes* Cérès, Pallas, Junon et Vesta :

– les coordonnées géocentriques, ascension droite (en heures), déclinaison (en degrés), distance à la Terre (en ua). 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 éphémérides de *satellites naturels*, les satellites de Mars, les satellites galiléens de Jupiter, les huit premiers satellites de Saturne et les cinq premiers satellites d'Uranus :

– les coordonnées différentielles tangentielles des satellites par rapport au centre de la planète, soit, au premier ordre :

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

où δ est la déclinaison de la planète et où $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ sont les différences en ascension droite et en déclinaison entre le satellite et 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).

• Les prédictions des *phénomènes* des satellites galiléens de Jupiter.

• Un *calendrier* est publié à la fin de l'ouvrage. 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.

6.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

6.2.2. Soleil, Lune, Planètes

Depuis 1984, les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes publiées dans la *Connaissance des Temps* sont issues de théories élaborées à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides et ajustées à l'intégration numérique du Jet Propulsion Laboratory DE200 (Standish et Williams, 1982).

Ces théories sont les suivantes :

- Soleil, Mercure, Vénus et Mars : la théorie VSOP82 (Bretagnon, 1982) ;
- Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune : les théories VSOP82 (Bretagnon, 1982) et TOP82 (Simon, 1983) ;
- Lune : la théorie ELP 2000-82 (Chapront-Touzé et Chapront, 1983).

Les éphémérides de Pluton sont issues de DE200, celles de Cérès, Pallas, Junon et Vesta d'une intégration numérique effectuée au Bureau des longitudes (Rocher, 1984).

Les programmes de calcul de ces éphémérides sont décrits dans Francou et al., 1983.

6.2.3. Satellites

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

- satellites de Mars : les théories ESAPHO et ESADE (Chapront-Touzé, 1990) ;
- satellites galiléens : la théorie de Sampson (1921) améliorée par Lieske (1977) ; les constantes introduites ont été déterminées par Arlot (1982) ;
- huit premiers satellites de Saturne : la théorie TASS1.6 (Vienne et Duriez, 1995) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan et Japet ; la théorie de Duriez et Vienne (1997) pour Hypérion.
- cinq premiers satellites d'Uranus : la théorie GUST86 (Laskar et Jacobson, 1987).

6.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES

6.3.1. Représentation des coordonnées

6.3.1.1 Soleil, Lune, Planètes

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 :

$$y = a_0 + a_1 T_1(x) + \dots + a_n T_n(x), \quad (6.3.1)$$

où :

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

$$x = -1 + 2(t - t_0)/DT ; \quad (6.3.2)$$

- 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 :

$$T_p(x) = \cos(p \arccos x) ; \quad (6.3.3)$$

– soit par la relation de récurrence :

$$\begin{aligned} T_{p+1}(x) &= 2xT_p(x) - T_{p-1}(x) \\ \text{avec : } T_0(x) &= 1 ; \quad T_1(x) = x. \end{aligned} \quad (6.3.4)$$

6.3.1.2. Satellites

Soit t une date julienne appartenant à l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$. On calcule les coordonnées X et Y d'un satellite pour la date t par la formule (Chapront et Vu, 1984) :

$$\begin{aligned} X/Y &= A0 + A1u + B0 \sin(Nu + F0) + B1u \sin(Nu + F1) + B2u^2 \sin(Nu + F2) \\ &\quad + C0 \sin(2Nu + P0), \end{aligned} \quad (6.3.5)$$

où :

- $u = t - t_0$; u est compté en jours ;
- $A0, A1, B0, F0, B1, F1, B2, F2, C0, P0$ sont les coefficients numériques publiés dans la *Connaissance des Temps*, valables pour l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ contenant t ;
- N est la fréquence associée au satellite considéré. Elle est proche de celle du satellite lui-même, sauf dans le cas d'Hypérioron pour lequel on prend une fréquence proche de celle de Titan du fait de l'existence d'un très gros terme perturbateur de fréquence plus grande que celle du satellite lui-même.

On trouvera des explications détaillées sur les représentations utilisées pour le Soleil, la Lune et les planètes (représentation en polynômes de Tchebychev) et pour les satellites (représentation sous forme de fonctions mixtes) dans le paragraphe 9.1 de l'*Introduction aux Éphémérides Astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

6.3.1.3 Table synoptique

La table 6.1 donne les coordonnées des astres dont nous publions les éphémérides avec les caractéristiques de leurs développements en polynômes de Tchebychev ou sous forme de fonctions mixtes et renvoie aux pages correspondantes de la partie "Éphémérides".

Table 6.1. Table synoptique.

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Page
	Temps sidéral, nutations en longitude et obliquité	9	18	II. 4
	Constantes C et D	6	33	II. 8
Soleil	Coordonnées écliptiques	11	33	II. 12
	Coordonnées équatoriales, temps de passage	10	33	II. 14
	Coordonnées rectangulaires	11	33	II. 16
Lune	Coordonnées équatoriales, distance à la Terre	9	4	II. 20
Mercure	Coordonnées héliocentriques	15	33	II. 34
	Coordonnées géocentriques	15	33	II. 38
Vénus	Coordonnées héliocentriques	10	94	II. 36
	Coordonnées géocentriques	10	33	II. 40
Mars	Coordonnées héliocentriques	10	186	II. 36
	Coordonnées géocentriques	10	33	II. 42
Jupiter	Coordonnées héliocentriques	6	368	II. 37
	Coordonnées géocentriques	10	33	II. 44
Saturne	Coordonnées héliocentriques	6	368	II. 37
	Coordonnées géocentriques	10	33	II. 46
Uranus	Coordonnées héliocentriques	6	368	II. 37
	Coordonnées géocentriques	10	33	II. 48
Neptune	Coordonnées héliocentriques	6	368	II. 37
	Coordonnées géocentriques	10	33	II. 50
Pluton	Coordonnées géocentriques	8	33	II. 54
Cérès	Coordonnées géocentriques	8	33	II. 56
Pallas	Coordonnées géocentriques	8	33	II. 58
Junon	Coordonnées géocentriques	8	33	II. 60
Vesta	Coordonnées géocentriques	8	33	II. 62

Table 6.1. (*suite et fin*).

Satellite	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	N (rad/jour)	Page
Phobos	Coordonnées différentielles	10	7	19.7027	II. 66
Déimos	"	10	7	4.9788	II. 71
Io	Coordonnées différentielles	10	3	3.5516	II. 78
Europe	"	10	4	1.7693	II. 89
Ganymède	"	10	9	0.8782	II. 97
Callisto	"	8	10	0.3765	II. 101
Mimas	Coordonnées différentielles	10	4	6.6670	II. 110
Encelade	"	10	16	4.5860	II. 118
Théthys	"	10	16	3.3280	II. 120
Dioné	"	10	16	2.2960	II. 122
Rhéa	"	10	16	1.3910	II. 124
Titan	"	8	11	0.3940	II. 126
Hypérion	"	8	8	0.3940	II. 129
Japet	"	6	16	0.0790	II. 133
Miranda	Coordonnées différentielles	10	9	4.4880	II. 136
Ariel	"	10	31	2.4930	II. 140
Umbriel	"	10	27	1.5162	II. 141
Titania	"	10	17	0.7217	II. 143
Obéron	"	10	22	0.4667	II. 145

6.3.2. Description des éphémérides

6.3.2.1. Caractéristiques générales

Les éphémérides de l'année sont publiées pour chaque corps. Pour chacun, on compte un certain nombre de variables qui, pour des intervalles de temps donnés, sont représentées par des tableaux donnant les coefficients de leurs développements en polynômes de Tchebychev ou sous forme de fonctions mixtes.

En haut de chaque page on trouve :

- le nom du corps concerné suivi de l'année de l'éphéméride ;
- le type des variables représentées ;

– éventuellement, les caractéristiques du système de coordonnées.

En bas de chaque page on trouve les unités utilisées.

Les coefficients d'un tableau sont publiés en colonne. Pour chaque tableau on précise :

- le nom de la variable représentée ;
- les dates de début et de fin de l'intervalle de temps correspondant au domaine de validité du tableau.

Pour le début des intervalles nous avons adopté les conventions suivantes. Pour le Soleil et les planètes, le début d'un intervalle est le 0 du premier mois de l'intervalle à 0h, c'est-à-dire, le dernier jour du mois précédent à 0h. Pour la Lune le premier intervalle commence le 0 janvier (c'est-à-dire, le 31 décembre de l'année précédente) à 0h.

6.3.2.2. Soleil, Lune, Planètes

- la longueur des intervalles de temps DT (en jours) figure en haut de chaque page ;
- les coefficients sont notés $0, 1, \dots, p, \dots, n$;
- la *valeur de contrôle* du tableau, imprimée en italique, figure en tête de chaque tableau. C'est la valeur $y(t_0)$ de la variable y représentée par le tableau, pour t_0 début de l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$. Elle est égale à :

$$y(t_0) = a_0 - a_1 + \dots + (-1)^n a_n. \quad (6.3.6)$$

La valeur de contrôle permet de vérifier que les coefficients ont été correctement entrés en mémoire sur un ordinateur. De plus, l'ensemble des valeurs de contrôle des tableaux d'une même variable donne une idée de l'évolution de cette variable au cours de l'année.

6.3.2.3. Satellites

la valeur de la fréquence N (en radians par jour) associée au satellite figure en haut de chaque page ;

- les coefficients sont notés $A0, A1, B0, F0, B1, F1, B2, F2, C0, P0$. Pour quelques satellites certains coefficients ne sont pas donnés car ils sont nuls.
- $A0, B0, C0$ sont exprimés en secondes de degré ;
- $A1, B1$ sont exprimés en secondes de degré par jour ;
- $B2$ est exprimé en secondes de degré par (jour)² ;
- $F0, F1, F2, P0$ sont exprimés en radians ;
- dans la formule (6.3.5) u est compté en jours à partir du début de l'intervalle (époque t_0).

6.3.3. Argument des éphémérides

L'argument "temps" des éphémérides publiées dans la *Connaissance des Temps* est le TDB (temps dynamique barycentrique) que l'on peut confondre, à la précision des éphémérides, avec le TT (temps terrestre), proche du TE (temps des éphémérides) et réalisé physiquement par la mesure du TAI (temps atomique international). On a :

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

Les événements astronomiques sont mesurés dans l'échelle UTC (temps universel coordonné). La table 6.2 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 (*International Earth rotation and Reference systems Service*).

Table 6.2. 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 –		64.184 s

6.3.4. Calcul d'une coordonnée

Pour calculer la valeur d'une coordonnée d'un astre pour une date t exprimée en UTC, on commence par :

- effectuer, sur t , une correction déduite de la table 6.2 afin de se ramener à l'argument des éphémérides (identifié à TT) ;
- chercher, parmi les tableaux représentant la coordonnée, celui qui correspond à l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ dans lequel se trouve t . Il faut insister sur le fait que la représentation, qu'elle soit en polynômes de Tchebychev ou sous forme de fonctions mixtes, n'est pas valable en dehors de l'intervalle $t_0, t_0 + DT$.

Le calcul se poursuit de la manière suivante :

- *Soleil, Lune, Planètes*

– On calcule x par la formule (6.3.2).

– À partir des $n + 1$ coefficients du tableau $a_0, a_1, \dots, a_p, \dots, a_n$ (notés $0, 1, \dots, p, \dots, n$), on calcule la coordonnée $y(t)$ par la formule (6.3.1).

– Les polynômes de Tchebychev $T_p(x)$ se calculent soit par la formule (6.3.3), soit par la relation de récurrence (6.3.4). Notons que, si on n'utilise que les $p + 1$ ($p < n$) premiers coefficients du développement en polynômes de Tchebychev, on commet, sur la représentation de y , une erreur au plus égale à la somme des valeurs absolues des $n - p$ coefficients négligés.

– Pour avoir le temps de passage du Soleil au méridien origine en un jour donné, numéroté j dans le mois, on applique la même méthode en prenant $t = j + 0.5$.

- *Satellites*

– On applique la formule (6.3.5) avec $u = t - t_0$ (u est compté en jours).

6.3.5. Exemples

Exemple 1. *Calculer le rayon vecteur héliocentrique de Mars le 5 novembre 2005 à 16h 51m 42s UTC.*

On effectue d'abord une correction pour se ramener à l'argument des éphémérides. Pour 2005, la valeur de TT–UTC n'est pas encore connue, mais on peut la prendre égale à 65 s. La date t est donc le 5 novembre 2005 à 16h 52m 47s argument des éphémérides.

On utilise les coefficients de la page II. 36 valables du 0 juillet 0h au 33 décembre 0h. Le calendrier des pages II. 148 et II. 149 donne les numéros JDA des jours de l'année correspondant au 0 juillet (JDA=181) et au 5 novembre (JDA=309). On a :

$$DT = 186 ; \quad t - t_0 = 309 - 181 + (16\text{h } 52\text{m } 47\text{s})/24 = 128.703\,321\,759 \text{ jours.}$$

On en déduit par la formule (6.3.2) :

$$x = -1 + 2(t - t_0)/DT = 0.383\,906\,686.$$

On peut calculer les polynômes de Tchebychev par l'un des deux algorithmes suivants :

• Algorithme 1

Les polynômes de Tchebychev $T_p(x)$ sont calculés par la relation (6.3.3) :

$$T_p(x) = \cos p\theta \text{ où } \theta = \arccos x.$$

On a : $\theta = 67^\circ.424\ 117\ 27$. On en déduit :

$$\begin{aligned} T_1(x) &= \cos \theta = x = 0.383\ 906\ 686, \\ T_2(x) &= \cos 2\theta = -0.705\ 231\ 314, & T_3(x) &= \cos 3\theta = -0.925\ 392\ 718, \\ T_4(x) &= \cos 4\theta = -0.005\ 297\ 589, & T_5(x) &= \cos 5\theta = 0.921\ 325\ 158, \\ T_6(x) &= \cos 6\theta = 0.712\ 703\ 365, & T_7(x) &= \cos 7\theta = -0.374\ 101\ 985, \\ T_8(x) &= \cos 8\theta = -0.999\ 943\ 871, & T_9(x) &= \cos 9\theta = -0.393\ 668\ 289. \end{aligned}$$

• Algorithme 2

Les polynômes $T_p(x)$ sont calculés par la relation de récurrence (6.3.4) :

$$\begin{aligned} T_{p+1}(x) &= 2xT_p(x) - T_{p-1}(x) \\ \text{avec : } T_0(x) &= 1; \quad T_1(x) = x = 0.383\ 906\ 686. \end{aligned}$$

On en déduit :

$$\begin{aligned} T_2(x) &= 2xT_1 - T_0 = -0.705\ 231\ 314, \\ T_3(x) &= 2xT_2 - T_1 = -0.925\ 392\ 718, \text{ etc.} \end{aligned}$$

Les polynômes de Tchebychev étant déterminés, le rayon vecteur R de Mars se déduit de la formule (6.3.1) :

$$R = a_0 + a_1T_1(x) + \dots + a_9T_9(x),$$

où les coefficients a_0, a_1, \dots, a_9 sont ceux du tableau de la page II. 36 valables du 0 juillet 0h au 33 décembre 0h. On a donc :

$$R = 1.439\ 213\ 81 + 0.077\ 939\ 73 T_1 + \dots + 0.000\ 000\ 04 T_9,$$

soit, finalement :

$$R = 1.458\ 976\ 87 \text{ ua.}$$

Exemple 2. Calculer les coordonnées tangentielles de *Téthys* (troisième satellite de *Saturne*) par rapport à la planète, le 4 janvier 2005 à 23h 29m 57s UTC.

On effectue la même correction de 65 s que dans l'exemple 1 pour se ramener à l'argument des éphémérides. La date t est donc le 4 janvier 2005 à 23h 31m 02s argument des éphémérides.

On utilise les coefficients de la page II. 120 valables du 0 janvier 0h au 16 janvier 0h. On a, pour X :

$$A_0 = 0.011\ 100, \quad A_1 = 0.000\ 010, \quad B_0 = 49.816\ 800, \quad F_0 = 3.345\ 717, \text{ etc.}$$

et, pour Y :

$$A_0 = 0.012\ 600, \quad A_1 = -0.000\ 190, \quad B_0 = 19.129\ 600, \quad F_0 = 2.047\ 366, \text{ etc.}$$

On applique ensuite la formule (6.3.5) :

$$X/Y = A0 + A1 u + B0 \sin(Nu + F0) + B1 u \sin(Nu + F1) + B2 u^2 \sin(Nu + F2) + C0 \sin(2Nu + P0),$$

où : $N = 3.3280$ radians/jour ;

u est le nombre de jours écoulés entre le 0 janvier à 0h et le 4 janvier à 23h 31m 02s, soit 4.979 884 jours. On obtient finalement :

$$X = 44''.008,$$

$$Y = -4''.237.$$

6.4. 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. La précision interne est la meilleure. La précision de la représentation est du même ordre que la précision interne dans le cas de la Lune ; elle est du même ordre que la précision externe dans le cas des planètes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune ; elle est la plus mauvaise dans le cas du Soleil et des planètes Mercure, Vénus et Mars. La précision externe est la plus mauvaise des trois composantes dans le cas de Pluton, des petites planètes et des satellites naturels.

La table 6.3 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 (Supplément explicatif à la Connaissance des temps)* et dans Standish (1985).

Table 6.3. Précision globale des éphémérides de la Connaissance des Temps.

Astre	Précision globale
Soleil	0".3
Lune	0".03
Mercure	0".9
Vénus	0".3
Mars	0".4
Jupiter	0".5
Saturne	0".7
Uranus	0".9
Neptune	1"
Pluton et petites planètes	2"
Satellites de Mars	0".05
Satellites galiléens de Jupiter	0".05
Satellites de Saturne	de 0".1 à 0".5 (Hypériorion)
Satellites d'Uranus	0".1

6.5. PHÉNOMÈNES DES SATELLITES GALILÉENS

6.5.1. Description

Les satellites galiléens ont des orbites faiblement inclinées sur l'équateur de la planète et sur l'écliptique. Au cours de chaque révolution autour de Jupiter, les trois premiers satellites et, certaines années le quatrième, traversent le cône d'ombre et le cône de visibilité qui pointent vers le Soleil et la Terre et qui s'appuient sur la planète. On peut alors observer des phénomènes : passages de satellites devant la planète, passages de leurs ombres sur la planète, occultations et éclipses. On peut calculer environ 2200 phénomènes observables pendant une année.

Les prédictions de ces phénomènes des satellites galiléens sont données dans les tables des pages II. 106 et II. 107 suivant une représentation polynomiale en fonction d'une variable temporelle. La méthode (Thuillot, 1983, 1989) permet à l'aide de quelques coefficients, pour chaque satellite et pour l'année entière, de représenter chaque type de phénomène (début et fin de passages, P.A.D et P.A.F, de passages d'ombres, O.M.D et O.M.F, d'occultations, O.C.D et O.C.F, d'éclipses, E.C.D et E.C.F) avec une précision meilleure que la minute de temps.

Dans l'utilisation de ces prédictions, il est nécessaire de tenir compte du recouvrement possible des cônes d'ombre et de visibilité pour s'assurer de l'existence des phénomènes calculés. Ainsi, avant (ou après) l'opposition de Jupiter, les fins (resp. débuts) d'éclipse des trois premiers satellites

qui se déroulent derrière la planète sont inobservables. Il en est de même des débuts (resp. fins) d'occultation qui se déroulent dans l'ombre de la planète. Ceci ne pouvant être pris en compte dans la représentation, il est nécessaire que l'utilisateur vérifie les conditions de visibilité des éclipses et des occultations en calculant les quatre dates des phénomènes EC.D, EC.F, OC.D, OC.F et en les ordonnant chronologiquement.

Par ailleurs, les caractéristiques orbitales du satellite Callisto font que ses phénomènes peuvent ne se produire que sur une partie de l'année, ou même ne pas exister. Dans ce cas les coefficients des phénomènes de ce satellite ne sont pas donnés.

6.5.2. Calcul d'une date de phénomène

Soit t une date julienne au voisinage de laquelle on désire connaître les dates des phénomènes d'un satellite galiléen ; t est exprimé en jours comptés depuis le 0 janvier et appartient à l'intervalle $t_o, t_o + DT$. Soit P la période synodique moyenne du satellite considéré. La date approchée t_1 du phénomène recherché, comptée comme t , est donnée par la relation :

$$t_1 = kP + \tau/24 + t_o,$$

où :

- k représente la partie entière de la quantité $(t - t_o)/P$
- τ est donné sur l'intervalle $t_o, t_o + DT$ par un polynôme dont les coefficients c_i sont donnés pour chaque phénomène et qui a la forme :

$$\tau = c_o + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n,$$

avec :

$$x = 2(t - t_o)/DT - 1.$$

Le calcul peut ensuite être réitéré en substituant t_1 à t de façon à obtenir la convergence vers une prédiction de précision meilleure que une minute de temps.

6.5.3. Exemple

Calculer les dates des phénomènes du satellite Io au voisinage du 30 juin 2005.

Voyons tout d'abord le calcul pour le début d'éclipse (EC.D) pour lequel les tables de la page II. 106 donnent :

$$t_o = 0, P = 1.769\,8605 \text{ jour}, DT = 366 \text{ jours.}$$

Du 0 janvier 0h au 30 juin 2005, 181 jours se sont écoulés. On a donc :

$$t = 181 \text{ jours,}$$

$$x = 2(t - t_o)/DT - 1 = -0.010\,928\,962.$$

On obtient donc :

$$\begin{aligned} \tau = 25.395\,966 + 0.386\,628 x &+ 0.023\,798 x^2 - 0.691\,917 x^3 \\ &+ 0.005\,854 x^4 + 0.215\,752 x^5, \end{aligned}$$

soit,

$$\tau = 25.391\,744.$$

On a par ailleurs :

$$\begin{aligned} k &= \text{partie entière de } (181 - 0)/1.769\,8605 \\ &= 102. \end{aligned}$$

On obtient donc la date approchée t_1 du début d'éclipse de Io (EC.D) :

$$\begin{aligned} t_1 &= kP + \tau/24 + t_o = 102 \times 1.769\,8605 + 25.391\,744/24 + 0, \\ t_1 &= 181.583\,760 \text{ jours.} \end{aligned}$$

Donc 181.583760 jours se sont écoulés depuis le 0 janvier (début de l'intervalle pour ces phénomènes), ce qui correspond au 30 juin 2005 à 14h 0m 37s (TT). Le calcul réitéré donne $t_2 = 181.583\,812$ jours, soit le 30 juin 2005 à 14h 0m 41s (TT).

On trouverait de même les dates des autres phénomènes de Io, et après avoir effectué le tri chronologique on obtiendrait :

PA.D	le 29 juin à 15h 29m 26s
OM.D	le 29 juin à 16h 44m 46s
PA.F	le 29 juin à 17h 40m 32s
OM.F	le 29 juin à 18h 54m 49s
OC.D	le 30 juin à 12h 43m 0s
EC.D	le 30 juin à 14h 0m 41s inobservable car occulté
OC.F	le 30 juin à 14h 56m 22s inobservable car éclipsé
EC.F	le 30 juin à 16h 12m 36s

6.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E. : 1982, New constants for Sampson-Lieske theory of the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **107**, 305.
- Bretagnon, P. : 1982, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. Solution VSOP82, *Astron. Astrophys.* **114**, 278.

- 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.
- Chapront, J., Vu, D.T. : 1984, A new compact representation of ephemerides : application to the motion of Pluto, the Sun and the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **141**, 131.
- Chapront-Touzé, M. : 1990, Orbits of the Martian satellites from ESAPHO and ESADE theories, *Astron. Astrophys.* **240**, 159.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP 2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Duriez L., Vienne A., : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.* **324**, 366.
- Francois, G., Bergeal, L., Chapront, J., Morando, B. : 1983, Nouvelles éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes, *Astron. Astrophys.* **128**, 124.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- Lieske, J.H. : 1977, Theory of motion of Jupiter's Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **56**, 333.
- Rocher, P. : 1990, communication privée.
- Sampson, R.A. : 1921, Theory of the four great satellites of Jupiter, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **63**.
- Simon, J.-L. : 1983, Théorie du mouvement des quatre grosses planètes. Solution TOP82, *Astron. Astrophys.* **120**, 197.
- Standish, E.M. : 1985, Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry J. Kovalevsky and V.A. Brumberg eds. (Reidel, Dordrecht, Holland), 71.
- Standish, E.M., Williams, J.G. : 1982, Development Ephemeris DE200-LE200, bande magnétique.
- Thuillot, W. : 1983, Théorie des phénomènes des satellites galiléens de Jupiter, *Astron. Astrophys.* **127**, 63.
- Thuillot, W. : 1989, Prédiction des phénomènes des satellites galiléens, *Note Scientifique et Technique du Bureau des longitudes* S015.
- Vienne A., Duriez L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.* **297**, 588.

ÉPHÉMÉRIDES POUR L'ANNÉE 2005

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION

Temps sidéral, nutation en longitude, nutation en obliquité	II. 4
Constantes pour la correction d'aberration	II. 8

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$a_0 + a_1 T_1(x) + a_2 T_2(x) \dots + a_n T_n(x),$$

$$\text{où : } T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_p(x) = 2xT_{p-1}(x) - T_{p-2}(x), \\ x = -1 + 2(t - t_0)/DT.$$

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION 2005 DT = 18 jours

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

du 0 janvier 0h au 18 janvier 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-209.349 466 63	-7.399	7.550
7.241 927 43	-7.068	7.693
216.591 396 81	0.494	0.152
0.000 000 15	0.009	0.073
-0.000 004 33	-0.255	0.006
-0.000 000 38	-0.022	-0.080
0.000 001 89	0.111	-0.008
0.000 000 24	0.014	0.024
-0.000 000 42	-0.025	0.004
-0.000 000 12	-0.007	-0.006

du 16 janvier 0h au 3 février 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-208.298 096 87	-6.661	7.887
8.293 294 87	-6.465	7.992
216.591 391 24	0.166	0.194
-0.000 003 36	-0.198	0.051
-0.000 001 67	-0.098	-0.083
0.000 001 84	0.109	-0.032
0.000 000 51	0.030	0.018
-0.000 000 18	-0.011	0.004
-0.000 000 04	-0.002	-0.001
0.000 000 00	0.000	0.000

du 0 février 0h au 18 février 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-207.312 444 67	-6.375	8.209
9.278 947 26	-6.169	8.315
216.591 391 36	0.173	0.171
-0.000 003 30	-0.194	-0.005
-0.000 000 23	-0.013	-0.101
0.000 003 09	0.182	0.008
-0.000 000 22	-0.013	0.047
-0.000 000 92	-0.054	-0.005
0.000 000 11	0.006	-0.011
0.000 000 22	0.013	0.002

du 16 février 0h au 6 mars 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-206.261 084 26	-6.186	8.445
10.330 303 97	-6.198	8.605
216.591 385 36	-0.180	0.150
-0.000 000 97	-0.057	-0.088
0.000 003 64	0.214	-0.046
0.000 001 23	0.072	0.053
-0.000 000 81	-0.048	0.018
-0.000 000 30	-0.017	-0.006
0.000 000 03	0.002	-0.003
0.000 000 03	0.002	0.000

du 0 mars 0h au 18 mars 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-205.472 570 64	-6.440	8.792
11.118 816 87	-6.492	8.807
216.591 386 32	-0.123	0.064
-0.000 002 86	-0.168	-0.035
0.000 001 06	0.062	-0.094
0.000 002 76	0.162	0.031
-0.000 000 74	-0.043	0.041
-0.000 000 74	-0.044	-0.011
0.000 000 19	0.011	-0.008
0.000 000 16	0.009	0.003

du 16 mars 0h au 3 avril 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-204.421 218 38	-6.727	8.832
12.170 167 51	-6.877	8.863
216.591 383 77	-0.274	-0.004
0.000 000 58	0.034	-0.096
0.000 003 98	0.234	-0.014
0.000 000 48	0.028	0.064
-0.000 001 08	-0.064	0.011
-0.000 000 25	-0.014	-0.009
0.000 000 08	0.005	-0.003
0.000 000 05	0.003	0.000

Unités : heure seconde seconde
 de degré de degré de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION 2005 DT = 18 jours

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

du 0 avril 0h au 18 avril 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
−203.435 579 87	−7.250	8.808
13.155 809 43	−7.198	8.800
216.591 386 67	−0.103	−0.065
0.000 000 76	0.045	−0.078
0.000 003 23	0.190	0.050
−0.000 001 52	−0.090	0.061
−0.000 001 07	−0.063	−0.026
0.000 000 52	0.031	−0.011
0.000 000 11	0.007	0.006
−0.000 000 12	−0.007	0.001

du 16 avril 0h au 4 mai 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
−202.384 222 41	−7.235	8.685
14.207 164 19	−7.341	8.650
216.591 388 58	0.010	−0.102
0.000 004 03	0.237	0.000
−0.000 000 14	−0.008	0.102
−0.000 002 89	−0.170	0.008
−0.000 000 29	−0.017	−0.038
0.000 000 63	0.037	−0.007
0.000 000 14	0.008	0.006
−0.000 000 08	−0.005	0.002

du 0 mai 0h au 18 mai 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
−201.464 285 29	−7.258	8.480
15.127 104 08	−7.203	8.435
216.591 390 43	0.118	−0.120
0.000 002 81	0.166	0.010
−0.000 000 68	−0.040	0.100
−0.000 002 39	−0.140	−0.018
0.000 000 53	0.031	−0.029
0.000 000 36	0.021	0.008
−0.000 000 14	−0.008	0.002
−0.000 000 01	−0.001	−0.002

du 16 mai 0h au 3 juin 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
−200.412 923 24	−6.973	8.336
16.178 467 56	−6.833	8.249
216.591 394 25	0.343	−0.092
0.000 001 55	0.091	0.072
−0.000 004 04	−0.238	0.034
−0.000 001 14	−0.067	−0.072
0.000 001 60	0.094	−0.019
0.000 000 41	0.024	0.019
−0.000 000 30	−0.018	0.005
−0.000 000 11	−0.007	−0.004

du 0 juin 0h au 18 juin 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
−199.427 266 37	−6.415	8.240
17.164 125 70	−6.199	8.129
216.591 394 25	0.343	−0.046
−0.000 001 05	−0.062	0.096
−0.000 003 38	−0.199	−0.028
0.000 000 82	0.048	−0.057
0.000 000 86	0.051	0.010
−0.000 000 16	−0.010	0.006
−0.000 000 03	−0.002	−0.002
0.000 000 02	0.001	0.000

du 16 juin 0h au 4 juillet 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
−198.375 901 14	−5.940	8.166
18.215 496 37	−5.405	8.097
216.591 398 11	0.570	0.007
−0.000 002 72	−0.160	0.025
−0.000 001 20	−0.070	−0.099
0.000 003 11	0.183	−0.014
0.000 000 26	0.015	0.047
−0.000 000 93	−0.055	0.001
0.000 000 01	0.001	−0.011
0.000 000 21	0.013	0.001

Unités : heure seconde seconde
 de degré de degré de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION 2005 DT = 18 jours

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

du 0 juillet 0h au 18 juillet 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-197.455 949 84	-5.132	8.198
19.135 445 66	-4.714	8.215
216.591 393 80	0.317	0.103
-0.000 003 53	-0.208	0.014
0.000 000 10	0.006	-0.099
0.000 002 26	0.133	-0.006
0.000 000 11	0.006	0.023
-0.000 000 23	-0.014	0.001
-0.000 000 01	0.000	-0.001
0.000 000 00	0.000	0.000

du 16 juillet 0h au 3 août 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-196.404 584 29	-4.639	8.324
20.186 814 81	-4.010	8.436
216.591 395 98	0.445	0.153
-0.000 002 61	-0.153	-0.049
0.000 002 99	0.176	-0.051
0.000 001 43	0.084	0.072
-0.000 001 66	-0.098	0.015
-0.000 000 14	-0.009	-0.023
0.000 000 39	0.023	0.000
-0.000 000 08	-0.005	0.005

du 0 août 0h au 18 août 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-195.418 923 69	-3.860	8.505
21.172 468 16	-3.658	8.728
216.591 389 44	0.060	0.185
0.000 000 75	0.044	-0.086
0.000 004 16	0.245	0.003
0.000 000 17	0.010	0.064
-0.000 001 03	-0.061	0.007
-0.000 000 18	-0.011	-0.008
0.000 000 04	0.002	-0.002
0.000 000 02	0.001	0.000

du 16 août 0h au 3 septembre 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-194.367 562 97	-3.652	8.790
22.223 827 18	-3.550	9.065
216.591 387 82	-0.035	0.192
0.000 000 86	0.051	-0.041
0.000 001 41	0.083	0.095
-0.000 002 62	-0.154	0.018
-0.000 000 08	-0.005	-0.040
0.000 000 64	0.037	0.004
-0.000 000 16	-0.009	0.006
-0.000 000 04	-0.002	-0.003

du 0 septembre 0h au 18 septembre 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-193.381 912 88	-3.492	9.126
23.209 469 47	-3.849	9.317
216.591 384 36	-0.239	0.124
0.000 003 69	0.217	0.010
-0.000 000 57	-0.034	0.102
-0.000 002 81	-0.165	-0.003
-0.000 000 20	-0.012	-0.036
0.000 000 50	0.029	-0.006
0.000 000 13	0.008	0.004
-0.000 000 01	-0.001	0.002

du 16 septembre 0h au 4 octobre 0h

temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-216.330 561 46	-3.831	9.413
0.260 818 76	-4.314	9.440
216.591 382 42	-0.353	0.012
0.000 000 08	0.005	0.065
-0.000 003 53	-0.208	0.025
-0.000 000 22	-0.013	-0.067
0.000 001 13	0.067	0.002
-0.000 000 17	-0.010	0.010
-0.000 000 06	-0.004	-0.003
0.000 000 05	0.003	0.001

Unités : heure seconde seconde
 de degré de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION 2005 DT = 18 jours

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

du 0 octobre 0h au 18 octobre 0h			du 16 octobre 0h au 3 novembre 0h		
temps sidéral	nut. long.	nut. obl.	temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-215.410 631 83	-4.298	9.452	-214.359 284 37	-4.871	9.411
1.180 748 98	-4.746	9.388	2.232 101 27	-5.034	9.179
216.591 384 33	-0.241	-0.069	216.591 386 23	-0.128	-0.156
0.000 001 29	0.076	0.061	-0.000 002 62	-0.154	0.044
-0.000 003 97	-0.233	0.016	-0.000 001 79	-0.106	-0.085
-0.000 000 73	-0.043	-0.074	0.000 002 13	0.125	-0.033
0.000 001 45	0.085	-0.014	0.000 000 39	0.023	0.024
0.000 000 33	0.020	0.015	-0.000 000 27	-0.016	0.002
-0.000 000 19	-0.011	0.004	0.000 000 03	0.002	-0.001
-0.000 000 08	-0.005	-0.001	-0.000 000 02	-0.001	0.001
du 0 novembre 0h au 18 novembre 0h			du 16 novembre 0h au 4 décembre 0h		
temps sidéral	nut. long.	nut. obl.	temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-213.373 641 82	-5.153	9.161	-212.322 280 32	-4.902	8.742
3.217 750 13	-4.946	8.894	4.269 116 83	-4.387	8.588
216.591 392 62	0.248	-0.200	216.591 394 65	0.367	-0.141
-0.000 001 87	-0.110	0.001	-0.000 000 58	-0.034	-0.069
-0.000 000 24	-0.014	-0.102	0.000 003 78	0.222	-0.049
0.000 002 98	0.176	-0.001	0.000 001 24	0.073	0.054
0.000 000 04	0.002	0.044	-0.000 000 83	-0.049	0.017
-0.000 000 77	-0.045	0.001	-0.000 000 23	-0.014	-0.005
-0.000 000 02	-0.001	-0.008	-0.000 000 01	0.000	-0.002
0.000 000 11	0.007	0.000	0.000 000 01	0.000	-0.001
du 0 décembre 0h au 18 décembre 0h			du 16 décembre 0h au 34 décembre 0h		
temps sidéral	nut. long.	nut. obl.	temps sidéral	nut. long.	nut. obl.
-211.402 335 37	-4.465	8.544	-210.350 956 09	-3.165	8.317
5.189 067 14	-3.635	8.435	6.240 442 83	-2.546	8.415
216.591 399 94	0.678	-0.077	216.591 398 36	0.585	0.048
-0.000 001 16	-0.069	-0.051	0.000 003 11	0.183	-0.043
0.000 003 47	0.204	-0.032	0.000 003 19	0.188	0.068
0.000 000 82	0.048	0.075	-0.000 001 58	-0.093	0.057
-0.000 001 62	-0.095	0.008	-0.000 001 14	-0.067	-0.013
-0.000 000 06	-0.003	-0.019	0.000 000 02	0.001	-0.011
0.000 000 29	0.017	0.000	0.000 000 13	0.008	-0.002
-0.000 000 03	-0.002	0.003	0.000 000 07	0.004	0.000

Unités : heure seconde seconde
 de degré de degré de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION 2005 DT = 33 jours

CONSTANTES POUR LA CORRECTION D'ABERRATION

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

C	D
-3.141	20.200
-8.188	17.956
-4.882	-2.648
0.187	-0.389
0.017	0.017
-0.004	0.000
0.001	-0.002

du 0 février 0h au 5 mars 0h

C	D
-12.375	15.420
-15.583	10.667
-2.875	-4.992
0.342	-0.214
0.004	0.023
-0.003	-0.003
0.002	-0.001

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

C	D
-17.599	7.180
-18.364	1.416
-0.377	-5.801
0.386	-0.010
-0.006	0.023
-0.002	-0.004
0.002	0.000

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

C	D
-18.485	-3.684
-16.480	-8.980
2.344	-5.115
0.324	0.199
-0.015	0.013
0.001	-0.004
0.001	0.001

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

C	D
-14.451	-13.099
-10.390	-16.602
4.270	-3.177
0.190	0.333
-0.017	0.003
0.003	-0.003
0.001	0.001

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

C	D
-6.537	-19.213
-1.465	-20.045
5.107	-0.445
0.019	0.382
-0.013	-0.006
0.003	0.001
0.000	0.002

. . . = -0.071

. . . = 0.334

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION, ABERRATION 2005 DT = 33 jours

CONSTANTES POUR LA CORRECTION D'ABERRATION

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

C	D
2.722	-20.282
7.529	-18.364
4.674	2.276
-0.145	0.346
-0.009	-0.011
0.002	0.003
-0.001	0.002

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

C	D
11.556	-16.177
14.883	-11.891
3.049	4.533
-0.283	0.231
-0.004	-0.012
-0.001	0.004
-0.002	0.000

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

C	D
17.408	-7.781
18.336	-2.184
0.567	5.666
-0.360	0.053
-0.001	-0.012
-0.003	0.002
-0.001	-0.002

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

C	D
18.679	2.474
16.935	7.934
-2.102	5.323
-0.349	-0.151
0.005	-0.012
-0.003	0.000
0.001	-0.002

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

C	D
14.898	12.529
10.762	16.294
-4.384	3.436
-0.234	-0.336
0.010	-0.009
-0.002	-0.003
0.002	-0.001

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

C	D
7.094	18.997
1.724	19.977
-5.426	0.553
-0.041	-0.427
0.014	-0.003
0.000	-0.003
0.001	0.000

. = -0.071

. = 0.334

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SOLEIL

Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 12
Ascension droite et déclinaison apparentes, temps de passage	II. 14
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 16

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$a_0 + a_1T_1(x) + a_2T_2(x) \dots + a_nT_n(x),$$

$$\text{où : } T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_p(x) = 2xT_{p-1}(x) - T_{p-2}(x), \\ x = -1 + 2(t - t_0)/DT.$$

SOLEIL 2005

DT = 33 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR
Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

longitude	latitude	rayon vec.
279.584 490	0.000 791	0.983 308 54
296.388 713	0.000 605	0.984 081 25
16.796 177	-0.000 088	0.001 087 92
-0.010 967	0.000 029	0.000 326 25
-0.002 344	-0.000 123	0.000 018 45
0.000 743	-0.000 025	0.000 002 93
0.000 057	0.000 035	-0.000 005 09
-0.000 111	0.000 001	0.000 000 14
0.000 020	-0.000 005	0.000 000 64
0.000 012	0.000 002	-0.000 000 28
-0.000 009	0.000 001	-0.000 000 06
0.000 001	-0.000 001	0.000 000 11

du 0 février 0h au 5 mars 0h

longitude	latitude	rayon vec.
311.142 575	0.000 517	0.985 218 68
327.822 168	0.000 306	0.988 289 60
16.651 999	-0.000 167	0.003 304 67
-0.029 670	-0.000 079	0.000 241 42
-0.001 340	-0.000 113	0.000 012 07
0.000 801	0.000 044	-0.000 000 48
-0.000 032	0.000 028	-0.000 004 77
-0.000 079	-0.000 009	0.000 000 59
0.000 025	-0.000 001	0.000 000 19
-0.000 004	0.000 001	-0.000 000 23
-0.000 006	-0.000 001	0.000 000 09
0.000 005	0.000 000	0.000 000 03

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

longitude	latitude	rayon vec.
339.429 169	0.000 212	0.990 580 73
355.893 294	-0.000 013	0.994 970 52
16.426 966	-0.000 194	0.004 480 02
-0.038 719	-0.000 094	0.000 089 09
-0.000 947	-0.000 100	0.000 007 07
0.000 770	0.000 057	0.000 004 05
0.000 069	0.000 024	-0.000 004 66
-0.000 083	-0.000 010	0.000 000 00
0.000 016	0.000 000	0.000 000 31
0.000 001	0.000 001	-0.000 000 22
-0.000 007	-0.000 001	0.000 000 03
0.000 003	0.000 000	0.000 000 06

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

longitude	latitude	rayon vec.
10.307 654	-0.000 276	0.998 958 45
26.488 815	-0.000 385	1.003 597 77
16.142 930	-0.000 172	0.004 556 53
-0.038 489	-0.000 131	-0.000 078 53
0.000 460	0.000 006	0.000 009 28
0.000 793	0.000 083	0.000 000 53
0.000 004	-0.000 002	-0.000 004 65
-0.000 065	-0.000 010	0.000 000 01
0.000 002	0.000 000	0.000 000 04
-0.000 008	-0.000 001	-0.000 000 02
-0.000 001	0.000 000	0.000 000 11
0.000 003	0.000 000	0.000 000 00

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

longitude	latitude	rayon vec.
39.682 946	-0.000 625	1.007 301 01
55.618 292	-0.000 628	1.010 973 44
15.905 840	-0.000 107	0.003 443 61
-0.028 882	-0.000 094	-0.000 219 36
0.001 336	0.000 084	0.000 013 30
0.000 770	0.000 064	-0.000 000 58
-0.000 006	-0.000 020	-0.000 004 74
-0.000 071	-0.000 009	-0.000 000 24
-0.000 013	0.000 000	0.000 000 11
-0.000 006	0.000 000	0.000 000 14
0.000 004	0.000 001	0.000 000 09
0.000 004	0.000 000	-0.000 000 02

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

longitude	latitude	rayon vec.
69.580 305	-0.000 768	1.013 885 20
85.353 761	-0.000 693	1.015 608 13
15.759 493	-0.000 013	0.001 407 76
-0.012 487	0.000 010	-0.000 297 74
0.002 180	0.000 130	0.000 017 53
0.000 695	0.000 002	-0.000 004 49
-0.000 088	-0.000 034	-0.000 004 87
-0.000 097	-0.000 003	0.000 000 05
-0.000 017	0.000 003	0.000 000 53
0.000 008	0.000 002	0.000 000 26
0.000 008	0.000 000	-0.000 000 03
0.000 001	0.000 000	-0.000 000 09

Unités : degré degré ua degré degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SOLEIL 2005

DT = 33 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

longitude	latitude	rayon vec.
98.242 734	-0.000 700	1.016 662 38
113.983 571	-0.000 589	1.016 076 65
15.744 836	0.000 083	-0.000 913 66
0.005 688	0.000 087	-0.000 303 63
0.002 357	0.000 100	0.000 023 20
0.000 636	-0.000 046	-0.000 005 82
-0.000 127	-0.000 030	-0.000 004 90
-0.000 111	0.000 005	0.000 000 38
-0.000 007	0.000 005	0.000 000 78
0.000 018	0.000 001	0.000 000 20
0.000 007	-0.000 001	-0.000 000 13
-0.000 002	-0.000 001	-0.000 000 11

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

longitude	latitude	rayon vec.
127.823 165	-0.000 427	1.015 115 29
143.665 770	-0.000 329	1.012 294 10
15.863 955	0.000 166	-0.003 076 81
0.023 130	0.000 134	-0.000 225 92
0.002 364	0.000 003	0.000 025 04
0.000 460	-0.000 079	-0.000 009 27
-0.000 232	-0.000 003	-0.000 003 94
-0.000 098	0.000 015	0.000 001 42
0.000 027	0.000 002	0.000 000 79
0.000 023	-0.000 002	-0.000 000 14
-0.000 002	-0.000 001	-0.000 000 19
-0.000 008	0.000 001	-0.000 000 01

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

longitude	latitude	rayon vec.
157.619 657	-0.000 089	1.009 474 15
173.678 741	0.000 001	1.005 149 15
16.092 649	0.000 209	-0.004 439 46
0.035 029	0.000 090	-0.000 082 76
0.001 917	-0.000 099	0.000 023 67
0.000 233	-0.000 056	-0.000 011 71
-0.000 300	0.000 028	-0.000 002 12
-0.000 046	0.000 011	0.000 002 08
0.000 049	-0.000 005	0.000 000 30
0.000 008	-0.000 002	-0.000 000 39
-0.000 010	0.000 001	-0.000 000 06
-0.000 003	0.000 001	0.000 000 11

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

longitude	latitude	rayon vec.
186.856 952	0.000 237	1.001 491 80
203.185 691	0.000 327	0.996 817 12
16.365 613	0.000 196	-0.004 619 40
0.037 549	0.000 013	0.000 087 48
0.001 073	-0.000 136	0.000 022 91
0.000 149	-0.000 011	-0.000 012 35
-0.000 304	0.000 038	-0.000 001 29
-0.000 016	0.000 000	0.000 002 02
0.000 045	-0.000 006	-0.000 000 03
-0.000 003	0.000 001	-0.000 000 34
-0.000 008	0.000 001	0.000 000 03
0.000 001	0.000 000	0.000 000 09

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

longitude	latitude	rayon vec.
217.588 284	0.000 476	0.992 811 39
234.184 506	0.000 573	0.989 061 15
16.625 925	0.000 125	-0.003 520 51
0.029 680	-0.000 098	0.000 254 11
0.000 195	-0.000 103	0.000 012 63
-0.000 068	0.000 055	-0.000 013 00
-0.000 290	0.000 025	0.000 000 48
0.000 028	-0.000 010	0.000 001 54
0.000 024	-0.000 001	-0.000 000 38
-0.000 013	0.000 002	-0.000 000 10
-0.000 002	0.000 000	0.000 000 10
0.000 003	0.000 000	0.000 000 01

du 0 décembre 0h au 31 décembre 0h

longitude	latitude	rayon vec.
247.797 848	0.000 611	0.986 271 93
264.567 618	0.000 684	0.984 463 14
16.783 073	0.000 020	-0.001 469 09
0.012 698	-0.000 142	0.000 355 35
-0.000 425	-0.000 026	0.000 003 28
-0.000 099	0.000 079	-0.000 012 99
-0.000 267	0.000 005	0.000 000 78
0.000 029	-0.000 011	0.000 001 12
0.000 007	0.000 001	-0.000 000 31
-0.000 010	0.000 000	0.000 000 05
0.000 002	-0.000 001	0.000 000 07
0.000 002	0.000 000	-0.000 000 01

Unités : degré degré ua degré degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SOLEIL 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
18.699 710 5	-23.089 784	12.049 193 3
19.885 876 7	-20.414 407	12.151 148 9
1.174 434 1	3.137 863	0.090 212 1
-0.012 777 6	0.446 870	-0.012 784 8
-0.000 888 0	-0.016 579	-0.000 884 7
0.000 169 9	-0.000 818	0.000 169 6
0.000 001 8	0.000 145	0.000 004 0
-0.000 008 7	0.000 003	-0.000 009 0
0.000 004 6	-0.000 005	0.000 002 1
0.000 000 6	-0.000 006	0.000 001 0
-0.000 002 1	0.000 002	-0.000 001 1

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
20.910 860 9	-17.414 632	12.223 329 4
21.992 970 1	-11.977 881	12.221 193 3
1.068 359 1	5.679 141	-0.015 880 0
-0.013 220 7	0.220 545	-0.013 212 4
0.000 643 5	-0.021 566	0.000 643 7
0.000 110 9	0.000 376	0.000 110 0
-0.000 008 1	0.000 071	-0.000 008 7
-0.000 001 4	-0.000 027	-0.000 004 5
0.000 001 0	-0.000 007	0.000 001 9
-0.000 002 0	-0.000 004	-0.000 000 4
0.000 000 5	0.000 002	-0.000 000 3

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
22.737 379 4	-8.010 516	12.209 923 7
23.751 138 0	-1.578 628	12.139 477 0
1.008 807 1	6.464 474	-0.075 390 1
-0.003 966 6	0.012 688	-0.003 959 6
0.001 025 0	-0.019 481	0.001 022 4
0.000 045 2	0.000 502	0.000 044 5
0.000 002 0	0.000 058	0.000 000 8
-0.000 002 0	-0.000 028	-0.000 004 6
-0.000 000 6	-0.000 005	0.000 001 0
-0.000 001 3	-0.000 004	0.000 000 0
0.000 000 4	0.000 000	-0.000 000 5

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
0.635 569 2	4.107 443	12.071 133 9
1.651 460 2	10.065 404	12.002 825 8
1.021 920 4	5.783 166	-0.062 280 0
0.006 782 4	-0.192 575	0.006 776 8
0.000 749 7	-0.017 370	0.000 746 8
0.000 000 9	0.000 448	0.000 000 9
-0.000 000 2	0.000 008	-0.000 001 7
-0.000 006 6	-0.000 041	-0.000 004 1
-0.000 001 7	-0.000 012	0.000 000 0
0.000 000 8	0.000 000	-0.000 000 4
0.000 000 3	0.000 001	0.000 000 0

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
2.489 683 6	14.736 103	11.953 973 2
3.569 164 3	18.820 887	11.949 232 8
1.089 830 0	3.731 695	0.005 606 2
0.010 170 2	-0.367 478	0.010 167 1
-0.000 220 7	-0.013 707	-0.000 219 5
-0.000 035 6	0.000 711	-0.000 035 3
-0.000 001 3	-0.000 007	0.000 000 2
-0.000 007 6	-0.000 046	-0.000 004 7
0.000 000 6	-0.000 008	-0.000 000 7
0.000 001 2	0.000 007	-0.000 000 3
0.000 000 3	0.000 005	0.000 000 2

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
4.532 436 0	21.898 839	11.959 698 0
5.669 820 8	22.897 440	12.012 866 4
1.139 913 8	0.537 805	0.055 694 8
0.001 360 8	-0.463 607	0.001 361 0
-0.001 141 2	-0.001 732	-0.001 140 1
0.000 031 3	0.001 030	0.000 031 9
-0.000 001 4	-0.000 077	0.000 000 6
-0.000 004 5	-0.000 021	-0.000 006 8
0.000 001 3	0.000 018	-0.000 000 9
-0.000 000 5	0.000 011	0.000 000 5
-0.000 000 6	0.000 000	0.000 000 6

Unités : heure degré heure heure degré heure

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SOLEIL 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
6.603 220 0	23.180 123	12.059 178 1
7.719 479 2	20.893 587	12.091 207 5
1.107 331 2	-2.704 428	0.023 100 1
-0.009 607 4	-0.407 148	-0.009 608 0
-0.000 552 3	0.011 309	-0.000 552 3
0.000 124 2	0.000 462	0.000 125 0
-0.000 007 6	-0.000 091	-0.000 008 4
-0.000 004 6	0.000 031	-0.000 007 6
-0.000 000 8	0.000 028	-0.000 000 2
-0.000 000 6	-0.000 001	0.000 001 0
0.000 000 3	-0.000 010	0.000 000 6

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
8.687 274 5	18.295 979	12.106 195 2
9.726 061 5	13.372 335	12.060 763 4
1.028 653 7	-5.183 933	-0.055 557 8
-0.009 625 8	-0.244 178	-0.009 621 5
0.000 603 3	0.015 964	0.000 602 6
0.000 085 4	-0.000 164	0.000 085 8
-0.000 015 9	0.000 041	-0.000 018 2
-0.000 006 6	0.000 072	-0.000 005 5
-0.000 000 9	0.000 004	0.000 001 6
0.000 001 8	-0.000 018	0.000 001 2
0.000 001 6	-0.000 008	0.000 000 0

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
10.624 819 8	8.685 014	12.006 730 6
11.615 241 1	2.440 221	11.912 972 2
0.989 180 4	-6.316 729	-0.095 002 3
-0.000 179 5	-0.054 980	-0.000 182 2
0.001 103 3	0.016 786	0.001 104 5
0.000 027 3	-0.000 063	0.000 027 4
-0.000 020 2	0.000 162	-0.000 019 5
-0.000 004 8	0.000 045	-0.000 002 4
0.000 004 1	-0.000 034	0.000 002 8
0.000 001 7	-0.000 012	0.000 000 4
-0.000 001 6	0.000 012	-0.000 000 7

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
12.424 220 1	-2.751 204	11.834 889 2
13.443 328 4	-8.877 448	11.769 785 0
1.028 990 8	-5.998 528	-0.055 233 7
0.010 845 2	0.147 058	0.010 837 1
0.000 959 3	0.019 338	0.000 962 5
-0.000 022 1	0.000 127	-0.000 022 1
-0.000 023 4	0.000 163	-0.000 021 4
-0.000 000 9	0.000 006	-0.000 001 2
0.000 005 3	-0.000 039	0.000 002 7
-0.000 000 5	0.000 000	-0.000 000 2
-0.000 002 0	0.000 013	-0.000 000 7

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
14.353 597 5	-14.067 442	11.727 247 9
15.472 812 4	-18.452 245	11.762 207 9
1.134 689 4	-4.026 690	0.050 439 3
0.015 389 5	0.377 624	0.015 397 0
-0.000 173 5	0.019 120	-0.000 172 3
-0.000 110 7	-0.000 324	-0.000 111 3
-0.000 021 0	0.000 050	-0.000 021 7
0.000 004 9	-0.000 047	0.000 001 9
0.000 000 6	-0.000 017	0.000 001 4
-0.000 002 3	0.000 013	-0.000 000 9
0.000 000 8	0.000 000	0.000 000 0

du 0 décembre 0h au 31 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	t. passage
16.406 556 7	-21.623 646	11.808 844 2
17.614 045 9	-22.807 515	11.932 128 3
1.212 912 9	-0.666 780	0.128 718 1
0.003 889 9	0.522 928	0.003 895 6
-0.001 566 5	0.004 445	-0.001 571 5
-0.000 042 6	-0.001 371	-0.000 043 3
-0.000 006 4	-0.000 013	-0.000 009 0
0.000 002 5	-0.000 047	0.000 002 3
-0.000 002 5	0.000 003	0.000 000 2
-0.000 000 7	0.000 010	-0.000 000 7
0.000 000 8	-0.000 004	0.000 000 2

Unités : heure degré heure heure degré heure

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SOLEIL 2005

DT = 33 jours

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

X	Y	Z
0.163 722 68	-0.889 580 12	-0.385 665 40
0.428 178 61	-0.791 449 55	-0.343 124 06
0.256 178 53	0.115 511 12	0.050 078 57
-0.009 207 20	0.016 974 64	0.007 359 96
-0.000 898 76	-0.000 441 06	-0.000 193 53
0.000 033 20	-0.000 028 53	-0.000 012 84
-0.000 000 56	0.000 006 50	0.000 003 48
-0.000 002 44	-0.000 000 99	-0.000 000 41
0.000 000 70	-0.000 000 61	-0.000 000 36
0.000 000 14	0.000 000 36	0.000 000 18
-0.000 000 21	0.000 000 00	0.000 000 01
0.000 000 07	-0.000 000 10	-0.000 000 06

du 0 février 0h au 5 mars 0h

X	Y	Z
0.648 209 86	-0.680 723 17	-0.295 119 90
0.819 170 49	-0.472 366 84	-0.204 790 33
0.154 143 06	0.219 130 44	0.095 001 55
-0.017 350 67	0.009 988 46	0.004 329 04
-0.000 488 16	-0.000 795 30	-0.000 346 93
0.000 041 01	-0.000 004 28	-0.000 001 02
-0.000 005 38	0.000 003 64	0.000 002 10
-0.000 000 66	-0.000 001 88	-0.000 000 98
0.000 000 64	0.000 000 16	0.000 000 06
-0.000 000 25	0.000 000 12	0.000 000 07
-0.000 000 01	-0.000 000 14	-0.000 000 08
0.000 000 09	0.000 000 05	0.000 000 02

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

X	Y	Z
0.927 419 85	-0.319 336 12	-0.138 445 16
0.972 171 54	-0.063 449 64	-0.027 509 04
0.024 646 80	0.258 098 35	0.111 895 65
-0.020 166 67	0.001 306 70	0.000 564 74
-0.000 015 21	-0.000 896 41	-0.000 390 54
0.000 041 37	0.000 013 49	0.000 006 92
-0.000 006 35	0.000 002 91	0.000 001 73
-0.000 000 43	-0.000 001 90	-0.000 001 01
0.000 000 57	0.000 000 17	0.000 000 07
-0.000 000 23	0.000 000 08	0.000 000 05
0.000 000 01	-0.000 000 13	-0.000 000 07
0.000 000 09	0.000 000 04	0.000 000 02

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

X	Y	Z
0.982 836 38	0.163 999 37	0.071 097 19
0.880 218 17	0.403 110 92	0.174 762 61
-0.120 823 78	0.231 736 00	0.100 466 52
-0.017 766 13	-0.008 148 96	-0.003 535 51
0.000 467 53	-0.000 744 81	-0.000 322 81
0.000 021 18	0.000 028 44	0.000 013 91
-0.000 006 43	-0.000 001 86	-0.000 000 83
0.000 000 83	-0.000 001 51	-0.000 000 85
0.000 000 23	0.000 000 13	0.000 000 06
0.000 000 02	-0.000 000 09	-0.000 000 05
0.000 000 11	0.000 000 03	0.000 000 01
-0.000 000 03	0.000 000 06	0.000 000 03

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

X	Y	Z
0.775 208 42	0.590 129 53	0.255 840 48
0.559 560 25	0.751 077 34	0.325 619 79
-0.227 445 40	0.146 582 82	0.063 549 33
-0.011 030 44	-0.014 832 34	-0.006 432 40
0.000 774 06	-0.000 432 78	-0.000 186 01
0.000 001 84	0.000 031 21	0.000 014 75
-0.000 004 21	-0.000 004 62	-0.000 002 39
0.000 001 54	-0.000 001 12	-0.000 000 66
0.000 000 40	0.000 000 14	0.000 000 06
0.000 000 15	0.000 000 09	0.000 000 04
-0.000 000 01	0.000 000 11	0.000 000 06
-0.000 000 08	0.000 000 02	0.000 000 01

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

X	Y	Z
0.353 738 70	0.871 773 71	0.377 945 35
0.080 525 95	0.911 278 92	0.395 074 37
-0.275 651 29	0.021 840 59	0.009 468 78
-0.001 546 67	-0.017 729 26	-0.007 686 37
0.000 879 56	-0.000 036 58	-0.000 013 35
-0.000 013 40	0.000 022 62	0.000 009 85
0.000 001 00	-0.000 005 78	-0.000 003 17
0.000 002 43	0.000 000 15	0.000 000 00
0.000 000 29	0.000 000 68	0.000 000 35
-0.000 000 20	0.000 000 25	0.000 000 14
-0.000 000 18	-0.000 000 04	-0.000 000 02
-0.000 000 03	-0.000 000 10	-0.000 000 05

Unités : ua ua ua ua ua ua
 Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SOLEIL 2005

DT = 33 jours

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

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

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

X	Y	Z
-0.145 755 92	0.923 138 58	0.400 215 98
-0.405 135 75	0.835 794 32	0.362 349 79
-0.252 304 95	-0.103 890 54	-0.045 040 44
0.007 891 55	-0.016 225 74	-0.007 033 03
0.000 793 40	0.000 339 31	0.000 149 05
-0.000 020 73	0.000 013 78	0.000 005 08
0.000 004 74	-0.000 004 15	-0.000 002 38
0.000 002 09	0.000 001 57	0.000 000 78
-0.000 000 40	0.000 000 84	0.000 000 47
-0.000 000 46	0.000 000 00	0.000 000 01
-0.000 000 06	-0.000 000 19	-0.000 000 10
0.000 000 11	-0.000 000 08	-0.000 000 05

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

X	Y	Z
-0.622 495 57	0.735 683 09	0.318 949 37
-0.799 673 51	0.540 108 46	0.234 159 33
-0.162 007 63	-0.206 810 65	-0.089 660 18
0.015 721 98	-0.010 591 52	-0.004 589 41
0.000 525 74	0.000 650 73	0.000 282 18
-0.000 020 02	0.000 004 69	0.000 000 50
0.000 006 60	0.000 000 75	0.000 000 27
-0.000 000 27	0.000 002 60	0.000 001 42
-0.000 001 22	0.000 000 03	0.000 000 05
-0.000 000 13	-0.000 000 47	-0.000 000 25
0.000 000 23	-0.000 000 07	-0.000 000 04
0.000 000 10	0.000 000 12	0.000 000 06

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

X	Y	Z
-0.933 437 23	0.352 644 49	0.152 888 37
-0.979 364 25	0.100 113 67	0.043 404 59
-0.026 409 39	-0.255 348 09	-0.110 702 95
0.019 659 64	-0.001 989 84	-0.000 860 99
0.000 118 86	0.000 823 88	0.000 355 29
-0.000 018 12	-0.000 000 48	-0.000 001 27
0.000 003 19	0.000 004 91	0.000 002 67
-0.000 002 63	0.000 001 19	0.000 000 72
-0.000 000 54	-0.000 000 96	-0.000 000 51
0.000 000 48	-0.000 000 20	-0.000 000 12
0.000 000 10	0.000 000 18	0.000 000 10
-0.000 000 13	0.000 000 07	0.000 000 04

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

X	Y	Z
-0.994 328 44	-0.109 704 11	-0.047 558 04
-0.897 972 34	-0.352 213 01	-0.152 696 83
0.115 166 42	-0.236 049 74	-0.102 336 39
0.018 483 03	0.007 270 63	0.003 152 44
-0.000 346 68	0.000 798 44	0.000 343 58
-0.000 017 56	-0.000 008 04	-0.000 003 68
-0.000 000 85	0.000 005 29	0.000 003 01
-0.000 002 70	-0.000 000 58	-0.000 000 25
0.000 000 39	-0.000 000 88	-0.000 000 49
0.000 000 39	0.000 000 20	0.000 000 10
-0.000 000 11	0.000 000 14	0.000 000 08
-0.000 000 09	-0.000 000 06	-0.000 000 03

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

X	Y	Z
-0.786 718 00	-0.555 628 76	-0.240 885 59
-0.567 068 79	-0.720 171 86	-0.312 221 94
0.232 358 45	-0.149 900 89	-0.064 987 67
0.011 952 67	0.015 197 56	0.006 587 10
-0.000 767 96	0.000 536 66	0.000 230 72
-0.000 014 69	-0.000 014 71	-0.000 005 35
-0.000 004 95	0.000 002 40	0.000 001 52
-0.000 000 92	-0.000 001 90	-0.000 001 02
0.000 000 78	-0.000 000 04	-0.000 000 04
-0.000 000 11	0.000 000 26	0.000 000 14
-0.000 000 11	-0.000 000 07	-0.000 000 04
0.000 000 05	-0.000 000 05	-0.000 000 03

du 0 décembre 0h au 31 décembre 0h

X	Y	Z
-0.372 688 06	-0.837 799 41	-0.363 219 01
-0.091 425 40	-0.879 968 58	-0.381 500 26
0.284 194 31	-0.023 456 60	-0.010 169 32
0.001 953 80	0.018 832 15	0.008 162 09
-0.000 977 47	0.000 097 03	0.000 041 58
-0.000 004 75	-0.000 021 15	-0.000 007 69
-0.000 005 29	-0.000 000 47	-0.000 000 12
0.000 000 41	-0.000 001 67	-0.000 000 92
0.000 000 38	0.000 000 29	0.000 000 15
-0.000 000 20	0.000 000 00	0.000 000 01
0.000 000 03	-0.000 000 08	-0.000 000 05
0.000 000 04	0.000 000 01	0.000 000 00

Unités : ua ua ua ua ua ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE

Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre II. 20

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$a_0 + a_1T_1(x) + a_2T_2(x) \dots + a_nT_n(x),$$

$$\text{où : } T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_p(x) = 2xT_{p-1}(x) - T_{p-2}(x), \\ x = -1 + 2(t - t_0)/DT.$$

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 4 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
10.066 551 22	16.604 960 0	402 631.118
11.562 504 11	5.828 388 6	394 810.150
1.490 812 91	-11.177 639 6	-8 705.424
0.000 455 76	-0.343 593 7	-860.331
0.005 843 64	0.058 173 2	31.501
0.000 236 09	0.001 024 6	7.749
-0.000 010 58	0.000 353 7	0.356
0.000 000 98	0.000 026 9	-0.019
-0.000 000 27	-0.000 000 9	-0.002
-0.000 000 02	0.000 000 0	0.000

du 4 janvier 0h au 8 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.059 842 65	-5.633 267 2	385 283.979
14.797 435 48	-16.425 806 1	373 388.146
1.810 925 37	-10.183 000 9	-11 701.182
0.078 798 49	0.744 547 2	353.453
0.004 739 38	0.142 851 3	164.306
-0.000 881 27	0.007 508 4	4.645
-0.000 167 07	-0.000 509 5	-0.939
-0.000 011 52	-0.000 194 5	-0.080
0.000 001 29	-0.000 018 4	0.001
0.000 000 44	0.000 000 3	0.001

du 8 janvier 0h au 12 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.690 840 98	-25.714 621 3	362 208.350
18.933 077 57	-25.582 854 3	358 711.349
2.244 719 74	2.164 898 4	-1 610.830
-0.014 785 65	2.023 622 2	1 940.075
-0.016 964 15	-0.037 847 1	35.013
0.000 730 43	-0.027 993 4	-19.476
0.000 410 19	0.000 879 3	-0.436
-0.000 027 09	0.000 518 7	0.155
-0.000 010 45	-0.000 027 9	0.005
0.000 001 05	-0.000 011 8	-0.001

du 12 janvier 0h au 16 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.147 151 87	-21.458 814 7	359 055.852
22.973 423 27	-9.696 020 6	368 939.204
1.759 056 95	12.249 972 6	10 851.057
-0.061 133 61	0.339 969 9	795.859
0.006 592 41	-0.138 748 0	-173.829
0.000 383 04	0.008 649 6	-0.602
-0.000 115 25	0.000 042 5	1.330
0.000 013 01	-0.000 129 8	-0.058
-0.000 000 44	0.000 016 1	-0.006
-0.000 000 17	-0.000 000 6	0.001

du 16 janvier 0h au 20 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.678 219 26	2.763 751 5	380 412.955
2.259 249 16	13.605 135 1	391 239.590
1.590 835 87	10.185 785 2	10 127.729
0.014 476 70	-0.715 509 7	-771.969
0.004 273 02	-0.058 551 6	-63.683
-0.000 422 68	0.001 133 8	9.219
-0.000 026 36	-0.000 185 2	-0.198
-0.000 001 36	0.000 042 0	-0.034
0.000 000 08	0.000 001 2	0.003
0.000 000 05	-0.000 000 1	0.000

du 20 janvier 0h au 24 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.868 384 49	23.017 850 6	400 540.657
5.613 770 18	26.287 663 8	404 352.751
1.760 962 95	2.038 316 9	2 916.851
0.011 053 15	-1.254 923 0	-869.624
-0.004 977 03	-0.017 882 3	27.616
-0.000 384 16	0.005 895 9	1.584
0.000 075 98	0.000 313 7	-0.405
0.000 006 54	-0.000 043 7	0.009
-0.000 000 81	-0.000 005 4	0.001
-0.000 000 13	0.000 000 5	0.000

du 24 janvier 0h au 28 janvier 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.380 506 68	27.059 336 5	406 428.783
9.042 462 89	20.808 169 0	404 250.872
1.628 159 18	-7.227 571 7	-2 781.113
-0.034 291 46	-0.917 015 5	-592.589
0.000 141 14	0.061 256 2	8.094
0.000 617 88	0.001 464 9	-2.478
-0.000 022 09	-0.000 377 7	0.067
-0.000 003 69	0.000 027 7	0.026
0.000 000 69	0.000 002 4	0.000
-0.000 000 02	-0.000 000 4	0.000

du 28 janvier 0h au 1 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
10.637 064 53	12.725 954 9	400 882.878
12.121 051 29	1.418 841 5	393 972.230
1.487 242 42	-11.526 892 2	-7 507.362
0.008 996 61	-0.155 001 1	-591.900
0.005 931 22	0.065 892 6	8.141
0.000 180 10	0.001 413 4	3.780
-0.000 010 11	0.000 318 9	0.453
-0.000 000 25	0.000 019 5	-0.002
-0.000 000 33	-0.000 001 0	-0.002
-0.000 000 02	-0.000 000 1	0.000

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 1 février 0h au 5 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.623 390 93	-10.195 407 9	385 885.337
15.402 671 26	-19.745 878 0	375 639.081
1.853 445 08	-8.686 794 6	-10 253.460
0.077 504 21	0.995 086 2	102.625
0.002 336 69	0.136 221 5	117.296
-0.001 154 23	0.004 107 9	7.130
-0.000 155 83	-0.000 881 7	-0.407
-0.000 002 14	-0.000 191 0	-0.072
0.000 002 67	-0.000 010 5	-0.002
0.000 000 44	0.000 001 7	0.000

du 5 février 0h au 9 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.334 648 29	-27.298 337 1	365 612.193
19.531 802 27	-24.870 665 8	361 000.701
2.183 709 34	4.364 219 8	-3 066.395
-0.027 804 17	1.889 983 6	1 641.452
-0.013 436 00	-0.070 304 2	83.520
0.001 224 15	-0.022 751 2	-13.970
0.000 267 35	0.001 354 2	-1.059
-0.000 039 40	0.000 334 5	0.086
-0.000 004 85	-0.000 037 1	0.010
0.000 001 28	-0.000 005 5	0.000

du 9 février 0h au 13 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.675 720 00	-18.707 870 6	359 644.344
23.467 607 83	-6.077 512 3	368 054.089
1.739 547 22	12.927 319 8	9 658.435
-0.046 266 08	0.153 037 9	1 102.493
0.006 370 47	-0.136 553 3	-154.818
0.000 203 11	0.007 553 0	-7.293
-0.000 083 09	0.000 076 0	1.343
0.000 009 26	-0.000 096 2	0.006
-0.000 000 55	0.000 010 2	-0.009
-0.000 000 07	-0.000 000 3	0.000

du 13 février 0h au 17 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
1.167 388 11	6.873 834 6	378 654.246
2.805 863 60	17.060 505 7	390 096.590
1.653 271 53	9.335 323 4	10 849.470
0.017 998 98	-0.909 733 1	-706.393
0.002 713 07	-0.055 958 5	-104.372
-0.000 516 47	0.002 300 7	9.347
-0.000 026 40	-0.000 087 7	0.150
0.000 000 49	0.000 039 5	-0.048
0.000 000 34	0.000 000 7	0.002
0.000 000 05	-0.000 000 3	0.000

du 17 février 0h au 21 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
4.479 305 19	25.432 390 2	400 144.746
6.249 336 47	26.860 427 0	403 930.548
1.772 047 69	0.145 595 6	2 655.818
-0.002 934 85	-1.284 052 0	-1 109.191
-0.005 075 17	0.004 058 1	26.519
-0.000 042 43	0.005 752 0	5.343
0.000 082 91	0.000 039 6	-0.390
0.000 000 38	-0.000 045 0	-0.006
-0.000 001 06	-0.000 000 9	0.001
-0.000 000 01	0.000 000 6	0.000

du 21 février 0h au 25 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.013 413 94	25.731 774 9	405 508.643
9.631 937 15	17.986 226 7	402 002.675
1.586 894 95	-8.606 448 4	-4 096.988
-0.030 370 63	-0.798 770 1	-539.716
0.001 755 94	0.063 333 8	49.555
0.000 471 81	0.001 002 0	-2.013
-0.000 027 60	-0.000 177 5	-0.245
-0.000 000 64	0.000 024 5	0.020
0.000 000 42	0.000 000 1	0.001
-0.000 000 04	-0.000 000 2	0.000

du 25 février 0h au 1 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
11.190 661 37	8.645 190 9	397 413.287
12.695 500 80	-3.075 804 6	390 868.784
1.519 625 70	-11.764 453 4	-6 754.050
0.020 477 23	0.033 327 9	-198.138
0.005 795 61	0.078 827 6	10.184
0.000 088 18	0.002 266 8	-0.888
-0.000 018 26	0.000 231 9	0.357
-0.000 002 17	0.000 005 4	0.018
-0.000 000 40	-0.000 001 7	-0.002
-0.000 000 02	-0.000 000 2	0.000

du 1 mars 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.241 466 65	-14.725 600 2	383 926.265
16.094 576 27	-22.747 373 4	376 391.754
1.921 170 42	-6.867 550 8	-7 486.019
0.067 585 71	1.276 070 1	100.357
-0.001 754 92	0.121 163 0	57.614
-0.001 376 80	-0.001 864 3	5.837
-0.000 085 70	-0.001 313 2	0.041
0.000 014 48	-0.000 129 9	-0.049
0.000 003 32	0.000 006 6	-0.002
0.000 000 11	0.000 000 9	0.000

Unités : heure degré km heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 5 mars 0h au 9 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
18.080 132 77	-28.220 988 3	369 069.530
20.189 476 49	-23.486 436 2	365 274.309
2.076 979 80	6.461 699 0	-2 743.173
-0.041 611 84	1.644 452 2	1 142.237
-0.007 911 94	-0.098 441 6	85.043
0.001 450 19	-0.014 384 3	-6.162
0.000 080 21	0.001 490 9	-1.012
-0.000 033 95	0.000 098 6	0.012
0.000 000 76	-0.000 029 2	0.008
0.000 000 71	0.000 000 5	0.000

du 9 mars 0h au 13 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.218 430 34	-15.491 549 7	363 751.261
23.954 307 90	-2.463 791 1	370 219.089
1.702 788 00	13.151 989 1	7 681.348
-0.027 215 23	-0.007 625 9	1 124.613
0.005 951 54	-0.126 872 7	-100.306
0.000 018 63	0.005 130 3	-10.689
-0.000 053 28	0.000 095 7	0.776
0.000 004 82	-0.000 046 5	0.060
-0.000 000 49	0.000 004 3	-0.006
-0.000 000 01	-0.000 000 1	0.000

du 13 mars 0h au 17 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
1.635 801 89	10.558 883 1	378 914.883
3.332 572 94	19.900 501 6	389 632.111
1.716 714 13	8.327 455 8	10 349.122
0.021 083 48	-1.073 058 0	-500.042
0.000 546 50	-0.055 008 1	-126.229
-0.000 612 18	0.003 941 5	6.248
-0.000 014 97	0.000 078 6	0.496
0.000 003 83	0.000 023 7	-0.044
0.000 000 53	-0.000 001 0	0.001
0.000 000 01	-0.000 000 4	0.000

du 17 mars 0h au 21 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.070 294 28	27.103 933 7	399 361.662
6.852 794 20	26.767 753 7	403 022.690
1.769 897 63	-1.628 793 9	2 415.872
-0.017 256 40	-1.272 327 9	-1 248.006
-0.004 404 76	0.025 353 1	5.295
0.000 318 92	0.004 843 6	7.955
0.000 064 60	-0.000 252 0	-0.207
-0.000 005 70	-0.000 025 4	-0.016
-0.000 000 63	0.000 003 4	0.001
0.000 000 10	0.000 000 3	0.000

du 21 mars 0h au 25 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.601 407 96	23.896 555 0	404 203.583
10.179 077 96	14.940 952 4	399 316.686
1.551 569 17	-9.701 337 8	-5 583.137
-0.023 201 41	-0.684 692 5	-615.366
0.003 257 86	0.061 929 8	82.185
0.000 332 32	0.000 905 5	0.867
-0.000 025 16	0.000 038 9	-0.445
0.000 001 12	0.000 019 2	0.000
0.000 000 13	-0.000 001 3	0.001
-0.000 000 03	0.000 000 0	0.000

du 25 mars 0h au 29 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
11.711 011 94	4.617 814 2	393 200.791
13.264 470 93	-7.305 647 8	386 111.342
1.583 006 14	-11.795 508 7	-6 935.499
0.035 150 01	0.220 708 1	197.215
0.005 566 15	0.096 209 6	38.526
-0.000 071 69	0.003 555 0	-4.735
-0.000 039 32	0.000 080 6	0.040
-0.000 004 75	-0.000 022 8	0.036
-0.000 000 40	-0.000 003 5	0.000
0.000 000 01	-0.000 000 3	0.000

du 29 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.888 077 01	-18.780 630 0	379 406.925
16.843 423 90	-24.966 924 5	374 580.286
2.010 509 50	-4.734 428 6	-4 472.324
0.049 574 40	1.553 444 0	358.845
-0.006 941 22	0.093 309 9	5.986
-0.001 323 00	-0.009 718 2	1.849
0.000 057 18	-0.001 451 3	0.373
0.000 028 74	0.000 021 1	-0.023
0.000 001 03	0.000 023 8	-0.003
-0.000 000 54	0.000 001 4	0.000

du 2 avril 0h au 6 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
18.895 329 88	-28.065 722 8	370 474.988
20.901 554 99	-21.128 729 3	369 274.299
1.956 582 66	8.375 044 1	-545.708
-0.053 192 73	1.326 920 2	700.536
-0.002 175 76	-0.118 318 6	45.909
0.001 332 81	-0.005 914 3	-0.216
-0.000 060 67	0.001 222 0	-0.600
-0.000 016 15	-0.000 064 8	-0.026
0.000 002 81	-0.000 010 6	0.004
0.000 000 00	0.000 002 3	0.000

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 6 avril 0h au 10 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-1.195 972 09	-11.549 848 9	369 474.198
0.474 470 53	1.421 258 8	374 875.046
1.655 831 00	12.914 408 9	6 275.759
-0.008 830 23	-0.170 948 4	837.319
0.005 671 28	-0.111 496 0	-46.527
-0.000 147 86	0.002 787 6	-8.888
-0.000 036 02	0.000 030 0	0.108
0.000 001 34	-0.000 002 1	0.060
-0.000 000 37	0.000 001 8	-0.001
0.000 000 02	-0.000 000 1	0.000

du 10 avril 0h au 14 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.126 959 67	14.056 040 6	381 932.875
3.868 484 55	22.241 583 5	391 012.148
1.765 559 35	7.049 253 4	8 885.380
0.022 857 30	-1.193 691 8	-312.006
-0.001 865 90	-0.052 073 2	-117.070
-0.000 684 87	0.005 602 3	1.668
0.000 011 23	0.000 273 3	0.609
0.000 007 90	-0.000 003 7	-0.018
0.000 000 45	-0.000 004 1	-0.002
-0.000 000 08	-0.000 000 3	0.000

du 14 avril 0h au 18 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.654 369 92	28.050 939 1	399 470.710
7.429 742 27	26.028 076 4	402 648.487
1.749 814 04	-3.276 188 2	1 958.042
-0.029 307 20	-1.214 100 5	-1 250.844
-0.003 188 07	0.043 110 6	-22.899
0.000 599 38	0.003 423 5	8.290
0.000 029 79	-0.000 462 0	0.060
-0.000 008 72	0.000 005 8	-0.020
0.000 000 17	0.000 005 4	0.000
0.000 000 12	-0.000 000 3	0.000

du 18 avril 0h au 22 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
9.147 681 78	21.583 870 6	403 341.117
10.686 124 75	11.723 257 3	397 236.949
1.519 767 56	-10.485 157 3	-6 964.593
-0.014 379 58	-0.566 556 8	-771.488
0.004 554 81	0.058 775 1	94.141
0.000 238 09	0.000 996 5	4.803
-0.000 019 18	0.000 227 4	-0.422
0.000 001 63	0.000 017 1	-0.021
-0.000 000 10	-0.000 001 7	0.000
-0.000 000 02	0.000 000 0	0.000

du 22 avril 0h au 26 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.196 287 98	0.731 557 7	389 599.370
13.813 053 37	-11.086 880 5	381 122.333
1.663 076 45	-11.519 287 9	-8 094.018
0.051 824 45	0.409 526 1	473.679
0.005 260 85	0.115 549 3	84.988
-0.000 321 44	0.005 099 6	-6.152
-0.000 076 28	-0.000 139 4	-0.449
-0.000 007 63	-0.000 072 2	0.034
-0.000 000 15	-0.000 006 9	0.003
0.000 000 10	-0.000 000 2	0.000

du 26 avril 0h au 30 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.532 809 79	-22.076 212 6	373 580.420
17.598 552 79	-26.139 695 0	370 562.068
2.102 268 41	-2.348 739 6	-2 198.671
0.025 663 35	1.782 455 1	799.261
-0.011 867 78	0.051 220 8	-24.987
-0.000 801 08	-0.017 653 5	-4.003
0.000 232 62	-0.000 956 6	0.582
0.000 024 36	0.000 231 9	0.014
-0.000 004 36	0.000 022 7	-0.004
-0.000 000 74	-0.000 003 8	0.000

du 30 avril 0h au 4 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
19.714 067 68	-26.673 118 8	369 134.259
21.626 316 78	-17.764 211 2	371 385.408
1.851 688 80	10.020 388 9	2 725.603
-0.059 250 55	0.983 470 7	458.104
0.002 412 83	-0.128 215 3	-13.266
0.000 984 27	0.000 641 8	3.012
-0.000 120 21	0.000 718 2	-0.116
0.000 000 79	-0.000 124 2	-0.043
0.000 001 90	0.000 005 3	0.001
-0.000 000 29	0.000 001 2	0.000

du 4 mai 0h au 8 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-0.577 965 66	-6.887 324 8	374 558.703
1.041 752 74	5.665 522 8	380 292.623
1.619 766 72	12.297 435 4	6 135.872
0.005 687 97	-0.352 248 6	388.142
0.005 389 32	-0.095 456 3	-17.598
-0.000 281 25	0.001 313 2	-4.101
-0.000 031 57	-0.000 043 3	-0.284
-0.000 000 91	0.000 025 3	0.031
-0.000 000 22	0.000 001 6	0.002
0.000 000 04	-0.000 000 1	0.000

Unités : heure degré km heure degré km
Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 8 mai 0h au 12 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.672 282 84	17.516 550 1	386 794.687
4.442 829 97	24.183 196 2	394 113.637
1.794 952 75	5.441 971 2	7 142.627
0.021 035 26	-1.274 394 8	-257.977
-0.004 081 97	-0.043 173 8	-83.839
-0.000 673 15	0.006 963 9	-1.772
0.000 049 07	0.000 388 6	0.426
0.000 010 70	-0.000 036 3	0.011
-0.000 000 08	-0.000 007 0	-0.002
-0.000 000 17	0.000 000 1	0.000

du 12 mai 0h au 16 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
6.254 122 36	28.314 908 3	400 913.109
7.999 175 98	24.651 105 3	403 251.869
1.710 022 76	-4.828 746 2	1 243.612
-0.037 423 53	-1.111 653 7	-1 144.321
-0.001 660 65	0.055 698 3	-43.112
0.000 734 34	0.001 848 2	6.366
-0.000 006 32	-0.000 531 9	0.291
-0.000 007 89	0.000 033 8	-0.014
0.000 000 80	0.000 004 5	0.000
0.000 000 05	-0.000 000 6	0.000

du 16 mai 0h au 20 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
9.670 835 53	18.767 757 6	403 314.689
11.171 185 30	8.268 242 4	396 374.651
1.489 907 43	-10.989 758 1	-7 942.733
-0.005 113 19	-0.435 157 4	-927.372
0.005 535 83	0.055 920 8	83.397
0.000 192 81	0.001 172 3	7.902
-0.000 012 36	0.000 356 5	-0.202
0.000 001 29	0.000 018 1	-0.031
-0.000 000 24	-0.000 001 4	-0.001
-0.000 000 02	0.000 000 0	0.000

du 20 mai 0h au 24 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.661 696 89	-3.099 206 7	387 595.611
14.341 990 50	-14.447 642 4	377 370.393
1.742 797 17	-10.870 847 2	-9 808.267
0.067 801 04	0.603 654 4	552.858
0.004 764 18	0.132 726 4	132.609
-0.000 647 55	0.006 371 1	-4.191
-0.000 124 18	-0.000 416 1	-0.896
-0.000 009 61	-0.000 138 5	0.002
0.000 000 59	-0.000 011 6	0.005
0.000 000 27	0.000 000 2	0.000

du 24 mai 0h au 28 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.156 572 67	-24.576 303 5	368 242.514
18.315 313 47	-26.318 020 1	365 675.894
2.174 230 95	0.160 620 2	-1 256.759
0.000 706 59	1.926 039 8	1 294.230
-0.015 043 68	0.000 665 6	-26.830
0.000 085 27	-0.023 325 5	-10.721
0.000 351 66	0.000 103 5	0.551
-0.000 002 51	0.000 396 2	0.068
-0.000 008 69	-0.000 004 1	-0.005
0.000 000 09	-0.000 008 7	0.000

du 28 mai 0h au 1 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
20.475 633 40	-24.253 533 0	365 676.427
22.319 228 95	-13.676 838 2	371 189.308
1.779 884 32	11.362 955 0	6 037.636
-0.059 104 46	0.650 630 3	445.503
0.005 345 91	-0.131 189 2	-75.870
0.000 608 36	0.004 818 8	3.813
-0.000 121 80	0.000 244 5	0.375
0.000 009 61	-0.000 120 9	-0.056
0.000 000 38	0.000 012 6	0.000
-0.000 000 25	-0.000 000 1	0.000

du 1 juin 0h au 5 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.045 851 06	-1.789 487 3	377 600.711
1.647 216 62	10.088 592 9	384 784.341
1.611 723 76	11.408 958 3	7 142.463
0.015 562 77	-0.551 891 5	-58.735
0.004 835 77	-0.081 900 9	-16.061
-0.000 401 45	0.000 771 4	1.107
-0.000 034 42	-0.000 058 2	-0.400
-0.000 001 83	0.000 040 9	0.002
0.000 000 00	0.000 001 7	0.002
0.000 000 06	-0.000 000 1	0.000

du 5 juin 0h au 9 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.278 901 29	20.864 514 5	391 852.719
5.067 096 80	25.698 329 8	397 865.729
1.807 252 81	3.546 432 4	5 700.064
0.013 939 79	-1.321 626 3	-353.201
-0.005 708 72	-0.026 803 6	-43.097
-0.000 513 88	0.007 830 0	-2.764
0.000 087 65	0.000 331 8	0.104
0.000 009 57	-0.000 066 0	0.025
-0.000 000 94	-0.000 006 9	-0.001
-0.000 000 19	0.000 000 7	0.000

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 9 juin 0h au 13 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
6.882 162 89	27.904 422 0	403 166.859
8.576 951 93	22.640 077 4	404 484.692
1.654 662 25	-6.303 099 8	383.014
-0.040 913 80	-0.976 844 9	-984.268
-0.000 045 63	0.062 885 8	-46.610
0.000 716 04	0.000 465 6	3.226
-0.000 030 92	-0.000 465 1	0.386
-0.000 004 60	0.000 047 6	-0.002
0.000 000 95	0.000 002 2	-0.001
-0.000 000 03	-0.000 000 6	0.000

du 13 juin 0h au 17 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
10.191 336 19	15.423 068 2	403 840.437
11.658 467 87	4.486 073 9	396 582.579
1.465 231 91	-11.277 957 9	-8 311.352
0.004 039 19	-0.286 727 4	-1 004.460
0.006 122 48	0.055 283 2	57.808
0.000 175 70	0.001 444 9	8.883
-0.000 007 04	0.000 417 8	0.083
0.000 000 48	0.000 018 9	-0.028
-0.000 000 32	-0.000 001 0	-0.002
-0.000 000 02	0.000 000 0	0.000

du 17 juin 0h au 21 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.134 030 32	-7.021 447 4	387 333.510
14.869 918 25	-17.529 528 0	375 712.434
1.810 738 80	-9.836 694 7	-11 345.428
0.079 482 10	0.807 733 4	435.568
0.003 786 44	0.143 409 6	161.201
-0.001 000 28	0.006 503 9	0.291
-0.000 165 12	-0.000 742 6	-1.038
-0.000 008 22	-0.000 199 9	-0.044
0.000 001 88	-0.000 014 5	0.004
0.000 000 47	0.000 001 0	0.000

du 21 juin 0h au 25 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.762 754 61	-26.409 530 5	364 962.987
18.975 204 57	-25.756 114 6	361 585.688
2.208 583 79	2.641 405 0	-1 709.287
-0.020 069 60	1.965 936 5	1 686.793
-0.015 609 52	-0.048 020 6	2.550
0.000 973 36	-0.025 207 1	-16.213
0.000 354 85	0.001 216 7	0.140
-0.000 034 00	0.000 427 3	0.122
-0.000 008 16	-0.000 037 2	-0.001
0.000 001 24	-0.000 008 7	-0.001

du 25 juin 0h au 29 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.149 396 67	-21.220 401 7	361 549.791
22.953 484 75	-9.301 111 3	369 292.053
1.744 344 87	12.407 915 6	8 503.515
-0.053 422 88	0.349 903 2	631.291
0.006 755 25	-0.131 768 8	-128.751
0.000 321 92	0.007 020 3	2.144
-0.000 101 23	-0.000 048 0	0.876
0.000 011 36	-0.000 100 7	-0.061
-0.000 000 53	0.000 013 7	-0.003
-0.000 000 12	-0.000 000 7	0.001

du 29 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.651 393 41	3.331 823 4	378 301.064
2.271 723 22	14.356 690 0	387 404.328
1.637 125 88	10.333 454 6	8 746.763
0.021 072 15	-0.763 476 0	-397.654
0.003 785 41	-0.070 916 7	-35.357
-0.000 526 79	0.001 091 1	5.473
-0.000 037 42	-0.000 007 8	-0.344
-0.000 001 08	0.000 049 8	-0.019
0.000 000 29	0.000 001 2	0.002
0.000 000 07	-0.000 000 2	0.000

du 3 juillet 0h au 7 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.933 141 75	23.856 885 7	395 723.191
5.730 608 81	26.661 427 6	401 038.257
1.805 472 83	1.481 322 7	4 772.115
0.001 931 43	-1.335 671 5	-549.876
-0.006 383 45	-0.004 745 5	-8.235
-0.000 205 74	0.007 889 4	-1.523
0.000 108 56	0.000 107 7	-0.190
0.000 003 72	-0.000 078 9	0.023
-0.000 001 55	-0.000 002 9	0.000
-0.000 000 08	0.000 001 1	0.000

du 7 juillet 0h au 11 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.531 534 56	26.810 249 6	405 250.572
9.165 503 90	20.027 058 8	405 513.813
1.593 348 47	-7.676 558 9	-525.189
-0.039 803 09	-0.827 719 9	-820.802
0.001 445 09	0.065 574 1	-32.511
0.000 589 97	-0.000 435 2	0.165
-0.000 039 18	-0.000 315 8	0.318
-0.000 001 09	0.000 045 8	0.013
0.000 000 69	0.000 000 1	-0.001
-0.000 000 06	-0.000 000 4	0.000

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 11 juillet 0h au 15 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
10.721 044 69	11.587 648 5	404 135.807
12.168 127 26	0.361 833 2	397 056.675
1.454 106 09	-11.405 188 3	-8 054.255
0.013 177 42	-0.122 590 1	-952.808
0.006 316 51	0.058 229 4	29.581
0.000 157 06	0.001 848 4	7.591
-0.000 005 88	0.000 419 7	0.310
-0.000 000 69	0.000 017 0	-0.017
-0.000 000 38	-0.000 000 9	-0.002
-0.000 000 02	-0.000 000 1	0.000

du 15 juillet 0h au 19 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.641 877 41	-11.105 431 3	388 087.075
15.427 375 66	-20.428 617 4	376 067.836
1.865 966 93	-8.437 684 2	-11 962.441
0.083 531 52	1.024 244 6	209.618
0.001 915 99	0.144 305 0	158.431
-0.001 315 59	0.004 659 2	4.862
-0.000 172 23	-0.001 116 2	-0.820
-0.000 000 62	-0.000 225 9	-0.071
0.000 003 40	-0.000 010 4	0.000
0.000 000 53	0.000 002 4	0.000

du 19 juillet 0h au 23 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.377 305 66	-27.694 441 2	364 477.416
19.590 408 99	-24.692 128 3	359 669.819
2.193 678 48	4.961 899 5	-3 044.374
-0.034 146 28	1.898 004 3	1 831.658
-0.013 480 47	-0.086 117 1	51.408
0.001 538 10	-0.023 047 9	-17.704
0.000 253 19	0.001 859 1	-0.551
-0.000 049 29	0.000 325 5	0.133
-0.000 003 77	-0.000 051 2	0.006
0.000 001 57	-0.000 004 5	-0.001

du 23 juillet 0h au 27 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.738 200 48	-17.939 259 2	358 490.394
23.523 298 73	-5.020 044 6	366 947.811
1.735 673 95	13.152 240 6	9 546.749
-0.042 640 89	0.092 670 6	934.803
0.007 001 92	-0.132 682 3	-157.939
0.000 129 99	0.007 646 3	-2.085
-0.000 078 55	-0.000 121 6	1.290
0.000 009 24	-0.000 082 7	-0.043
-0.000 000 77	0.000 011 5	-0.007
-0.000 000 04	-0.000 000 6	0.001

du 27 juillet 0h au 31 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
1.223 393 58	8.099 637 3	377 270.577
2.894 217 01	18.138 164 2	388 079.955
1.690 746 37	9.125 249 7	10 311.256
0.022 621 63	-0.976 594 5	-574.521
0.002 085 71	-0.061 049 3	-67.898
-0.000 645 80	0.002 298 1	8.374
-0.000 031 68	0.000 079 1	-0.166
0.000 001 69	0.000 048 9	-0.036
0.000 000 60	-0.000 000 5	0.003
0.000 000 05	-0.000 000 4	0.000

du 31 juillet 0h au 4 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
4.608 995 59	26.228 195 4	397 756.966
6.407 015 33	26.951 219 5	402 840.375
1.791 262 02	-0.602 189 6	4 282.419
-0.012 709 07	-1.313 145 9	-789.228
-0.005 884 62	0.019 043 9	13.323
0.000 165 99	0.006 863 7	1.181
0.000 096 79	-0.000 177 0	-0.370
-0.000 003 86	-0.000 063 1	0.011
-0.000 001 31	0.000 002 4	0.001
0.000 000 08	0.000 000 9	0.000

du 4 août 0h au 8 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.179 941 38	25.061 554 8	406 347.713
9.754 171 84	16.908 809 5	405 538.766
1.537 392 19	-8.900 072 1	-1 496.928
-0.034 612 31	-0.681 527 9	-690.662
0.002 684 62	0.065 270 9	-4.588
0.000 423 25	-0.000 708 3	-1.812
-0.000 034 64	-0.000 145 4	0.118
0.000 001 15	0.000 034 1	0.023
0.000 000 33	-0.000 000 9	0.000
-0.000 000 05	-0.000 000 1	0.000

du 8 août 0h au 12 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
11.260 026 38	7.391 659 7	403 344.915
12.710 152 61	-3.992 627 9	396 722.950
1.466 942 16	-11.392 572 2	-7 386.563
0.022 870 30	0.055 304 2	-759.083
0.006 170 41	0.065 603 2	9.702
0.000 106 22	0.002 369 1	4.609
-0.000 011 64	0.000 365 9	0.420
-0.000 002 23	0.000 009 9	-0.004
-0.000 000 43	-0.000 001 5	-0.002
-0.000 000 02	-0.000 000 2	0.000

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 12 août 0h au 16 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.206 227 33	-15.261 549 2	388 592.029
16.044 374 04	-23.075 616 5	377 475.483
1.915 660 87	-6.696 345 8	-11 225.693
0.077 765 36	1.248 787 0	9.593
-0.001 124 65	0.132 815 0	126.412
-0.001 505 79	0.000 473 0	7.320
-0.000 120 64	-0.001 463 4	-0.420
0.000 013 16	-0.000 187 6	-0.070
0.000 004 11	0.000 002 9	-0.002
0.000 000 25	0.000 003 6	0.000

du 16 août 0h au 20 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
18.035 066 57	-28.391 530 6	366 392.622
20.193 496 46	-23.177 790 9	360 522.255
2.126 955 95	7.029 775 6	-4 307.426
-0.042 224 28	1.725 159 2	1 669.799
-0.009 222 63	-0.110 179 5	93.924
0.001 674 76	-0.017 634 4	-14.108
0.000 104 42	0.001 865 7	-1.100
-0.000 042 86	0.000 156 7	0.084
0.000 000 76	-0.000 040 6	0.010
0.000 000 99	0.000 000 0	0.000

du 20 août 0h au 24 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-1.729 256 52	-14.548 687 7	357 963.436
0.041 479 89	-1.023 664 2	365 651.881
1.737 091 18	13.548 601 7	9 050.353
-0.027 175 30	-0.116 662 9	1 219.746
0.006 517 84	-0.133 465 2	-151.250
-0.000 018 80	0.006 828 8	-7.733
-0.000 060 46	-0.000 016 9	1.373
0.000 005 60	-0.000 062 2	0.008
-0.000 000 65	0.000 007 4	-0.010
0.000 000 00	-0.000 000 2	0.000

du 24 août 0h au 28 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
1.757 839 31	12.281 566 5	375 764.370
3.497 397 78	21.213 305 5	387 494.538
1.759 904 22	7.811 569 9	11 271.534
0.020 772 34	-1.175 260 6	-572.065
-0.000 276 95	-0.050 834 5	-104.486
-0.000 716 94	0.004 379 7	9.123
-0.000 008 13	0.000 155 2	0.126
0.000 005 93	0.000 030 0	-0.050
0.000 000 64	-0.000 003 0	0.002
-0.000 000 02	-0.000 000 5	0.000

du 28 août 0h au 1 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.277 078 85	27.803 341 5	398 098.722
7.065 519 25	26.528 617 8	403 167.854
1.766 218 63	-2.563 507 3	4 037.279
-0.026 975 39	-1.253 654 2	-1 019.152
-0.004 336 35	0.040 346 7	17.604
0.000 480 88	0.004 856 5	4.503
0.000 055 58	-0.000 389 1	-0.403
-0.000 008 51	-0.000 023 2	-0.002
-0.000 000 34	0.000 005 2	0.001
0.000 000 14	0.000 000 1	0.000

du 1 septembre 0h au 5 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.800 953 89	22.756 252 4	406 207.682
10.325 655 12	13.450 081 3	404 233.533
1.495 129 67	-9.918 575 9	-2 634.083
-0.026 176 64	-0.548 613 5	-627.073
0.003 691 26	0.063 405 9	31.022
0.000 269 86	-0.000 391 5	-2.011
-0.000 024 64	0.000 014 8	-0.151
0.000 001 91	0.000 019 8	0.022
0.000 000 04	-0.000 001 1	0.001
-0.000 000 03	0.000 000 0	0.000

du 5 septembre 0h au 9 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
11.798 546 56	3.045 940 0	401 001.258
13.282 131 05	-8.345 059 9	394 719.053
1.511 722 40	-11.219 088 1	-6 733.389
0.033 838 39	0.247 083 6	-445.273
0.005 712 12	0.077 874 8	6.251
-0.000 011 85	0.002 944 7	0.714
-0.000 027 16	0.000 237 8	0.387
-0.000 004 08	-0.000 006 4	0.012
-0.000 000 42	-0.000 002 8	-0.001
-0.000 000 01	-0.000 000 3	0.000

du 9 septembre 0h au 13 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.833 360 35	-19.236 016 8	387 547.754
16.735 568 31	-25.215 970 4	378 466.118
1.967 370 79	-4.624 497 7	-9 194.609
0.061 445 34	1.465 923 0	-42.272
-0.005 113 24	0.106 328 4	77.594
-0.001 421 64	-0.005 615 6	6.916
-0.000 002 77	-0.001 561 5	-0.028
0.000 025 88	-0.000 068 6	-0.053
0.000 002 44	0.000 018 7	-0.002
-0.000 000 32	0.000 000 7	0.000

Unités : heure degré km heure degré km
 Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 13 septembre 0h au 17 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
18.757 874 65	-28.275 441 0	369 313.664
20.818 149 78	-21.048 613 7	363 663.656
2.019 547 59	8.796 652 1	-4 483.507
-0.046 176 73	1.460 270 5	1 278.115
-0.003 990 46	-0.121 604 0	105.249
0.001 461 90	-0.010 658 5	-7.536
-0.000 023 26	0.001 419 3	-1.163
-0.000 023 96	0.000 007 1	0.017
0.000 002 69	-0.000 019 0	0.009
0.000 000 22	0.000 002 0	0.000

du 17 septembre 0h au 21 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-1.211 052 31	-10.922 544 3	360 554.840
0.536 362 15	2.743 442 8	366 628.701
1.732 815 76	13.515 760 4	7 493.135
-0.008 705 29	-0.285 876 2	1 322.437
0.005 773 42	-0.130 981 6	-109.508
-0.000 172 50	0.004 842 6	-11.789
-0.000 050 09	0.000 143 3	0.954
0.000 001 99	-0.000 028 2	0.064
-0.000 000 40	0.000 003 2	-0.008
0.000 000 03	0.000 000 0	0.000

du 21 septembre 0h au 25 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.266 025 07	15.847 306 2	375 323.985
4.074 934 51	23.523 044 0	386 845.686
1.827 689 22	6.383 856 6	11 240.439
0.016 427 18	-1.338 182 0	-419.345
-0.003 073 66	-0.039 452 0	-131.517
-0.000 694 05	0.007 034 1	7.089
0.000 036 47	0.000 177 8	0.470
0.000 009 70	-0.000 012 4	-0.052
0.000 000 10	-0.000 005 1	0.001
-0.000 000 14	-0.000 000 2	0.000

du 25 septembre 0h au 29 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.915 329 31	28.536 460 8	397 542.772
7.683 088 29	25.441 233 2	402 570.979
1.732 170 63	-4.309 932 0	3 844.409
-0.038 447 77	-1.161 107 8	-1 187.974
-0.002 207 68	0.056 462 4	3.500
0.000 665 16	0.002 384 6	7.410
0.000 004 65	-0.000 464 0	-0.281
-0.000 008 24	0.000 021 7	-0.014
0.000 000 60	0.000 004 0	0.001
0.000 000 07	-0.000 000 5	0.000

du 29 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
9.375 265 68	20.028 601 9	405 238.029
10.863 806 14	9.836 319 6	401 974.305
1.468 589 19	-10.682 359 9	-3 990.653
-0.015 547 92	-0.429 420 8	-662.143
0.004 579 26	0.060 827 3	65.122
0.000 158 91	0.000 324 6	-0.054
-0.000 015 23	0.000 164 2	-0.383
0.000 001 65	0.000 008 8	0.008
-0.000 000 13	-0.000 001 2	0.001
-0.000 000 01	0.000 000 1	0.000

du 3 octobre 0h au 7 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.321 571 87	-1.214 137 2	397 386.204
13.869 204 29	-12.405 287 8	390 854.653
1.589 039 72	-10.829 502 7	-6 632.707
0.046 503 21	0.452 977 5	-72.964
0.004 907 06	0.094 780 6	24.909
-0.000 238 21	0.003 478 2	-3.146
-0.000 054 82	-0.000 006 9	0.168
-0.000 005 68	-0.000 038 4	0.030
-0.000 000 16	-0.000 004 6	-0.001
0.000 000 06	-0.000 000 3	0.000

du 7 octobre 0h au 11 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.509 355 47	-22.683 604 6	384 170.944
17.487 678 69	-26.510 529 2	377 639.100
2.022 338 57	-2.252 744 0	-6 428.863
0.035 923 53	1.648 880 8	126.393
-0.009 119 46	0.063 746 1	26.971
-0.000 905 64	-0.012 154 9	3.876
0.000 147 00	-0.001 120 0	0.290
0.000 023 79	0.000 102 9	-0.030
-0.000 001 82	0.000 021 2	-0.003
-0.000 000 61	-0.000 000 9	0.000

du 11 octobre 0h au 15 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
19.536 084 08	-27.063 798 6	371 367.734
21.479 547 52	-18.060 417 4	367 629.299
1.896 637 63	10.254 284 8	-2 984.195
-0.047 117 52	1.131 744 1	832.545
0.000 850 65	-0.124 182 3	77.763
0.001 061 48	-0.004 138 2	-1.322
-0.000 088 82	0.000 817 5	-0.811
-0.000 005 71	-0.000 069 8	-0.026
0.000 002 06	-0.000 001 3	0.005
-0.000 000 17	0.000 001 4	0.000

Unités : heure degré km heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 15 octobre 0h au 19 octobre 0h			du 19 octobre 0h au 23 octobre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
-0.669 112 88	-6.801 961 4	365 553.258	2.776 800 70	18.951 315 5	377 172.100
1.044 834 82	6.510 926 4	370 233.825	4.638 332 06	25.152 021 6	387 400.151
1.717 924 46	12.998 989 8	5 863.030	1.877 028 73	4.791 497 6	10 153.706
0.009 348 64	-0.438 830 7	1 140.197	0.010 352 51	-1.444 692 7	-210.013
0.005 081 79	-0.122 585 7	-53.866	-0.005 780 91	-0.026 143 2	-133.667
-0.000 338 97	0.002 567 4	-11.419	-0.000 554 29	0.009 531 1	2.716
-0.000 049 36	0.000 233 0	0.260	0.000 092 98	0.000 126 3	0.684
-0.000 000 65	0.000 014 0	0.077	0.000 010 38	-0.000 069 8	-0.032
-0.000 000 11	0.000 001 3	-0.002	-0.000 001 05	-0.000 005 2	-0.001
0.000 000 06	-0.000 000 1	0.000	-0.000 000 21	0.000 000 8	0.000
du 23 octobre 0h au 27 octobre 0h			du 27 octobre 0h au 31 octobre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
6.519 480 19	28.482 266 8	397 213.544	9.898 908 46	16.976 844 5	404 266.445
8.254 261 96	23.770 171 8	401 974.991	11.361 638 43	6.189 357 6	399 736.867
1.689 818 71	-5.818 978 9	3 550.572	1.453 359 93	-11.159 545 1	-5 414.272
-0.045 778 67	-1.040 759 8	-1 243.611	-0.004 059 55	-0.314 923 9	-803.924
-0.000 069 71	0.066 690 4	-24.089	0.005 421 65	0.057 986 2	84.867
0.000 715 76	0.000 090 2	8.636	0.000 101 08	0.001 150 4	3.668
-0.000 035 90	-0.000 423 5	-0.033	-0.000 009 02	0.000 304 1	-0.443
-0.000 004 70	0.000 054 1	-0.021	0.000 000 82	0.000 004 4	-0.013
0.000 001 02	0.000 000 9	0.001	-0.000 000 25	-0.000 001 2	0.001
-0.000 000 04	-0.000 000 6	0.000	-0.000 000 01	0.000 000 0	0.000
du 31 octobre 0h au 4 novembre 0h			du 4 novembre 0h au 8 novembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
12.816 453 09	-5.225 667 3	393 606.750	16.199 065 15	-25.313 563 2	378 722.425
14.448 036 04	-15.941 557 9	385 922.521	18.256 593 61	-26.735 960 0	374 328.280
1.687 672 46	-10.157 726 1	-7 508.621	2.075 093 13	0.320 813 3	-3 863.329
0.060 323 85	0.668 196 4	247.454	0.005 942 21	1.769 291 5	522.328
0.003 726 35	0.114 184 7	66.721	-0.011 863 38	0.009 289 2	-10.514
-0.000 595 48	0.003 838 1	-5.423	0.000 003 77	-0.017 117 9	-1.514
-0.000 093 50	-0.000 400 4	-0.265	0.000 250 66	-0.000 091 8	0.518
-0.000 005 54	-0.000 092 0	0.035	0.000 000 62	0.000 238 8	0.002
0.000 000 65	-0.000 006 1	0.002	-0.000 005 37	0.000 000 3	-0.004
0.000 000 18	0.000 000 2	0.000	-0.000 000 02	-0.000 004 6	0.000
du 8 novembre 0h au 12 novembre 0h			du 12 novembre 0h au 16 novembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
20.326 015 37	-24.653 541 1	370 975.766	-0.085 299 11	-2.043 506 6	371 109.188
22.165 114 54	-14.126 885 7	370 523.632	1.598 906 83	10.480 368 6	375 588.525
1.790 062 33	11.427 155 0	46.291	1.702 591 51	12.029 596 6	5 197.902
-0.045 405 88	0.777 754 8	516.266	0.023 213 71	-0.604 262 1	711.550
0.004 378 10	-0.122 434 6	20.711	0.004 377 25	-0.109 093 5	-13.522
0.000 644 92	0.000 689 2	2.621	-0.000 503 75	0.001 096 0	-6.819
-0.000 098 31	0.000 289 7	-0.294	-0.000 054 78	0.000 251 3	-0.267
0.000 004 73	-0.000 082 3	-0.043	-0.000 001 78	0.000 047 0	0.047
0.000 000 63	0.000 007 3	0.002	0.000 000 23	0.000 001 4	0.002
-0.000 000 19	0.000 000 3	0.000	0.000 000 09	-0.000 000 3	0.000

Unités : heure degré km heure degré km
Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 16 novembre 0h au 20 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.328 529 35	21.798 005 1	381 477.417
5.214 928 96	26.237 844 2	389 842.321
1.896 010 64	2.975 908 8	8 386.294
0.002 356 90	-1.484 245 4	-81.368
-0.007 683 41	-0.009 482 0	-105.099
-0.000 298 37	0.010 930 7	-1.768
0.000 139 25	-0.000 014 3	0.579
0.000 006 26	-0.000 115 8	0.004
-0.000 002 23	-0.000 002 2	-0.002
-0.000 000 15	0.000 001 7	0.000

du 20 novembre 0h au 24 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.105 457 89	27.730 825 8	398 040.960
8.793 435 26	21.573 903 9	402 178.813
1.638 688 88	-7.128 168 7	3 036.802
-0.048 341 55	-0.898 572 0	-1 159.703
0.001 663 75	0.071 530 0	-51.624
0.000 662 59	-0.001 533 7	7.293
-0.000 055 90	-0.000 321 3	0.246
-0.000 000 66	0.000 066 2	-0.019
0.000 000 92	-0.000 001 9	0.000
-0.000 000 10	-0.000 000 5	0.000

du 24 novembre 0h au 28 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
10.386 053 20	13.616 902 0	404 011.809
11.828 477 88	2.504 499 3	398 558.472
1.443 203 98	-11.358 399 1	-6 522.252
0.006 811 16	-0.191 650 3	-997.333
0.006 128 01	0.055 754 5	79.292
0.000 090 20	0.001 813 4	7.475
-0.000 005 89	0.000 412 1	-0.262
-0.000 000 27	0.000 006 0	-0.028
-0.000 000 34	-0.000 001 2	-0.001
-0.000 000 01	-0.000 000 1	0.000

du 28 novembre 0h au 2 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.284 704 74	-8.987 565 1	391 125.363
15.000 180 21	-18.903 591 3	381 566.952
1.785 344 80	-9.161 606 8	-9 304.303
0.073 026 61	0.880 895 2	377.727
0.002 255 22	0.131 014 8	120.237
-0.001 030 97	0.003 801 6	-4.155
-0.000 132 68	-0.000 889 5	-0.767
-0.000 001 97	-0.000 159 6	0.010
0.000 002 15	-0.000 006 0	0.004
0.000 000 35	0.000 001 5	0.000

du 2 décembre 0h au 6 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.859 643 85	-27.050 539 0	372 755.705
18.983 833 35	-25.971 229 8	369 154.857
2.116 694 89	2.919 395 2	-2 528.470
-0.020 801 46	1.814 038 2	1 063.155
-0.012 615 90	-0.046 200 3	-18.402
0.000 969 51	-0.019 333 6	-8.715
0.000 254 87	0.001 114 4	0.523
-0.000 029 46	0.000 269 3	0.055
-0.000 004 84	-0.000 030 7	-0.004
0.000 000 93	-0.000 004 5	0.000

du 6 décembre 0h au 10 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.068 301 96	-21.301 981 0	367 662.998
22.841 271 07	-9.496 466 2	370 903.939
1.725 782 64	12.362 408 3	3 747.342
-0.041 210 84	0.432 203 1	452.989
0.006 389 80	-0.120 929 8	-49.951
0.000 322 75	0.003 780 7	3.783
-0.000 083 23	-0.000 059 0	0.268
0.000 007 93	-0.000 069 1	-0.054
-0.000 000 36	0.000 009 6	0.000
-0.000 000 10	-0.000 000 4	0.000

du 10 décembre 0h au 14 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.532 479 67	3.180 877 1	375 058.315
2.210 837 87	14.603 718 7	380 860.689
1.704 987 78	10.719 204 6	6 001.928
0.030 543 61	-0.797 591 6	194.452
0.003 308 45	-0.093 177 5	-5.236
-0.000 661 60	0.000 992 5	-0.585
-0.000 057 25	0.000 277 0	-0.447
-0.000 000 70	0.000 063 1	0.007
0.000 000 64	0.000 001 0	0.003
0.000 000 11	-0.000 000 5	0.000

du 14 décembre 0h au 18 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.948 958 95	24.433 487 3	387 050.811
5.831 309 01	26.839 173 4	393 761.926
1.882 054 19	0.945 129 1	6 630.343
-0.008 358 26	-1.460 015 2	-134.716
-0.008 162 84	0.011 258 4	-57.871
0.000 048 89	0.010 597 3	-3.747
0.000 150 10	-0.000 243 4	0.208
-0.000 001 83	-0.000 122 7	0.027
-0.000 002 55	0.000 003 3	-0.001
0.000 000 04	0.000 001 9	0.000

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

LUNE 2005

DT = 4 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 18 décembre 0h au 22 décembre 0h			du 22 décembre 0h au 26 décembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
7.697 036 79	26.345 782 2	400 196.170	10.862 647 65	9.915 866 1	404 546.900
9.325 253 25	18.877 038 2	403 340.327	12.290 282 55	-1.313 758 9	398 760.902
1.580 000 87	-8.286 673 7	2 237.196	1.437 488 07	-11.334 166 2	-6 952.354
-0.045 950 91	-0.744 000 7	-972.603	0.016 237 83	-0.050 565 6	-1 124.914
0.002 859 50	0.071 916 2	-62.241	0.006 486 74	0.055 762 2	50.527
0.000 537 97	-0.002 273 0	3.817	0.000 097 27	0.002 232 6	9.165
-0.000 055 50	-0.000 197 7	0.410	-0.000 005 82	0.000 455 7	0.055
0.000 002 01	0.000 059 8	-0.007	-0.000 001 40	0.000 008 7	-0.026
0.000 000 56	-0.000 002 9	-0.001	-0.000 000 41	-0.000 001 2	-0.001
-0.000 000 10	-0.000 000 2	0.000	-0.000 000 02	-0.000 000 2	0.000
du 26 décembre 0h au 30 décembre 0h			du 30 décembre 0h au 34 décembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
13.750 584 81	-12.640 032 5	390 743.351	17.472 414 84	-28.052 650 4	368 573.691
15.532 396 84	-21.428 463 1	379 409.084	19.631 158 78	-24.569 775 0	364 041.426
1.860 503 87	-7.843 412 3	-11 241.919	2.133 955 93	5.338 635 9	-3 011.285
0.080 496 54	1.079 454 1	248.623	-0.037 625 44	1.786 466 2	1 551.647
0.000 556 01	0.138 427 2	158.058	-0.011 467 44	-0.090 045 2	15.408
-0.001 399 39	0.002 870 6	0.855	0.001 596 33	-0.019 107 3	-15.317
-0.000 148 61	-0.001 321 7	-0.972	0.000 183 08	0.001 908 1	0.056
0.000 005 42	-0.000 206 9	-0.041	-0.000 046 08	0.000 218 1	0.115
0.000 003 75	-0.000 002 9	0.003	-0.000 001 52	-0.000 048 2	0.000
0.000 000 42	0.000 003 1	0.000	0.000 001 30	-0.000 001 8	-0.001

Unités : heure degré km

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PLANÈTES PRINCIPALES

Coordonnées héliocentriques :
Longitude, latitude, rayon vecteur.

MERCURE	II. 34
VÉNUS, MARS	II. 36
JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE	II. 37

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

MERCURE	II. 38
VÉNUS	II. 40
MARS	II. 42
JUPITER	II. 44
SATURNE	II. 46
URANUS	II. 48
NEPTUNE	II. 50

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$a_0 + a_1T_1(x) + a_2T_2(x) \dots + a_nT_n(x),$$

$$\text{où : } T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_p(x) = 2xT_{p-1}(x) - T_{p-2}(x), \\ x = -1 + 2(t - t_0)/DT.$$

MERCURE 2005

DT = 33 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR
Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h			du 0 février 0h au 5 mars 0h		
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
186.353 733	4.697 350	0.396 867 71	279.215 446	-5.446 042	0.458 091 55
237.363 642	-0.929 967	0.442 615 10	341.215 105	-4.393 241	0.386 251 66
48.563 369	-5.369 622	0.028 753 04	68.475 420	3.083 973	-0.078 690 29
-1.640 940	0.359 174	-0.017 780 12	7.401 330	2.315 917	-0.002 765 41
0.753 872	0.084 023	-0.000 554 24	0.869 787	0.258 657	0.004 899 54
-0.042 165	-0.010 907	0.000 198 89	-0.107 618	-0.057 794	0.000 881 52
0.009 783	0.005 672	-0.000 025 92	-0.066 355	-0.041 447	0.000 047 25
0.000 034	-0.000 724	0.000 006 18	-0.016 265	-0.010 891	-0.000 030 00
-0.000 121	0.000 145	-0.000 000 48	-0.001 469	-0.000 800	-0.000 012 52
0.000 051	-0.000 010	0.000 000 07	0.000 482	0.000 577	-0.000 002 35
-0.000 012	-0.000 001	0.000 000 01	0.000 260	0.000 287	0.000 000 00
0.000 002	0.000 001	0.000 000 00	0.000 060	0.000 063	0.000 000 16
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	0.000 004	0.000 000	0.000 000 06
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	-0.000 002	-0.000 005	0.000 000 01
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	-0.000 001	-0.000 002	0.000 000 00
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
du 0 mars 0h au 2 avril 0h			du 0 avril 0h au 3 mai 0h		
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
28.237 995	-2.416 226	0.326 950 70	193.867 833	3.976 514	0.407 753 80
120.709 004	3.328 679	0.350 961 14	243.570 661	-1.547 248	0.445 438 54
87.886 461	2.794 717	0.051 567 47	47.857 951	-5.184 788	0.020 099 03
-6.800 784	-3.224 252	0.022 159 46	-1.086 551	0.424 371	-0.018 144 84
-1.581 456	0.103 883	-0.006 628 58	0.718 247	0.075 715	-0.000 364 24
0.713 112	0.327 553	-0.000 688 93	-0.030 253	-0.004 296	0.000 171 80
0.010 331	-0.083 056	0.000 536 73	0.009 782	0.004 758	-0.000 017 20
-0.063 774	-0.019 466	-0.000 049 36	-0.000 121	-0.000 493	0.000 005 48
0.010 316	0.014 223	-0.000 034 86	-0.000 040	0.000 124	-0.000 000 34
0.004 568	-0.000 823	0.000 011 46	0.000 028	-0.000 011	0.000 000 07
-0.001 906	-0.001 564	0.000 000 93	-0.000 008	0.000 000	0.000 000 00
-0.000 150	0.000 455	-0.000 001 33	0.000 001	0.000 000	0.000 000 00
0.000 240	0.000 094	0.000 000 19	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
-0.000 027	-0.000 079	0.000 000 10	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
-0.000 023	0.000 005	-0.000 000 04	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
0.000 009	0.000 009	0.000 000 00	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
du 0 mai 0h au 2 juin 0h			du 0 juin 0h au 3 juillet 0h		
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
282.183 262	-5.666 582	0.455 711 24	51.822 715	0.429 626	0.312 742 75
345.681 024	-4.153 166	0.382 294 50	140.682 782	3.850 467	0.361 111 23
70.281 805	3.627 427	-0.078 731 03	81.593 138	0.191 304	0.068 294 42
7.668 107	2.376 969	-0.000 842 79	-8.319 071	-2.909 762	0.012 887 62
0.793 173	0.215 499	0.005 314 60	-0.365 602	0.546 752	-0.007 118 28
-0.153 388	-0.086 026	0.000 890 91	0.609 840	0.128 150	0.000 339 06
-0.078 130	-0.048 856	0.000 018 50	-0.112 722	-0.092 942	0.000 321 21
-0.016 932	-0.010 911	-0.000 041 63	-0.020 211	0.014 774	-0.000 103 91
-0.000 757	0.000 010	-0.000 014 53	0.015 071	0.005 529	0.000 003 45
0.000 815	0.000 927	-0.000 002 13	-0.002 069	-0.003 318	0.000 007 43
0.000 331	0.000 351	0.000 000 26	-0.000 904	0.000 407	-0.000 002 37
0.000 060	0.000 053	0.000 000 24	0.000 449	0.000 248	0.000 000 01
-0.000 001	-0.000 010	0.000 000 07	-0.000 029	-0.000 123	0.000 000 21
-0.000 005	-0.000 009	0.000 000 01	-0.000 039	0.000 010	-0.000 000 06
-0.000 002	-0.000 002	0.000 000 00	0.000 014	0.000 011	0.000 000 00
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	0.000 000	-0.000 005	0.000 000 01

Unités : degré degré ua degré degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MERCURE 2005

DT = 33 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR
Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 juillet 0h au 2 août 0h			du 0 août 0h au 2 septembre 0h		
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
204.371 483	2.855 598	0.422 739 03	-65.828 941	-6.396 798	0.443 727 48
252.697 218	-2.424 217	0.447 779 10	4.026 719	-3.021 905	0.367 807 34
47.319 879	-4.840 661	0.006 890 00	77.576 122	5.668 517	-0.074 039 74
-0.297 069	0.514 349	-0.018 429 75	8.245 082	2.358 542	0.007 829 66
0.686 558	0.074 815	-0.000 118 51	0.240 465	-0.095 915	0.006 723 96
-0.012 571	0.003 900	0.000 150 43	-0.386 522	-0.220 327	0.000 673 02
0.009 494	0.003 964	-0.000 005 64	-0.114 622	-0.064 024	-0.000 177 83
-0.000 164	-0.000 213	0.000 004 90	-0.008 684	-0.000 278	-0.000 091 41
0.000 012	0.000 093	-0.000 000 12	0.005 602	0.006 153	-0.000 014 18
0.000 007	-0.000 010	0.000 000 08	0.002 409	0.002 127	0.000 002 62
-0.000 005	0.000 000	0.000 000 00	0.000 338	0.000 112	0.000 001 93
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	-0.000 083	-0.000 178	0.000 000 39
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	-0.000 055	-0.000 073	-0.000 000 04
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	-0.000 012	-0.000 007	-0.000 000 05
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	0.000 001	0.000 005	-0.000 000 01
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	0.000 001	0.000 003	0.000 000 00
du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h			du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h		
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
76.958 041	3.369 723	0.307 500 66	217.286 840	1.347 413	0.439 737 06
159.687 697	3.978 400	0.374 383 15	264.771 682	-3.474 272	0.447 324 28
74.240 019	-2.182 086	0.077 239 83	47.526 444	-4.260 201	-0.010 826 10
-8.399 391	-2.149 620	0.003 546 41	0.724 579	0.643 401	-0.018 375 74
0.556 099	0.667 177	-0.006 129 55	0.683 884	0.091 557	0.000 188 06
0.335 627	-0.039 020	0.000 835 14	0.010 104	0.013 371	0.000 154 51
-0.123 756	-0.044 261	0.000 069 13	0.009 049	0.003 706	0.000 008 94
0.014 591	0.019 505	-0.000 068 86	-0.000 138	0.000 040	0.000 005 01
0.005 027	-0.002 818	0.000 016 75	0.000 001	0.000 054	0.000 000 18
-0.002 790	-0.000 849	-0.000 000 50	-0.000 013	-0.000 011	0.000 000 08
0.000 478	0.000 584	-0.000 001 07	-0.000 004	-0.000 001	0.000 000 00
0.000 088	-0.000 130	0.000 000 39	0.000 000	-0.000 001	0.000 000 00
-0.000 073	-0.000 011	-0.000 000 05	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
0.000 016	0.000 017	-0.000 000 02	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
0.000 001	-0.000 005	0.000 000 01	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
-0.000 002	0.000 000	0.000 000 00	0.000 000	0.000 000	0.000 000 00
du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h			du 0 décembre 0h au 31 décembre 0h		
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
-53.025 714	-6.869 030	0.427 743 73	96.046 112	5.194 445	0.310 322 92
23.568 014	-1.722 319	0.355 891 98	173.137 273	3.766 729	0.385 738 68
84.502 704	7.242 868	-0.061 324 84	68.662 585	-3.593 119	0.078 724 38
7.696 173	1.775 865	0.017 391 14	-7.742 618	-1.500 445	-0.002 526 19
-0.731 702	-0.592 227	0.007 118 65	0.938 284	0.595 836	-0.004 953 21
-0.620 633	-0.312 137	-0.000 092 01	0.144 489	-0.094 603	0.000 883 83
-0.088 655	-0.021 820	-0.000 443 58	-0.088 056	-0.010 066	-0.000 044 04
0.024 826	0.027 885	-0.000 093 21	0.020 644	0.011 701	-0.000 031 41
0.013 769	0.010 080	0.000 013 10	-0.000 868	-0.003 596	0.000 012 79
0.001 529	-0.000 343	0.000 011 10	-0.001 190	0.000 393	-0.000 002 34
-0.000 820	-0.001 250	0.000 001 58	0.000 485	0.000 158	-0.000 000 03
-0.000 373	-0.000 314	-0.000 000 64	-0.000 079	-0.000 096	0.000 000 17
-0.000 028	0.000 057	-0.000 000 32	-0.000 010	0.000 023	-0.000 000 06
0.000 028	0.000 053	-0.000 000 02	0.000 010	-0.000 001	0.000 000 01
0.000 011	0.000 008	0.000 000 03	-0.000 003	-0.000 002	0.000 000 00
0.000 001	-0.000 004	0.000 000 01	0.000 000	0.000 001	0.000 000 00

Unités : degré degré ua degré degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

VÉNUS 2005

DT = 94 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR
Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 4 avril 0h

du 0 avril 0h au 3 juillet 0h

longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
227.487 335	1.656 493	0.723 782 33	10.234 859	-3.112 054	0.725 874 57
302.056 528	-1.498 521	0.726 311 90	85.824 478	0.325 826	0.721 244 26
74.499 021	-2.489 569	0.000 871 06	75.827 544	3.532 772	-0.003 697 15
-0.001 970	0.887 125	-0.001 790 26	0.224 788	-0.195 973	0.001 278 63
0.063 204	0.193 854	-0.000 067 52	-0.022 639	-0.292 470	0.000 304 83
-0.006 734	-0.031 891	0.000 066 34	-0.011 131	0.005 394	-0.000 048 66
-0.001 272	-0.003 747	0.000 001 26	-0.001 437	0.007 155	-0.000 007 43
0.000 486	0.000 335	-0.000 000 85	0.000 301	0.000 070	0.000 000 71
0.000 008	0.000 020	0.000 000 00	0.000 107	-0.000 094	0.000 000 11
-0.000 014	0.000 003	0.000 000 00	-0.000 005	-0.000 007	-0.000 000 01
0.000 000	0.000 000	0.000 000 00	-0.000 003	0.000 001	0.000 000 00

du 0 juillet 0h au 2 octobre 0h

du 0 octobre 0h au 33 décembre 0h

longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
156.969 065	3.346 282	0.718 884 68	-55.893 324	-2.501 813	0.728 190 12
232.421 515	0.852 907	0.723 874 70	18.909 593	-1.768 430	0.724 487 75
75.122 649	-3.243 406	0.005 065 58	75.008 452	1.904 084	-0.004 750 54
-0.319 091	-0.508 091	-0.000 337 60	0.224 001	1.068 864	-0.000 704 22
0.029 278	0.263 978	-0.000 407 43	0.015 569	-0.145 011	0.000 380 01
0.017 059	0.016 063	0.000 014 94	-0.002 152	-0.041 288	0.000 028 58
-0.002 106	-0.006 055	0.000 008 96	0.000 457	0.002 511	-0.000 008 04
-0.000 518	-0.000 007	-0.000 000 35	-0.000 344	0.000 628	-0.000 000 51
0.000 091	0.000 064	-0.000 000 09	-0.000 045	-0.000 002	0.000 000 06
0.000 010	-0.000 009	0.000 000 01	0.000 013	-0.000 005	0.000 000 01
-0.000 002	0.000 000	0.000 000 00	0.000 002	0.000 000	0.000 000 00

Unités : degré degré ua degré degré ua

MARS 2005

DT = 186 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR
Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 5 juillet 0h

du 0 juillet 0h au 33 décembre 0h

longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.
222.015 863	0.242 204	1.570 374 34	-35.030 844	-1.841 042	1.383 546 78
273.278 442	-1.013 475	1.464 493 92	21.514 223	-0.673 498	1.439 213 81
53.149 184	-1.094 283	-0.097 837 43	55.245 189	1.388 944	0.077 939 73
1.843 836	0.220 658	0.011 968 48	-1.552 992	0.150 708	0.019 125 15
-0.085 830	0.060 449	0.003 943 84	-0.205 854	-0.072 004	-0.003 514 51
-0.046 310	-0.000 157	-0.000 041 74	0.049 137	0.000 842	-0.000 285 48
-0.002 760	-0.001 566	-0.000 066 77	0.000 631	0.001 967	0.000 082 14
0.000 629	-0.000 214	-0.000 006 30	-0.001 170	-0.000 234	-0.000 001 13
0.000 146	0.000 016	0.000 000 57	0.000 102	-0.000 036	-0.000 001 67
0.000 003	0.000 009	0.000 000 20	0.000 021	0.000 011	0.000 000 16
-0.000 003	0.000 001	0.000 000 01	-0.000 005	0.000 000	0.000 000 04

Unités : degré degré ua degré degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JUPITER, SATURNE 2005

DT = 368 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

JUPITER			SATURNE			
du 0 janvier 0h au 34 décembre 0h			du 0 janvier 0h au 34 décembre 0h			
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.	
186.827 875	1.301 057	5.453 843 63	113.290 210	-0.014 528	9.057 808 76	
200.726 093	1.264 270	5.450 903 05	120.085 826	0.278 977	9.081 124 55	
13.903 601	-0.055 706	-0.007 041 54	6.786 354	0.292 302	0.024 822 05	
0.008 839	-0.018 835	-0.004 089 41	-0.009 612	-0.001 389	0.001 490 62	
0.003 443	0.000 099	0.000 016 81	-0.000 342	-0.000 184	-0.000 015 06	
-0.000 005	0.000 015	0.000 005 69	0.000 012	0.000 002	-0.000 000 23	
0.000 008	0.000 000	0.000 000 43	0.000 004	0.000 000	-0.000 000 81	
Unités :	degré	degré	ua	degré	degré	ua

URANUS, NEPTUNE 2005

DT = 368 jours

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

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

URANUS			NEPTUNE			
du 0 janvier 0h au 34 décembre 0h			du 0 janvier 0h au 34 décembre 0h			
longitude	latitude	rayon vec.	longitude	latitude	rayon vec.	
336.088 993	-0.764 725	20.058 251 49	314.804 537	-0.093 307	30.066 123 66	
338.057 692	-0.767 650	20.066 770 42	315.903 325	-0.127 215	30.062 023 53	
1.968 424	-0.002 701	0.008 280 29	1.098 999	-0.033 903	-0.004 064 94	
-0.000 261	0.000 224	-0.000 240 75	0.000 212	0.000 006	0.000 032 47	
0.000 014	0.000 000	-0.000 003 37	0.000 001	0.000 001	-0.000 003 85	
-0.000 003	0.000 000	-0.000 000 84	-0.000 002	0.000 000	-0.000 000 53	
-0.000 003	0.000 000	0.000 000 42	-0.000 002	0.000 000	0.000 000 60	
Unités :	degré	degré	ua	degré	degré	ua
Échelle de temps : TAI + 32.184 s						

MERCURE 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h			du 0 août 0h au 2 septembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
8.344 002 7	20.775 082	0.986 824 31	9.261 618 4	10.928 877	0.597 818 91
9.061 440 9	14.707 591	0.760 175 34	9.155 915 2	13.948 158	0.807 723 28
0.423 089 4	-5.133 086	-0.202 810 69	0.254 376 5	2.338 644	0.290 541 86
-0.306 845 4	1.274 416	0.029 098 74	0.429 295 3	-1.388 700	0.070 791 18
-0.010 839 6	0.342 616	0.006 121 97	0.041 709 1	-0.656 908	-0.013 816 79
0.003 462 9	-0.002 777	0.000 988 70	-0.029 368 5	0.073 086	-0.003 931 17
0.002 257 9	-0.008 244	0.000 106 96	-0.000 426 3	0.017 909	0.000 119 04
0.000 488 0	-0.003 343	-0.000 026 33	0.001 233 4	-0.002 585	0.000 097 03
0.000 023 3	-0.000 473	-0.000 007 36	-0.000 234 6	0.001 703	0.000 029 25
-0.000 018 6	0.000 033	-0.000 001 31	0.000 008 8	-0.000 025	0.000 011 81
-0.000 006 4	0.000 029	-0.000 000 08	0.000 037 3	-0.000 290	-0.000 001 64
-0.000 000 5	0.000 005	-0.000 000 04	-0.000 007 6	0.000 024	-0.000 001 64
0.000 000 0	0.000 002	0.000 000 01	-0.000 003 2	0.000 020	-0.000 000 08
-0.000 000 1	0.000 002	0.000 000 03	0.000 000 8	-0.000 005	-0.000 000 06
-0.000 000 1	0.000 000	0.000 000 01	0.000 000 2	-0.000 001	0.000 000 00
0.000 000 0	-0.000 001	0.000 000 00	0.000 000 0	0.000 001	0.000 000 00
du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h			du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
9.627 764 8	15.152 805	1.101 888 83	12.998 800 7	-5.935 837	1.398 428 39
11.508 803 2	4.095 123	1.309 175 38	14.547 616 5	-15.718 563	1.256 360 33
1.845 884 0	-11.980 037	0.137 787 45	1.517 767 9	-8.851 338	-0.174 584 88
-0.055 437 9	-0.524 364	-0.064 744 78	-0.034 069 0	1.006 707	-0.032 522 54
-0.010 516 1	0.344 120	0.005 986 98	-0.005 897 6	0.079 276	-0.000 217 11
0.007 797 6	-0.055 826	0.000 533 19	-0.003 341 9	0.005 236	-0.000 152 50
-0.001 915 7	0.001 773	-0.000 564 51	-0.000 549 6	0.001 292	0.000 066 30
0.000 153 9	0.002 728	0.000 139 27	-0.000 093 0	0.000 025	0.000 010 17
0.000 066 5	-0.000 950	-0.000 006 46	-0.000 009 0	0.000 004	0.000 002 89
-0.000 029 2	0.000 104	-0.000 007 75	-0.000 001 6	-0.000 002	0.000 000 13
0.000 004 5	0.000 037	0.000 002 86	-0.000 001 5	0.000 009	0.000 000 05
-0.000 000 2	-0.000 015	-0.000 000 32	0.000 000 3	0.000 001	0.000 000 08
-0.000 000 3	0.000 002	-0.000 000 08	0.000 000 4	-0.000 003	0.000 000 01
0.000 000 4	-0.000 001	0.000 000 05	-0.000 000 2	0.000 000	-0.000 000 02
-0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 02	-0.000 000 1	0.000 001	0.000 000 00
-0.000 000 2	0.000 001	0.000 000 01	0.000 000 1	0.000 000	0.000 000 00
du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h			du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h		
asc. droite	déclinaison	distance	asc. droite	déclinaison	distance
15.864 300 7	-22.945 819	1.085 207 24	15.635 468 8	-17.181 484	0.729 399 20
16.062 781 5	-21.365 886	0.847 431 52	16.423 777 4	-19.683 716	1.062 692 95
-0.246 522 5	3.757 271	-0.177 731 46	1.152 698 5	-3.879 226	0.315 056 82
-0.428 114 4	1.982 849	0.090 841 26	0.276 082 9	-0.641 449	-0.031 494 76
0.079 366 4	-0.463 246	0.032 575 60	-0.073 666 6	0.621 632	-0.008 188 84
0.077 554 3	-0.357 038	-0.000 968 03	0.015 135 0	-0.119 990	0.003 947 98
0.010 040 8	-0.079 900	-0.003 732 27	-0.001 028 2	0.006 595	-0.001 031 85
-0.008 926 1	0.028 203	-0.000 921 08	-0.000 855 3	0.007 327	0.000 134 23
-0.004 246 3	0.026 086	0.000 217 96	0.000 487 5	-0.004 002	0.000 019 50
0.000 188 2	0.004 845	0.000 190 66	-0.000 155 0	0.001 213	-0.000 018 19
0.000 782 5	-0.003 214	0.000 026 05	0.000 030 0	-0.000 199	0.000 006 25
0.000 211 2	-0.002 152	-0.000 020 59	0.000 000 1	-0.000 022	-0.000 001 23
-0.000 072 8	-0.000 154	-0.000 010 43	-0.000 002 9	0.000 031	0.000 000 03
-0.000 060 8	0.000 370	0.000 000 00	0.000 001 5	-0.000 013	0.000 000 08
-0.000 005 2	0.000 161	0.000 001 72	-0.000 000 4	0.000 003	-0.000 000 04
0.000 009 7	-0.000 006	0.000 000 67	0.000 000 1	0.000 000	0.000 000 01

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

VÉNUS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.124 550 0	-22.108 674	1.537 797 90
18.613 963 9	-22.294 616	1.592 923 05
1.489 249 6	0.605 403	0.052 546 67
-0.003 174 4	0.791 435	-0.002 558 00
-0.002 958 6	-0.003 392	0.000 024 02
0.000 082 8	-0.003 424	-0.000 001 26
0.000 024 0	0.000 088	-0.000 004 86
-0.000 004 8	0.000 035	0.000 000 72
0.000 004 1	-0.000 009	0.000 000 44
-0.000 000 1	-0.000 008	-0.000 000 30
-0.000 001 7	0.000 006	0.000 000 04

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
19.920 686 3	-21.330 596	1.637 712 76
21.319 591 0	-16.126 181	1.673 451 09
1.377 580 7	5.767 910	0.033 083 64
-0.021 444 7	0.527 423	-0.002 653 17
0.000 150 8	-0.036 839	0.000 001 87
0.000 260 6	-0.000 588	-0.000 004 29
-0.000 013 7	0.000 167	-0.000 004 24
0.000 000 4	-0.000 018	0.000 000 81
0.000 000 5	-0.000 011	0.000 000 06
-0.000 002 0	-0.000 002	-0.000 000 21
0.000 000 7	0.000 003	0.000 000 14

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.279 969 4	-12.093 535	1.696 590 52
23.558 011 4	-4.239 512	1.713 560 07
1.267 677 6	8.029 405	0.013 986 94
-0.008 428 6	0.136 858	-0.003 010 85
0.002 015 8	-0.038 228	-0.000 022 46
0.000 074 0	0.000 331	0.000 001 86
-0.000 006 5	0.000 023	-0.000 004 28
0.000 000 6	-0.000 012	0.000 000 15
-0.000 000 9	-0.000 007	0.000 000 23
-0.000 001 4	-0.000 005	-0.000 000 21
0.000 000 6	0.000 002	0.000 000 07

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.667 575 5	2.888 032	1.724 212 72
1.947 244 1	10.596 688	1.717 103 93
1.292 150 1	7.456 059	-0.010 635 28
0.014 173 1	-0.291 154	-0.003 555 76
0.001 607 8	-0.038 499	-0.000 022 95
-0.000 089 5	0.000 097	0.000 002 47
-0.000 008 3	0.000 033	-0.000 004 05
-0.000 005 0	-0.000 017	-0.000 000 05
-0.000 001 7	-0.000 012	0.000 000 00
0.000 001 0	0.000 000	-0.000 000 03
0.000 000 3	0.000 001	0.000 000 12

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.008 919 0	16.608 512	1.707 205 74
4.414 335 8	21.125 308	1.673 205 03
1.423 720 4	3.864 291	-0.037 895 11
0.017 092 4	-0.683 093	-0.003 888 85
-0.001 454 7	-0.028 747	0.000 014 55
-0.000 234 4	0.002 017	0.000 005 37
0.000 006 0	0.000 157	-0.000 004 14
-0.000 003 4	-0.000 032	-0.000 000 48
0.000 000 9	-0.000 011	0.000 000 01
0.000 001 3	0.000 006	0.000 000 11
0.000 000 1	0.000 004	0.000 000 13

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.674 769 8	24.146 072	1.637 788 22
7.134 863 0	23.043 849	1.574 919 88
1.450 782 5	-1.890 118	-0.066 587 09
-0.012 160 2	-0.775 890	-0.003 652 88
-0.002 681 8	0.015 041	0.000 073 18
0.000 193 8	0.002 891	0.000 003 23
0.000 021 3	-0.000 178	-0.000 004 77
-0.000 003 5	-0.000 029	-0.000 000 57
0.000 001 3	0.000 013	0.000 000 32
-0.000 000 9	0.000 011	0.000 000 27
-0.000 000 9	0.000 002	0.000 000 07

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

VÉNUS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.318 285 1	21.228 487	1.519 185 13
9.644 673 0	15.223 273	1.431 600 88
1.302 542 9	-6.499 425	-0.090 571 74
-0.023 416 3	-0.457 382	-0.002 883 73
0.000 658 6	0.037 013	0.000 109 04
0.000 220 3	0.000 022	0.000 000 96
-0.000 011 0	-0.000 149	-0.000 005 15
-0.000 001 4	0.000 026	-0.000 000 59
-0.000 001 4	0.000 024	0.000 000 55
-0.000 001 3	0.000 004	0.000 000 29
0.000 000 1	-0.000 007	-0.000 000 02

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
10.776 554 6	9.265 557	1.350 449 42
11.968 570 0	0.959 942	1.243 898 50
1.183 810 0	-8.389 480	-0.108 554 94
-0.006 278 3	-0.048 739	-0.001 899 91
0.001 963 7	0.034 738	0.000 105 06
0.000 034 2	-0.000 411	-0.000 003 92
-0.000 006 3	0.000 016	-0.000 005 31
-0.000 006 6	0.000 058	0.000 000 13
-0.000 003 1	0.000 019	0.000 000 87
0.000 001 6	-0.000 012	0.000 000 09
0.000 002 0	-0.000 012	-0.000 000 21

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.005 622 4	-6.436 365	1.147 480 28
14.205 921 7	-14.034 722	1.028 941 97
1.210 872 0	-7.290 573	-0.119 704 91
0.011 537 1	0.342 617	-0.001 081 25
0.000 844 1	0.034 486	0.000 084 18
-0.000 131 2	-0.000 384	-0.000 006 10
-0.000 019 2	0.000 010	-0.000 004 72
-0.000 009 6	0.000 056	0.000 000 96
0.000 002 5	-0.000 010	0.000 000 78
0.000 002 5	-0.000 017	-0.000 000 18
-0.000 001 3	0.000 002	-0.000 000 21

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.200 449 6	-19.892 499	0.930 621 18
16.475 190 3	-24.088 521	0.805 951 91
1.278 014 7	-3.556 627	-0.125 129 52
0.000 328 3	0.659 417	-0.000 362 82
-0.003 225 9	0.017 390	0.000 100 25
-0.000 278 6	-0.002 754	-0.000 001 81
-0.000 007 3	-0.000 077	-0.000 004 16
-0.000 006 9	0.000 041	0.000 001 17
0.000 004 9	-0.000 024	0.000 000 55
0.000 000 7	-0.000 010	-0.000 000 25
-0.000 002 2	0.000 010	-0.000 000 10

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.598 341 3	-26.852 438	0.695 802 41
18.727 226 3	-26.059 006	0.571 901 67
1.074 779 6	1.397 629	-0.122 890 68
-0.061 211 8	0.572 711	0.001 265 22
-0.007 271 5	-0.034 942	0.000 273 55
-0.000 192 4	-0.003 288	0.000 016 00
-0.000 040 1	0.000 166	-0.000 001 13
-0.000 008 2	-0.000 025	0.000 001 62
0.000 002 6	-0.000 022	0.000 000 08
-0.000 002 0	0.000 005	-0.000 000 22
0.000 000 0	0.000 004	0.000 000 06

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
19.587 961 8	-24.709 815	0.471 698 69
20.011 579 5	-21.159 223	0.370 209 99
0.267 129 2	3.599 737	-0.094 653 13
-0.167 070 4	-0.015 322	0.007 900 78
-0.009 757 5	-0.064 052	0.001 153 28
0.001 172 5	0.000 816	0.000 085 24
0.000 405 8	0.000 356	-0.000 003 00
0.000 063 5	-0.000 062	-0.000 000 43
0.000 003 1	-0.000 009	-0.000 000 45
-0.000 002 8	0.000 005	-0.000 000 09
-0.000 000 1	-0.000 003	0.000 000 10

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MARS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.112 128 3	-20.720 064	2.255 923 53
16.927 057 7	-22.395 703	2.143 683 83
0.821 835 0	-1.454 055	-0.114 021 55
0.006 541 2	0.226 382	-0.001 652 55
-0.000 362 8	0.004 508	0.000 129 45
0.000 000 9	-0.000 279	-0.000 005 56
-0.000 006 4	0.000 032	-0.000 005 02
-0.000 002 6	0.000 024	0.000 001 47
0.000 004 1	-0.000 015	0.000 000 30
-0.000 000 4	-0.000 009	-0.000 000 36
-0.000 001 4	0.000 009	0.000 000 12

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.652 813 1	-23.549 800	2.042 598 00
18.502 590 3	-23.425 973	1.921 153 22
0.851 191 9	0.376 866	-0.122 024 62
0.000 854 9	0.253 221	-0.000 456 58
-0.000 532 3	-0.000 162	0.000 115 85
0.000 021 5	-0.000 313	-0.000 011 88
-0.000 007 0	0.000 037	-0.000 002 99
0.000 002 3	-0.000 014	0.000 001 59
0.000 000 0	-0.000 017	-0.000 000 19
-0.000 002 3	0.000 005	-0.000 000 13
0.000 001 0	0.000 002	0.000 000 17

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
19.096 193 9	-23.170 116	1.836 047 15
19.939 043 9	-21.371 873	1.713 619 17
0.838 963 8	2.029 789	-0.122 085 06
-0.004 291 5	0.226 971	0.000 443 83
-0.000 351 7	-0.004 788	0.000 094 78
0.000 048 3	-0.000 181	-0.000 011 11
-0.000 006 6	0.000 030	-0.000 003 88
0.000 000 9	-0.000 019	0.000 001 36
-0.000 000 6	-0.000 016	-0.000 000 05
-0.000 001 9	0.000 003	-0.000 000 15
0.000 000 9	0.000 002	0.000 000 16

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
20.673 937 2	-19.464 819	1.606 587 76
21.476 519 4	-16.149 828	1.489 295 46
0.795 929 7	3.474 879	-0.116 267 56
-0.006 684 5	0.152 098	0.001 082 17
0.000 009 3	-0.007 771	0.000 045 47
0.000 032 3	0.000 009	-0.000 015 31
-0.000 010 6	-0.000 044	-0.000 002 09
-0.000 003 9	-0.000 042	0.000 001 22
-0.000 001 9	0.000 000	0.000 000 01
0.000 001 0	0.000 009	0.000 000 11
0.000 000 6	0.000 001	0.000 000 06

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.125 457 4	-13.253 082	1.394 535 02
22.880 032 8	-9.076 221	1.285 523 24
0.748 160 1	4.242 900	-0.107 782 46
-0.006 291 8	0.057 267	0.001 241 90
0.000 140 4	-0.008 622	-0.000 000 92
0.000 006 0	0.000 081	-0.000 015 92
-0.000 015 8	-0.000 111	-0.000 001 21
-0.000 005 0	-0.000 036	0.000 001 31
0.000 001 3	0.000 013	0.000 000 27
0.000 001 9	0.000 010	0.000 000 13
0.000 000 5	0.000 003	-0.000 000 04

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-0.465 895 8	-5.317 030	1.191 487 38
0.242 489 0	-0.990 793	1.091 087 82
0.702 160 9	4.290 797	-0.099 365 26
-0.006 270 2	-0.043 614	0.001 008 64
-0.000 063 2	-0.008 031	-0.000 039 31
-0.000 035 6	0.000 002	-0.000 014 11
-0.000 020 5	-0.000 155	0.000 001 15
0.000 001 0	0.000 006	0.000 001 91
0.000 003 8	0.000 029	0.000 000 36
-0.000 000 1	0.000 003	-0.000 000 14
-0.000 001 1	-0.000 006	-0.000 000 20

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MARS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.814 921 3	2.507 333	1.010 148 97
1.468 645 2	6.284 548	0.915 966 30
0.643 647 7	3.656 596	-0.093 483 70
-0.010 689 0	-0.126 523	0.000 675 11
-0.000 671 4	-0.005 747	-0.000 034 05
-0.000 082 2	-0.000 006	-0.000 009 21
-0.000 022 7	-0.000 146	0.000 002 91
0.000 003 6	0.000 043	0.000 002 19
0.000 002 6	0.000 030	0.000 000 10
-0.000 000 8	-0.000 007	-0.000 000 35
-0.000 000 7	-0.000 011	-0.000 000 19

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.028 447 9	9.428 627	0.834 178 32
2.566 787 8	12.098 462	0.744 966 33
0.514 691 1	2.498 172	-0.088 399 42
-0.025 423 1	-0.173 330	0.000 866 09
-0.001 908 2	-0.001 670	0.000 053 69
-0.000 158 4	-0.000 124	0.000 004 56
-0.000 019 4	-0.000 060	0.000 006 23
0.000 007 6	0.000 079	0.000 001 55
0.000 001 9	0.000 003	-0.000 000 75
-0.000 000 3	-0.000 014	-0.000 000 36
0.000 000 3	0.000 001	0.000 000 10

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.005 169 9	14.199 335	0.667 750 31
3.275 446 0	15.538 476	0.589 731 11
0.218 286 7	1.161 053	-0.075 222 36
-0.054 892 4	-0.177 942	0.003 114 48
-0.002 948 6	-0.000 470	0.000 340 66
-0.000 032 2	-0.000 631	0.000 030 13
0.000 030 1	0.000 067	0.000 007 49
0.000 019 0	0.000 072	-0.000 000 56
0.000 001 7	-0.000 022	-0.000 001 14
-0.000 001 6	-0.000 004	0.000 000 09
-0.000 001 0	0.000 008	0.000 000 29

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.436 199 0	16.428 629	0.529 121 46
3.263 376 7	16.459 243	0.487 987 98
-0.233 903 7	-0.145 570	-0.032 769 33
-0.057 308 9	-0.171 945	0.008 968 29
0.004 621 0	0.005 666	0.000 599 54
0.000 887 1	0.001 880	-0.000 004 38
0.000 045 7	0.000 524	-0.000 001 41
0.000 004 0	0.000 037	-0.000 002 53
-0.000 005 8	-0.000 032	-0.000 000 57
-0.000 002 2	0.000 002	0.000 000 41
0.000 000 5	0.000 000	0.000 000 08

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.026 585 2	16.236 941	0.464 126 85
2.673 688 4	15.588 401	0.502 681 05
-0.322 521 0	-0.576 711	0.050 376 09
0.038 211 7	0.103 481	0.011 614 37
0.006 987 7	0.029 988	-0.000 255 80
-0.000 858 2	-0.001 868	-0.000 042 67
0.000 005 9	-0.000 180	0.000 003 37
0.000 009 6	0.000 009	-0.000 002 04
-0.000 006 6	-0.000 012	0.000 000 52
0.000 000 8	0.000 003	0.000 000 14
0.000 001 1	0.000 000	-0.000 000 18

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.421 562 8	15.145 317	0.547 931 73
2.435 343 7	15.723 170	0.659 045 79
0.070 997 7	0.792 462	0.118 337 57
0.055 189 6	0.206 076	0.006 754 77
-0.002 189 2	-0.009 844	-0.000 442 56
-0.000 088 8	-0.000 939	0.000 023 44
0.000 060 0	0.000 305	-0.000 004 41
-0.000 015 6	-0.000 070	-0.000 001 01
-0.000 001 5	-0.000 006	0.000 000 53
0.000 000 9	-0.000 002	-0.000 000 17
0.000 000 0	0.000 001	-0.000 000 04

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JUPITER 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équatueur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.089 546 6	-5.559 189	5.495 053 18
13.155 544 6	-5.890 691	5.232 046 23
0.053 759 1	-0.254 664	-0.261 270 56
-0.012 485 6	0.077 882	0.002 598 78
-0.000 222 3	0.000 891	0.000 861 80
0.000 021 6	-0.000 129	-0.000 004 41
-0.000 005 1	0.000 041	-0.000 001 35
0.000 000 5	0.000 004	0.000 002 56
0.000 003 1	-0.000 021	-0.000 000 44
-0.000 000 7	0.000 000	-0.000 000 28
-0.000 001 0	0.000 008	0.000 000 25

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.195 963 2	-6.071 969	5.003 928 35
13.165 046 9	-5.811 502	4.787 802 68
-0.043 818 4	0.337 095	-0.204 409 58
-0.012 662 6	0.074 872	0.012 582 68
0.000 284 7	-0.002 013	0.000 838 99
0.000 040 6	-0.000 221	-0.000 027 00
-0.000 002 2	0.000 023	0.000 002 67
0.000 004 2	-0.000 030	0.000 001 27
-0.000 000 9	0.000 000	-0.000 000 65
-0.000 001 7	0.000 012	0.000 000 18
0.000 001 0	-0.000 005	0.000 000 03

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.134 616 5	-5.576 990	4.644 384 25
13.029 699 8	-4.886 578	4.531 630 66
-0.112 441 6	0.731 922	-0.093 769 03
-0.006 658 6	0.035 989	0.019 450 52
0.000 899 9	-0.005 722	0.000 406 57
0.000 025 9	-0.000 145	-0.000 057 26
-0.000 004 5	0.000 036	0.000 004 06
-0.000 003 9	-0.000 031	0.000 001 15
-0.000 001 7	0.000 006	-0.000 000 61
-0.000 001 4	0.000 011	0.000 000 18
0.000 001 0	-0.000 006	0.000 000 01

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.927 323 7	-4.224 179	4.459 870 33
12.802 680 4	-3.454 902	4.498 378 04
-0.121 165 5	0.741 231	0.058 700 70
0.004 446 9	-0.034 127	0.019 870 63
0.000 930 8	-0.005 810	-0.000 373 80
-0.000 040 4	0.000 288	-0.000 043 53
-0.000 000 2	-0.000 003	0.000 007 96
-0.000 000 9	-0.000 001	-0.000 000 40
-0.000 001 8	0.000 015	-0.000 000 30
0.000 001 3	-0.000 007	0.000 000 00
0.000 000 3	-0.000 003	-0.000 000 15

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.704 839 7	-2.858 700	4.553 263 47
12.633 809 2	-2.467 754	4.720 855 18
-0.059 925 1	0.316 414	0.181 611 37
0.011 468 2	-0.076 549	0.013 221 86
0.000 306 9	-0.001 634	-0.000 805 33
-0.000 051 5	0.000 347	-0.000 000 21
0.000 003 0	-0.000 029	0.000 006 20
-0.000 001 7	0.000 012	-0.000 001 42
0.000 001 2	-0.000 005	-0.000 000 42
0.000 001 4	-0.000 010	-0.000 000 15
-0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 03

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.587 435 1	-2.231 626	4.887 586 82
12.606 517 1	-2.430 912	5.129 424 82
0.031 279 1	-0.277 178	0.246 717 22
0.012 044 5	-0.076 569	0.004 080 65
-0.000 172 6	0.001 451	-0.000 775 42
-0.000 016 8	0.000 101	0.000 025 08
0.000 003 8	-0.000 029	-0.000 000 16
0.000 002 3	-0.000 012	-0.000 002 44
0.000 001 7	-0.000 012	-0.000 000 40
-0.000 001 2	0.000 006	0.000 000 17
-0.000 001 2	0.000 008	0.000 000 22

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JUPITER 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.636 241 6	-2.684 051	5.332 854 78
12.736 744 5	-3.391 722	5.583 744 76
0.110 271 6	-0.766 584	0.248 010 29
0.009 479 6	-0.056 715	-0.003 489 81
-0.000 287 5	0.002 181	-0.000 583 43
0.000 004 2	-0.000 035	0.000 024 57
0.000 004 4	-0.000 029	-0.000 004 34
0.000 002 1	-0.000 014	-0.000 002 32
-0.000 001 2	0.000 005	0.000 000 17
-0.000 001 7	0.000 011	0.000 000 43
-0.000 000 2	0.000 003	0.000 000 16

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.838 783 9	-4.096 058	5.799 742 52
13.002 055 9	-5.165 256	6.007 889 05
0.169 949 1	-1.104 379	0.199 386 83
0.006 412 2	-0.033 097	-0.009 165 27
-0.000 258 0	0.002 028	-0.000 387 00
0.000 010 4	-0.000 077	0.000 012 69
0.000 002 6	-0.000 017	-0.000 007 04
-0.000 002 8	0.000 015	-0.000 000 49
-0.000 002 7	0.000 019	0.000 001 11
0.000 000 9	-0.000 003	0.000 000 21
0.000 001 7	-0.000 011	-0.000 000 23

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.154 875 1	-6.153 621	6.178 086 48
13.358 755 7	-7.411 128	6.306 350 77
0.207 796 8	-1.270 649	0.115 670 52
0.003 684 2	-0.011 307	-0.012 822 95
-0.000 224 3	0.001 774	-0.000 221 16
0.000 007 1	-0.000 059	0.000 001 86
-0.000 003 4	0.000 020	-0.000 005 27
-0.000 003 5	0.000 026	0.000 001 85
0.000 001 8	-0.000 005	0.000 000 86
0.000 001 5	-0.000 011	-0.000 000 32
-0.000 001 0	0.000 002	-0.000 000 22

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.530 078 9	-8.455 047	6.396 705 36
13.754 207 9	-9.744 189	6.426 321 22
0.225 526 3	-1.283 070	0.015 169 90
0.001 162 9	0.007 703	-0.014 505 49
-0.000 229 2	0.001 577	-0.000 056 44
0.000 001 5	-0.000 031	-0.000 001 00
-0.000 005 5	0.000 039	-0.000 002 09
0.000 000 2	0.000 009	0.000 002 53
0.000 003 1	-0.000 020	0.000 000 10
-0.000 000 4	-0.000 003	-0.000 000 40
-0.000 001 5	0.000 010	0.000 000 03

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.953 013 6	-10.867 425	6.431 748 87
14.178 090 5	-12.049 658	6.352 243 72
0.223 583 5	-1.158 521	-0.093 727 17
-0.001 765 0	0.025 088	-0.014 085 70
-0.000 273 4	0.001 349	0.000 137 21
-0.000 006 2	0.000 006	0.000 001 39
-0.000 002 5	0.000 026	0.000 002 70
0.000 003 7	-0.000 025	0.000 001 83
-0.000 000 8	-0.000 006	-0.000 000 59
-0.000 001 7	0.000 011	-0.000 000 06
0.000 000 9	-0.000 001	0.000 000 16

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.360 501 1	-12.989 400	6.270 743 82
14.563 779 0	-13.950 546	6.095 067 71
0.198 341 3	-0.923 103	-0.187 265 24
-0.005 271 9	0.039 118	-0.011 230 06
-0.000 342 9	0.001 074	0.000 363 00
-0.000 010 3	0.000 022	0.000 007 41
0.000 000 3	-0.000 001	0.000 004 90
0.000 000 8	-0.000 023	0.000 000 85
-0.000 002 8	0.000 013	-0.000 000 46
0.000 000 1	0.000 007	0.000 000 15
0.000 000 7	-0.000 005	0.000 000 04

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SATURNE 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.796 545 0	21.115 766	8.105 848 05
7.703 168 0	21.376 139	8.098 336 20
-0.093 511 0	0.257 645	0.013 998 12
0.000 497 0	-0.004 318	0.021 476 99
0.000 626 2	-0.001 548	-0.000 094 06
-0.000 009 0	0.000 060	-0.000 055 10
-0.000 004 9	0.000 013	0.000 007 23
0.000 001 5	-0.000 024	0.000 000 08
0.000 002 8	-0.000 003	-0.000 000 94
-0.000 000 5	0.000 012	0.000 000 29
-0.000 001 1	-0.000 004	0.000 000 06

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.621 314 8	21.600 065	8.122 342 57
7.549 532 2	21.789 653	8.266 521 62
-0.065 643 5	0.173 797	0.161 647 61
0.006 557 8	-0.016 474	0.016 764 04
0.000 389 3	-0.000 606	-0.000 732 98
-0.000 030 2	0.000 076	-0.000 020 35
0.000 002 1	-0.000 020	0.000 006 85
0.000 004 4	-0.000 004	-0.000 001 78
-0.000 001 2	0.000 019	-0.000 000 09
-0.000 001 8	-0.000 001	0.000 000 24
0.000 000 9	-0.000 005	-0.000 000 19

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.503 333 7	21.911 646	8.379 263 66
7.482 760 5	21.980 877	8.617 504 10
-0.011 813 8	0.050 053	0.247 342 80
0.008 838 9	-0.019 275	0.008 162 44
0.000 052 1	-0.000 054	-0.000 937 79
-0.000 026 2	0.000 036	0.000 009 36
0.000 004 4	-0.000 021	0.000 005 69
0.000 003 7	0.000 004	-0.000 001 93
-0.000 002 0	0.000 018	-0.000 000 02
-0.000 001 5	-0.000 004	0.000 000 18
0.000 001 0	-0.000 004	-0.000 000 19

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.477 202 3	22.014 346	8.839 230 78
7.521 934 2	21.939 803	9.110 964 66
0.052 921 7	-0.093 388	0.270 787 29
0.008 022 0	-0.018 743	-0.001 777 65
-0.000 181 1	0.000 129	-0.000 803 11
-0.000 008 4	0.000 012	0.000 029 95
0.000 005 3	0.000 002	-0.000 000 04
-0.000 002 9	0.000 022	-0.000 001 88
-0.000 002 3	-0.000 008	0.000 000 06
0.000 001 3	-0.000 011	-0.000 000 10
0.000 000 3	0.000 002	0.000 000 00

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.568 004 8	21.856 985	9.332 105 89
7.665 178 6	21.649 787	9.570 223 47
0.103 089 6	-0.224 666	0.229 430 10
0.005 667 5	-0.017 245	-0.009 265 24
-0.000 250 2	0.000 230	-0.000 545 93
0.000 002 3	0.000 007	0.000 030 00
0.000 000 8	0.000 012	-0.000 003 62
-0.000 003 9	-0.000 003	-0.000 001 72
0.000 001 1	-0.000 018	-0.000 000 03
0.000 001 7	0.000 001	0.000 000 04
0.000 000 1	0.000 004	0.000 000 14

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.758 839 5	21.442 987	9.766 748 20
7.891 074 5	21.113 736	9.920 686 58
0.135 407 7	-0.343 710	0.140 135 82
0.002 922 3	-0.014 052	-0.014 103 33
-0.000 242 7	0.000 404	-0.000 276 69
0.000 006 4	0.000 004	0.000 018 75
-0.000 001 9	-0.000 008	-0.000 006 51
0.000 001 5	-0.000 021	-0.000 000 92
0.000 002 4	0.000 003	0.000 000 50
-0.000 001 0	0.000 012	0.000 000 33
-0.000 001 3	0.000 003	0.000 000 09

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SATURNE 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.002 910 9	20.827 674	10.030 630 02
8.149 723 7	20.409 936	10.075 649 32
0.147 423 1	-0.426 622	0.028 988 04
0.000 380 9	-0.008 231	-0.016 090 25
-0.000 222 2	0.000 665	-0.000 042 83
0.000 005 2	0.000 004	0.000 009 98
-0.000 000 3	-0.000 016	-0.000 006 36
0.000 002 5	0.000 000	0.000 000 45
-0.000 000 5	0.000 018	0.000 000 98
-0.000 001 7	0.000 002	0.000 000 20
-0.000 000 4	-0.000 008	-0.000 000 15

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.279 464 3	20.030 592	10.092 358 15
8.422 211 0	19.575 423	10.016 884 94
0.140 814 5	-0.454 854	-0.091 086 85
-0.002 147 7	0.001 277	-0.015 428 48
-0.000 214 4	0.000 977	0.000 192 87
0.000 001 3	0.000 006	0.000 003 28
0.000 000 1	0.000 004	-0.000 002 70
-0.000 001 6	0.000 023	0.000 002 53
-0.000 002 6	0.000 003	0.000 000 72
0.000 000 7	-0.000 011	-0.000 000 35
0.000 001 8	-0.000 004	-0.000 000 27

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.544 773 8	19.176 450	9.928 450 52
8.664 358 6	18.764 926	9.745 398 80
0.115 112 8	-0.398 706	-0.195 311 77
-0.004 691 1	0.014 027	-0.011 812 94
-0.000 219 6	0.001 204	0.000 452 24
-0.000 002 0	0.000 010	0.000 005 51
-0.000 003 0	0.000 025	0.000 002 96
-0.000 002 3	0.000 002	0.000 002 61
0.000 001 6	-0.000 021	-0.000 000 52
0.000 001 5	-0.000 001	-0.000 000 43
-0.000 000 9	0.000 012	0.000 000 12

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.757 016 3	18.443 127	9.581 467 08
8.836 100 9	18.168 834	9.328 419 22
0.072 244 7	-0.248 282	-0.258 989 41
-0.007 033 3	0.027 105	-0.005 224 63
-0.000 190 7	0.001 064	0.000 722 84
0.000 000 2	-0.000 012	0.000 009 61
-0.000 003 3	0.000 014	0.000 005 68
0.000 001 0	-0.000 021	0.000 001 22
0.000 003 0	-0.000 010	-0.000 001 01
-0.000 000 3	0.000 010	-0.000 000 08
-0.000 001 5	0.000 003	0.000 000 24

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.895 742 5	17.965 507	9.098 025 38
8.917 093 6	17.921 647	8.831 252 70
0.012 904 1	-0.009 051	-0.263 268 95
-0.008 502 1	0.035 037	0.004 414 73
-0.000 044 5	0.000 163	0.000 914 32
0.000 010 0	-0.000 063	0.000 008 90
0.000 002 0	-0.000 019	0.000 005 36
0.000 004 3	-0.000 015	-0.000 001 04
-0.000 000 9	0.000 018	-0.000 000 56
-0.000 001 7	0.000 004	0.000 000 28
0.000 000 9	-0.000 008	0.000 000 02

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
8.924 769 3	17.926 139	8.617 094 59
8.885 698 8	18.127 910	8.409 343 46
-0.046 715 2	0.231 697	-0.194 187 49
-0.007 405 6	0.028 619	0.014 388 94
0.000 257 7	-0.001 379	0.000 810 70
0.000 020 4	-0.000 085	-0.000 010 79
0.000 005 1	-0.000 019	0.000 002 30
0.000 001 0	0.000 014	-0.000 001 75
-0.000 003 1	0.000 013	-0.000 000 01
-0.000 000 1	-0.000 008	0.000 000 13
0.000 000 7	-0.000 001	-0.000 000 10

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

URANUS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.403 104 6	-10.782 530	20.617 178 12
22.450 442 0	-10.501 857	20.808 272 60
0.049 474 8	0.292 944	0.176 322 29
0.002 001 3	0.011 503	-0.015 334 87
-0.000 136 6	-0.000 771	-0.000 521 34
0.000 000 2	-0.000 001	0.000 039 81
-0.000 001 3	-0.000 005	-0.000 003 97
-0.000 000 3	0.000 008	-0.000 001 71
0.000 000 2 6	0.000 012	0.000 000 92
-0.000 000 2	-0.000 006	-0.000 000 02
-0.000 001 1	-0.000 003	-0.000 000 21

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.494 997 6	-10.238 232	20.954 819 02
22.553 158 1	-9.894 994	21.018 658 34
0.058 740 1	0.346 627	0.045 023 49
0.000 432 9	0.002 538	-0.018 927 36
-0.000 142 6	-0.000 831	-0.000 073 64
0.000 003 4	0.000 020	0.000 031 91
0.000 000 5	0.000 012	-0.000 006 58
0.000 002 9	0.000 014	0.000 000 28
-0.000 000 7	-0.000 011	0.000 000 49
-0.000 001 6	-0.000 007	-0.000 000 28
0.000 000 8	0.000 006	0.000 000 11

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.594 185 3	-9.652 906	21.050 603 93
22.651 917 9	-9.312 403	20.986 888 89
0.056 891 4	0.335 446	-0.081 941 57
-0.000 976 7	-0.005 877	-0.017 950 56
-0.000 130 3	-0.000 792	0.000 308 76
0.000 004 7	0.000 029	0.000 026 31
0.000 001 2	0.000 014	-0.000 006 84
0.000 002 5	0.000 009	0.000 000 43
-0.000 001 4	-0.000 014	0.000 000 43
-0.000 001 4	-0.000 005	-0.000 000 25
0.000 000 8	0.000 005	0.000 000 11

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.701 368 5	-9.020 894	20.905 123 08
22.747 987 1	-8.747 766	20.719 102 32
0.044 413 4	0.259 680	-0.199 388 86
-0.002 305 0	-0.014 074	-0.012 743 07
-0.000 096 1	-0.000 604	0.000 638 43
0.000 004 5	0.000 031	0.000 007 34
0.000 000 9	0.000 001	-0.000 004 92
-0.000 002 6	-0.000 023	0.000 001 35
-0.000 001 9	-0.000 006	0.000 000 16
0.000 001 1	0.000 010	0.000 000 06
0.000 000 3	0.000 001	0.000 000 11

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.783 568 7	-8.539 910	20.551 477 80
22.810 914 9	-8.384 684	20.292 745 81
0.024 227 9	0.136 126	-0.264 316 89
-0.003 172 5	-0.019 438	-0.004 756 16
-0.000 050 5	-0.000 304	0.000 825 92
0.000 004 2	0.000 031	-0.000 006 51
-0.000 002 4	-0.000 022	-0.000 002 01
-0.000 003 2	-0.000 015	0.000 001 86
0.000 001 2	0.000 013	0.000 000 32
0.000 001 6	0.000 008	0.000 000 09
0.000 000 1	-0.000 001	-0.000 000 05

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.830 475 9	-8.275 665	20.057 944 17
22.832 975 9	-8.272 063	19.789 706 20
-0.000 908 7	-0.017 069	-0.264 201 83
-0.003 394 9	-0.020 541	0.004 899 46
0.000 020 3	0.000 175	0.000 845 99
0.000 003 4	0.000 023	-0.000 016 41
-0.000 003 0	-0.000 016	0.000 003 04
0.000 002 3	0.000 020	0.000 002 24
0.000 002 5	0.000 012	0.000 000 03
-0.000 000 9	-0.000 009	-0.000 000 30
-0.000 001 2	-0.000 007	-0.000 000 21

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

URANUS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.831 073 7	-8.293 061	19.574 985 66
22.810 229 3	-8.429 215	19.365 907 73
-0.023 670 2	-0.152 728	-0.196 208 76
-0.002 724 0	-0.015 879	0.013 566 63
0.000 106 8	0.000 719	0.000 669 53
0.000 002 4	0.000 012	-0.000 023 84
0.000 000 1	0.000 005	0.000 005 78
0.000 003 6	0.000 019	0.000 001 38
-0.000 000 3	-0.000 008	-0.000 000 69
-0.000 001 7	-0.000 009	-0.000 000 41
-0.000 000 5	0.000 001	-0.000 000 03

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.787 949 8	-8.572 035	19.200 926 41
22.750 732 8	-8.801 057	19.111 657 84
-0.038 486 1	-0.235 558	-0.070 282 09
-0.001 091 1	-0.005 425	0.019 287 69
0.000 176 4	0.001 093	0.000 270 33
0.000 000 3	-0.000 007	-0.000 024 77
0.000 002 8	0.000 014	0.000 005 76
-0.000 000 5	-0.000 009	-0.000 001 31
-0.000 002 7	-0.000 014	-0.000 001 18
0.000 000 4	0.000 007	0.000 000 10
0.000 001 7	0.000 009	0.000 000 32

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.716 331 8	-9.010 920	19.060 426 63
22.676 703 1	-9.245 601	19.119 748 51
-0.038 775 3	-0.228 371	0.079 101 69
0.001 038 8	0.007 380	0.019 550 40
0.000 181 1	0.001 041	-0.000 253 92
-0.000 002 5	-0.000 022	-0.000 021 05
0.000 000 5	-0.000 001	0.000 001 07
-0.000 002 5	-0.000 010	-0.000 002 96
0.000 000 9	0.000 012	-0.000 000 10
0.000 001 4	0.000 006	0.000 000 50
-0.000 000 7	-0.000 008	0.000 000 03

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.645 285 4	-9.430 203	19.191 177 40
22.618 121 7	-9.583 248	19.380 738 88
-0.024 497 0	-0.136 464	0.204 386 77
0.002 788 6	0.017 232	0.014 130 79
0.000 117 0	0.000 622	-0.000 706 39
-0.000 004 6	-0.000 028	-0.000 012 17
-0.000 001 1	-0.000 003	-0.000 002 82
-0.000 000 2	0.000 008	-0.000 002 25
0.000 002 5	0.000 013	0.000 000 76
-0.000 000 1	-0.000 005	0.000 000 26
-0.000 001 4	-0.000 006	-0.000 000 21

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.598 122 0	-9.693 744	19.567 999 48
22.594 746 8	-9.702 378	19.838 298 59
0.000 208 4	0.012 698	0.275 653 92
0.003 606 1	0.021 423	0.004 418 21
0.000 019 0	0.000 072	-0.000 934 26
-0.000 003 8	-0.000 016	-0.000 002 36
0.000 000 8	0.000 013	-0.000 005 57
0.000 002 7	0.000 013	-0.000 000 01
-0.000 000 6	-0.000 011	0.000 000 74
-0.000 001 5	-0.000 007	-0.000 000 21
0.000 000 7	0.000 007	-0.000 000 09

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.596 134 3	-9.684 753	20.065 584 09
22.618 666 9	-9.540 242	20.340 414 33
0.025 904 1	0.164 326	0.269 786 90
0.003 308 5	0.019 441	-0.005 928 65
-0.000 065 1	-0.000 385	-0.000 872 14
-0.000 002 0	-0.000 005	0.000 007 62
0.000 002 2	0.000 014	-0.000 004 92
0.000 000 2	-0.000 009	0.000 001 10
-0.000 002 6	-0.000 016	0.000 000 22
-0.000 000 1	0.000 004	-0.000 000 18
0.000 000 6	0.000 003	0.000 000 07

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

NEPTUNE 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.311 341 2	-15.811 710	29.263 614 77
21.286 189 3	-15.930 529	29.140 082 44
-0.026 297 8	-0.123 799	-0.105 715 66
-0.001 035 8	-0.004 431	0.018 200 15
0.000 111 7	0.000 545	0.000 350 22
-0.000 000 5	-0.000 006	-0.000 027 56
0.000 000 5	0.000 012	0.000 006 56
0.000 003 7	0.000 011	0.000 000 32
-0.000 000 3	-0.000 014	-0.000 000 94
-0.000 001 9	-0.000 006	-0.000 000 31
-0.000 000 5	0.000 005	0.000 000 09

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.262 521 4	-16.041 694	29.057 125 58
21.233 300 2	-16.176 625	29.077 153 62
-0.029 004 5	-0.133 578	0.039 853 15
0.000 346 2	0.001 935	0.019 725 43
0.000 125 3	0.000 553	-0.000 126 22
-0.000 002 1	-0.000 015	-0.000 020 93
0.000 003 1	0.000 009	0.000 004 25
-0.000 000 7	-0.000 016	-0.000 002 27
-0.000 003 0	-0.000 008	-0.000 000 93
0.000 000 5	0.000 010	0.000 000 29
0.000 001 8	0.000 007	0.000 000 31

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.208 011 0	-16.292 898	29.122 915 48
21.185 115 6	-16.397 142	29.282 636 88
-0.021 340 8	-0.097 066	0.175 971 65
0.001 652 6	0.007 568	0.015 681 04
0.000 093 3	0.000 375	-0.000 583 27
-0.000 002 8	-0.000 015	-0.000 012 88
0.000 000 2	-0.000 008	-0.000 001 46
-0.000 002 9	-0.000 005	-0.000 002 82
0.000 001 0	0.000 017	0.000 000 38
0.000 001 5	0.000 003	0.000 000 47
-0.000 000 7	-0.000 011	-0.000 000 09

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.168 194 5	-16.474 079	29.432 094 60
21.159 625 0	-16.513 710	29.685 586 35
-0.006 184 0	-0.029 045	0.261 765 80
0.002 422 8	0.010 726	0.007 398 60
0.000 034 6	0.000 134	-0.000 876 16
-0.000 002 7	-0.000 010	-0.000 003 40
-0.000 001 7	-0.000 004	-0.000 004 79
-0.000 000 3	0.000 015	-0.000 001 45
0.000 002 8	0.000 009	0.000 001 00
-0.000 000 1	-0.000 009	0.000 000 11
-0.000 001 5	-0.000 003	-0.000 000 24

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.155 512 5	-16.533 395	29.919 588 82
21.165 703 6	-16.490 063	30.199 663 54
0.012 700 3	0.054 414	0.277 771 43
0.002 482 6	0.010 990	-0.003 235 13
-0.000 027 4	-0.000 098	-0.000 922 51
-0.000 001 7	-0.000 003	0.000 003 70
0.000 000 4	0.000 015	-0.000 005 59
0.000 003 1	0.000 009	0.000 000 87
-0.000 000 6	-0.000 016	0.000 000 59
-0.000 001 6	-0.000 005	-0.000 000 27
0.000 000 8	0.000 008	-0.000 000 03

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.176 941 7	-16.441 803	30.426 079 83
21.203 874 7	-16.323 772	30.656 879 49
0.028 884 8	0.126 894	0.218 945 43
0.001 878 3	0.008 572	-0.012 582 96
-0.000 074 0	-0.000 300	-0.000 711 73
-0.000 000 7	-0.000 001	0.000 012 02
0.000 002 2	0.000 011	-0.000 003 64
0.000 000 5	-0.000 016	0.000 001 61
-0.000 002 8	-0.000 013	0.000 000 03
-0.000 000 2	0.000 007	-0.000 000 14
0.000 000 7	0.000 001	0.000 000 10

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PLUTON ET PETITES PLANÈTES

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

PLUTON	II. 54
CÉRÈS	II. 56
PALLAS	II. 58
JUNON	II. 60
VESTA	II. 62

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$a_0 + a_1T_1(x) + a_2T_2(x) \dots + a_nT_n(x),$$

$$\text{où : } T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_p(x) = 2xT_{p-1}(x) - T_{p-2}(x), \\ x = -1 + 2(t - t_0)/DT.$$

PLUTON 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.495 409 6	-15.195 898	31.821 374 64
17.533 259 5	-15.214 769	31.692 453 67
0.036 637 2	-0.013 113	-0.145 870 18
-0.001 314 8	0.005 679	-0.016 452 29
-0.000 098 6	-0.000 093	0.000 528 41
0.000 003 7	-0.000 011	0.000 024 04
-0.000 000 2	0.000 003	-0.000 006 75
-0.000 000 3	0.000 000	0.000 001 25
0.000 000 1	0.000 000	0.000 000 55

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.564 731 0	-15.223 205	31.555 341 64
17.589 995 9	-15.203 399	31.322 401 91
0.023 098 3	0.024 009	-0.242 464 61
-0.002 227 5	0.003 993	-0.008 679 51
-0.000 056 0	-0.000 215	0.000 852 61
0.000 004 4	-0.000 002	0.000 001 46
-0.000 000 7	0.000 002	-0.000 003 24
-0.000 000 1	-0.000 001	0.000 002 15
0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 39

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.606 195 5	-15.186 621	31.153 031 42
17.615 348 8	-15.145 277	30.882 775 14
0.006 600 9	0.043 175	-0.270 655 87
-0.002 559 5	0.001 562	0.000 558 83
-0.000 001 4	-0.000 268	0.000 947 97
0.000 005 0	0.000 004	-0.000 015 56
-0.000 000 8	0.000 002	-0.000 002 58
0.000 000 0	-0.000 001	0.000 002 15
0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 38

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.619 754 3	-15.106 507	30.645 311 01
17.610 235 3	-15.061 519	30.407 371 72
-0.011 813 0	0.043 865	-0.228 205 74
-0.002 233 8	-0.001 380	0.010 544 14
0.000 064 2	-0.000 248	0.000 778 46
0.000 003 1	0.000 010	-0.000 031 45
-0.000 000 8	0.000 000	0.000 002 45
0.000 000 1	-0.000 001	0.000 001 65
0.000 000 0	0.000 000	-0.000 000 12

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.599 794 4	-15.026 040	30.224 045 77
17.576 313 7	-14.997 621	30.082 293 81
-0.024 866 3	0.024 838	-0.124 844 48
-0.001 275 0	-0.003 765	0.017 357 80
0.000 111 7	-0.000 172	0.000 410 34
0.000 000 5	0.000 011	-0.000 035 82
-0.000 000 5	-0.000 002	0.000 005 33
0.000 000 2	-0.000 001	0.000 001 10
0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 07

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.553 775 9	-14.977 859	29.982 075 84
17.524 388 9	-14.982 199	29.979 277 89
-0.029 418 4	-0.009 462	0.016 796 61
0.000 095 6	-0.005 190	0.019 557 18
0.000 124 8	-0.000 057	-0.000 069 30
-0.000 002 2	0.000 008	-0.000 025 94
0.000 000 2	-0.000 003	0.000 006 29
0.000 000 3	0.000 000	-0.000 000 53
0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 84

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PLUTON 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.500 320 1	-14.991 687	29.999 680 37
17.475 092 3	-15.034 568	30.133 373 30
-0.023 957 3	-0.048 199	0.150 733 91
0.001 374 6	-0.005 260	0.016 561 17
0.000 100 0	0.000 065	-0.000 498 05
-0.000 003 7	0.000 004	-0.000 013 09
0.000 000 7	-0.000 003	0.000 004 20
0.000 000 2	0.000 001	-0.000 002 04
-0.000 000 1	0.000 001	-0.000 001 09

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.454 796 0	-15.079 784	30.274 820 06
17.442 591 3	-15.159 207	30.514 291 99
-0.010 001 0	-0.083 527	0.249 410 96
0.002 255 6	-0.003 930	0.009 151 05
0.000 047 8	0.000 175	-0.000 789 15
-0.000 003 3	0.000 000	0.000 000 08
0.000 000 9	0.000 000	-0.000 001 54
-0.000 000 1	0.000 001	-0.000 002 72
-0.000 000 2	0.000 000	0.000 000 07

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.435 035 4	-15.234 737	30.738 395 66
17.440 739 0	-15.337 409	31.020 375 25
0.008 197 1	-0.104 401	0.282 263 23
0.002 485 3	-0.001 484	-0.000 601 90
-0.000 010 9	0.000 242	-0.000 875 60
-0.000 002 1	-0.000 002	0.000 006 27
0.000 000 4	0.000 002	-0.000 005 93
-0.000 000 3	0.000 001	-0.000 000 91
-0.000 000 1	0.000 000	0.000 001 35

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.448 292 3	-15.423 397	31.251 346 05
17.471 283 0	-15.529 484	31.503 835 24
0.025 137 2	-0.105 000	0.243 342 77
0.002 087 3	0.001 338	-0.009 918 61
-0.000 060 6	0.000 246	-0.000 754 72
-0.000 001 2	-0.000 003	0.000 011 67
-0.000 000 2	0.000 003	-0.000 005 94
-0.000 000 3	0.000 000	0.000 000 91
0.000 000 1	-0.000 001	0.000 001 05

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.494 506 0	-15.621 010	31.712 220 51
17.530 861 8	-15.709 619	31.868 856 80
0.037 621 9	-0.084 902	0.140 091 18
0.001 170 8	0.003 891	-0.017 004 04
-0.000 095 6	0.000 178	-0.000 440 25
-0.000 000 8	-0.000 003	0.000 014 13
-0.000 000 7	0.000 002	-0.000 002 27
-0.000 000 1	-0.000 001	0.000 002 14
0.000 000 1	0.000 000	-0.000 000 14

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.562 066 9	-15.777 812	31.977 821 00
17.603 926 0	-15.833 855	32.001 778 54
0.041 970 8	-0.050 842	0.004 416 96
0.000 001 8	0.005 264	-0.019 567 90
-0.000 109 4	0.000 058	-0.000 008 17
-0.000 000 3	-0.000 004	0.000 017 91
-0.000 000 7	0.000 000	0.000 001 02
0.000 000 1	-0.000 001	0.000 001 81
0.000 000 0	0.000 000	-0.000 000 45

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CÉRÈS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.539 201 4	-6.123 409	2.907 138 79
14.891 233 9	-7.455 625	2.713 177 21
0.340 370 0	-1.229 651	-0.197 307 54
-0.012 321 5	0.103 055	-0.003 029 41
-0.000 663 3	0.000 302	0.000 320 22
-0.000 008 2	-0.000 140	-0.000 001 50
-0.000 006 6	0.000 055	-0.000 002 71
-0.000 001 4	-0.000 001	0.000 002 23
0.000 001 3	-0.000 008	-0.000 000 23

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.183 594 9	-8.480 072	2.538 162 25
15.418 721 1	-9.042 204	2.332 672 23
0.214 395 6	-0.463 041	-0.204 509 40
-0.021 623 2	0.097 425	0.001 481 17
-0.000 889 1	-0.001 816	0.000 502 67
-0.000 004 1	-0.000 091	0.000 001 04
-0.000 007 3	0.000 044	0.000 001 42
0.000 000 8	-0.000 015	0.000 001 89
0.000 000 5	0.000 000	-0.000 000 61

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.569 428 4	-9.366 309	2.189 721 07
15.636 549 1	-9.328 509	2.008 269 77
0.037 867 1	0.108 884	-0.174 431 82
-0.029 780 3	0.066 414	0.007 731 08
-0.000 438 8	-0.004 908	0.000 710 34
0.000 084 1	-0.000 177	-0.000 003 05
-0.000 003 4	0.000 042	0.000 000 62
0.000 001 0	-0.000 018	0.000 001 85
0.000 000 6	0.000 001	-0.000 000 56

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.653 542 6	-9.196 985	1.859 245 86
15.502 142 2	-8.854 157	1.758 422 84
-0.176 391 2	0.338 709	-0.085 699 20
-0.023 210 5	-0.013 252	0.015 738 86
0.001 964 4	-0.009 167	0.000 570 20
0.000 170 2	0.000 019	-0.000 043 70
-0.000 012 0	0.000 031	0.000 002 29
0.000 002 2	-0.000 022	0.000 000 98
0.000 000 3	0.000 000	-0.000 000 17

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.349 318 2	-8.579 130	1.693 518 51
15.104 838 3	-8.589 199	1.717 001 61
-0.240 072 2	-0.108 713	0.041 658 73
0.007 489 9	-0.104 863	0.017 978 66
0.002 967 5	-0.005 408	-0.000 261 44
-0.000 135 7	0.000 810	-0.000 056 25
-0.000 015 5	-0.000 028	0.000 008 63
0.000 006 1	-0.000 028	0.000 000 03
0.000 000 6	-0.000 001	-0.000 000 38

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.898 238 0	-8.742 542	1.763 397 08
14.777 738 8	-9.608 511	1.907 479 19
-0.093 839 5	-0.982 184	0.156 628 81
0.027 226 2	-0.112 998	0.011 819 54
0.000 386 6	0.003 678	-0.000 722 11
-0.000 162 7	0.000 358	0.000 011 79
0.000 020 6	-0.000 114	0.000 005 42
0.000 002 7	-0.000 004	-0.000 002 19
-0.000 000 7	0.000 007	-0.000 000 87

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CÉRÈS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.710 187 5	-10.451 538	2.039 813 27
14.784 529 9	-12.012 000	2.250 302 59
0.099 244 5	-1.627 766	0.215 685 84
0.024 217 1	-0.061 950	0.004 600 76
-0.000 709 5	0.005 308	-0.000 567 18
-0.000 010 5	-0.000 111	0.000 029 75
0.000 015 0	-0.000 065	-0.000 000 93
-0.000 000 6	0.000 010	-0.000 002 63
-0.000 001 6	0.000 010	-0.000 000 53

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.884 870 9	-13.475 700	2.442 296 49
15.120 232 7	-15.353 592	2.671 929 67
0.252 758 4	-1.891 925	0.229 309 59
0.016 771 7	-0.009 727	-0.000 707 93
-0.000 599 6	0.004 156	-0.000 362 74
0.000 032 5	-0.000 179	0.000 018 43
0.000 005 7	-0.000 015	-0.000 005 72
-0.000 003 0	0.000 019	-0.000 001 76
-0.000 001 5	0.000 005	0.000 000 79

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.351 425 3	-17.021 097	2.873 027 89
15.697 366 7	-18.856 753	3.086 837 76
0.357 787 5	-1.808 030	0.209 727 66
0.011 440 9	0.030 864	-0.004 341 62
-0.000 379 7	0.003 106	-0.000 249 07
0.000 027 6	-0.000 131	0.000 004 53
-0.000 001 3	0.000 018	-0.000 006 88
-0.000 003 2	0.000 013	0.000 000 25
0.000 000 2	-0.000 004	0.000 001 32

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.994 061 0	-20.326 337	3.257 030 24
16.413 473 2	-21.855 805	3.432 066 94
0.427 511 3	-1.471 115	0.168 288 45
0.007 789 4	0.060 695	-0.006 935 26
-0.000 292 0	0.002 231	-0.000 183 29
0.000 016 7	-0.000 098	-0.000 002 46
-0.000 004 3	0.000 022	-0.000 005 57
-0.000 002 3	0.000 004	0.000 001 39
0.000 001 0	-0.000 005	0.000 000 78

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.793 381 7	-23.115 356	3.576 169 84
17.262 116 4	-24.128 965	3.693 303 92
0.473 405 5	-0.934 484	0.108 401 20
0.004 377 0	0.080 289	-0.008 853 25
-0.000 283 2	0.001 066	-0.000 123 89
0.000 005 5	-0.000 082	-0.000 007 84
-0.000 006 5	0.000 013	-0.000 002 14
-0.000 000 5	-0.000 004	0.000 001 97
0.000 000 9	-0.000 001	-0.000 000 21

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
17.651 008 4	-24.866 565	3.779 035 35
18.142 616 7	-25.278 189	3.828 490 27
0.492 842 5	-0.326 863	0.039 615 46
0.000 935 1	0.084 463	-0.009 884 26
-0.000 292 2	-0.000 393	-0.000 051 00
0.000 000 6	-0.000 091	-0.000 008 05
-0.000 006 2	-0.000 001	0.000 000 17
0.000 000 4	-0.000 004	0.000 001 62
0.000 000 3	0.000 001	-0.000 000 40

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PALLAS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.284 834 1	-11.424 188	1.963 741 88
12.518 929 6	-9.738 363	1.777 762 12
0.209 019 8	2.033 081	-0.183 019 59
-0.026 043 4	0.360 748	0.003 690 07
-0.000 946 8	0.013 009	0.000 747 65
0.000 014 6	-0.000 499	0.000 014 89
-0.000 006 7	-0.000 001	0.000 000 25
0.000 001 1	-0.000 002	0.000 002 40
0.000 001 5	-0.000 017	-0.000 000 71

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.688 356 3	-7.754 046	1.618 986 62
12.704 218 9	-3.137 017	1.487 890 22
-0.015 899 9	5.012 650	-0.117 990 41
-0.031 413 2	0.379 964	0.014 118 31
0.000 530 0	-0.019 628	0.000 989 90
0.000 176 7	-0.004 021	-0.000 024 57
-0.000 000 3	-0.000 065	-0.000 000 51
0.000 003 4	-0.000 012	0.000 000 95
-0.000 000 3	0.000 003	-0.000 000 69

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.693 466 0	0.364 340	1.404 547 95
12.532 995 2	6.625 115	1.388 860 92
-0.174 973 8	6.241 385	0.004 980 75
-0.011 296 8	-0.080 654	0.020 881 00
0.003 321 0	-0.061 061	0.000 098 20
0.000 077 5	0.000 959	-0.000 111 45
-0.000 032 7	0.000 692	0.000 005 81
0.000 004 3	-0.000 065	0.000 001 56
-0.000 000 3	-0.000 001	-0.000 000 68

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.373 329 1	12.060 398	1.404 655 64
12.227 693 0	16.294 988	1.535 294 32
-0.125 788 2	3.762 445	0.146 683 29
0.021 829 1	-0.478 175	0.015 132 08
0.001 713 3	-0.001 535	-0.000 931 21
-0.000 267 1	0.004 116	-0.000 006 22
0.000 007 5	-0.000 428	0.000 011 13
0.000 006 1	-0.000 037	-0.000 001 48
-0.000 000 6	0.000 012	-0.000 000 15

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.131 913 3	19.209 014	1.660 675 97
12.165 746 8	20.265 993	1.875 936 30
0.060 091 8	0.705 891	0.221 859 55
0.025 692 6	-0.331 322	0.005 849 15
-0.000 666 1	0.019 680	-0.000 714 26
-0.000 081 6	-0.000 293	0.000 039 57
0.000 020 4	-0.000 195	0.000 002 30
0.000 001 4	0.000 016	-0.000 001 80
-0.000 000 2	0.000 004	-0.000 000 34

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.232 509 7	20.707 693	2.074 017 16
12.434 740 8	19.799 607	2.315 223 00
0.219 643 7	-1.076 041	0.241 443 24
0.016 568 0	-0.155 652	-0.000 170 50
-0.000 827 9	0.011 676	-0.000 378 53
0.000 026 8	-0.000 676	0.000 028 52
0.000 010 5	-0.000 037	-0.000 002 56
-0.000 000 6	0.000 023	-0.000 002 10
-0.000 001 0	0.000 011	-0.000 000 39

Unités : heure degré ua

heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PALLAS 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
12.620 251 6	18.863 921	2.512 792 00
12.923 564 1	17.092 180	2.743 568 27
0.313 575 3	-1.840 242	0.227 564 61
0.009 752 0	-0.061 695	-0.003 442 62
-0.000 483 8	0.006 428	-0.000 212 04
0.000 033 1	-0.000 398	0.000 016 24
0.000 005 8	-0.000 001	-0.000 004 66
-0.000 001 6	0.000 028	-0.000 001 80
-0.000 001 3	0.000 009	0.000 000 18

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.204 387 3	15.442 040	2.941 656 10
13.569 640 3	13.375 896	3.140 463 94
0.371 489 6	-2.073 761	0.193 407 52
0.005 973 8	-0.003 231	-0.005 538 12
-0.000 240 2	0.004 161	-0.000 128 76
0.000 025 7	-0.000 210	0.000 004 20
0.000 001 1	0.000 043	-0.000 006 29
-0.000 002 7	0.000 024	-0.000 000 31
-0.000 000 7	-0.000 004	0.000 001 14

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
13.899 326 4	11.552 104	3.307 404 88
14.303 571 6	9.583 821	3.460 382 75
0.408 306 7	-1.931 579	0.146 099 94
0.003 904 8	0.040 102	-0.006 965 69
-0.000 140 9	0.003 279	-0.000 087 14
0.000 015 4	-0.000 073	-0.000 004 79
-0.000 003 3	0.000 064	-0.000 004 98
-0.000 002 3	0.000 005	0.000 001 38
0.000 000 6	-0.000 013	0.000 000 95

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
14.638 994 0	8.016 156	3.577 588 97
15.067 530 0	6.435 028	3.677 138 59
0.430 953 6	-1.508 458	0.091 701 10
0.002 264 9	0.075 521	-0.007 897 82
-0.000 143 1	0.002 789	-0.000 052 54
0.000 006 8	-0.000 008	-0.000 007 78
-0.000 005 1	0.000 055	-0.000 002 86
-0.000 001 3	-0.000 008	0.000 001 93
0.000 001 0	-0.000 009	0.000 000 25

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
15.447 470 7	5.150 725	3.753 423 40
15.887 577 4	4.224 024	3.791 969 29
0.440 446 3	-0.823 485	0.030 215 95
0.000 138 2	0.105 357	-0.008 333 85
-0.000 199 3	0.002 138	-0.000 010 76
-0.000 003 5	0.000 039	-0.000 008 41
-0.000 006 0	0.000 024	0.000 000 63
0.000 000 2	-0.000 017	0.000 001 71
0.000 000 6	0.000 001	-0.000 000 48

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
16.248 050 5	3.585 360	3.813 875 05
16.681 989 8	3.480 873	3.791 980 09
0.431 499 8	0.018 465	-0.030 034 26
-0.002 712 2	0.124 053	-0.008 081 92
-0.000 275 9	0.001 117	0.000 050 67
-0.000 009 3	0.000 030	-0.000 005 93
-0.000 005 4	-0.000 004	0.000 002 32
0.000 000 8	-0.000 015	0.000 001 13
0.000 000 1	0.000 003	-0.000 000 41

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JUNON 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
20.796 001 4	-13.011 194	3.348 258 29
21.281 165 0	-11.604 075	3.393 307 48
0.488 898 3	1.504 048	0.036 593 72
0.003 476 9	0.094 818	-0.008 460 28
-0.000 240 3	-0.002 189	0.000 014 05
0.000 023 3	-0.000 034	0.000 015 59
0.000 003 1	0.000 037	-0.000 005 16
-0.000 002 4	-0.000 009	-0.000 000 91
0.000 000 3	-0.000 002	0.000 000 98

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
21.712 667 2	-10.230 883	3.420 857 95
22.218 733 5	-8.184 717	3.403 280 15
0.507 937 9	2.115 359	-0.025 660 59
0.001 765 5	0.066 148	-0.007 988 43
-0.000 085 1	-0.003 027	0.000 106 08
0.000 022 9	0.000 050	0.000 005 79
-0.000 000 6	0.000 015	-0.000 005 79
-0.000 001 9	-0.000 014	0.000 000 41
0.000 000 6	0.000 003	0.000 000 27

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
22.572 740 7	-6.710 090	3.385 543 11
23.089 769 4	-4.290 832	3.316 206 70
0.518 441 0	2.455 927	-0.076 373 44
0.001 395 6	0.033 047	-0.006 892 55
0.000 000 1	-0.003 580	0.000 154 92
0.000 019 2	0.000 075	0.000 004 84
0.000 000 1	0.000 015	-0.000 005 77
-0.000 001 8	-0.000 015	0.000 000 14
0.000 000 5	0.000 003	0.000 000 31

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-0.453 877 4	-2.114 906	3.245 351 93
0.074 520 5	0.440 007	3.128 604 26
0.530 060 0	2.549 607	-0.122 177 65
0.001 695 8	-0.009 323	-0.005 254 25
0.000 048 2	-0.003 925	0.000 176 32
0.000 013 5	0.000 091	-0.000 005 16
-0.000 002 5	-0.000 015	-0.000 005 10
-0.000 001 5	-0.000 014	0.000 000 66
0.000 000 0	0.000 000	0.000 000 01

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.508 761 4	2.523 883	3.026 822 35
1.050 458 3	4.893 206	2.876 203 07
0.543 595 6	2.318 339	-0.154 363 61
0.001 894 2	-0.055 341	-0.003 568 93
0.000 003 8	-0.004 262	0.000 169 73
0.000 005 5	0.000 072	-0.000 010 51
-0.000 004 2	-0.000 036	-0.000 004 22
-0.000 001 7	-0.000 014	0.000 000 90
-0.000 000 3	-0.000 001	0.000 000 28

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
1.529 198 1	6.900 076	2.738 626 27
2.083 298 3	8.713 956	2.565 619 46
0.555 113 8	1.711 768	-0.175 083 69
0.000 860 5	-0.106 521	-0.001 921 26
-0.000 157 0	-0.004 341	0.000 143 67
-0.000 009 6	0.000 023	-0.000 014 82
-0.000 007 7	-0.000 057	-0.000 001 81
-0.000 001 8	-0.000 007	0.000 001 80
0.000 000 2	0.000 005	0.000 000 74

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JUNON 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.537 831 5	10.079 584	2.421 691 52
3.090 168 4	10.991 656	2.238 384 81
0.550 055 5	0.762 536	-0.183 913 76
-0.002 709 8	-0.153 198	-0.000 468 30
-0.000 444 4	-0.003 580	0.000 125 95
-0.000 024 1	0.000 032	-0.000 014 12
-0.000 010 5	-0.000 055	0.000 000 37
-0.000 001 1	0.000 007	0.000 002 29
0.000 001 3	0.000 012	0.000 000 60

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.572 057 3	11.578 075	2.076 521 80
4.084 848 4	11.241 958	1.893 624 21
0.503 246 9	-0.517 802	-0.181 980 78
-0.010 359 2	-0.182 924	0.001 059 35
-0.000 848 8	-0.001 113	0.000 133 40
-0.000 045 0	0.000 096	-0.000 007 33
-0.000 011 6	-0.000 008	0.000 004 30
0.000 002 2	0.000 030	0.000 002 02
0.000 002 6	0.000 008	-0.000 000 47

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
4.521 412 2	10.687 165	1.734 287 58
4.923 945 9	8.989 682	1.564 618 67
0.381 028 9	-1.868 170	-0.166 704 94
-0.022 739 0	-0.166 508	0.003 184 20
-0.001 279 8	0.004 567	0.000 222 50
-0.000 054 8	0.000 440	0.000 007 36
-0.000 004 1	0.000 095	0.000 006 79
0.000 006 2	0.000 030	0.000 000 45
0.000 001 1	-0.000 013	-0.000 001 25

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.228 371 0	7.403 105	1.429 231 79
5.427 039 3	4.738 902	1.291 502 83
0.163 036 9	-2.730 840	-0.131 268 94
-0.036 713 8	-0.050 060	0.006 866 90
-0.001 043 7	0.017 675	0.000 419 55
0.000 045 3	0.001 235	0.000 018 41
0.000 016 2	0.000 161	0.000 005 69
0.000 008 2	0.000 000	-0.000 000 99
-0.000 001 4	-0.000 024	-0.000 000 94

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.550 203 2	2.312 577	1.179 906 65
5.466 325 9	0.021 677	1.109 084 73
-0.118 376 9	-2.076 084	-0.058 851 51
-0.032 453 7	0.244 550	0.012 434 13
0.002 336 5	0.029 451	0.000 453 69
0.000 307 2	-0.000 387	-0.000 008 65
0.000 020 5	-0.000 161	-0.000 000 88
0.000 000 5	-0.000 060	-0.000 002 10
-0.000 003 4	-0.000 003	0.000 000 16

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.357 602 4	-1.601 335	1.065 036 23
5.143 206 2	-1.525 983	1.093 204 71
-0.207 732 6	0.474 513	0.042 775 72
0.011 064 4	0.393 162	0.014 500 34
0.004 242 4	-0.009 035	-0.000 142 65
-0.000 168 4	-0.002 850	-0.000 034 05
-0.000 009 9	0.000 146	-0.000 000 19
-0.000 000 8	-0.000 029	-0.000 001 44
-0.000 000 9	0.000 011	0.000 000 45

Unités : heure degré ua

heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

VESTA 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 2 février 0h

asc. droite	déclinaison	distance
-0.057 067 4	-8.005 977	2.504 258 87
0.288 746 5	-5.147 128	2.717 122 35
0.355 252 5	2.893 705	0.209 109 48
0.008 950 7	0.030 969	-0.004 031 59
-0.000 471 5	-0.003 844	-0.000 257 15
0.000 023 9	0.000 107	0.000 021 87
0.000 006 9	0.000 054	-0.000 001 59
-0.000 001 3	-0.000 014	-0.000 002 17
-0.000 000 7	-0.000 004	0.000 000 85

du 0 février 0h au 5 mars 0h

asc. droite	déclinaison	distance
0.605 761 3	-2.587 687	2.898 663 58
1.008 018 0	0.400 187	3.074 438 04
0.407 919 9	2.985 219	0.169 554 49
0.005 418 4	-0.005 856	-0.006 384 31
-0.000 229 1	-0.003 107	-0.000 145 29
0.000 021 5	0.000 138	0.000 016 09
0.000 003 6	0.000 024	-0.000 004 47
-0.000 001 9	-0.000 017	-0.000 000 93
0.000 000 3	0.000 003	0.000 000 58

du 0 mars 0h au 2 avril 0h

asc. droite	déclinaison	distance
1.292 316 0	2.483 093	3.192 888 14
1.727 378 4	5.363 526	3.322 120 33
0.439 055 4	2.849 218	0.121 654 70
0.003 850 7	-0.033 980	-0.007 671 89
-0.000 134 7	-0.002 682	-0.000 076 49
0.000 013 4	0.000 124	0.000 015 40
0.000 004 0	0.000 024	-0.000 004 13
-0.000 001 6	-0.000 015	-0.000 001 08
0.000 000 2	0.000 002	0.000 000 54

du 0 avril 0h au 3 mai 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.115 294 2	7.848 615	3.424 843 26
2.576 285 5	10.400 530	3.494 360 81
0.463 833 9	2.494 031	0.061 186 29
0.002 730 2	-0.060 056	-0.008 351 87
-0.000 102 2	-0.002 043	-0.000 008 65
0.000 013 1	0.000 138	0.000 006 91
0.000 001 4	-0.000 003	-0.000 005 45
-0.000 001 5	-0.000 011	-0.000 000 35
0.000 000 0	0.000 001	0.000 000 05

du 0 mai 0h au 2 juin 0h

asc. droite	déclinaison	distance
2.956 728 0	12.421 198	3.541 595 09
3.434 784 3	14.484 890	3.549 906 02
0.479 719 9	1.986 274	-0.000 177 67
0.001 523 1	-0.078 859	-0.008 460 02
-0.000 130 6	-0.001 307	0.000 034 68
0.000 011 1	0.000 126	0.000 000 72
-0.000 000 2	-0.000 016	-0.000 005 61
-0.000 001 8	-0.000 009	-0.000 000 09
-0.000 000 4	-0.000 001	0.000 000 14

du 0 juin 0h au 3 juillet 0h

asc. droite	déclinaison	distance
3.857 173 2	16.187 328	3.545 149 51
4.342 025 8	17.626 110	3.490 538 88
0.484 673 6	1.350 165	-0.062 801 72
-0.000 378 1	-0.089 011	-0.008 123 58
-0.000 190 4	-0.000 281	0.000 065 23
0.000 006 8	0.000 093	-0.000 007 13
-0.000 003 8	-0.000 026	-0.000 004 68
-0.000 002 2	-0.000 004	0.000 000 96
-0.000 000 3	0.000 002	0.000 000 79

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

VESTA 2005

DT = 33 jours

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE
Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 juillet 0h au 2 août 0h

asc. droite	déclinaison	distance
4.738 499 4	18.700 661	3.436 394 64
5.213 876 4	19.493 180	3.324 303 14
0.472 511 8	0.705 308	-0.119 579 38
-0.003 145 3	-0.086 306	-0.007 382 84
-0.000 274 9	0.001 004	0.000 099 33
0.000 001 2	0.000 079	-0.000 009 59
-0.000 006 5	-0.000 021	-0.000 003 01
-0.000 002 0	0.000 003	0.000 001 86
0.000 000 5	0.000 004	0.000 000 99

du 0 août 0h au 2 septembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
5.627 385 2	20.066 057	3.215 209 77
6.068 588 9	20.256 129	3.050 852 19
0.434 382 4	0.121 296	-0.170 536 79
-0.007 213 7	-0.066 171	-0.006 019 81
-0.000 398 7	0.002 696	0.000 152 30
-0.000 013 8	0.000 085	-0.000 008 27
-0.000 009 2	0.000 003	0.000 001 20
0.000 000 1	0.000 010	0.000 002 56
0.000 001 8	0.000 001	0.000 000 19

du 0 septembre 0h au 3 octobre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
6.446 371 1	20.326 858	2.897 720 96
6.817 869 9	20.125 458	2.693 934 28
0.358 910 2	-0.229 701	-0.207 674 47
-0.013 191 1	-0.023 595	-0.003 625 19
-0.000 629 2	0.004 830	0.000 261 15
-0.000 035 9	0.000 142	0.000 001 37
-0.000 007 6	0.000 028	0.000 005 52
0.000 002 9	0.000 004	0.000 001 66
0.000 001 3	-0.000 006	-0.000 001 04

du 0 octobre 0h au 2 novembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.107 252 6	19.928 114	2.522 714 29
7.360 682 8	19.718 114	2.302 331 01
0.232 295 6	-0.175 051	-0.220 350 92
-0.022 065 2	0.041 614	0.000 492 67
-0.000 970 1	0.006 747	0.000 470 23
-0.000 045 9	0.000 104	0.000 015 53
-0.000 001 9	0.000 018	0.000 007 11
0.000 004 5	-0.000 009	0.000 000 32
0.000 000 0	-0.000 005	-0.000 001 18

du 0 novembre 0h au 3 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.552 746 7	19.587 423	2.108 982 75
7.608 391 4	19.894 279	1.910 903 93
0.023 307 9	0.412 078	-0.191 025 71
-0.033 161 1	0.109 173	0.007 818 70
-0.000 781 9	0.003 419	0.000 785 85
0.000 055 2	-0.000 573	0.000 025 96
0.000 018 9	-0.000 061	0.000 004 37
0.000 004 6	-0.000 017	-0.000 001 68
-0.000 001 5	0.000 003	-0.000 000 35

du 0 décembre 0h au 33 décembre 0h

asc. droite	déclinaison	distance
7.616 366 4	20.268 041	1.757 029 24
7.430 182 9	21.335 883	1.640 171 39
-0.216 008 3	1.147 004	-0.100 750 19
-0.027 907 4	0.068 504	0.016 830 23
0.002 187 3	-0.011 570	0.000 692 89
0.000 285 3	-0.000 848	-0.000 030 35
0.000 015 9	0.000 064	-0.000 003 03
-0.000 001 0	0.000 004	-0.000 002 08
-0.000 001 5	0.000 004	0.000 000 28

Unités : heure degré ua

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SATELLITES DE MARS

Coordonnées différentielles tangentielles (X, Y)

PHOBOS	II. 66
DÉIMOS	II. 71

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$A_0 + A_1 u + B_0 \sin(Nu + F_0) + B_1 u \sin(Nu + F_1) + B_2 u^2 \sin(Nu + F_2) + C_0 \sin(2Nu + P_0),$$

où : $u = t - t_0$ (compté en jours).

PHOBOS 2005

N = 19.7027 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 7 janvier 0h		du 7 janvier 0h au 14 janvier 0h		du 14 janvier 0h au 21 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.105 100	-0.072 100	0.107 600	-0.071 300	0.110 000	-0.070 100
0.000 220	0.000 180	0.000 250	0.000 170	0.000 380	0.000 140
4.629 600	3.502 100	4.778 500	3.451 400	4.957 000	3.381 500
1.222 971	4.027 765	0.804 759	3.679 360	0.387 736	3.336 460
0.073 710	0.020 560	0.076 370	0.018 930	0.078 510	0.017 820
6.202 200	2.175 500	5.835 700	1.643 700	5.462 000	1.062 600
0.000 324	0.000 349	0.000 403	0.000 358	0.000 473	0.000 354
5.068 000	0.163 600	4.602 700	6.046 600	4.323 400	5.559 300
0.035 300	0.026 100	0.036 300	0.025 700	0.038 000	0.025 100
-2.236 900	-5.684 200	-3.022 900	-0.113 200	-3.807 900	-0.816 100
du 21 janvier 0h au 28 janvier 0h		du 28 janvier 0h au 4 février 0h		du 4 février 0h au 11 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.112 700	-0.068 900	0.115 900	-0.067 600	0.119 600	-0.066 100
0.000 530	0.000 140	0.000 610	0.000 200	0.000 630	0.000 280
5.163 200	3.291 600	5.393 800	3.182 100	5.646 100	3.056 000
6.256 332	3.000 560	5.844 750	2.673 255	5.436 323	2.356 685
0.080 810	0.017 440	0.083 560	0.017 720	0.086 250	0.018 940
5.080 300	0.454 700	4.698 400	6.113 800	4.321 000	5.480 200
0.000 475	0.000 382	0.000 428	0.000 432	0.000 419	0.000 461
4.050 900	5.029 400	3.629 900	4.573 300	3.017 300	4.164 100
0.039 900	0.024 400	0.041 500	0.023 500	0.043 200	0.022 500
-4.577 900	-1.506 400	-5.345 400	-2.191 100	-6.121 300	-2.867 700
du 11 février 0h au 18 février 0h		du 18 février 0h au 25 février 0h		du 25 février 0h au 4 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.123 600	-0.064 200	0.127 600	-0.061 900	0.131 700	-0.059 200
0.000 610	0.000 360	0.000 600	0.000 390	0.000 550	0.000 390
5.918 400	2.918 000	6.207 900	2.775 200	6.510 300	2.637 400
5.031 258	2.053 739	4.629 845	1.767 799	4.232 234	1.502 282
0.088 220	0.021 370	0.089 320	0.024 740	0.089 980	0.028 540
3.945 600	4.871 300	3.564 700	4.312 700	3.173 200	3.795 900
0.000 501	0.000 465	0.000 595	0.000 472	0.000 608	0.000 497
2.431 300	3.732 800	2.013 000	3.250 100	1.676 000	2.755 200
0.045 600	0.021 500	0.048 100	0.020 400	0.050 200	0.019 400
-0.610 900	-3.526 600	-1.368 100	-4.164 000	-2.121 400	-4.781 700
du 4 mars 0h au 11 mars 0h		du 11 mars 0h au 18 mars 0h		du 18 mars 0h au 25 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.135 900	-0.056 400	0.139 900	-0.053 500	0.143 600	-0.050 600
0.000 460	0.000 380	0.000 390	0.000 390	0.000 410	0.000 430
6.820 100	2.519 200	7.132 300	2.439 000	7.442 800	2.417 300
3.838 253	1.259 801	3.447 495	1.040 614	3.059 489	0.840 553
0.090 790	0.032 530	0.091 750	0.036 750	0.092 450	0.041 060
2.775 300	3.301 800	2.378 900	2.823 700	1.987 300	2.363 800
0.000 535	0.000 519	0.000 470	0.000 511	0.000 507	0.000 497
1.294 100	2.288 300	0.768 000	1.825 800	0.209 000	1.316 100
0.052 200	0.018 600	0.054 800	0.018 300	0.057 400	0.018 400
-2.882 500	-5.378 700	-3.640 500	-5.950 500	-4.387 600	-0.222 500

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PHOBOS 2005

N = 19.7027 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 25 mars 0h au 1 avril 0h		du 1 avril 0h au 8 avril 0h		du 8 avril 0h au 15 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.146 800	-0.047 600	0.150 000	-0.044 500	0.153 400	-0.041 200
0.000 540	0.000 490	0.000 700	0.000 540	0.000 730	0.000 520
7.749 300	2.470 800	8.050 300	2.608 200	8.343 100	2.828 400
2.673 762	0.650 044	2.290 046	0.456 114	1.908 175	0.247 012
0.092 440	0.045 140	0.091 930	0.048 830	0.091 890	0.052 280
1.596 700	1.917 800	1.198 700	1.476 000	0.791 500	1.033 100
0.000 608	0.000 514	0.000 663	0.000 548	0.000 633	0.000 554
6.133 900	0.788 400	5.919 800	0.315 000	5.680 500	6.168 500
0.059 400	0.019 000	0.061 300	0.020 400	0.063 600	0.022 400
-5.130 000	-0.777 900	-5.878 300	-1.344 700	-0.344 200	-1.927 900
du 15 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 29 avril 0h		du 29 avril 0h au 6 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.157 300	-0.037 700	0.161 100	-0.034 300	0.164 100	-0.031 300
0.000 560	0.000 440	0.000 260	0.000 350	0.000 050	0.000 330
8.624 000	3.121 800	8.890 400	3.475 700	9.143 200	3.877 400
1.527 772	0.015 968	1.148 169	6.044 856	0.768 688	5.769 483
0.092 970	0.055 710	0.094 750	0.059 090	0.096 270	0.062 110
0.382 200	0.592 200	6.261 800	0.158 400	5.864 000	6.013 400
0.000 558	0.000 530	0.000 552	0.000 525	0.000 651	0.000 574
5.274 500	5.712 900	4.712 700	5.189 800	4.273 400	4.684 500
0.066 000	0.024 900	0.067 900	0.027 600	0.069 400	0.030 700
-1.086 100	-2.529 900	-1.823 900	-3.157 000	-2.566 200	-3.810 700
du 6 mai 0h au 13 mai 0h		du 13 mai 0h au 20 mai 0h		du 20 mai 0h au 27 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.166 000	-0.028 700	0.167 100	-0.026 300	0.167 900	-0.023 800
0.000 030	0.000 360	0.000 170	0.000 400	0.000 300	0.000 410
9.385 400	4.315 000	9.617 800	4.777 600	9.838 600	5.256 400
0.389 035	5.476 484	0.009 196	5.169 194	5.912 080	4.850 404
0.097 260	0.064 640	0.098 770	0.067 070	0.101 780	0.069 820
5.462 900	5.583 600	5.052 600	5.149 100	4.641 000	4.715 000
0.000 747	0.000 629	0.000 757	0.000 639	0.000 697	0.000 612
4.030 900	4.273 400	3.841 800	3.907 600	3.578 800	3.500 700
0.071 200	0.034 300	0.073 400	0.037 900	0.075 200	0.041 400
-3.314 500	-4.476 200	-4.058 400	-5.147 200	-4.798 100	-5.831 600
du 27 mai 0h au 3 juin 0h		du 3 juin 0h au 10 juin 0h		du 10 juin 0h au 17 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.168 800	-0.021 300	0.169 800	-0.019 000	0.170 500	-0.016 900
0.000 300	0.000 370	0.000 150	0.000 320	-0.000 010	0.000 300
10.048 200	5.745 700	10.251 100	6.242 200	10.454 400	6.742 400
5.530 733	4.522 408	5.147 818	4.187 215	4.763 166	3.846 652
0.106 070	0.072 900	0.110 640	0.075 730	0.114 890	0.077 930
4.239 700	4.288 700	3.850 700	3.871 400	3.464 000	3.455 700
0.000 649	0.000 596	0.000 718	0.000 639	0.000 864	0.000 695
3.157 000	2.998 300	2.637 000	2.466 500	2.230 800	2.036 400
0.076 400	0.045 000	0.077 800	0.049 100	0.079 900	0.053 100
-5.542 500	-0.249 400	-0.013 400	-0.954 800	-0.766 200	-1.655 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PHOBOS 2005

N = 19.7027 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 17 juin 0h au 24 juin 0h		du 24 juin 0h au 1 juillet 0h		du 1 juillet 0h au 8 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.170 400	-0.014 900	0.169 800	-0.013 000	0.168 700	-0.011 100
-0.000 140	0.000 260	-0.000 240	0.000 190	-0.000 340	0.000 130
10.663 400	7.242 500	10.882 000	7.739 700	11.116 100	8.233 300
4.376 832	3.502 140	3.988 786	3.154 655	3.598 956	2.804 999
0.119 390	0.079 910	0.125 010	0.082 230	0.131 680	0.084 790
3.071 200	3.036 700	2.676 700	2.620 200	2.290 900	2.216 200
0.000 935	0.000 677	0.000 862	0.000 569	0.000 699	0.000 435
1.946 600	1.686 300	1.697 100	1.323 900	1.388 200	0.818 800
0.081 800	0.056 700	0.083 100	0.060 300	0.084 600	0.064 200
-1.511 600	-2.363 300	-2.262 500	-3.081 100	-3.024 200	-3.800 300
du 8 juillet 0h au 15 juillet 0h		du 15 juillet 0h au 22 juillet 0h		du 22 juillet 0h au 29 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.167 200	-0.009 300	0.165 400	-0.007 600	0.163 100	-0.005 800
-0.000 410	0.000 150	-0.000 360	0.000 310	-0.000 100	0.000 570
11.373 400	8.723 600	11.663 500	9.211 900	11.997 800	9.699 900
3.207 468	2.453 987	2.814 604	2.102 453	2.420 950	1.751 224
0.138 660	0.086 860	0.144 930	0.087 860	0.150 280	0.088 170
1.918 200	1.828 700	1.556 800	1.453 600	1.201 100	1.085 500
0.000 557	0.000 379	0.000 554	0.000 383	0.000 611	0.000 338
0.927 400	0.188 900	0.444 200	6.073 200	0.207 400	5.967 300
0.087 200	0.068 200	0.090 000	0.071 700	0.092 200	0.075 100
-3.785 300	-4.513 200	-4.536 100	-5.224 400	-5.289 600	-5.941 800
du 29 juillet 0h au 5 août 0h		du 5 août 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 19 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.161 100	-0.003 100	0.160 500	0.000 900	0.161 800	0.006 300
0.000 260	0.000 810	0.000 490	0.000 880	0.000 460	0.000 820
12.388 200	10.189 700	12.844 400	10.684 100	13.372 400	11.186 900
2.027 496	1.401 053	1.635 586	1.052 623	1.246 504	0.706 369
0.155 320	0.088 610	0.160 720	0.089 570	0.166 480	0.090 990
0.850 000	0.727 100	0.505 300	0.383 100	0.173 400	0.059 900
0.000 610	0.000 237	0.000 499	0.000 124	0.000 337	0.000 150
0.136 300	6.043 700	0.205 400	0.316 300	0.593 900	1.321 500
0.095 100	0.079 000	0.099 200	0.083 100	0.104 000	0.087 000
-6.051 800	-0.376 100	-0.527 400	-1.087 200	-1.275 100	-1.791 800
du 19 août 0h au 26 août 0h		du 26 août 0h au 2 septembre 0h		du 2 septembre 0h au 9 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.165 000	0.012 700	0.169 500	0.019 900	0.175 500	0.028 000
0.000 340	0.000 770	0.000 450	0.000 930	0.001 050	0.001 360
13.978 500	11.705 500	14.672 700	12.250 500	15.460 700	12.831 900
0.861 341	0.362 592	0.481 485	0.021 772	0.109 023	5.967 740
0.171 450	0.092 450	0.173 800	0.093 870	0.172 540	0.095 730
6.144 300	6.043 500	5.854 700	5.765 300	5.585 000	5.499 600
0.000 350	0.000 226	0.000 530	0.000 286	0.000 782	0.000 430
1.340 900	1.282 100	1.538 200	0.740 100	1.302 300	0.142 800
0.108 700	0.090 700	0.114 000	0.095 000	0.120 400	0.099 900
-2.016 400	-2.496 500	-2.758 100	-3.202 300	-3.494 400	-3.903 600

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PHOBOS 2005

N = 19.7027 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 9 septembre 0h au 16 septembre 0h		du 16 septembre 0h au 23 septembre 0h		du 23 septembre 0h au 30 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.184 500	0.037 800	0.198 400	0.050 500	0.219 200	0.066 600
0.002 070	0.001 940	0.003 160	0.002 470	0.004 060	0.002 840
16.335 700	13.455 800	17.279 000	14.126 300	18.266 200	14.846 500
6.029 293	5.634 507	5.677 673	5.305 312	5.338 828	4.980 147
0.168 090	0.098 760	0.161 420	0.103 570	0.153 030	0.109 840
5.338 100	5.241 100	5.125 900	4.989 000	4.973 800	4.748 900
0.001 191	0.000 627	0.001 834	0.000 778	0.002 645	0.000 747
0.977 600	6.041 700	0.742 000	5.839 600	0.622 300	5.858 300
0.128 000	0.105 200	0.135 900	0.110 600	0.143 200	0.115 900
-4.218 400	-4.598 600	-4.924 800	-5.286 800	-5.617 800	-5.974 500
du 30 septembre 0h au 7 octobre 0h		du 7 octobre 0h au 14 octobre 0h		du 14 octobre 0h au 21 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.247 100	0.086 000	0.281 200	0.108 500	0.319 500	0.133 600
0.004 770	0.003 170	0.005 370	0.003 550	0.005 750	0.003 930
19.262 200	15.612 800	20.209 200	16.399 400	21.027 800	17.151 700
5.014 446	4.659 273	4.705 911	4.342 988	4.413 387	4.031 325
0.142 970	0.114 690	0.134 230	0.113 910	0.132 910	0.103 590
4.907 500	4.517 700	4.943 000	4.292 000	5.062 100	4.079 800
0.003 433	0.000 690	0.004 032	0.001 091	0.004 406	0.001 880
0.544 900	0.011 200	0.481 200	0.478 200	0.443 200	0.503 600
0.150 400	0.122 000	0.157 500	0.128 500	0.163 400	0.134 000
-0.018 500	-0.378 900	-0.686 600	-1.059 200	-1.335 900	-1.731 000
du 21 octobre 0h au 28 octobre 0h		du 28 octobre 0h au 4 novembre 0h		du 4 novembre 0h au 11 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.359 500	0.160 800	0.397 200	0.188 900	0.427 200	0.215 300
0.005 570	0.004 090	0.004 420	0.003 750	0.002 400	0.002 880
21.631 700	17.789 600	21.938 800	18.215 300	21.885 600	18.334 000
4.135 424	3.724 047	3.868 945	3.420 546	3.608 680	3.119 313
0.142 550	0.081 340	0.157 440	0.047 660	0.168 540	0.028 630
5.203 900	3.917 000	5.315 100	3.945 700	5.394 800	4.998 300
0.004 560	0.002 808	0.004 529	0.003 528	0.004 487	0.003 675
0.482 600	0.370 400	0.615 100	0.195 100	0.785 600	0.024 600
0.166 500	0.137 400	0.166 900	0.139 200	0.165 600	0.139 400
-1.972 200	-2.401 500	-2.605 300	-3.076 000	-3.237 000	-3.746 600
du 11 novembre 0h au 18 novembre 0h		du 18 novembre 0h au 25 novembre 0h		du 25 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.444 100	0.236 300	0.445 700	0.249 700	0.433 900	0.255 400
0.000 160	0.001 840	-0.001 590	0.000 950	-0.002 680	0.000 200
21.454 600	18.096 500	20.685 700	17.524 400	19.657 100	16.692 800
3.347 752	2.818 027	3.079 659	2.514 258	2.799 792	2.206 077
0.172 680	0.065 070	0.174 270	0.105 380	0.177 260	0.135 300
5.461 300	5.580 600	5.514 200	5.512 300	5.536 300	5.333 200
0.004 391	0.003 193	0.004 137	0.002 395	0.003 676	0.001 554
0.893 400	6.162 300	0.916 900	6.078 700	0.890 400	6.127 000
0.161 300	0.136 300	0.154 000	0.130 300	0.144 700	0.123 000
-3.868 500	-4.414 300	-4.510 800	-5.091 000	-5.170 400	-5.777 600

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PHOBOS 2005

N = 19.7027 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 2 décembre 0h au 9 décembre 0h		du 9 décembre 0h au 16 décembre 0h		du 16 décembre 0h au 23 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.413 200	0.255 100	0.388 100	0.250 300	0.361 800	0.242 100
-0.003 290	-0.000 530	-0.003 660	-0.001 270	-0.003 940	-0.001 880
18.462 800	15.696 100	17.195 100	14.625 000	15.930 000	13.551 800
2.505 479	1.892 114	2.195 795	1.571 578	1.871 264	1.244 372
0.181 690	0.152 560	0.184 820	0.157 960	0.184 750	0.155 190
5.506 800	5.119 400	5.417 400	4.885 500	5.271 200	4.631 000
0.003 047	0.000 933	0.002 302	0.000 672	0.001 592	0.000 571
0.856 300	0.152 000	0.834 600	0.624 800	0.825 900	0.861 300
0.135 000	0.115 400	0.125 700	0.107 200	0.116 400	0.098 800
-5.848 500	-0.185 500	-0.257 300	-0.879 100	-0.958 600	-1.581 500
du 23 décembre 0h au 30 décembre 0h		du 30 décembre 0h au 6 janvier 0h		du 6 janvier 0h au 13 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.335 500	0.231 000	0.309 800	0.217 800	0.285 300	0.204 000
-0.004 050	-0.002 160	-0.003 800	-0.002 040	-0.003 210	-0.001 720
14.718 800	12.521 500	13.592 800	11.556 300	12.570 400	10.663 600
1.533 121	0.910 983	1.182 634	0.572 148	0.821 172	0.228 727
0.181 460	0.148 570	0.175 700	0.140 810	0.168 550	0.132 880
5.078 400	4.356 900	4.847 000	4.066 700	4.584 000	3.766 300
0.001 031	0.000 506	0.000 686	0.000 518	0.000 528	0.000 595
0.840 700	0.821 600	0.839 800	0.591 900	0.731 400	0.375 500
0.107 100	0.090 900	0.098 500	0.083 900	0.091 300	0.077 700
-1.674 800	-2.295 300	-2.408 500	-3.015 600	-3.155 500	-3.736 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DÉIMOS 2005

N = 4.9788 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 7 janvier 0h		du 7 janvier 0h au 14 janvier 0h		du 14 janvier 0h au 21 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 600	0.002 100	-0.002 600	0.002 000	-0.002 700	0.002 000
-0.000 170	0.000 130	-0.000 180	0.000 120	-0.000 170	0.000 100
11.474 600	8.825 900	11.879 200	8.680 800	12.353 900	8.487 400
1.053 939	3.908 215	4.371 088	1.013 417	1.406 344	4.406 814
0.201 070	0.064 200	0.210 420	0.061 280	0.216 520	0.056 310
6.032 600	2.062 400	3.104 200	5.317 500	0.179 100	2.249 300
0.001 359	0.000 820	0.001 236	0.001 006	0.001 388	0.001 002
4.948 600	0.154 300	1.825 100	3.255 300	5.230 400	0.304 300
0.001 200	0.001 000	0.000 900	0.000 700	0.001 100	0.000 600
6.128 100	2.699 700	0.475 200	3.300 000	1.302 800	4.336 600
du 21 janvier 0h au 28 janvier 0h		du 28 janvier 0h au 4 février 0h		du 4 février 0h au 11 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 700	0.001 900	-0.002 600	0.001 700	-0.002 700	0.001 800
-0.000 190	0.000 110	-0.000 220	0.000 120	-0.000 170	0.000 080
12.895 500	8.246 200	13.497 900	7.959 500	14.154 000	7.633 900
4.727 446	1.524 052	1.768 506	4.933 278	5.095 951	2.070 167
0.223 280	0.052 660	0.230 380	0.050 510	0.234 710	0.049 930
3.533 100	5.430 200	0.600 300	2.297 500	3.953 600	5.396 900
0.001 443	0.001 064	0.001 411	0.001 194	0.001 602	0.001 141
2.262 500	3.563 800	5.495 500	0.526 500	2.630 000	3.800 700
0.001 500	0.000 900	0.001 700	0.000 900	0.001 700	0.000 800
1.680 200	4.832 400	1.916 900	5.085 900	2.148 800	5.337 800
du 11 février 0h au 18 février 0h		du 18 février 0h au 25 février 0h		du 25 février 0h au 4 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 900	0.001 800	-0.002 700	0.001 700	-0.002 800	0.001 700
-0.000 140	0.000 080	-0.000 160	0.000 080	-0.000 120	0.000 090
14.855 600	7.281 800	15.591 100	6.922 100	16.351 700	6.582 600
2.144 211	5.504 434	5.478 919	2.672 199	2.534 600	6.144 022
0.241 380	0.052 080	0.243 040	0.057 220	0.249 440	0.063 520
1.014 400	2.238 800	4.367 100	5.343 300	1.417 600	2.239 000
0.001 470	0.001 323	0.001 826	0.001 184	0.001 497	0.001 410
5.777 600	0.779 000	3.001 900	4.024 600	6.093 700	1.024 400
0.001 200	0.000 400	0.000 800	0.000 300	0.001 000	0.000 600
2.386 100	5.771 700	3.233 000	1.016 300	4.217 300	1.642 700
du 4 mars 0h au 11 mars 0h		du 11 mars 0h au 18 mars 0h		du 18 mars 0h au 25 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 900	0.001 800	-0.002 800	0.001 700	-0.002 600	0.001 700
-0.000 070	0.000 060	-0.000 070	0.000 090	-0.000 060	0.000 100
17.123 100	6.299 700	17.902 000	6.120 800	18.671 000	6.092 100
5.876 148	3.354 800	2.938 032	0.588 393	0.002 285	4.122 273
0.250 010	0.072 700	0.253 890	0.081 520	0.255 860	0.091 540
4.768 700	5.417 800	1.816 300	2.360 100	5.161 900	5.598 200
0.001 907	0.001 300	0.001 642	0.001 408	0.001 986	0.001 402
3.311 900	4.233 600	0.271 700	1.223 100	3.597 100	4.460 600
0.001 600	0.000 700	0.002 000	0.000 500	0.001 900	0.000 200
4.700 700	1.828 800	4.821 200	1.997 100	4.954 100	2.763 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DÉIMOS 2005

N = 4.9788 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 25 mars 0h au 1 avril 0h		du 1 avril 0h au 8 avril 0h		du 8 avril 0h au 15 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 700	0.001 700	-0.002 500	0.001 900	-0.002 200	0.001 900
0.000 000	0.000 120	0.000 010	0.000 100	0.000 040	0.000 140
19.431 800	6.252 900	20.166 300	6.620 000	20.881 600	7.187 800
3.352 193	1.380 203	0.420 797	4.915 899	3.773 784	2.152 137
0.257 290	0.101 500	0.261 740	0.111 340	0.260 860	0.121 800
2.206 300	2.573 400	5.544 100	5.838 100	2.594 400	2.834 500
0.001 794	0.001 468	0.001 929	0.001 496	0.002 063	0.001 606
0.742 600	1.421 300	3.915 900	4.699 100	1.249 900	1.600 300
0.001 400	0.000 300	0.000 500	0.000 600	0.000 600	0.000 500
5.086 300	4.497 300	5.389 900	4.795 200	1.238 900	4.777 100
du 15 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 29 avril 0h		du 29 avril 0h au 6 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 100	0.002 100	-0.002 000	0.002 300	-0.001 700	0.002 600
0.000 120	0.000 150	0.000 170	0.000 150	0.000 190	0.000 150
21.564 700	7.931 700	22.220 000	8.818 800	22.841 800	9.818 000
0.845 210	5.650 286	4.199 886	2.842 416	1.272 294	0.014 871
0.269 070	0.130 860	0.267 960	0.141 060	0.277 390	0.150 210
5.923 700	6.105 900	2.976 100	3.118 700	0.019 800	0.114 100
0.001 929	0.001 529	0.002 208	0.001 755	0.001 943	0.001 634
4.244 600	4.958 600	1.668 400	1.853 200	4.746 400	5.211 100
0.001 200	0.000 300	0.001 600	0.000 200	0.001 400	0.000 600
1.561 200	4.912 900	1.684 700	2.014 900	1.647 100	1.753 400
du 6 mai 0h au 13 mai 0h		du 13 mai 0h au 20 mai 0h		du 20 mai 0h au 27 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.001 700	0.002 700	-0.001 600	0.003 000	-0.001 100	0.003 400
0.000 300	0.000 220	0.000 360	0.000 220	0.000 340	0.000 220
23.434 400	10.900 500	24.000 500	12.045 400	24.541 800	13.229 600
4.627 233	3.453 026	1.699 155	0.594 591	5.053 097	4.008 087
0.278 980	0.160 310	0.290 070	0.169 320	0.295 510	0.179 150
3.358 600	3.416 500	0.403 900	0.421 400	3.743 100	3.725 800
0.002 320	0.001 856	0.002 015	0.001 738	0.002 309	0.001 822
2.099 000	2.130 800	5.229 000	5.479 200	2.472 400	2.453 900
0.000 600	0.000 800	0.000 200	0.000 700	0.001 100	0.000 300
1.843 500	1.760 900	4.532 800	1.765 500	4.890 000	1.484 500
du 27 mai 0h au 3 juin 0h		du 3 juin 0h au 10 juin 0h		du 10 juin 0h au 17 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.000 800	0.003 600	-0.000 700	0.003 800	0.000 000	0.004 400
0.000 390	0.000 260	0.000 460	0.000 280	0.000 420	0.000 230
25.065 000	14.442 200	25.577 000	15.669 900	26.091 200	16.905 400
2.123 049	1.129 770	5.474 816	4.528 082	2.541 767	1.637 613
0.305 740	0.188 060	0.317 730	0.198 600	0.327 270	0.206 430
0.794 900	0.750 600	4.137 700	4.052 600	1.198 400	1.097 100
0.002 197	0.001 954	0.002 243	0.001 663	0.002 391	0.002 012
5.845 700	5.785 400	2.834 500	2.767 900	0.079 200	6.115 600
0.001 700	0.000 300	0.001 500	0.000 800	0.001 100	0.001 200
4.792 300	5.116 800	4.824 000	4.987 400	4.831 600	5.061 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DÉIMOS 2005

N = 4.9788 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 17 juin 0h au 24 juin 0h		du 24 juin 0h au 1 juillet 0h		du 1 juillet 0h au 8 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.000 700	0.004 900	0.001 000	0.005 200	0.001 600	0.005 800
0.000 380	0.000 220	0.000 470	0.000 240	0.000 470	0.000 190
26.615 600	18.141 000	27.164 900	19.370 700	27.758 900	20.597 600
5.890 553	5.026 896	2.954 039	2.129 591	0.016 344	5.514 177
0.343 590	0.216 600	0.353 550	0.223 050	0.373 800	0.233 220
4.544 400	4.406 300	1.615 600	1.468 600	4.967 200	4.786 700
0.002 181	0.001 526	0.002 592	0.002 033	0.001 981	0.001 217
3.275 000	3.098 800	0.600 400	0.211 700	3.767 400	3.451 600
0.000 100	0.001 000	0.001 200	0.000 300	0.002 100	0.000 800
3.084 600	5.038 400	1.774 400	5.814 700	1.839 400	1.502 600
du 8 juillet 0h au 15 juillet 0h		du 15 juillet 0h au 22 juillet 0h		du 22 juillet 0h au 29 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 500	0.006 600	0.003 100	0.006 900	0.003 600	0.007 400
0.000 390	0.000 140	0.000 440	0.000 160	0.000 490	0.000 140
28.414 500	21.816 200	29.159 900	23.034 800	30.006 300	24.246 400
3.359 910	2.613 858	0.419 698	5.996 981	3.762 082	3.096 984
0.385 550	0.238 200	0.403 100	0.244 520	0.419 910	0.250 360
2.052 600	1.867 600	5.414 200	5.208 700	2.508 900	2.301 300
0.002 455	0.001 713	0.002 046	0.001 112	0.002 000	0.001 190
1.014 100	0.547 300	4.411 800	3.961 900	1.445 900	0.845 800
0.002 800	0.001 800	0.002 500	0.002 500	0.001 800	0.002 400
1.892 500	1.758 200	1.973 800	1.803 600	2.360 200	1.957 300
du 29 juillet 0h au 5 août 0h		du 5 août 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 19 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.004 600	0.008 100	0.005 500	0.008 500	0.006 200	0.008 900
0.000 390	0.000 080	0.000 350	0.000 080	0.000 340	0.000 060
30.993 100	25.473 500	32.134 800	26.711 500	33.462 600	27.986 300
0.821 584	0.198 148	4.165 911	3.584 243	1.229 444	0.689 137
0.433 770	0.252 560	0.451 620	0.258 960	0.457 530	0.256 810
5.888 000	5.672 200	2.995 900	2.781 900	0.117 700	6.196 500
0.001 817	0.000 838	0.001 146	0.000 447	0.001 535	0.000 804
5.030 600	4.620 400	1.864 200	0.979 700	5.684 500	5.494 100
0.001 200	0.001 800	0.002 300	0.001 000	0.003 700	0.002 200
3.320 100	2.257 500	4.366 300	3.352 200	4.621 500	4.332 900
du 19 août 0h au 26 août 0h		du 26 août 0h au 2 septembre 0h		du 2 septembre 0h au 9 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.007 100	0.009 600	0.008 600	0.010 200	0.009 400	0.010 800
0.000 270	-0.000 020	0.000 100	-0.000 070	0.000 130	-0.000 090
34.986 400	29.300 300	36.724 900	30.684 700	38.685 200	32.159 100
4.580 919	4.080 518	1.654 147	1.191 185	5.018 717	4.589 294
0.474 550	0.265 680	0.472 070	0.264 460	0.475 890	0.274 430
3.521 200	3.319 100	0.677 000	0.495 500	4.115 000	3.935 900
0.000 280	0.000 483	0.000 315	0.000 742	0.002 093	0.001 149
6.168 400	5.189 500	1.059 700	0.626 600	0.027 700	5.281 700
0.004 300	0.003 400	0.004 400	0.004 300	0.003 300	0.003 800
4.872 300	4.682 100	5.148 400	4.932 600	5.679 700	5.245 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DÉIMOS 2005

N = 4.9788 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 9 septembre 0h au 16 septembre 0h		du 16 septembre 0h au 23 septembre 0h		du 23 septembre 0h au 30 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.010 700	0.011 600	0.011 700	0.012 500	0.012 700	0.013 200
-0.000 020	-0.000 200	-0.000 080	-0.000 250	-0.000 100	-0.000 210
40.849 900	33.746 400	43.191 100	35.463 300	45.638 600	37.312 700
2.108 929	1.707 605	5.494 120	5.113 832	2.608 575	2.240 745
0.459 800	0.278 700	0.441 860	0.290 740	0.409 920	0.300 820
1.320 300	1.146 000	4.810 100	4.605 700	2.100 300	1.828 900
0.002 159	0.000 990	0.004 886	0.001 691	0.006 279	0.001 135
3.553 700	1.651 100	0.679 500	5.827 900	4.323 000	3.154 000
0.003 900	0.003 100	0.005 800	0.003 800	0.008 100	0.005 900
0.351 300	6.000 100	0.995 300	0.601 100	1.370 200	1.167 700
du 30 septembre 0h au 7 octobre 0h		du 7 octobre 0h au 14 octobre 0h		du 14 octobre 0h au 21 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.013 300	0.014 000	0.013 700	0.014 900	0.014 400	0.016 000
-0.000 180	-0.000 280	-0.000 220	-0.000 300	-0.000 390	-0.000 410
48.117 900	39.286 500	50.456 200	41.303 900	52.485 900	43.240 900
6.021 243	5.655 763	3.166 968	2.792 525	0.328 874	6.217 327
0.363 320	0.305 170	0.323 290	0.301 460	0.292 890	0.267 090
5.736 200	5.319 900	3.196 900	2.529 200	0.826 200	6.043 200
0.008 034	0.001 311	0.010 516	0.002 964	0.010 155	0.004 249
1.544 300	0.890 600	5.216 500	5.156 700	2.613 600	2.702 400
0.008 300	0.007 200	0.007 000	0.006 800	0.005 400	0.005 000
1.661 600	1.462 800	2.172 500	1.853 400	3.036 200	2.414 300
du 21 octobre 0h au 28 octobre 0h		du 28 octobre 0h au 4 novembre 0h		du 4 novembre 0h au 11 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.013 600	0.015 800	0.012 800	0.017 000	0.013 300	0.017 600
-0.000 370	-0.000 250	-0.000 360	-0.000 520	-0.000 760	-0.000 660
53.971 200	44.881 600	54.729 100	45.992 600	54.590 000	46.326 200
3.789 472	3.364 166	0.978 495	0.514 953	4.458 319	3.952 559
0.297 800	0.208 550	0.343 760	0.109 980	0.365 230	0.022 500
4.756 200	3.251 100	2.412 300	0.620 100	6.275 400	0.049 200
0.011 599	0.007 301	0.010 659	0.008 790	0.010 595	0.009 305
0.033 700	6.173 200	4.056 200	3.628 200	1.523 000	0.767 600
0.007 500	0.004 900	0.008 900	0.006 800	0.008 200	0.007 600
3.993 300	3.476 700	4.412 100	4.135 500	4.867 800	4.549 700
du 11 novembre 0h au 18 novembre 0h		du 18 novembre 0h au 25 novembre 0h		du 25 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.011 400	0.016 900	0.010 500	0.016 700	0.010 100	0.016 300
-0.000 480	-0.000 540	-0.000 490	-0.000 670	-0.000 660	-0.000 810
53.513 600	45.759 300	51.596 500	44.345 500	49.024 500	42.272 300
1.654 405	1.107 231	5.127 745	4.543 820	2.306 432	1.693 265
0.396 610	0.148 740	0.409 020	0.258 090	0.428 970	0.336 200
3.816 600	4.117 900	1.357 800	1.418 300	5.111 700	4.923 000
0.011 058	0.008 050	0.009 469	0.005 754	0.008 827	0.003 739
5.501 000	4.466 300	2.927 800	1.693 600	0.343 900	5.430 500
0.005 300	0.006 500	0.004 400	0.004 000	0.005 700	0.003 400
5.347 400	4.841 100	0.177 600	5.405 900	0.736 400	0.024 300

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DÉIMOS 2005

N = 4.9788 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 2 décembre 0h au 9 décembre 0h		du 9 décembre 0h au 16 décembre 0h		du 16 décembre 0h au 23 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.008 800	0.015 100	0.008 200	0.013 800	0.007 400	0.012 600
-0.000 450	-0.000 650	-0.000 410	-0.000 600	-0.000 390	-0.000 570
46.038 300	39.781 900	42.853 700	37.105 500	39.683 000	34.426 600
5.754 696	5.120 850	2.904 758	2.259 276	0.040 162	5.674 743
0.451 810	0.382 050	0.462 080	0.397 650	0.466 860	0.393 440
2.540 000	2.141 300	6.182 000	5.632 100	3.467 800	2.814 300
0.006 667	0.001 844	0.004 546	0.000 945	0.003 900	0.001 487
4.097 500	3.072 800	1.439 100	1.169 000	5.180 400	5.081 300
0.006 000	0.004 000	0.005 300	0.004 600	0.003 300	0.004 000
1.077 400	0.708 100	1.192 200	0.940 600	1.437 400	1.067 900
du 23 décembre 0h au 30 décembre 0h		du 30 décembre 0h au 6 janvier 0h		du 6 janvier 0h au 13 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.007 300	0.011 800	0.006 900	0.010 400	0.006 500	0.009 400
-0.000 420	-0.000 570	-0.000 370	-0.000 420	-0.000 320	-0.000 390
36.640 600	31.850 800	33.812 700	29.431 500	31.232 400	27.190 700
3.445 927	2.801 900	0.556 085	6.206 859	3.939 266	3.324 832
0.462 170	0.380 480	0.448 510	0.358 930	0.434 700	0.339 170
0.736 600	0.008 200	4.227 000	3.448 000	1.435 300	0.619 000
0.001 969	0.001 517	0.002 066	0.001 494	0.001 667	0.001 783
2.832 500	3.100 700	0.028 800	6.250 600	4.259 200	3.907 500
0.002 000	0.002 800	0.001 900	0.001 500	0.003 000	0.001 500
2.046 000	1.283 300	3.144 400	1.758 600	3.549 400	3.038 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SATELLITES DE JUPITER

Coordonnées différentielles tangentielles (X, Y)

IO	II. 78
EUROPE	II. 89
GANYMÈDE	II. 97
CALLISTO	II. 101

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$A0 + A1 u + B0 \sin(Nu + F0) + B1 u \sin(Nu + F1) + B2 u^2 \sin(Nu + F2) + C0 \sin(2Nu + P0),$$

où : $u = t - t_0$ (compté en jours).

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 6 janvier 0h		du 6 janvier 0h au 9 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.487 800	-0.193 800	0.513 300	-0.218 700	0.517 000	-0.215 300
0.003 910	-0.006 430	0.007 820	-0.000 150	0.013 620	-0.006 940
96.547 600	43.626 400	97.437 500	43.946 700	98.309 300	44.281 200
2.138 261	5.404 780	0.222 336	3.490 203	4.590 185	1.575 986
0.334 840	0.115 120	0.300 780	0.119 710	0.334 150	0.123 190
1.620 600	5.023 100	6.068 400	3.158 500	4.290 700	1.295 000
0.010 942	0.000 000	0.009 520	0.000 000	0.004 531	0.000 000
3.899 400	0.000 000	0.625 500	0.000 000	2.399 500	0.000 000
0.184 700	0.083 000	0.186 400	0.083 400	0.189 800	0.085 100
5.453 800	2.443 100	1.676 300	4.947 000	4.180 200	1.169 700
du 9 janvier 0h au 12 janvier 0h		du 12 janvier 0h au 15 janvier 0h		du 15 janvier 0h au 18 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.581 900	-0.243 800	0.591 900	-0.258 700	0.593 500	-0.242 700
0.011 150	-0.007 120	-0.000 120	0.006 850	-0.003 510	-0.004 710
99.226 100	44.631 100	100.200 500	44.991 100	101.117 000	45.362 300
2.675 591	5.945 389	0.760 962	4.031 941	5.129 893	2.118 878
0.361 410	0.124 780	0.276 630	0.125 550	0.288 800	0.127 240
2.303 900	5.694 400	0.379 000	3.834 900	5.034 200	1.987 900
0.014 047	0.000 000	0.020 755	0.000 000	0.017 041	0.000 000
5.009 300	0.000 000	1.262 900	0.000 000	4.376 900	0.000 000
0.191 700	0.085 100	0.194 600	0.086 200	0.197 700	0.087 500
0.394 200	3.671 700	2.895 100	6.173 800	5.393 600	2.380 300
du 18 janvier 0h au 21 janvier 0h		du 21 janvier 0h au 24 janvier 0h		du 24 janvier 0h au 27 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.585 400	-0.255 800	0.565 100	-0.238 400	0.640 900	-0.278 500
0.000 780	0.004 180	0.016 410	-0.010 170	0.007 240	-0.003 130
102.031 100	45.744 500	103.025 500	46.138 100	103.984 800	46.532 800
3.216 579	0.206 239	1.303 705	4.577 163	5.674 033	2.665 363
0.363 370	0.129 700	0.324 580	0.130 950	0.301 240	0.137 380
3.129 400	0.135 200	1.104 200	4.567 300	5.652 900	2.714 000
0.015 310	0.000 000	0.010 115	0.000 000	0.007 412	0.000 000
0.667 200	0.000 000	3.061 100	0.000 000	5.441 300	0.000 000
0.200 900	0.089 200	0.204 200	0.090 600	0.206 000	0.091 400
1.616 300	4.890 300	4.111 500	1.106 200	0.333 600	3.610 100
du 27 janvier 0h au 30 janvier 0h		du 30 janvier 0h au 2 février 0h		du 2 février 0h au 5 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.639 700	-0.281 700	0.678 600	-0.283 100	0.643 900	-0.288 700
0.005 210	0.000 910	-0.009 850	-0.003 750	-0.008 930	0.009 400
104.910 300	46.940 600	105.881 800	47.355 500	106.887 200	47.783 200
3.762 058	0.754 078	1.850 888	5.126 402	6.222 642	3.215 955
0.359 280	0.141 730	0.361 520	0.145 940	0.268 040	0.145 040
3.777 000	0.835 700	1.702 900	5.237 600	6.203 300	3.360 100
0.011 341	0.000 000	0.024 044	0.000 000	0.018 177	0.000 000
0.955 200	0.000 000	4.075 700	0.000 000	0.729 500	0.000 000
0.210 500	0.093 700	0.213 300	0.094 100	0.216 000	0.095 500
2.838 900	6.119 000	5.338 500	2.336 100	1.562 300	4.839 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 5 février 0h au 8 février 0h		du 8 février 0h au 11 février 0h		du 11 février 0h au 14 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.612 200	-0.262 100	0.669 700	-0.295 100	0.649 000	-0.292 500
0.010 570	-0.010 180	-0.001 340	-0.001 610	0.016 060	-0.005 200
107.807 300	48.212 300	108.716 400	48.646 300	109.664 900	49.084 800
4.311 630	1.305 858	2.401 773	5.679 364	0.492 030	3.770 058
0.297 900	0.147 250	0.342 780	0.149 540	0.288 520	0.149 620
4.581 000	1.504 900	2.541 300	5.926 300	0.692 700	4.071 200
0.012 132	0.000 000	0.013 788	0.000 000	0.011 016	0.000 000
3.567 500	0.000 000	5.121 700	0.000 000	1.799 700	0.000 000
0.218 900	0.097 100	0.222 000	0.098 300	0.226 000	0.100 300
4.059 300	1.051 200	0.277 300	3.558 800	2.777 700	6.055 200
du 14 février 0h au 17 février 0h		du 17 février 0h au 20 février 0h		du 20 février 0h au 23 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.720 900	-0.318 400	0.675 800	-0.305 200	0.642 600	-0.286 000
-0.009 280	0.001 220	-0.012 910	0.007 300	0.006 370	-0.006 360
110.558 900	49.518 300	111.380 600	49.944 600	112.239 700	50.376 400
4.865 650	1.861 085	2.957 002	6.235 858	1.049 029	4.327 817
0.287 270	0.152 460	0.344 570	0.157 710	0.302 860	0.156 380
5.311 000	2.228 500	3.361 900	0.345 500	1.355 600	4.753 500
0.010 544	0.000 000	0.009 739	0.000 000	0.014 985	0.000 000
4.594 100	0.000 000	0.263 300	0.000 000	3.035 300	0.000 000
0.228 500	0.101 600	0.232 600	0.103 800	0.234 200	0.104 000
5.288 000	2.279 700	1.512 100	4.793 800	4.009 600	1.009 000
du 23 février 0h au 26 février 0h		du 26 février 0h au 1 mars 0h		du 1 mars 0h au 4 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.674 000	-0.303 800	0.625 800	-0.294 800	0.737 100	-0.329 300
-0.013 480	0.002 860	0.029 270	-0.009 680	-0.018 240	0.000 990
113.069 300	50.802 400	113.807 900	51.216 400	114.518 600	51.616 000
5.423 977	2.420 102	3.516 392	0.512 633	1.609 731	4.888 784
0.284 960	0.154 070	0.336 160	0.155 040	0.326 530	0.157 150
6.042 800	2.888 800	4.172 900	1.041 000	2.073 400	5.443 400
0.009 700	0.000 000	0.014 849	0.000 000	0.024 359	0.000 000
4.979 100	0.000 000	1.447 700	0.000 000	4.360 600	0.000 000
0.236 800	0.105 600	0.240 700	0.107 300	0.243 800	0.108 500
0.229 700	3.511 900	2.728 400	6.007 800	5.236 300	2.229 000
du 4 mars 0h au 7 mars 0h		du 7 mars 0h au 10 mars 0h		du 10 mars 0h au 13 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.672 800	-0.313 100	0.663 400	-0.309 200	0.648 900	-0.296 800
-0.007 830	0.004 880	-0.004 450	0.001 370	-0.020 870	0.003 090
115.238 800	52.014 600	115.866 500	52.388 900	116.417 500	52.736 600
5.986 023	2.982 002	4.079 389	1.075 357	2.173 513	5.452 260
0.272 170	0.150 810	0.287 040	0.150 560	0.277 970	0.152 280
0.376 700	3.591 700	4.944 800	1.759 000	2.950 600	6.172 200
0.009 919	0.000 000	0.000 250	0.000 000	0.014 983	0.000 000
1.622 500	0.000 000	3.289 400	0.000 000	4.460 800	0.000 000
0.246 600	0.111 200	0.248 100	0.112 200	0.251 600	0.113 500
1.457 400	4.730 300	3.965 200	0.960 700	0.184 100	3.468 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 13 mars 0h au 16 mars 0h		du 16 mars 0h au 19 mars 0h		du 19 mars 0h au 22 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.583 700	-0.289 500	0.704 900	-0.325 700	0.621 100	-0.309 500
0.036 050	-0.010 620	-0.023 760	0.003 830	0.012 460	0.000 930
116.968 200	53.074 600	117.429 200	53.392 700	117.760 000	53.676 200
0.267 835	3.546 353	4.645 007	1.640 412	2.739 652	6.017 789
0.218 930	0.144 420	0.288 160	0.137 800	0.338 570	0.136 350
1.257 500	4.299 500	5.958 400	2.487 700	3.899 200	0.658 800
0.020 945	0.000 000	0.019 808	0.000 000	0.020 347	0.000 000
1.416 800	0.000 000	4.227 600	0.000 000	0.790 000	0.000 000
0.253 200	0.113 600	0.255 700	0.115 200	0.258 200	0.116 600
2.681 700	5.961 700	5.192 900	2.187 300	1.410 600	4.685 700
du 22 mars 0h au 25 mars 0h		du 25 mars 0h au 28 mars 0h		du 28 mars 0h au 31 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.662 300	-0.313 600	0.594 700	-0.286 600	0.546 200	-0.281 400
-0.016 720	0.004 310	-0.018 020	0.006 100	0.024 720	-0.005 870
118.079 100	53.925 200	118.340 600	54.154 800	118.507 100	54.351 900
0.834 840	4.112 163	5.212 960	2.206 728	3.307 882	0.301 039
0.277 610	0.135 510	0.278 640	0.125 250	0.300 950	0.122 710
1.965 700	5.075 300	0.199 200	3.227 900	4.629 300	1.447 500
0.010 286	0.000 000	0.007 412	0.000 000	0.015 975	0.000 000
3.751 000	0.000 000	2.472 500	0.000 000	0.866 700	0.000 000
0.258 900	0.117 800	0.261 200	0.120 400	0.262 500	0.119 900
3.914 400	0.905 100	0.133 400	3.410 600	2.638 500	5.920 400
du 31 mars 0h au 3 avril 0h		du 3 avril 0h au 6 avril 0h		du 6 avril 0h au 9 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.624 900	-0.295 800	0.554 500	-0.288 500	0.626 600	-0.309 700
-0.022 890	0.001 480	0.022 930	-0.004 490	-0.027 100	0.011 940
118.604 100	54.502 500	118.688 100	54.628 800	118.650 900	54.727 000
1.403 402	4.678 698	5.781 716	2.773 261	3.876 468	0.867 581
0.230 220	0.120 540	0.211 480	0.111 070	0.277 730	0.105 730
2.666 200	5.873 500	1.229 700	4.053 800	5.662 000	2.312 500
0.023 689	0.000 000	0.017 988	0.000 000	0.005 616	0.000 000
3.998 800	0.000 000	0.830 200	0.000 000	3.049 400	0.000 000
0.265 100	0.120 600	0.264 600	0.120 900	0.264 700	0.121 700
5.144 300	2.139 200	1.362 000	4.633 800	3.868 400	0.859 600
du 9 avril 0h au 12 avril 0h		du 12 avril 0h au 15 avril 0h		du 15 avril 0h au 18 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.527 300	-0.265 500	0.494 500	-0.259 000	0.504 000	-0.257 500
-0.013 990	0.004 630	0.010 020	-0.002 230	-0.013 120	0.003 710
118.512 200	54.776 500	118.338 800	54.786 400	118.071 400	54.762 700
1.971 425	5.244 909	0.066 480	3.339 023	4.444 233	1.432 970
0.274 940	0.106 130	0.249 920	0.102 440	0.284 240	0.097 110
3.716 100	0.518 700	2.028 000	4.977 500	0.114 700	3.183 500
0.008 214	0.000 000	0.008 792	0.000 000	0.007 132	0.000 000
5.536 200	0.000 000	1.381 000	0.000 000	3.058 800	0.000 000
0.266 600	0.122 500	0.266 800	0.123 100	0.268 000	0.124 300
0.079 000	3.350 900	2.581 000	5.853 100	5.086 700	2.080 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 18 avril 0h au 21 avril 0h		du 21 avril 0h au 24 avril 0h		du 24 avril 0h au 27 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.468 800	-0.257 900	0.537 600	-0.275 300	0.452 700	-0.234 600
0.026 320	-0.005 870	-0.024 940	0.010 770	-0.011 280	0.002 080
117.723 700	54.709 900	117.346 900	54.607 000	116.914 900	54.479 700
2.538 664	5.809 800	0.633 229	3.903 162	5.010 370	1.996 398
0.288 800	0.095 960	0.243 310	0.095 760	0.277 490	0.092 610
4.424 800	1.458 000	2.778 700	5.919 200	1.004 300	4.177 200
0.019 062	0.000 000	0.006 384	0.000 000	0.006 724	0.000 000
0.356 600	0.000 000	2.923 400	0.000 000	4.441 100	0.000 000
0.267 500	0.123 000	0.267 100	0.123 700	0.265 800	0.123 700
1.308 400	4.582 900	3.809 100	0.795 800	0.019 500	3.290 100
du 27 avril 0h au 30 avril 0h		du 30 avril 0h au 3 mai 0h		du 3 mai 0h au 6 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.425 400	-0.239 200	0.390 100	-0.201 400	0.369 300	-0.210 800
-0.004 070	0.009 840	-0.015 780	-0.000 860	0.020 250	-0.006 290
116.387 900	54.325 400	115.829 100	54.128 400	115.237 100	53.896 900
3.103 897	0.089 101	1.197 493	4.464 613	5.573 606	2.556 716
0.285 620	0.099 800	0.229 040	0.104 770	0.270 990	0.104 450
5.258 400	2.428 400	3.554 300	0.606 000	1.880 200	5.069 100
0.021 731	0.000 000	0.018 476	0.000 000	0.007 617	0.000 000
1.097 000	0.000 000	4.211 200	0.000 000	0.636 500	0.000 000
0.266 400	0.123 200	0.267 000	0.123 700	0.264 700	0.123 400
2.521 200	5.792 800	5.015 700	1.997 100	1.235 900	4.501 100
du 6 mai 0h au 9 mai 0h		du 9 mai 0h au 12 mai 0h		du 12 mai 0h au 15 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.414 900	-0.226 000	0.359 800	-0.196 900	0.337 200	-0.197 300
-0.021 230	0.010 750	-0.006 050	0.000 150	-0.016 010	0.013 410
114.566 200	53.643 700	113.841 400	53.361 600	113.135 300	53.053 800
3.666 061	0.648 436	1.758 285	5.022 922	6.133 323	3.113 785
0.281 600	0.106 900	0.248 580	0.109 830	0.299 290	0.113 480
6.225 400	3.278 100	4.361 100	1.477 100	2.754 300	5.940 700
0.003 716	0.000 000	0.012 529	0.000 000	0.016 089	0.000 000
2.137 600	0.000 000	5.053 600	0.000 000	0.896 200	0.000 000
0.264 300	0.123 500	0.262 800	0.122 000	0.262 200	0.122 200
3.737 900	0.721 600	6.232 700	3.214 000	2.445 400	5.712 500
du 15 mai 0h au 18 mai 0h		du 18 mai 0h au 21 mai 0h		du 21 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.273 200	-0.147 700	0.247 500	-0.163 800	0.266 700	-0.152 100
-0.016 420	-0.000 950	0.014 650	0.001 490	-0.013 270	0.002 050
112.352 200	52.724 300	111.506 300	52.387 100	110.676 100	52.019 800
4.224 250	1.204 329	2.314 963	5.577 453	0.405 548	3.666 808
0.341 240	0.115 540	0.288 840	0.126 660	0.262 100	0.131 290
0.714 600	4.139 700	4.978 400	2.312 400	3.340 300	0.428 800
0.021 176	0.000 000	0.023 187	0.000 000	0.011 069	0.000 000
3.769 900	0.000 000	0.529 300	0.000 000	3.731 200	0.000 000
0.260 500	0.121 100	0.258 900	0.120 100	0.257 800	0.120 600
4.938 900	1.922 600	1.156 400	4.417 700	3.646 200	0.619 500

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 24 mai 0h au 27 mai 0h		du 27 mai 0h au 30 mai 0h		du 30 mai 0h au 2 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.247 800	-0.149 100	0.237 800	-0.148 200	0.158 600	-0.095 600
-0.000 350	-0.000 350	-0.027 270	0.016 470	-0.014 980	-0.000 850
109.840 900	51.634 200	108.944 500	51.237 600	108.041 800	50.831 300
4.778 446	1.755 848	2.867 714	6.127 663	0.956 825	4.215 757
0.309 590	0.133 140	0.285 040	0.135 750	0.248 300	0.140 590
1.511 100	4.859 300	5.864 300	3.015 300	4.190 100	1.153 700
0.004 872	0.000 000	0.009 777	0.000 000	0.018 696	0.000 000
4.734 400	0.000 000	1.022 500	0.000 000	3.950 000	0.000 000
0.255 000	0.119 500	0.254 700	0.119 300	0.252 700	0.117 700
6.142 900	3.120 300	2.356 900	5.618 000	4.847 200	1.823 300
du 2 juin 0h au 5 juin 0h		du 5 juin 0h au 8 juin 0h		du 8 juin 0h au 11 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.134 200	-0.102 100	0.109 500	-0.079 700	0.126 400	-0.093 900
-0.003 370	0.004 790	-0.005 080	-0.001 030	-0.002 530	-0.000 910
107.184 600	50.411 400	106.282 500	49.982 500	105.330 500	49.553 000
5.328 310	2.303 472	3.415 827	0.390 735	1.503 218	4.760 750
0.328 150	0.143 360	0.345 990	0.144 860	0.270 710	0.149 260
2.345 000	5.583 100	0.325 900	3.725 200	4.757 700	1.870 700
0.011 052	0.000 000	0.015 226	0.000 000	0.015 529	0.000 000
0.117 500	0.000 000	3.036 800	0.000 000	5.414 200	0.000 000
0.250 000	0.116 700	0.247 500	0.115 100	0.246 200	0.114 300
1.059 500	4.319 500	3.548 200	0.520 300	6.040 000	3.008 800
du 11 juin 0h au 14 juin 0h		du 14 juin 0h au 17 juin 0h		du 17 juin 0h au 20 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.106 700	-0.082 500	0.043 900	-0.048 000	0.016 400	-0.043 900
-0.022 410	0.011 510	-0.010 320	0.001 760	-0.016 340	0.010 480
104.443 500	49.120 600	103.544 300	48.676 000	102.616 900	48.232 700
5.873 314	2.846 948	3.959 485	0.932 797	2.045 261	5.301 428
0.310 450	0.154 790	0.336 370	0.154 890	0.303 000	0.156 680
2.996 500	6.259 000	1.053 700	4.384 800	5.433 400	2.512 200
0.004 592	0.000 000	0.008 515	0.000 000	0.008 937	0.000 000
1.943 000	0.000 000	3.865 000	0.000 000	0.540 200	0.000 000
0.244 900	0.114 900	0.241 900	0.113 300	0.240 700	0.112 600
2.244 100	5.497 400	4.739 200	1.712 100	0.949 600	4.204 100
du 20 juin 0h au 23 juin 0h		du 23 juin 0h au 26 juin 0h		du 26 juin 0h au 29 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.047 200	-0.008 300	-0.003 200	-0.027 200	-0.043 800	-0.017 200
0.005 040	-0.003 890	-0.007 910	0.000 710	-0.006 900	0.008 390
101.717 500	47.792 300	100.870 000	47.351 700	99.973 000	46.908 000
0.130 974	3.386 491	4.498 877	1.471 057	2.583 137	5.838 423
0.304 330	0.160 930	0.361 600	0.164 430	0.322 320	0.163 940
3.741 400	0.641 200	1.736 700	5.031 000	6.038 000	3.140 500
0.009 372	0.000 000	0.013 750	0.000 000	0.017 170	0.000 000
2.754 000	0.000 000	4.659 800	0.000 000	1.522 800	0.000 000
0.237 500	0.110 600	0.235 300	0.109 400	0.233 900	0.108 700
3.434 200	0.405 200	5.924 500	2.896 600	2.127 000	5.375 200

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 29 juin 0h au 2 juillet 0h		du 2 juillet 0h au 5 juillet 0h		du 5 juillet 0h au 8 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.051 600	0.000 700	.. -0.100 100	0.015 600	.. -0.173 400	0.052 700
.. -0.015 950	0.002 650	.. -0.022 690	0.012 160	.. 0.003 890	-0.003 420
.. 99.080 500	46.466 100	.. 98.260 300	46.032 600	.. 97.442 800	45.597 500
.. 0.667 394	3.922 242	.. 5.034 289	2.005 724	.. 3.117 291	0.088 723
.. 0.277 270	0.162 940	.. 0.320 970	0.166 160	.. 0.338 780	0.165 370
.. 4.328 200	1.258 400	.. 2.484 100	5.661 000	.. 0.510 200	3.762 600
.. 0.015 360	0.000 000	.. 0.005 211	0.000 000	.. 0.006 671	0.000 000
.. 4.428 400	0.000 000	.. 1.463 600	0.000 000	.. 2.950 500	0.000 000
.. 0.231 900	0.108 100	.. 0.229 800	0.107 700	.. 0.226 600	0.105 500
.. 4.617 400	1.581 200	.. 0.819 300	4.069 900	.. 3.310 100	0.279 300
du 8 juillet 0h au 11 juillet 0h		du 11 juillet 0h au 14 juillet 0h		du 14 juillet 0h au 17 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.141 100	0.037 200	.. -0.192 900	0.053 300	.. -0.156 100	0.050 100
.. -0.010 230	0.003 480	.. 0.007 540	0.001 350	.. -0.015 460	0.003 730
.. 96.601 900	45.166 300	.. 95.829 400	44.744 500	.. 95.086 200	44.332 500
.. 1.200 164	4.454 694	.. 5.566 072	2.537 157	.. 3.647 854	0.619 238
.. 0.303 680	0.165 210	.. 0.352 550	0.167 910	.. 0.370 550	0.172 550
.. 4.990 100	1.887 500	.. 3.195 200	0.005 300	.. 1.165 300	4.384 700
.. 0.007 063	0.000 000	.. 0.012 894	0.000 000	.. 0.012 324	0.000 000
.. 4.926 800	0.000 000	.. 1.109 500	0.000 000	.. 4.069 100	0.000 000
.. 0.225 700	0.104 900	.. 0.223 100	0.103 300	.. 0.220 200	0.102 100
.. 5.799 000	2.768 800	.. 1.997 800	5.250 400	.. 4.490 000	1.457 400
du 17 juillet 0h au 20 juillet 0h		du 20 juillet 0h au 23 juillet 0h		du 23 juillet 0h au 26 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.219 600	0.068 300	.. -0.275 600	0.102 600	.. -0.270 800	0.097 900
.. -0.016 980	0.013 040	.. 0.001 360	-0.001 740	.. -0.011 420	0.005 960
.. 94.318 200	43.920 600	.. 93.569 500	43.512 400	.. 92.873 000	43.112 800
.. 1.729 156	4.984 089	.. 6.093 966	3.065 543	.. 4.174 959	1.146 704
.. 0.328 100	0.171 600	.. 0.318 400	0.169 530	.. 0.329 450	0.169 260
.. 5.457 600	2.472 200	.. 3.748 800	0.580 700	.. 1.847 200	4.967 700
.. 0.015 179	0.000 000	.. 0.004 499	0.000 000	.. 0.001 127	0.000 000
.. 0.903 500	0.000 000	.. 3.142 300	0.000 000	.. 0.570 400	0.000 000
.. 0.219 000	0.101 600	.. 0.216 500	0.100 300	.. 0.215 000	0.099 700
.. 0.687 400	3.934 200	.. 3.171 100	0.140 200	.. 5.656 900	2.627 800
du 26 juillet 0h au 29 juillet 0h		du 29 juillet 0h au 1 août 0h		du 1 août 0h au 4 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.319 000	0.117 500	.. -0.263 400	0.098 400	.. -0.318 300	0.121 400
.. 0.013 340	-0.003 860	.. -0.012 520	0.004 890	.. -0.013 220	0.007 700
.. 92.195 800	42.720 100	.. 91.511 300	42.327 100	.. 90.891 400	41.949 800
.. 2.255 432	5.510 754	.. 0.335 919	3.591 434	.. 4.699 464	1.671 968
.. 0.324 290	0.169 220	.. 0.307 690	0.165 980	.. 0.341 090	0.168 740
.. 6.158 900	3.062 200	.. 4.367 200	1.178 200	.. 2.516 300	5.573 000
.. 0.007 904	0.000 000	.. 0.005 448	0.000 000	.. 0.004 674	0.000 000
.. 1.442 900	0.000 000	.. 4.411 700	0.000 000	.. 0.365 300	0.000 000
.. 0.212 600	0.098 100	.. 0.211 300	0.097 500	.. 0.208 300	0.095 700
.. 1.863 400	5.115 200	.. 4.351 300	1.320 700	.. 0.546 600	3.800 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 4 août 0h au 7 août 0h		du 7 août 0h au 10 août 0h		du 10 août 0h au 13 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.352 500	0.138 500	.. -0.368 800	0.149 400	.. -0.426 700	0.169 100
.. -0.003 130	0.002 380	.. -0.019 210	0.007 300	.. 0.018 130	-0.005 980
.. 90.298 900	41.582 200	.. 89.706 200	41.217 600	.. 89.144 000	40.855 600
.. 2.779 064	6.035 318	.. 0.858 529	4.115 204	.. 5.221 205	2.194 971
.. 0.333 940	0.170 970	.. 0.316 550	0.169 910	.. 0.337 450	0.167 040
.. 0.526 300	3.657 400	.. 4.951 400	1.741 500	.. 3.127 800	6.131 800
.. 0.005 781	0.000 000	.. 0.005 959	0.000 000	.. 0.006 286	0.000 000
.. 2.097 900	0.000 000	.. 5.120 200	0.000 000	.. 1.250 100	0.000 000
.. 0.206 200	0.094 400	.. 0.205 500	0.093 900	.. 0.203 300	0.092 700
.. 3.032 300	0.004 600	.. 5.511 700	2.482 000	.. 1.715 700	4.970 200
du 13 août 0h au 16 août 0h		du 16 août 0h au 19 août 0h		du 19 août 0h au 22 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.367 900	0.146 700	.. -0.409 500	0.165 900	.. -0.412 100	0.164 900
.. -0.008 770	0.004 360	.. -0.002 310	0.002 180	.. -0.005 380	-0.005 630
.. 88.619 400	40.508 100	.. 88.116 600	40.162 900	.. 87.631 400	39.820 200
.. 3.300 208	0.274 548	.. 1.378 827	4.637 043	.. 5.740 806	2.716 259
.. 0.339 020	0.168 570	.. 0.326 500	0.166 500	.. 0.345 460	0.162 960
.. 1.208 700	4.223 900	.. 5.533 800	2.311 800	.. 3.685 800	0.416 900
.. 0.003 933	0.000 000	.. 0.003 694	0.000 000	.. 0.006 916	0.000 000
.. 5.294 900	0.000 000	.. 0.862 100	0.000 000	.. 0.667 100	0.000 000
.. 0.201 700	0.092 300	.. 0.199 400	0.090 700	.. 0.198 200	0.089 800
.. 4.203 000	1.173 800	.. 0.405 300	3.661 700	.. 2.887 500	6.150 800
du 22 août 0h au 25 août 0h		du 25 août 0h au 28 août 0h		du 28 août 0h au 31 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.441 200	0.189 800	.. -0.502 400	0.202 800	.. -0.447 300	0.189 800
.. -0.022 310	0.005 930	.. 0.018 650	-0.004 000	.. -0.012 230	0.002 740
.. 87.184 500	39.489 700	.. 86.756 500	39.174 500	.. 86.334 600	38.857 300
.. 3.819 182	0.795 478	.. 1.897 207	5.157 564	.. 6.258 541	3.236 252
.. 0.342 100	0.163 960	.. 0.310 270	0.166 240	.. 0.300 400	0.162 770
.. 1.725 200	4.811 100	.. 6.074 200	2.880 200	.. 4.297 800	0.961 500
.. 0.010 562	0.000 000	.. 0.013 029	0.000 000	.. 0.008 928	0.000 000
.. 3.982 800	0.000 000	.. 1.031 700	0.000 000	.. 4.256 300	0.000 000
.. 0.196 000	0.088 200	.. 0.194 500	0.087 100	.. 0.193 600	0.086 800
.. 5.365 800	2.344 900	.. 1.573 800	4.830 700	.. 4.053 500	1.026 100
du 31 août 0h au 3 septembre 0h		du 3 septembre 0h au 6 septembre 0h		du 6 septembre 0h au 9 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.482 000	0.200 600	.. -0.446 900	0.187 000	.. -0.491 600	0.213 300
.. 0.007 560	-0.002 820	.. -0.011 910	0.005 700	.. -0.017 340	0.004 500
.. 85.965 600	38.545 000	.. 85.613 700	38.243 700	.. 85.286 900	37.951 000
.. 4.336 590	1.314 946	.. 2.414 423	5.676 784	.. 0.491 997	3.755 145
.. 0.325 720	0.160 410	.. 0.327 150	0.161 300	.. 0.321 660	0.160 290
.. 2.402 200	5.348 000	.. 0.540 400	3.448 900	.. 4.951 900	1.519 000
.. 0.000 429	0.000 000	.. 0.003 533	0.000 000	.. 0.007 385	0.000 000
.. 0.218 100	0.000 000	.. 5.470 800	0.000 000	.. 3.776 500	0.000 000
.. 0.191 100	0.085 500	.. 0.190 200	0.085 100	.. 0.188 600	0.083 400
.. 0.254 200	3.515 400	.. 2.740 600	6.005 400	.. 5.223 500	2.208 300

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 9 septembre 0h au 12 septembre 0h		du 12 septembre 0h au 15 septembre 0h		du 15 septembre 0h au 18 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.532 800	0.220 600	.. -0.510 300	0.221 100	.. -0.533 400	0.223 600
.. 0.009 500	-0.001 320	.. -0.010 730	0.001 410	.. 0.015 530	-0.006 080
.. 84.999 900	37.656 700	.. 84.745 300	37.372 500	.. 84.490 900	37.101 700
.. 4.852 847	1.833 512	.. 2.930 103	6.195 086	.. 1.007 225	4.273 353
.. 0.352 700	0.156 480	.. 0.345 810	0.155 530	.. 0.311 700	0.156 410
.. 3.019 000	5.901 800	.. 1.032 100	4.003 200	.. 5.460 500	2.079 800
.. 0.008 868	0.000 000	.. 0.010 209	0.000 000	.. 0.005 586	0.000 000
.. 0.222 600	0.000 000	.. 3.438 500	0.000 000	.. 5.933 500	0.000 000
.. 0.187 300	0.082 200	.. 0.185 200	0.080 800	.. 0.183 900	0.080 100
.. 1.427 600	4.696 200	.. 3.908 600	0.888 700	.. 0.111 400	3.376 000
du 18 septembre 0h au 21 septembre 0h		du 21 septembre 0h au 24 septembre 0h		du 24 septembre 0h au 27 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.479 900	0.202 000	.. -0.517 000	0.223 500	.. -0.524 900	0.222 800
.. -0.008 450	0.005 060	.. -0.007 510	0.001 390	.. -0.002 080	0.001 610
.. 84.274 500	36.832 900	.. 84.082 800	36.565 500	.. 83.907 100	36.309 000
.. 5.367 622	2.351 408	.. 3.444 723	0.429 606	.. 1.521 773	4.790 966
.. 0.324 160	0.152 820	.. 0.323 400	0.149 920	.. 0.313 810	0.149 460
.. 3.577 200	0.150 000	.. 1.654 500	4.539 900	.. 6.089 400	2.634 200
.. 0.001 063	0.000 000	.. 0.004 986	0.000 000	.. 0.002 955	0.000 000
.. 0.739 100	0.000 000	.. 3.622 600	0.000 000	.. 0.129 700	0.000 000
.. 0.183 600	0.080 000	.. 0.181 600	0.078 600	.. 0.181 000	0.078 000
.. 2.589 400	5.857 200	.. 5.076 200	2.063 200	.. 1.283 300	4.554 400
du 27 septembre 0h au 30 septembre 0h		du 30 septembre 0h au 3 octobre 0h		du 3 octobre 0h au 6 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.543 000	0.234 400	.. -0.546 300	0.234 100	.. -0.503 100	0.211 100
.. -0.007 160	0.001 420	.. 0.013 980	-0.008 120	.. -0.001 080	0.003 100
.. 83.758 500	36.061 000	.. 83.671 500	35.814 800	.. 83.578 000	35.575 600
.. 5.882 035	2.869 093	.. 3.958 980	0.947 143	.. 2.035 759	5.308 450
.. 0.321 640	0.150 050	.. 0.339 070	0.147 410	.. 0.311 170	0.145 570
.. 4.261 900	0.715 400	.. 2.229 500	5.082 300	.. 0.340 000	3.173 600
.. 0.007 358	0.000 000	.. 0.009 226	0.000 000	.. 0.008 681	0.000 000
.. 2.909 900	0.000 000	.. 4.586 700	0.000 000	.. 1.454 100	0.000 000
.. 0.179 300	0.076 300	.. 0.178 000	0.075 300	.. 0.177 000	0.074 600
.. 3.767 300	0.756 600	.. 6.252 100	3.243 700	.. 2.449 200	5.720 200
du 6 octobre 0h au 9 octobre 0h		du 9 octobre 0h au 12 octobre 0h		du 12 octobre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.508 400	0.222 700	.. -0.498 600	0.210 500	.. -0.536 700	0.232 600
.. -0.002 310	-0.002 680	.. -0.006 160	0.005 030	.. -0.003 860	-0.000 230
.. 83.499 800	35.346 100	.. 83.483 600	35.120 100	.. 83.481 700	34.894 800
.. 0.112 613	3.386 491	.. 4.472 802	1.464 514	.. 2.549 479	5.825 806
.. 0.300 630	0.143 770	.. 0.335 020	0.140 530	.. 0.320 450	0.135 950
.. 4.854 000	1.245 900	.. 2.903 600	5.605 600	.. 0.939 900	3.703 700
.. 0.011 379	0.000 000	.. 0.005 486	0.000 000	.. 0.005 683	0.000 000
.. 4.215 200	0.000 000	.. 0.524 600	0.000 000	.. 2.810 000	0.000 000
.. 0.176 500	0.073 900	.. 0.175 900	0.073 400	.. 0.173 800	0.072 000
.. 4.938 400	1.927 600	.. 1.136 800	4.412 000	.. 3.626 600	0.620 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 15 octobre 0h au 18 octobre 0h		du 18 octobre 0h au 21 octobre 0h		du 21 octobre 0h au 24 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.531 200	0.226 400	.. -0.507 600	0.211 400	.. -0.484 100	0.212 300
.. 0.012 580	-0.005 790	.. 0.006 740	0.000 830	.. 0.007 830	-0.006 770
.. 83.484 100	34.680 000	.. 83.528 900	34.471 500	.. 83.630 400	34.269 500
.. 0.626 359	3.904 082	.. 4.986 677	1.982 331	.. 3.063 478	0.060 681
.. 0.314 460	0.135 210	.. 0.350 160	0.133 700	.. 0.344 760	0.133 090
.. 5.407 300	1.802 800	.. 3.534 400	6.173 300	.. 1.491 100	4.258 100
.. 0.003 056	0.000 000	.. 0.010 209	0.000 000	.. 0.012 005	0.000 000
.. 4.882 600	0.000 000	.. 1.069 900	0.000 000	.. 3.833 400	0.000 000
.. 0.173 800	0.071 800	.. 0.172 700	0.070 400	.. 0.171 800	0.069 600
.. 6.117 600	3.113 400	.. 2.316 300	5.597 400	.. 4.806 700	1.804 500
du 24 octobre 0h au 27 octobre 0h		du 27 octobre 0h au 30 octobre 0h		du 30 octobre 0h au 2 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.456 900	0.191 000	.. -0.489 700	0.213 600	.. -0.475 500	0.203 600
.. -0.004 020	0.006 160	.. -0.000 720	-0.001 450	.. 0.004 750	-0.001 880
.. 83.719 500	34.072 800	.. 83.819 700	33.885 000	.. 83.987 500	33.700 900
.. 1.140 089	4.422 270	.. 5.500 415	2.500 705	.. 3.577 485	0.579 122
.. 0.298 060	0.131 140	.. 0.317 170	0.129 480	.. 0.331 410	0.125 590
.. 5.879 400	2.343 900	.. 4.147 600	0.420 300	.. 2.174 700	4.776 300
.. 0.013 222	0.000 000	.. 0.008 019	0.000 000	.. 0.003 020	0.000 000
.. 0.665 800	0.000 000	.. 2.985 900	0.000 000	.. 5.395 600	0.000 000
.. 0.171 100	0.068 800	.. 0.170 200	0.067 900	.. 0.170 200	0.067 700
.. 1.006 900	4.284 600	.. 3.495 000	0.494 600	.. 5.980 100	2.980 200
du 2 novembre 0h au 5 novembre 0h		du 5 novembre 0h au 8 novembre 0h		du 8 novembre 0h au 11 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.476 400	0.203 300	.. -0.440 400	0.189 800	.. -0.394 300	0.168 900
.. 0.008 000	-0.002 650	.. 0.016 840	-0.007 230	.. -0.003 070	0.003 760
.. 84.170 200	33.520 100	.. 84.351 500	33.343 600	.. 84.585 900	33.179 500
.. 1.654 400	4.940 862	.. 6.014 748	3.019 638	.. 4.092 317	1.098 534
.. 0.314 180	0.121 310	.. 0.312 960	0.117 870	.. 0.353 070	0.116 920
.. 0.234 200	2.862 000	.. 4.719 000	0.969 900	.. 2.810 200	5.334 600
.. 0.006 087	0.000 000	.. 0.004 199	0.000 000	.. 0.008 555	0.000 000
.. 1.633 200	0.000 000	.. 4.180 900	0.000 000	.. 0.072 300	0.000 000
.. 0.168 900	0.066 700	.. 0.169 300	0.066 500	.. 0.168 100	0.065 000
.. 2.190 000	5.472 500	.. 4.683 400	1.688 000	.. 0.883 600	4.175 500
du 11 novembre 0h au 14 novembre 0h		du 14 novembre 0h au 17 novembre 0h		du 17 novembre 0h au 20 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.417 900	0.182 700	.. -0.384 400	0.169 400	.. -0.422 600	0.180 000
.. 0.008 040	-0.003 180	.. -0.006 080	0.002 100	.. 0.015 140	-0.003 760
.. 84.866 700	33.019 300	.. 85.139 200	32.864 600	.. 85.429 800	32.716 700
.. 2.169 437	5.460 706	.. 0.246 755	3.539 869	.. 4.607 784	1.619 186
.. 0.319 890	0.114 250	.. 0.301 300	0.111 410	.. 0.344 420	0.108 480
.. 0.810 700	3.418 700	.. 5.273 700	1.512 600	.. 3.470 200	5.895 600
.. 0.008 408	0.000 000	.. 0.008 635	0.000 000	.. 0.010 820	0.000 000
.. 2.233 500	0.000 000	.. 5.391 500	0.000 000	.. 1.515 600	0.000 000
.. 0.167 100	0.064 100	.. 0.167 400	0.063 800	.. 0.167 400	0.063 300
.. 3.374 200	0.383 600	.. 5.859 500	2.864 900	.. 2.070 000	5.359 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 20 novembre 0h au 23 novembre 0h		du 23 novembre 0h au 26 novembre 0h		du 26 novembre 0h au 29 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.368 800	.. 0.161 800	.. -0.322 000	.. 0.143 600	.. -0.319 700	.. 0.142 200
.. 0.018 410	.. -0.007 410	.. 0.002 030	.. 0.000 590	.. 0.015 320	.. -0.003 880
.. 85.790 700	.. 32.579 600	.. 86.160 100	.. 32.444 400	.. 86.537 100	.. 32.314 200
.. 2.685 422	.. 5.981 791	.. 0.763 077	.. 4.061 319	.. 5.124 357	.. 2.141 070
.. 0.338 150	.. 0.106 860	.. 0.318 990	.. 0.102 430	.. 0.341 080	.. 0.097 940
.. 1.485 100	.. 3.968 800	.. 5.848 800	.. 2.055 600	.. 4.003 000	.. 0.161 500
.. 0.003 490	.. 0.000 000	.. 0.003 955	.. 0.000 000	.. 0.004 341	.. 0.000 000
.. 4.851 800	.. 0.000 000	.. 0.694 500	.. 0.000 000	.. 1.159 700	.. 0.000 000
.. 0.167 400	.. 0.063 300	.. 0.166 400	.. 0.062 400	.. 0.167 000	.. 0.062 000
.. 4.560 000	.. 1.568 700	.. 0.771 300	.. 4.067 500	.. 3.264 200	.. 0.285 400
du 29 novembre 0h au 2 décembre 0h		du 2 décembre 0h au 5 décembre 0h		du 5 décembre 0h au 8 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.265 900	.. 0.131 000	.. -0.330 500	.. 0.144 500	.. -0.259 200	.. 0.125 700
.. -0.016 180	.. 0.002 930	.. 0.018 980	.. -0.003 970	.. 0.006 920	.. -0.005 080
.. 86.975 400	.. 32.195 200	.. 87.441 300	.. 32.087 800	.. 87.884 300	.. 31.980 600
.. 3.202 662	.. 0.221 160	.. 1.280 620	.. 4.584 445	.. 5.642 145	.. 2.664 743
.. 0.355 000	.. 0.097 330	.. 0.304 820	.. 0.094 720	.. 0.295 700	.. 0.088 780
.. 2.015 500	.. 4.548 000	.. 0.072 600	.. 2.604 000	.. 4.636 200	.. 0.706 200
.. 0.011 947	.. 0.000 000	.. 0.014 867	.. 0.000 000	.. 0.012 216	.. 0.000 000
.. 4.437 900	.. 0.000 000	.. 1.263 800	.. 0.000 000	.. 4.406 100	.. 0.000 000
.. 0.166 500	.. 0.060 700	.. 0.166 600	.. 0.060 200	.. 0.167 300	.. 0.060 400
.. 5.749 700	.. 2.770 300	.. 1.966 400	.. 5.264 100	.. 4.455 600	.. 1.469 600
du 8 décembre 0h au 11 décembre 0h		du 11 décembre 0h au 14 décembre 0h		du 14 décembre 0h au 17 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.243 000	.. 0.115 700	.. -0.202 300	.. 0.101 500	.. -0.145 700	.. 0.086 600
.. 0.010 720	.. -0.003 180	.. 0.018 620	.. -0.005 910	.. -0.014 690	.. 0.004 380
.. 88.378 400	.. 31.881 900	.. 88.914 800	.. 31.794 400	.. 89.469 000	.. 31.715 000
.. 3.721 101	.. 0.745 363	.. 1.799 961	.. 5.109 411	.. 6.162 105	.. 3.190 374
.. 0.338 380	.. 0.085 000	.. 0.333 820	.. 0.083 040	.. 0.323 300	.. 0.078 650
.. 2.735 300	.. 5.110 900	.. 0.830 900	.. 3.218 000	.. 5.245 900	.. 1.307 500
.. 0.002 927	.. 0.000 000	.. 0.001 915	.. 0.000 000	.. 0.005 330	.. 0.000 000
.. 0.660 100	.. 0.000 000	.. 5.935 800	.. 0.000 000	.. 4.516 900	.. 0.000 000
.. 0.166 800	.. 0.059 800	.. 0.167 600	.. 0.059 800	.. 0.167 500	.. 0.058 900
.. 0.665 200	.. 3.972 300	.. 3.158 100	.. 0.185 500	.. 5.655 800	.. 2.685 200
du 17 décembre 0h au 20 décembre 0h		du 20 décembre 0h au 23 décembre 0h		du 23 décembre 0h au 26 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.200 700	.. 0.100 300	.. -0.134 200	.. 0.085 100	.. -0.147 500	.. 0.082 800
.. 0.018 300	.. -0.004 410	.. -0.001 790	.. -0.002 370	.. 0.017 900	.. -0.005 370
.. 90.035 300	.. 31.640 300	.. 90.675 100	.. 31.578 400	.. 91.321 800	.. 31.531 100
.. 4.241 699	.. 1.271 678	.. 2.321 398	.. 5.636 484	.. 0.400 941	.. 3.718 299
.. 0.365 240	.. 0.074 580	.. 0.363 020	.. 0.072 850	.. 0.328 640	.. 0.071 040
.. 3.356 100	.. 5.725 000	.. 1.342 400	.. 3.846 700	.. 5.770 700	.. 1.919 000
.. 0.008 702	.. 0.000 000	.. 0.011 248	.. 0.000 000	.. 0.004 456	.. 0.000 000
.. 0.713 800	.. 0.000 000	.. 3.707 200	.. 0.000 000	.. 0.360 000	.. 0.000 000
.. 0.168 800	.. 0.058 700	.. 0.168 300	.. 0.057 800	.. 0.168 400	.. 0.057 700
.. 1.872 700	.. 5.190 500	.. 4.363 700	.. 1.396 000	.. 0.579 100	.. 3.894 500

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

IO 2005

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 26 décembre 0h au 29 décembre 0h		du 29 décembre 0h au 1 janvier 0h		du 1 janvier 0h au 4 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.077 800	.. 0.059 200	.. -0.019 200	.. 0.047 300	.. -0.043 300	.. 0.050 300
.. 0.021 120	.. -0.006 120	.. -0.010 920	.. 0.001 370	.. 0.014 330	.. -0.003 840
.. 91.975 800	.. 31.488 200	.. 92.669 600	.. 31.451 700	.. 93.384 100	.. 31.431 900
.. 4.764 074	.. 1.800 199	.. 2.844 576	.. 6.165 771	.. 0.925 038	.. 4.248 400
.. 0.332 300	.. 0.064 180	.. 0.349 710	.. 0.060 630	.. 0.335 220	.. 0.058 000
.. 3.930 400	.. 0.021 000	.. 1.982 300	.. 4.490 000	.. 0.149 900	.. 2.618 700
.. 0.000 523	.. 0.000 000	.. 0.008 856	.. 0.000 000	.. 0.002 591	.. 0.000 000
.. 3.127 200	.. 0.000 000	.. 4.139 300	.. 0.000 000	.. 1.003 100	.. 0.000 000
.. 0.170 100	.. 0.058 000	.. 0.170 700	.. 0.057 300	.. 0.171 900	.. 0.057 500
.. 3.067 000	.. 0.103 700	.. 5.565 200	.. 2.607 700	.. 1.784 600	.. 5.107 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 4 janvier 0h		du 4 janvier 0h au 8 janvier 0h		du 8 janvier 0h au 12 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -1.852 500	0.815 400	.. -1.379 900	0.886 200	.. -3.797 200	0.897 000
.. -0.035 080	0.025 600	.. -0.414 600	0.006 990	.. 0.841 550	0.015 830
.. 153.378 800	68.832 100	.. 154.980 100	69.573 200	.. 158.920 400	70.284 700
.. 0.541 766	3.787 215	.. 1.327 816	4.576 639	.. 2.112 109	5.367 137
.. 0.898 340	0.206 610	.. 0.894 540	0.190 550	.. 1.233 300	0.208 910
.. 0.402 100	3.426 400	.. 1.964 900	4.245 200	.. 5.696 300	5.082 800
.. 0.094 998	0.000 000	.. 0.181 072	0.000 000	.. 0.370 737	0.000 000
.. 4.209 900	0.000 000	.. 6.273 100	0.000 000	.. 2.876 300	0.000 000
.. 0.788 200	0.354 600	.. 0.774 000	0.355 500	.. 0.760 100	0.357 200
.. 5.297 500	2.229 900	.. 0.619 100	3.847 600	.. 2.213 800	5.487 300
du 12 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 20 janvier 0h		du 20 janvier 0h au 24 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 0.188 900	0.981 900	.. -3.782 700	0.946 300	.. -2.214 700	1.052 900
.. -1.221 550	-0.011 290	.. 0.672 250	0.029 510	.. 0.016 440	-0.003 180
.. 159.331 200	71.038 000	.. 160.367 400	71.899 300	.. 163.875 600	72.651 100
.. 2.923 353	6.157 308	.. 3.691 906	0.666 427	.. 4.487 438	1.459 535
.. 2.878 280	0.194 770	.. 1.569 150	0.186 450	.. 0.281 650	0.218 040
.. 2.315 800	6.078 300	.. 4.815 800	0.466 200	.. 0.288 600	1.296 200
.. 0.526 889	0.000 000	.. 0.317 799	0.000 000	.. 0.179 962	0.000 000
.. 5.913 400	0.000 000	.. 2.473 500	0.000 000	.. 4.268 000	0.000 000
.. 0.826 700	0.363 000	.. 0.865 700	0.369 600	.. 0.880 700	0.370 000
.. 3.769 100	0.809 700	.. 5.466 800	2.461 100	.. 0.838 200	4.098 300
du 24 janvier 0h au 28 janvier 0h		du 28 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 5 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -1.051 400	1.084 000	.. -4.919 200	0.994 500	.. -0.726 200	1.094 300
.. -0.727 030	-0.019 920	.. 1.221 090	0.036 910	.. -0.874 600	0.007 760
.. 166.789 100	73.499 100	.. 167.492 700	74.299 200	.. 168.370 400	75.274 700
.. 5.277 906	2.252 746	.. 6.090 754	3.045 494	.. 0.578 266	3.840 708
.. 0.996 110	0.231 990	.. 2.960 660	0.250 130	.. 1.836 930	0.224 590
.. 2.670 000	2.159 100	.. 5.445 400	3.200 300	.. 1.850 900	3.981 700
.. 0.334 886	0.000 000	.. 0.544 410	0.000 000	.. 0.360 291	0.000 000
.. 6.129 300	0.000 000	.. 2.690 000	0.000 000	.. 5.790 700	0.000 000
.. 0.885 100	0.375 000	.. 0.868 600	0.375 900	.. 0.807 700	0.374 900
.. 2.494 900	5.730 000	.. 4.201 900	1.106 600	.. 5.769 300	2.719 000
du 5 février 0h au 9 février 0h		du 9 février 0h au 13 février 0h		du 13 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.550 000	1.110 900	.. -2.221 800	1.179 200	.. -1.132 900	1.166 900
.. 0.447 010	0.012 840	.. -0.098 720	-0.019 450	.. -0.772 160	-0.011 100
.. 172.720 900	76.140 400	.. 173.559 100	77.093 100	.. 175.298 100	77.987 700
.. 1.379 600	4.636 388	.. 2.178 992	5.432 001	.. 2.980 780	6.229 358
.. 0.576 600	0.249 110	.. 0.905 510	0.229 690	.. 1.884 690	0.246 660
.. 5.462 500	4.825 600	.. 1.858 200	5.803 200	.. 2.674 900	0.330 800
.. 0.209 027	0.000 000	.. 0.128 020	0.000 000	.. 0.353 184	0.000 000
.. 2.421 100	0.000 000	.. 4.810 200	0.000 000	.. 6.161 200	0.000 000
.. 0.827 300	0.377 800	.. 0.864 500	0.386 000	.. 0.875 300	0.385 800
.. 1.089 700	4.364 700	.. 2.696 300	5.987 100	.. 4.322 300	1.350 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 17 février 0h au 21 février 0h		du 21 février 0h au 25 février 0h		du 25 février 0h au 1 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -5.467 200	1.079 200	.. -0.618 900	1.246 300	.. -3.356 400	1.204 100
.. 1.459 130	0.051 620	.. -0.948 220	-0.028 260	.. 0.288 930	-0.013 870
.. 175.516 800	79.005 300	.. 181.330 600	79.767 000	.. 180.576 300	80.645 800
.. 3.757 660	0.744 760	.. 4.567 296	1.543 535	.. 5.372 543	2.342 250
.. 3.123 300	0.190 100	.. 1.580 610	0.262 600	.. 1.153 190	0.258 960
.. 5.300 400	1.050 700	.. 2.126 900	1.885 700	.. 4.997 100	2.777 000
.. 0.660 308	0.000 000	.. 0.430 791	0.000 000	.. 0.189 323	0.000 000
.. 2.821 200	0.000 000	.. 5.701 000	0.000 000	.. 1.744 900	0.000 000
.. 0.963 000	0.395 700	.. 0.931 800	0.395 400	.. 0.901 900	0.393 900
.. 5.982 100	2.981 800	.. 1.414 900	4.643 300	.. 3.071 900	0.003 200
du 1 mars 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 9 mars 0h		du 9 mars 0h au 13 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.151 400	1.132 400	.. -1.002 200	1.189 900	.. -4.563 100	1.199 200
.. 0.346 470	0.022 960	.. -0.801 810	0.003 700	.. 1.024 120	0.004 490
.. 182.220 000	81.515 100	.. 182.704 100	82.347 700	.. 187.190 200	83.125 100
.. 6.170 274	3.141 355	.. 0.677 976	3.941 888	.. 1.485 077	4.742 952
.. 1.067 090	0.260 060	.. 1.903 790	0.247 980	.. 1.512 280	0.238 530
.. 6.201 600	3.763 500	.. 2.093 500	4.603 200	.. 5.428 100	5.481 800
.. 0.181 886	0.000 000	.. 0.333 942	0.000 000	.. 0.436 739	0.000 000
.. 3.157 200	0.000 000	.. 5.960 400	0.000 000	.. 2.867 400	0.000 000
.. 0.884 700	0.396 200	.. 0.849 200	0.394 400	.. 0.853 200	0.396 100
.. 4.696 300	1.639 700	.. 0.064 100	3.294 300	.. 1.611 200	4.918 700
du 13 mars 0h au 17 mars 0h		du 17 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 25 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.723 500	1.262 700	.. -3.885 800	1.097 000	.. -3.101 700	1.141 700
.. -0.866 410	-0.040 550	.. 0.625 230	0.032 040	.. 0.416 520	0.009 190
.. 185.104 500	83.833 300	.. 186.742 900	84.547 000	.. 187.664 200	85.051 100
.. 2.295 006	5.543 457	.. 3.081 080	0.063 573	.. 3.888 194	0.865 039
.. 2.099 470	0.246 230	.. 1.890 190	0.173 840	.. 1.198 720	0.200 980
.. 2.351 200	0.192 400	.. 4.840 400	0.943 700	.. 5.668 800	1.836 200
.. 0.403 548	0.000 000	.. 0.322 334	0.000 000	.. 0.215 040	0.000 000
.. 5.785 600	0.000 000	.. 2.256 900	0.000 000	.. 3.300 400	0.000 000
.. 0.910 600	0.401 600	.. 0.948 600	0.407 100	.. 0.927 500	0.403 200
.. 3.265 600	0.286 400	.. 4.944 100	1.936 500	.. 0.318 300	3.580 700
du 25 mars 0h au 29 mars 0h		du 29 mars 0h au 2 avril 0h		du 2 avril 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 0.159 700	1.273 100	.. -4.223 900	1.087 500	.. -1.048 700	1.084 700
.. -1.308 960	-0.058 350	.. 0.930 400	0.018 290	.. -0.533 740	0.005 150
.. 191.147 000	85.410 700	.. 187.780 200	85.883 500	.. 188.514 300	86.165 200
.. 4.693 746	1.668 095	.. 5.506 115	2.468 678	.. 0.010 669	3.271 178
.. 2.368 390	0.214 120	.. 1.913 300	0.219 310	.. 1.618 760	0.206 400
.. 2.221 700	2.445 500	.. 5.513 200	3.698 100	.. 1.814 300	4.565 900
.. 0.607 493	0.000 000	.. 0.405 425	0.000 000	.. 0.233 522	0.000 000
.. 5.968 900	0.000 000	.. 2.638 600	0.000 000	.. 5.523 100	0.000 000
.. 0.960 100	0.408 300	.. 0.875 500	0.399 200	.. 0.842 000	0.396 900
.. 2.025 700	5.240 700	.. 3.681 700	0.599 500	.. 5.302 400	2.252 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 6 avril 0h au 10 avril 0h		du 10 avril 0h au 14 avril 0h		du 14 avril 0h au 18 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -2.836 700	.. 1.073 400	.. -2.665 200	.. 1.106 200	.. -0.378 700	.. 1.077 600
.. 0.299 510	.. 0.006 320	.. 0.326 640	.. -0.022 150	.. -0.894 170	.. -0.031 920
.. 189.639 300	.. 86.386 500	.. 189.226 600	.. 86.494 100	.. 187.140 300	.. 86.494 400
.. 0.821 909	.. 4.073 728	.. 1.623 973	.. 4.875 536	.. 2.433 422	.. 5.677 607
.. 0.367 780	.. 0.189 750	.. 0.347 800	.. 0.187 710	.. 1.688 580	.. 0.180 010
.. 4.371 500	.. 5.528 500	.. 5.036 200	.. 0.249 200	.. 2.731 100	.. 1.277 000
.. 0.135 232	.. 0.000 000	.. 0.146 527	.. 0.000 000	.. 0.424 629	.. 0.000 000
.. 2.460 000	.. 0.000 000	.. 3.376 000	.. 0.000 000	.. 6.171 400	.. 0.000 000
.. 0.857 800	.. 0.395 600	.. 0.846 400	.. 0.393 700	.. 0.889 700	.. 0.393 500
.. 0.608 200	.. 3.879 200	.. 2.265 400	.. 5.545 000	.. 3.874 000	.. 0.894 900
du 18 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 26 avril 0h		du 26 avril 0h au 30 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.988 800	.. 0.925 500	.. -0.026 000	.. 1.016 500	.. -1.787 400	.. 0.918 500
.. 1.035 880	.. 0.019 320	.. -0.813 340	.. -0.037 990	.. -0.043 030	.. -0.008 060
.. 187.101 300	.. 86.401 900	.. 188.607 600	.. 86.045 100	.. 185.732 200	.. 85.794 600
.. 3.218 168	.. 0.196 679	.. 4.035 361	.. 0.997 768	.. 4.834 677	.. 1.797 793
.. 2.522 890	.. 0.146 290	.. 1.792 500	.. 0.137 330	.. 0.093 790	.. 0.163 000
.. 5.334 500	.. 2.291 300	.. 1.736 300	.. 2.885 400	.. 2.089 400	.. 3.965 300
.. 0.450 846	.. 0.000 000	.. 0.396 566	.. 0.000 000	.. 0.107 772	.. 0.000 000
.. 2.703 700	.. 0.000 000	.. 5.537 500	.. 0.000 000	.. 0.896 500	.. 0.000 000
.. 0.910 000	.. 0.395 800	.. 0.886 800	.. 0.389 300	.. 0.841 700	.. 0.383 600
.. 5.577 500	.. 2.553 500	.. 1.005 300	.. 4.215 100	.. 2.631 100	.. 5.847 200
du 30 avril 0h au 4 mai 0h		du 4 mai 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 12 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.027 300	.. 0.824 400	.. -0.279 400	.. 0.832 800	.. -2.699 200	.. 0.775 000
.. 0.718 480	.. 0.016 260	.. -0.626 810	.. -0.013 050	.. 0.651 660	.. -0.011 290
.. 183.741 600	.. 85.370 100	.. 182.889 500	.. 84.939 200	.. 182.967 800	.. 84.356 700
.. 5.640 217	.. 2.596 916	.. 0.144 610	.. 3.397 167	.. 0.954 347	.. 4.195 774
.. 1.090 830	.. 0.192 700	.. 1.718 660	.. 0.184 730	.. 1.193 620	.. 0.188 750
.. 5.734 000	.. 4.823 300	.. 2.345 300	.. 5.916 000	.. 4.951 100	.. 0.518 300
.. 0.316 634	.. 0.000 000	.. 0.275 138	.. 0.000 000	.. 0.262 169	.. 0.000 000
.. 2.852 700	.. 0.000 000	.. 5.917 000	.. 0.000 000	.. 2.746 200	.. 0.000 000
.. 0.823 200	.. 0.379 000	.. 0.773 100	.. 0.371 900	.. 0.777 400	.. 0.366 800
.. 4.314 300	.. 1.231 500	.. 5.904 900	.. 2.853 500	.. 1.233 600	.. 4.511 400
du 12 mai 0h au 16 mai 0h		du 16 mai 0h au 20 mai 0h		du 20 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 0.273 400	.. 0.814 600	.. -1.500 300	.. 0.666 900	.. -2.453 800	.. 0.579 200
.. -0.765 080	.. -0.051 770	.. 0.100 030	.. -0.007 410	.. 0.777 180	.. 0.008 130
.. 178.671 300	.. 83.786 800	.. 178.497 800	.. 83.037 900	.. 176.691 200	.. 82.301 500
.. 1.754 326	.. 4.993 403	.. 2.547 005	.. 5.791 596	.. 3.339 334	.. 0.305 373
.. 1.414 250	.. 0.235 460	.. 0.813 540	.. 0.199 400	.. 1.900 060	.. 0.209 860
.. 2.405 700	.. 1.482 400	.. 4.892 100	.. 2.433 700	.. 5.843 200	.. 3.453 200
.. 0.369 354	.. 0.000 000	.. 0.099 551	.. 0.000 000	.. 0.357 500	.. 0.000 000
.. 5.786 400	.. 0.000 000	.. 1.525 200	.. 0.000 000	.. 3.086 300	.. 0.000 000
.. 0.824 300	.. 0.368 300	.. 0.796 800	.. 0.360 400	.. 0.823 100	.. 0.359 100
.. 2.861 700	.. 6.139 900	.. 4.550 700	.. 1.524 400	.. 6.201 400	.. 3.159 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 24 mai 0h au 28 mai 0h		du 28 mai 0h au 1 juin 0h		du 1 juin 0h au 5 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.576 100	0.590 700	-2.396 900	0.478 200	-0.233 900	0.451 400
-0.748 680	-0.030 730	0.739 180	0.000 710	-0.209 160	-0.006 790
176.415 600	81.418 900	171.667 000	80.623 000	171.303 500	79.769 800
4.147 341	1.100 573	4.944 032	1.894 730	5.730 831	2.689 184
1.693 490	0.184 700	1.127 270	0.216 450	0.950 760	0.224 680
1.973 000	4.124 900	5.253 300	4.950 300	2.153 000	5.836 000
0.341 747	0.000 000	0.320 112	0.000 000	0.105 299	0.000 000
5.906 100	0.000 000	2.463 000	0.000 000	5.392 200	0.000 000
0.784 500	0.352 700	0.733 600	0.342 700	0.711 600	0.338 800
1.611 200	4.813 200	3.286 600	0.185 500	4.859 700	1.807 400
du 5 juin 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 13 juin 0h		du 13 juin 0h au 17 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.359 900	0.403 400	-1.099 300	0.364 500	0.904 700	0.294 800
-0.121 640	-0.020 880	0.386 210	-0.033 210	-0.620 630	-0.027 000
169.318 100	78.892 200	167.881 800	78.021 200	164.242 400	77.080 000
0.243 413	3.482 503	1.040 768	4.275 128	1.833 634	5.066 591
0.768 100	0.234 180	0.834 120	0.258 380	0.814 480	0.253 830
3.132 600	0.438 900	5.130 300	1.302 300	2.503 500	2.119 300
0.078 800	0.000 000	0.150 438	0.000 000	0.286 656	0.000 000
0.075 600	0.000 000	3.238 000	0.000 000	5.992 800	0.000 000
0.700 500	0.332 100	0.703 100	0.329 600	0.717 000	0.323 900
0.231 200	3.465 200	1.823 100	5.093 400	3.465 900	0.455 400
du 17 juin 0h au 21 juin 0h		du 21 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 29 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-2.048 200	0.145 400	0.374 100	0.171 600	0.824 500	0.134 100
0.891 070	0.023 030	-0.166 820	-0.023 010	-0.413 240	-0.040 680
164.117 600	76.165 100	162.014 800	75.182 700	160.361 500	74.219 800
2.611 955	5.859 224	3.416 025	0.364 942	4.206 579	1.154 629
2.242 960	0.264 120	0.929 250	0.235 830	1.237 060	0.219 930
5.430 100	3.193 200	1.173 900	3.856 300	2.218 900	4.741 200
0.397 945	0.000 000	0.117 346	0.000 000	0.223 028	0.000 000
2.604 000	0.000 000	5.155 100	0.000 000	6.220 900	0.000 000
0.744 000	0.324 600	0.694 600	0.314 900	0.694 400	0.313 100
5.157 100	2.106 600	0.534 400	3.748 100	2.194 500	5.393 100
du 29 juin 0h au 3 juillet 0h		du 3 juillet 0h au 7 juillet 0h		du 7 juillet 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.849 800	-0.003 700	1.270 600	-0.014 500	-0.765 600	-0.073 700
0.530 180	0.005 720	-0.474 840	-0.013 400	0.583 470	-0.012 560
156.922 100	73.377 300	156.387 300	72.463 600	154.867 600	71.562 700
4.994 810	1.942 745	5.774 149	2.731 217	0.292 013	3.518 782
0.537 200	0.253 560	1.341 320	0.253 180	1.284 670	0.253 520
5.451 000	5.448 300	2.433 100	0.051 600	4.940 200	0.862 400
0.227 779	0.000 000	0.211 440	0.000 000	0.233 741	0.000 000
2.815 600	0.000 000	5.771 300	0.000 000	2.726 800	0.000 000
0.647 900	0.304 300	0.621 100	0.299 300	0.638 600	0.296 000
3.831 500	0.743 100	5.447 900	2.390 100	0.729 400	4.005 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 15 juillet 0h		du 15 juillet 0h au 19 juillet 0h		du 19 juillet 0h au 23 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.836 000	-0.123 600	1.049 100	-0.206 800	-0.379 100	-0.270 400
-0.109 050	-0.024 410	-0.260 530	-0.009 240	0.576 600	0.007 000
152.273 500	70.704 600	150.556 200	69.823 900	149.902 500	68.971 600
1.072 180	4.305 533	1.858 366	5.092 497	2.637 709	5.878 186
0.136 990	0.266 830	0.290 950	0.270 680	1.451 830	0.265 460
4.488 900	1.687 500	3.993 600	2.575 300	5.777 700	3.412 600
0.079 870	0.000 000	0.166 718	0.000 000	0.251 766	0.000 000
5.320 600	0.000 000	0.361 800	0.000 000	2.855 600	0.000 000
0.640 600	0.293 400	0.655 300	0.289 800	0.653 800	0.287 800
2.407 900	5.659 900	4.031 300	1.010 700	5.701 800	2.649 500
du 23 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 31 juillet 0h		du 31 juillet 0h au 4 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
2.444 100	-0.227 800	0.280 400	-0.350 700	0.860 300	-0.420 800
-0.763 980	-0.040 880	0.314 070	-0.010 490	0.135 730	0.001 890
148.748 900	68.061 300	145.780 200	67.322 200	144.874 200	66.531 300
3.440 029	0.379 652	4.213 292	1.164 262	4.997 484	1.948 341
2.007 330	0.229 180	0.155 610	0.254 760	0.222 710	0.255 050
1.888 100	4.211 900	5.123 500	4.962 300	2.381 500	5.762 600
0.357 538	0.000 000	0.131 484	0.000 000	0.074 582	0.000 000
5.731 000	0.000 000	2.350 400	0.000 000	3.409 900	0.000 000
0.644 000	0.284 500	0.597 500	0.278 000	0.592 800	0.275 400
1.127 200	4.308 300	2.715 600	5.921 000	4.358 000	1.290 500
du 4 août 0h au 8 août 0h		du 8 août 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 16 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
1.531 500	-0.432 500	0.165 800	-0.474 400	2.846 500	-0.459 200
-0.228 950	-0.004 820	0.537 410	-0.005 610	-0.760 030	-0.040 430
144.036 700	65.754 700	142.936 700	64.990 200	139.865 200	64.318 600
5.778 827	2.732 406	0.287 851	3.515 813	1.059 699	4.298 967
0.847 550	0.255 190	1.313 100	0.250 460	1.127 770	0.282 600
3.050 400	0.293 800	5.105 300	1.125 300	2.323 600	1.888 300
0.107 492	0.000 000	0.222 529	0.000 000	0.357 583	0.000 000
6.247 700	0.000 000	2.849 000	0.000 000	5.886 300	0.000 000
0.581 800	0.272 600	0.584 600	0.269 500	0.632 100	0.271 100
5.944 200	2.903 200	1.267 400	4.546 700	2.895 200	6.166 700
du 16 août 0h au 20 août 0h		du 20 août 0h au 24 août 0h		du 24 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.637 500	-0.588 900	1.103 800	-0.606 500	2.301 700	-0.573 500
0.341 620	0.008 240	0.227 260	0.008 290	-0.429 920	-0.022 090
140.959 800	63.537 800	139.611 900	62.838 800	138.581 300	62.154 500
1.842 590	5.082 121	2.626 602	5.864 638	3.414 796	0.362 568
1.144 840	0.255 400	0.996 700	0.258 290	1.222 740	0.233 640
5.430 800	2.804 400	0.226 600	3.632 300	2.040 000	4.341 700
0.160 395	0.000 000	0.143 315	0.000 000	0.201 903	0.000 000
2.362 800	0.000 000	3.469 100	0.000 000	6.060 200	0.000 000
0.612 900	0.267 200	0.615 600	0.265 300	0.594 700	0.262 600
4.588 500	1.536 800	6.230 100	3.167 400	1.600 700	4.800 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 28 août 0h au 1 septembre 0h		du 1 septembre 0h au 5 septembre 0h		du 5 septembre 0h au 9 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.289 900	-0.657 500	2.694 900	-0.663 600	1.165 300	-0.704 800
0.628 430	-0.000 790	-0.525 490	-0.009 060	0.214 180	0.006 290
136.209 400	61.535 400	137.694 200	60.892 800	135.857 000	60.272 600
4.186 799	1.144 478	4.966 916	1.926 345	5.754 814	2.707 377
0.750 270	0.248 310	1.458 260	0.245 810	0.832 230	0.238 590
5.246 400	5.134 100	2.419 500	5.952 600	4.445 000	0.451 600
0.262 960	0.000 000	0.230 266	0.000 000	0.104 838	0.000 000
2.663 400	0.000 000	5.828 300	0.000 000	2.328 500	0.000 000
0.563 900	0.258 500	0.552 800	0.255 800	0.576 400	0.256 300
3.250 500	0.161 200	4.783 400	1.767 100	0.143 200	3.412 300
du 9 septembre 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 17 septembre 0h		du 17 septembre 0h au 21 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
1.625 000	-0.662 600	2.594 300	-0.698 800	-0.082 400	-0.807 800
0.081 190	-0.019 560	-0.467 590	-0.012 950	0.910 740	0.031 650
135.085 400	59.712 100	133.935 200	59.118 200	135.975 400	58.494 300
0.248 375	3.489 048	1.024 405	4.269 769	1.802 352	5.051 926
0.375 440	0.259 380	0.446 860	0.246 630	2.223 370	0.245 470
5.412 100	1.243 200	2.498 900	2.048 700	5.528 600	3.020 600
0.095 523	0.000 000	0.216 004	0.000 000	0.410 793	0.000 000
4.129 200	0.000 000	6.088 700	0.000 000	2.695 400	0.000 000
0.594 100	0.256 700	0.604 200	0.254 600	0.635 600	0.257 300
1.752 600	5.033 900	3.393 900	0.381 700	5.088 200	2.026 300
du 21 septembre 0h au 25 septembre 0h		du 25 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 3 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
2.717 600	-0.718 400	1.560 000	-0.721 200	1.440 100	-0.739 100
-0.456 290	-0.009 210	0.048 400	-0.007 630	0.187 200	-0.001 810
133.515 100	57.985 700	133.148 400	57.445 300	132.981 900	56.974 500
2.594 424	5.830 950	3.365 404	0.328 579	4.143 814	1.109 278
1.240 550	0.222 560	0.281 120	0.218 070	0.189 300	0.227 200
1.654 400	3.634 900	2.280 500	4.466 400	1.793 800	5.219 800
0.201 894	0.000 000	0.065 671	0.000 000	0.090 291	0.000 000
5.663 400	0.000 000	1.396 900	0.000 000	3.303 900	0.000 000
0.583 700	0.250 800	0.578 200	0.251 000	0.568 700	0.248 700
0.446 100	3.650 900	2.066 100	5.286 900	3.655 400	0.614 000
du 3 octobre 0h au 7 octobre 0h		du 7 octobre 0h au 11 octobre 0h		du 11 octobre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
2.765 900	-0.741 800	0.176 700	-0.770 800	2.779 500	-0.698 000
-0.521 870	-0.003 080	0.793 940	0.018 110	-0.511 610	-0.009 210
133.940 000	56.467 600	132.151 800	56.007 200	132.303 000	55.573 800
4.922 622	1.889 991	5.714 807	2.669 940	0.191 917	3.451 211
1.357 920	0.221 420	1.779 110	0.214 840	0.626 230	0.230 010
2.649 700	6.060 100	5.140 500	0.473 900	2.270 000	1.332 100
0.225 681	0.000 000	0.353 814	0.000 000	0.228 912	0.000 000
6.037 300	0.000 000	2.803 700	0.000 000	5.669 100	0.000 000
0.560 600	0.247 100	0.605 600	0.248 400	0.627 100	0.250 400
5.258 800	2.253 500	0.539 900	3.858 400	2.234 200	5.504 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 15 octobre 0h au 19 octobre 0h		du 19 octobre 0h au 23 octobre 0h		du 23 octobre 0h au 27 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
1.456 300	-0.728 500	1.027 100	-0.723 500	3.115 100	-0.667 700
0.043 070	0.006 280	0.350 980	0.011 680	-0.746 060	-0.006 700
133.215 800	55.089 100	133.566 100	54.669 600	132.394 900	54.246 300
0.977 680	4.231 956	1.757 118	5.012 338	2.546 752	5.792 108
0.743 750	0.219 120	1.106 900	0.206 780	1.761 150	0.186 150
4.984 800	2.184 700	6.045 100	2.978 600	1.943 500	3.713 300
0.115 745	0.000 000	0.168 089	0.000 000	0.315 468	0.000 000
1.328 100	0.000 000	3.077 600	0.000 000	5.860 400	0.000 000
0.630 300	0.248 000	0.624 000	0.247 900	0.613 700	0.246 900
3.879 800	0.850 000	5.524 000	2.474 600	0.918 300	4.121 400
du 27 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 4 novembre 0h		du 4 novembre 0h au 8 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.308 400	-0.679 500	2.266 800	-0.630 000	1.136 100	-0.650 600
0.612 750	0.012 580	-0.364 140	-0.000 360	0.102 500	0.016 850
132.898 300	53.907 800	134.408 700	53.500 400	133.759 700	53.185 000
3.306 109	0.290 362	4.096 178	1.071 078	4.875 927	1.851 731
0.796 220	0.205 630	1.189 530	0.187 630	0.827 680	0.190 170
5.521 700	4.490 700	2.279 800	5.327 800	4.043 000	6.007 600
0.271 366	0.000 000	0.159 438	0.000 000	0.103 031	0.000 000
2.713 300	0.000 000	5.612 400	0.000 000	1.797 500	0.000 000
0.575 600	0.243 800	0.601 500	0.245 200	0.628 200	0.247 200
2.471 900	5.724 700	4.068 000	1.074 900	5.666 800	2.685 700
du 8 novembre 0h au 12 novembre 0h		du 12 novembre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 20 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.630 300	-0.613 100	3.258 800	-0.519 700	0.012 800	-0.558 500
0.411 190	0.013 260	-0.997 880	-0.017 790	0.565 050	0.020 680
134.016 900	52.826 200	134.606 700	52.553 900	136.867 300	52.171 700
5.657 319	2.633 149	0.134 894	3.415 575	0.932 315	4.196 603
1.090 440	0.180 790	1.490 770	0.213 300	1.644 910	0.167 920
5.191 900	0.583 300	2.382 900	1.391 500	5.450 500	2.292 300
0.199 060	0.000 000	0.440 343	0.000 000	0.257 068	0.000 000
3.054 000	0.000 000	5.936 400	0.000 000	2.586 200	0.000 000
0.638 400	0.245 700	0.697 600	0.250 300	0.666 300	0.247 200
1.013 900	4.322 900	2.659 200	5.941 900	4.344 800	1.300 300
du 20 novembre 0h au 24 novembre 0h		du 24 novembre 0h au 28 novembre 0h		du 28 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
1.646 400	-0.517 800	1.284 200	-0.471 300	-0.029 500	-0.446 200
-0.206 490	0.014 230	-0.152 140	0.004 820	0.501 350	0.015 170
135.928 900	51.896 700	136.947 100	51.654 600	137.817 700	51.414 800
1.711 222	4.978 230	2.488 674	5.760 073	3.260 698	0.259 315
0.959 810	0.165 270	0.571 230	0.156 870	0.525 020	0.155 620
1.027 900	3.067 700	1.886 400	3.790 600	5.698 000	4.601 400
0.109 205	0.000 000	0.077 258	0.000 000	0.230 872	0.000 000
4.989 500	0.000 000	0.361 200	0.000 000	2.909 200	0.000 000
0.654 300	0.246 000	0.646 300	0.245 500	0.634 100	0.245 100
5.973 500	2.928 100	1.287 100	4.544 600	2.911 400	6.182 500

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

EUROPE 2005

N = 1.7693 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 2 décembre 0h au 6 décembre 0h		du 6 décembre 0h au 10 décembre 0h		du 10 décembre 0h au 14 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
2.398 900	-0.380 100	-0.519 600	-0.382 300	1.242 000	-0.297 000
-0.809 170	0.000 980	0.590 970	0.019 810	-0.234 800	-0.006 370
140.295 400	51.180 700	138.699 200	51.005 300	141.150 100	50.834 700
4.054 516	1.042 104	4.832 404	1.824 522	5.605 422	2.609 315
1.976 600	0.144 240	1.455 380	0.137 450	0.207 170	0.158 740
2.458 800	5.426 600	4.881 500	6.114 700	1.847 100	0.750 300
0.340 870	0.000 000	0.275 283	0.000 000	0.154 409	0.000 000
5.970 500	0.000 000	2.595 600	0.000 000	5.004 300	0.000 000
0.655 600	0.245 400	0.704 800	0.248 500	0.726 200	0.249 600
4.446 600	1.501 600	6.099 000	3.136 900	1.466 500	4.769 400
du 14 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 22 décembre 0h		du 22 décembre 0h au 26 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
1.215 500	-0.277 700	-1.388 200	-0.296 900	1.639 200	-0.180 900
-0.402 400	0.004 920	0.873 590	0.038 130	-0.685 530	-0.000 340
142.252 200	50.662 900	145.056 300	50.464 300	143.419 700	50.428 000
0.103 780	3.392 460	0.897 184	4.176 783	1.675 152	4.960 568
0.300 320	0.136 270	2.274 190	0.121 650	1.549 620	0.108 730
3.245 400	1.575 200	5.560 200	2.632 300	1.808 900	3.176 300
0.181 435	0.000 000	0.407 235	0.000 000	0.285 041	0.000 000
6.278 100	0.000 000	2.735 800	0.000 000	5.819 600	0.000 000
0.730 500	0.248 900	0.752 600	0.251 700	0.697 800	0.247 400
3.106 500	0.111 200	4.788 100	1.753 300	0.117 400	3.371 000
du 26 décembre 0h au 30 décembre 0h		du 30 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 7 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.567 800	-0.167 800	0.424 200	-0.113 100	0.828 900	-0.067 200
0.317 510	0.011 280	-0.159 310	0.004 090	-0.533 330	0.007 510
146.424 200	50.341 200	147.909 100	50.287 400	149.869 700	50.278 300
2.449 429	5.745 791	3.240 083	0.248 049	4.025 240	1.034 001
0.291 020	0.106 330	0.893 390	0.093 080	1.407 380	0.090 230
5.709 500	4.092 900	2.045 500	4.962 000	2.773 700	5.811 600
0.155 409	0.000 000	0.096 197	0.000 000	0.226 838	0.000 000
2.425 300	0.000 000	5.011 400	0.000 000	6.182 000	0.000 000
0.705 100	0.248 900	0.727 400	0.250 700	0.735 200	0.251 000
1.709 800	5.004 500	3.290 700	0.327 600	4.913 500	1.968 500

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

GANYMÈDE 2005**N = 0.8782 rad/jour****COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 9 janvier 0h		du 9 janvier 0h au 18 janvier 0h		du 18 janvier 0h au 27 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.443 500	0.111 900	.. -0.056 700	0.205 300	.. -0.552 800	0.231 400
.. 0.017 600	0.012 830	.. -0.065 610	-0.005 320	.. 0.034 500	-0.007 840
.. 244.934 800	111.013 500	.. 251.646 800	113.559 600	.. 258.668 200	116.436 400
.. 1.308 868	4.570 222	.. 2.917 815	6.180 397	.. 4.528 019	1.512 164
.. 0.799 490	0.325 530	.. 0.980 700	0.335 830	.. 0.855 140	0.349 590
.. 0.761 400	4.145 400	.. 2.451 500	5.953 400	.. 4.409 300	1.401 100
.. 0.010 202	0.000 000	.. 0.019 297	0.000 000	.. 0.006 123	0.000 000
.. 2.060 600	0.000 000	.. 5.162 700	0.000 000	.. 2.950 400	0.000 000
.. 0.174 700	0.082 000	.. 0.216 600	0.102 600	.. 0.253 400	0.110 800
.. 0.153 900	3.445 600	.. 3.236 000	0.255 000	.. 0.224 200	3.512 900
du 27 janvier 0h au 5 février 0h		du 5 février 0h au 14 février 0h		du 14 février 0h au 23 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.484 100	0.167 300	.. -0.558 400	0.189 400	.. 0.050 000	0.288 700
.. 0.000 790	0.009 050	.. 0.022 170	0.007 610	.. -0.094 470	-0.020 900
.. 266.165 300	119.491 100	.. 273.445 800	122.728 800	.. 280.500 400	125.993 100
.. 6.144 272	3.130 051	.. 1.481 115	4.752 502	.. 3.107 891	0.094 992
.. 0.810 720	0.367 320	.. 0.757 650	0.386 310	.. 0.814 780	0.407 290
.. 6.026 300	3.191 900	.. 1.555 500	4.938 800	.. 3.045 200	0.449 300
.. 0.009 332	0.000 000	.. 0.009 653	0.000 000	.. 0.034 255	0.000 000
.. 1.516 000	0.000 000	.. 2.921 700	0.000 000	.. 5.270 400	0.000 000
.. 0.265 800	0.114 500	.. 0.248 000	0.111 300	.. 0.248 500	0.120 500
.. 3.553 500	0.555 000	.. 0.498 600	3.801 500	.. 3.579 500	0.611 800
du 23 février 0h au 4 mars 0h		du 4 mars 0h au 13 mars 0h		du 13 mars 0h au 22 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.788 900	0.137 000	.. -0.477 600	0.112 600	.. -0.350 400	0.313 700
.. 0.093 830	0.005 420	.. 0.002 250	0.020 740	.. -0.035 870	-0.012 600
.. 286.295 000	129.381 500	.. 292.327 900	132.393 000	.. 296.395 500	135.155 800
.. 4.735 507	1.724 647	.. 0.085 336	3.357 903	.. 1.721 885	4.993 234
.. 0.976 040	0.387 330	.. 0.663 060	0.391 610	.. 0.755 150	0.368 110
.. 5.208 100	2.241 400	.. 0.757 900	4.008 000	.. 2.554 700	5.859 900
.. 0.025 320	0.000 000	.. 0.013 230	0.000 000	.. 0.019 273	0.000 000
.. 2.080 500	0.000 000	.. 2.125 600	0.000 000	.. 4.689 800	0.000 000
.. 0.290 400	0.136 700	.. 0.352 400	0.156 500	.. 0.379 200	0.165 800
.. 0.463 700	3.768 500	.. 3.777 700	0.759 900	.. 0.863 600	4.162 800
du 22 mars 0h au 31 mars 0h		du 31 mars 0h au 9 avril 0h		du 9 avril 0h au 18 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.693 300	0.281 000	.. -0.370 100	0.133 700	.. -0.523 700	0.249 300
.. 0.029 620	-0.008 580	.. -0.031 720	0.021 360	.. 0.011 340	-0.001 430
.. 299.471 400	137.313 600	.. 301.010 800	138.810 500	.. 300.587 200	139.478 100
.. 3.360 081	0.348 306	.. 5.000 751	1.986 607	.. 0.359 167	3.626 042
.. 0.746 990	0.332 690	.. 0.688 000	0.312 840	.. 0.673 940	0.276 320
.. 4.657 000	1.407 500	.. 0.327 500	3.352 100	.. 2.124 900	5.287 500
.. 0.005 681	0.000 000	.. 0.005 251	0.000 000	.. 0.010 926	0.000 000
.. 0.921 100	0.000 000	.. 1.117 900	0.000 000	.. 3.604 600	0.000 000
.. 0.375 900	0.170 800	.. 0.366 500	0.170 900	.. 0.369 300	0.172 800
.. 4.180 700	1.188 800	.. 1.148 700	4.401 900	.. 4.334 400	1.269 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

GANYMÈDE 2005

N = 0.8782 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 18 avril 0h au 27 avril 0h		du 27 avril 0h au 6 mai 0h		du 6 mai 0h au 15 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.452 200	0.306 000	-0.983 000	0.123 700	-0.284 700	0.219 900
0.003 150	-0.021 830	0.088 420	0.022 640	-0.077 970	0.016 380
298.624 000	139.252 700	294.788 200	138.371 400	290.796 700	136.544 300
1.999 672	5.263 378	3.636 818	0.616 534	5.272 989	2.249 559
0.644 430	0.282 380	0.887 980	0.290 470	0.873 360	0.304 330
4.064 000	0.971 500	5.645 800	3.024 200	1.599 000	4.885 300
0.010 139	0.000 000	0.033 851	0.000 000	0.011 340	0.000 000
4.824 900	0.000 000	1.882 200	0.000 000	5.226 100	0.000 000
0.403 800	0.184 900	0.442 500	0.198 900	0.438 700	0.203 800
1.286 400	4.568 500	4.609 700	1.640 000	1.695 700	4.963 300
du 15 mai 0h au 24 mai 0h		du 24 mai 0h au 2 juin 0h		du 2 juin 0h au 11 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.355 600	0.380 800	-0.885 800	0.259 100	-0.638 700	0.178 600
-0.054 340	-0.018 370	0.072 030	-0.003 530	0.021 070	0.013 260
284.541 200	134.246 800	278.751 500	131.406 000	271.706 800	128.336 300
0.622 387	3.879 321	2.250 336	5.505 635	3.875 216	0.844 201
0.727 910	0.335 500	0.925 130	0.352 020	0.740 940	0.383 780
3.109 900	0.483 200	5.155 000	2.307 200	0.625 700	4.071 000
0.023 440	0.000 000	0.016 607	0.000 000	0.012 115	0.000 000
5.028 300	0.000 000	1.917 800	0.000 000	2.141 100	0.000 000
0.385 200	0.184 100	0.359 000	0.171 000	0.370 300	0.172 800
5.010 300	1.931 900	1.939 500	5.162 000	5.134 900	2.122 700
du 11 juin 0h au 20 juin 0h		du 20 juin 0h au 29 juin 0h		du 29 juin 0h au 8 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.567 400	0.257 100	-0.670 600	0.305 300	-0.689 600	0.271 300
-0.003 800	0.002 800	0.007 860	-0.002 850	-0.009 390	0.008 390
264.882 900	124.985 500	257.996 600	121.609 900	251.322 400	118.273 100
5.495 304	2.462 492	0.827 699	4.076 515	2.438 532	5.687 411
0.774 950	0.388 810	0.774 190	0.400 230	0.756 990	0.415 670
2.500 300	5.830 500	4.313 900	1.266 800	5.932 200	2.987 100
0.004 468	0.000 000	0.002 572	0.000 000	0.011 691	0.000 000
3.941 200	0.000 000	4.045 400	0.000 000	0.963 400	0.000 000
0.389 800	0.185 600	0.397 600	0.185 100	0.379 500	0.172 200
2.110 400	5.369 700	5.426 100	2.382 000	2.450 400	5.672 600
du 8 juillet 0h au 17 juillet 0h		du 17 juillet 0h au 26 juillet 0h		du 26 juillet 0h au 4 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.525 700	0.310 200	-0.689 700	0.304 800	-0.821 100	0.268 000
-0.028 830	-0.000 380	0.014 840	-0.002 860	0.040 020	0.001 480
245.230 900	114.945 500	239.110 500	111.770 000	234.045 100	108.717 900
4.046 541	1.011 255	5.650 509	2.615 337	0.968 173	4.216 890
0.882 340	0.411 420	0.758 430	0.412 220	0.912 830	0.412 190
1.475 100	4.675 700	3.201 600	0.069 700	4.863 700	1.745 600
0.007 804	0.000 000	0.004 762	0.000 000	0.011 697	0.000 000
4.739 300	0.000 000	3.704 000	0.000 000	1.636 200	0.000 000
0.338 600	0.157 000	0.313 600	0.149 100	0.322 000	0.152 000
5.722 400	2.669 000	2.601 200	5.854 300	5.768 300	2.762 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

GANYMÈDE 2005

N = 0.8782 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 4 août 0h au 13 août 0h		du 13 août 0h au 22 août 0h		du 22 août 0h au 31 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.535 000	0.279 200	-0.676 200	0.335 600	-1.025 000	0.334 300
-0.035 830	0.006 050	-0.013 460	0.000 260	0.060 320	0.000 450
228.934 500	105.859 800	224.788 300	103.119 000	220.975 600	100.546 400
2.566 616	5.815 881	4.161 634	1.129 658	5.756 274	2.724 608
0.777 040	0.411 820	0.816 620	0.404 270	0.829 450	0.392 980
0.381 200	3.397 700	1.983 500	5.056 800	3.864 900	0.410 100
0.004 855	0.000 000	0.004 833	0.000 000	0.011 886	0.000 000
6.123 400	0.000 000	4.301 800	0.000 000	2.294 300	0.000 000
0.333 200	0.151 500	0.331 400	0.149 700	0.303 400	0.136 800
2.740 500	5.998 900	6.067 200	3.031 600	3.092 600	0.038 200
du 31 août 0h au 9 septembre 0h		du 9 septembre 0h au 18 septembre 0h		du 18 septembre 0h au 27 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.442 500	0.330 300	-0.670 100	0.302 000	-0.708 900	0.300 300
-0.060 740	-0.004 680	-0.002 380	-0.000 300	0.004 050	0.000 330
217.740 100	98.192 600	215.576 400	95.937 300	213.618 500	93.839 100
1.062 864	4.318 540	2.653 512	5.911 140	4.242 016	1.219 581
0.630 180	0.395 360	0.813 350	0.384 470	0.763 880	0.372 290
5.379 300	2.038 400	0.768 100	3.679 800	2.473 500	5.308 100
0.018 530	0.000 000	0.003 736	0.000 000	0.003 291	0.000 000
5.896 400	0.000 000	3.209 900	0.000 000	2.980 300	0.000 000
0.273 200	0.126 300	0.260 500	0.117 900	0.276 000	0.120 400
0.033 200	3.253 000	3.154 700	0.130 500	0.040 000	3.310 100
du 27 septembre 0h au 6 octobre 0h		du 6 octobre 0h au 15 octobre 0h		du 15 octobre 0h au 24 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.800 500	0.310 800	-0.645 100	0.332 900	-0.811 800	0.321 300
0.007 950	0.001 710	-0.024 380	-0.000 860	0.023 960	-0.002 190
212.457 500	91.892 600	211.638 900	90.118 200	211.739 000	88.439 400
5.830 413	2.810 678	1.133 699	4.401 258	2.720 166	5.992 060
0.846 760	0.362 140	0.750 880	0.351 720	0.787 590	0.337 850
4.131 100	0.649 500	5.864 200	2.252 100	1.135 800	3.884 500
0.004 714	0.000 000	0.006 890	0.000 000	0.006 790	0.000 000
0.781 100	0.000 000	5.575 600	0.000 000	2.705 700	0.000 000
0.288 300	0.120 000	0.280 100	0.117 100	0.249 800	0.105 000
3.320 500	0.312 200	0.334 800	3.599 500	3.604 500	0.577 200
du 24 octobre 0h au 2 novembre 0h		du 2 novembre 0h au 11 novembre 0h		du 11 novembre 0h au 20 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.769 700	0.306 700	-0.414 100	0.276 500	-0.695 500	0.250 600
0.021 200	-0.006 290	-0.047 490	-0.003 290	0.004 180	0.005 970
212.100 200	86.893 100	213.403 100	85.530 100	215.198 300	84.261 900
4.307 222	1.299 667	5.892 403	2.890 957	1.197 504	4.482 916
0.815 470	0.319 050	0.703 000	0.307 890	0.837 600	0.285 210
2.935 500	5.511 700	4.442 900	0.832 200	6.166 500	2.466 400
0.003 989	0.000 000	0.014 730	0.000 000	0.003 825	0.000 000
1.700 400	0.000 000	5.384 000	0.000 000	1.854 100	0.000 000
0.220 900	0.092 200	0.218 400	0.088 000	0.234 700	0.091 600
0.471 200	3.742 200	3.594 100	0.633 400	0.522 700	3.827 600

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

GANYMÈDE 2005

N = 0.8782 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 20 novembre 0h au 29 novembre 0h		du 29 novembre 0h au 8 décembre 0h		du 8 décembre 0h au 17 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.685 000	0.285 900	.. -0.446 900	0.328 700	.. -0.781 500	0.249 600
.. -0.002 810	0.000 560	.. -0.051 650	-0.012 880	.. 0.050 500	-0.003 940
.. 217.518 400	83.164 900	.. 220.757 200	82.178 200	.. 224.049 200	81.445 100
.. 2.785 303	6.075 809	.. 4.374 130	1.387 074	.. 5.964 587	2.982 463
.. 0.844 000	0.266 190	.. 0.918 080	0.243 310	.. 0.932 400	0.218 900
.. 1.580 000	4.091 700	.. 3.102 200	5.769 900	.. 4.991 400	1.095 800
.. 0.001 835	0.000 000	.. 0.017 331	0.000 000	.. 0.009 014	0.000 000
.. 2.973 400	0.000 000	.. 5.487 000	0.000 000	.. 2.884 600	0.000 000
.. 0.244 900	0.093 900	.. 0.233 300	0.083 400	.. 0.203 400	0.072 400
.. 3.827 600	0.828 900	.. 0.875 600	4.133 300	.. 4.117 700	1.109 900
du 17 décembre 0h au 26 décembre 0h		du 26 décembre 0h au 4 janvier 0h		du 4 janvier 0h au 13 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.744 600	0.186 200	.. -0.470 100	0.220 000	.. -0.379 100	0.273 900
.. 0.041 610	0.006 690	.. -0.019 420	0.000 550	.. -0.043 080	-0.010 020
.. 228.569 800	80.836 800	.. 233.125 700	80.452 500	.. 238.885 400	80.306 400
.. 1.272 223	4.580 380	.. 2.866 144	6.179 540	.. 4.461 367	1.498 709
.. 0.856 590	0.198 520	.. 0.931 570	0.169 780	.. 0.839 810	0.155 620
.. 0.195 800	2.816 400	.. 2.024 500	4.536 600	.. 3.568 600	0.061 400
.. 0.013 048	0.000 000	.. 0.003 426	0.000 000	.. 0.014 682	0.000 000
.. 1.950 800	0.000 000	.. 5.210 800	0.000 000	.. 5.070 500	0.000 000
.. 0.173 300	0.064 400	.. 0.190 500	0.066 500	.. 0.210 400	0.066 200
.. 0.895 900	4.212 400	.. 3.978 300	1.004 500	.. 0.960 300	4.301 300

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CALLISTO 2005

N = 0.3765 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 10 janvier 0h		du 10 janvier 0h au 20 janvier 0h		du 20 janvier 0h au 30 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.778 200	0.320 000	.. 1.570 200	-0.929 100	.. -2.668 200	0.946 100
.. -0.239 560	0.075 450	.. -0.753 860	0.336 880	.. 0.268 080	-0.121 890
.. 432.022 100	193.291 400	.. 446.638 900	199.022 000	.. 459.808 100	204.033 900
.. 0.316 230	3.579 064	.. 4.078 090	1.059 721	.. 1.544 214	4.812 331
.. 1.300 090	0.483 550	.. 1.954 190	0.760 780	.. 1.603 120	0.654 160
.. 6.136 600	3.129 100	.. 3.512 900	0.477 100	.. 1.240 600	4.548 300
.. 2.174 300	0.967 900	.. 1.914 300	0.855 800	.. 2.363 400	1.040 300
.. 3.977 000	0.965 000	.. 5.261 100	2.255 400	.. 0.205 800	3.477 700
du 30 janvier 0h au 9 février 0h		du 9 février 0h au 19 février 0h		du 19 février 0h au 1 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -6.109 000	2.230 500	.. -1.878 900	0.669 400	.. 0.058 500	-0.150 900
.. 0.778 710	-0.300 260	.. -0.126 430	0.021 740	.. -0.396 080	0.164 870
.. 468.743 800	207.911 800	.. 486.570 300	215.770 700	.. 501.020 700	222.543 000
.. 5.302 634	2.291 056	.. 2.784 273	6.056 745	.. 0.268 006	3.542 207
.. 2.012 550	0.884 770	.. 1.499 950	0.697 000	.. 1.186 590	0.610 490
.. 5.534 000	2.510 500	.. 3.069 100	0.051 200	.. 1.009 600	4.170 500
.. 2.280 800	1.012 400	.. 2.404 900	1.064 600	.. 2.720 300	1.203 200
.. 1.369 100	4.645 600	.. 2.751 800	6.027 100	.. 3.912 300	0.898 600
du 1 mars 0h au 11 mars 0h		du 11 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 31 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.058 600	-0.316 400	.. -2.142 300	0.700 000	.. -5.000 300	1.726 600
.. -0.506 000	0.233 190	.. 0.138 830	-0.055 590	.. 0.748 370	-0.302 620
.. 513.008 100	229.099 100	.. 521.319 200	234.030 000	.. 523.509 900	236.729 100
.. 4.054 392	1.045 249	.. 1.548 851	4.822 430	.. 5.331 251	2.321 152
.. 1.246 410	0.652 370	.. 1.185 240	0.615 800	.. 1.807 870	0.834 320
.. 4.463 700	1.348 500	.. 2.426 100	5.500 100	.. 0.231 700	3.299 400
.. 2.332 600	1.046 300	.. 2.868 000	1.281 900	.. 2.613 100	1.184 700
.. 5.244 600	2.236 200	.. 0.216 000	3.483 800	.. 1.442 700	4.715 800
du 31 mars 0h au 10 avril 0h		du 10 avril 0h au 20 avril 0h		du 20 avril 0h au 30 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.642 000	1.626 400	.. 1.090 700	-0.786 100	.. 0.452 000	-0.486 500
.. 0.147 230	-0.118 600	.. -0.579 250	0.269 600	.. -0.307 740	0.142 570
.. 530.335 900	241.332 700	.. 530.610 000	242.774 200	.. 527.246 100	242.803 600
.. 2.831 813	6.101 846	.. 0.333 717	3.602 083	.. 4.128 886	1.111 153
.. 1.479 450	0.625 150	.. 1.644 330	0.651 230	.. 1.109 890	0.398 420
.. 4.532 800	1.327 200	.. 2.483 900	5.593 800	.. 0.250 300	3.461 700
.. 2.706 300	1.224 900	.. 2.893 700	1.324 600	.. 2.412 200	1.107 100
.. 2.818 000	6.084 300	.. 4.031 800	1.012 500	.. 5.346 100	2.328 200

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CALLISTO 2005

N = 0.3765 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 30 avril 0h au 10 mai 0h		du 10 mai 0h au 20 mai 0h		du 20 mai 0h au 30 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -2.261 600	0.646 200	.. -1.787 300	0.497 200	.. -4.263 700	1.881 500
.. 0.155 510	-0.037 580	.. 0.213 860	-0.093 770	.. 0.500 320	-0.261 150
.. 518.570 500	239.703 500	.. 507.025 900	235.295 300	.. 497.865 300	231.487 600
.. 1.627 864	4.890 314	.. 5.407 060	2.383 952	.. 2.894 576	6.151 082
.. 1.211 860	0.475 480	.. 1.345 780	0.548 250	.. 1.783 490	0.811 710
.. 4.165 200	1.110 200	.. 1.687 300	4.978 700	.. 5.771 200	2.774 400
.. 2.801 100	1.290 700	.. 2.421 500	1.124 400	.. 2.417 500	1.117 400
.. 0.350 800	3.609 900	.. 1.551 400	4.813 000	.. 2.920 500	6.178 500
du 30 mai 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 19 juin 0h		du 19 juin 0h au 29 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 0.027 500	-0.211 000	.. 2.270 200	-1.293 400	.. -2.317 900	0.648 600
.. -0.366 690	0.158 000	.. -0.530 210	0.257 280	.. 0.241 170	-0.072 280
.. 484.249 400	225.338 000	.. 472.539 600	220.099 200	.. 457.319 700	212.508 200
.. 0.384 494	3.639 637	.. 4.158 960	1.128 389	.. 1.632 244	4.883 103
.. 1.695 370	0.770 880	.. 1.611 560	0.794 460	.. 1.473 580	0.713 220
.. 3.469 600	0.481 100	.. 1.449 900	4.721 700	.. 5.205 000	2.138 300
.. 2.440 100	1.135 600	.. 2.040 200	0.943 900	.. 2.278 400	1.052 600
.. 4.087 000	1.059 900	.. 5.366 200	2.342 000	.. 0.335 500	3.589 500
du 29 juin 0h au 9 juillet 0h		du 9 juillet 0h au 19 juillet 0h		du 19 juillet 0h au 29 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -1.899 200	0.715 700	.. -3.125 200	1.342 800	.. -0.383 700	0.000 700
.. 0.142 640	-0.080 520	.. 0.355 510	-0.180 640	.. -0.261 180	0.108 430
.. 442.308 200	205.223 000	.. 432.273 200	199.937 800	.. 420.141 900	193.409 500
.. 5.386 905	2.354 251	.. 2.849 245	6.098 298	.. 0.313 636	3.563 660
.. 1.276 740	0.641 220	.. 1.626 670	0.828 750	.. 1.533 980	0.774 340
.. 2.717 400	5.933 500	.. 0.166 200	3.340 700	.. 4.072 800	0.949 000
.. 1.996 100	0.925 500	.. 1.965 800	0.902 400	.. 1.994 400	0.918 100
.. 1.490 000	4.744 900	.. 2.839 700	6.095 700	.. 3.951 100	0.924 200
du 29 juillet 0h au 8 août 0h		du 8 août 0h au 18 août 0h		du 18 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 1.830 400	-0.993 700	.. -2.601 200	0.739 700	.. -2.698 800	1.093 800
.. -0.520 770	0.241 420	.. 0.263 080	-0.075 360	.. 0.191 070	-0.104 520
.. 411.447 300	188.482 900	.. 401.375 400	182.233 200	.. 391.128 800	176.137 300
.. 4.065 535	1.032 229	.. 1.517 032	4.767 547	.. 5.252 183	2.222 010
.. 1.769 380	0.874 950	.. 1.568 620	0.749 480	.. 1.261 510	0.620 000
.. 1.931 700	5.027 000	.. 5.691 300	2.443 000	.. 3.280 400	6.243 500
.. 1.686 200	0.766 100	.. 1.902 300	0.856 000	.. 1.693 200	0.761 100
.. 5.217 700	2.198 300	.. 0.144 600	3.404 700	.. 1.282 800	4.548 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CALLISTO 2005

N = 0.3765 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 28 août 0h au 7 septembre 0h		du 7 septembre 0h au 17 septembre 0h		du 17 septembre 0h au 27 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -2.650 600	.. 1.095 000	.. -0.541 800	.. 0.113 400	.. 0.732 100	.. -0.453 700
.. 0.185 680	.. -0.094 600	.. -0.278 060	.. 0.102 600	.. -0.415 230	.. 0.184 510
.. 386.917 200	.. 172.416 400	.. 381.463 900	.. 167.740 700	.. 378.405 600	.. 164.166 100
.. 2.698 947	.. 5.952 804	.. 0.146 142	.. 3.403 570	.. 3.886 029	.. 0.862 300
.. 1.440 810	.. 0.728 010	.. 1.404 580	.. 0.695 700	.. 1.755 160	.. 0.787 050
.. 0.605 800	.. 3.552 500	.. 4.409 800	.. 1.060 900	.. 2.168 200	.. 5.067 700
.. 1.701 600	.. 0.748 800	.. 1.760 800	.. 0.772 600	.. 1.517 400	.. 0.649 600
.. 2.610 300	.. 5.877 200	.. 3.701 000	.. 0.689 900	.. 4.961 400	.. 1.960 700
du 27 septembre 0h au 7 octobre 0h		du 7 octobre 0h au 17 octobre 0h		du 17 octobre 0h au 27 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.466 700	.. 1.025 100	.. -3.293 700	.. 1.295 200	.. -2.688 100	.. 0.955 600
.. 0.318 680	.. -0.095 180	.. 0.175 350	.. -0.094 540	.. 0.071 640	.. -0.029 580
.. 375.760 700	.. 160.043 300	.. 371.760 100	.. 155.515 800	.. 373.731 000	.. 153.140 200
.. 1.328 435	.. 4.590 268	.. 5.053 656	.. 2.037 249	.. 2.495 578	.. 5.765 436
.. 1.658 210	.. 0.694 600	.. 1.361 470	.. 0.543 710	.. 1.410 220	.. 0.587 020
.. 5.951 800	.. 2.499 500	.. 3.600 700	.. 0.008 100	.. 0.936 000	.. 3.593 200
.. 1.757 600	.. 0.737 800	.. 1.575 900	.. 0.657 100	.. 1.633 100	.. 0.658 100
.. 6.154 700	.. 3.147 400	.. 1.005 300	.. 4.296 200	.. 2.323 100	.. 5.612 400
du 27 octobre 0h au 6 novembre 0h		du 6 novembre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 26 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.905 800	.. 0.329 500	.. -0.412 900	.. -0.012 600	.. -4.659 000	.. 1.364 300
.. -0.309 290	.. 0.089 560	.. -0.314 520	.. 0.136 400	.. 0.403 970	.. -0.127 780
.. 375.469 600	.. 150.244 400	.. 378.173 400	.. 147.866 500	.. 382.756 500	.. 145.575 300
.. 6.219 654	.. 3.212 074	.. 3.673 188	.. 0.669 559	.. 1.117 284	.. 4.400 679
.. 1.366 980	.. 0.566 980	.. 1.773 950	.. 0.625 390	.. 1.817 800	.. 0.571 340
.. 4.662 200	.. 1.029 000	.. 2.338 200	.. 5.025 100	.. 6.138 200	.. 2.509 900
.. 1.719 100	.. 0.683 100	.. 1.521 100	.. 0.584 300	.. 1.801 600	.. 0.672 300
.. 3.409 500	.. 0.425 700	.. 4.672 800	.. 1.699 500	.. 5.865 700	.. 2.882 000
du 26 novembre 0h au 6 décembre 0h		du 6 décembre 0h au 16 décembre 0h		du 16 décembre 0h au 26 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.846 300	.. 1.350 700	.. -2.871 200	.. 0.837 500	.. -1.571 500	.. 0.553 300
.. 0.113 640	.. -0.060 850	.. -0.026 560	.. 0.011 700	.. -0.316 810	.. 0.079 960
.. 385.354 700	.. 142.639 700	.. 393.326 400	.. 141.504 000	.. 402.483 400	.. 140.536 000
.. 4.841 818	.. 1.848 921	.. 2.287 857	.. 5.583 358	.. 6.016 269	.. 3.035 671
.. 1.567 490	.. 0.407 900	.. 1.520 640	.. 0.387 770	.. 1.399 840	.. 0.360 980
.. 3.825 900	.. 0.047 700	.. 1.247 900	.. 3.687 100	.. 4.958 900	.. 1.075 200
.. 1.629 600	.. 0.600 700	.. 1.736 700	.. 0.614 500	.. 1.860 000	.. 0.641 500
.. 0.717 000	.. 4.038 800	.. 2.037 600	.. 5.357 300	.. 3.127 300	.. 0.170 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CALLISTO 2005**N = 0.3765 rad/jour****COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 26 décembre 0h au 5 janvier 0h		du 5 janvier 0h au 15 janvier 0h		du 15 janvier 0h au 25 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -1.276 100	.. 0.167 500	.. -6.044 500	.. 1.764 100	.. -4.756 500	.. 1.333 500
.. -0.300 460	.. 0.123 890	.. 0.518 850	.. -0.174 130	.. 0.072 730	.. -0.018 350
.. 411.269 700	.. 139.783 900	.. 422.916 300	.. 139.758 400	.. 432.093 800	.. 139.178 400
.. 3.476 160	.. 0.501 492	.. 0.931 339	.. 4.244 968	.. 4.665 852	.. 1.703 709
.. 1.866 900	.. 0.416 090	.. 1.989 200	.. 0.408 080	.. 1.788 600	.. 0.281 060
.. 2.566 000	.. 5.218 700	.. 0.082 600	.. 2.836 100	.. 4.128 600	.. 0.756 900
.. 1.686 000	.. 0.565 500	.. 2.030 200	.. 0.657 500	.. 1.868 200	.. 0.600 100
.. 4.401 800	.. 1.455 700	.. 5.605 800	.. 2.650 000	.. 0.473 300	.. 3.816 000

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

PHÉNOMÈNES DES SATELLITES GALILÉENS DE JUPITER

IO	B106
EUROPE	B106
GANYMÈDE	B107
CALLISTO	B107

Calcul de la date d'un phénomène proche d'une date t donnée :

$$t_1 = kP + \tau/24 + t_0$$

avec : $k =$ partie entière de $(t - t_0)/P$

$$\tau = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n$$

$$x = 2(t - t_0)/DT - 1$$

On réitère le calcul en remplaçant t par t_1 .

PHÉNOMÈNES DES SATELLITES GALILÉENS DE JUPITER 2005

IO

P = 1.769 860 5 jour $t_0 = 0$ DT = 366 jours

25.395 966	27.594 154	4.128 924	6.296 013
0.386 628	0.350 782	0.112 065	0.081 240
0.023 798	0.005 137	0.120 148	0.193 546
-0.691 917	-0.682 439	-0.423 556	-0.385 252
0.005 854	0.015 435	-0.021 595	-0.081 600
0.215 752	0.213 450	0.163 951	0.132 556
<hr/>			
24.100 542	26.323 277	2.872 015	5.057 169
0.343 967	0.362 492	0.062 296	0.080 388
5.569 468	5.409 305	5.417 002	5.439 767
-3.096 018	-3.108 939	-2.769 939	-2.732 997
-4.113 237	-3.929 640	-3.717 186	-3.835 732
4.400 060	4.326 474	4.282 137	4.166 277
0.988 669	0.916 803	0.770 940	0.851 255
-1.839 844	-1.792 390	-1.819 449	-1.773 555

EUROPE

P = 3.554 094 2 jours $t_0 = 0$ DT = 366 jours

73.546 355	76.179 256	31.013 435	33.661 140
-0.526 663	-0.581 302	0.733 373	0.631 688
0.268 290	0.329 436	-0.174 920	-0.174 966
0.127 656	0.108 805	-1.281 330	-1.194 497
-0.096 200	-0.117 814	0.107 932	0.073 723
0.007 856	0.014 058	0.401 323	0.349 339
<hr/>			
71.001 783	73.692 707	28.401 526	31.105 485
-0.663 472	-0.586 688	0.642 262	0.698 788
11.058 069	10.789 984	11.067 147	10.797 533
-4.489 486	-4.482 452	-6.186 699	-6.192 709
-7.751 759	-7.400 457	-8.421 485	-8.248 185
8.116 951	7.814 784	9.008 193	8.783 112
1.713 603	1.568 239	2.114 357	2.087 064
-3.552 430	-3.382 117	-3.815 592	-3.692 834

$t_0 = 0$ correspond au 0 janvier 2005 à 0h (DJ=2 453 370.5)

PHÉNOMÈNES DES SATELLITES GALILÉENS DE JUPITER 2005

GANYMÈDE

P = 7.166 387 2 jours

 $t_0 = 0$

DT = 366 jours

128.883 735	131.312 036	42.693 590	45.094 832
0.031 382	-0.399 799	-0.125 600	-0.565 906
0.033 360	0.057 904	0.097 967	0.157 672
-0.646 835	-0.623 504	-0.493 941	-0.431 503
-0.008 422	-0.007 954	0.003 126	-0.043 744
0.215 104	0.212 847	0.174 349	0.144 457
<hr/>			
123.572 026	126.338 071	37.424 349	40.150 344
-0.193 950	0.027 161	-0.385 344	-0.163 448
21.954 199	20.226 772	21.513 348	20.027 952
-13.120 869	-12.332 539	-12.637 177	-11.870 539
-10.338 760	-9.184 865	-7.735 717	-7.387 520
27.572 744	23.692 682	26.536 009	22.833 420
-11.879 829	-9.898 896	-18.270 334	-15.143 869
-20.983 510	-17.189 248	-19.679 485	-16.179 982
15.602 777	12.354 930	22.578 148	18.521 406
5.910 375	4.659 278	5.317 198	4.204 510
-5.343 341	-4.048 284	-8.072 006	-6.543 610

 $t_0 = 0$ correspond au 0 janvier 2005 à 0h (DJ=2453370.5)**CALLISTO**

Callisto ne présente pas de phénomènes en 2005

SATELLITES DE SATURNE

Coordonnées différentielles tangentielles (X, Y)

MIMAS.....	II. 110
ENCELADE.....	II. 118
TÉTHYS.....	II. 120
DIONÉ.....	II. 122
RHÉA.....	II. 124
TITAN.....	II. 126
HYPÉRIION.....	II. 129
JAPET.....	II. 133

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$A0 + A1 u + B0 \sin(Nu + F0) + B1 u \sin(Nu + F1) + B2 u^2 \sin(Nu + F2) + C0 \sin(2Nu + P0),$$

où : $u = t - t_0$ (compté en jours).

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 4 janvier 0h		du 4 janvier 0h au 8 janvier 0h		du 8 janvier 0h au 12 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.160 300	-0.345 900	0.229 300	-0.337 500	0.294 500	-0.329 000
0.017 100	0.002 090	0.016 300	0.002 120	0.016 780	0.003 390
31.442 500	12.646 700	31.498 900	12.772 500	31.542 100	12.890 200
3.096 854	1.716 449	4.638 283	3.257 185	6.179 944	4.798 546
0.050 500	0.038 720	0.054 940	0.036 350	0.050 000	0.031 270
4.306 200	2.217 300	5.959 800	3.881 900	1.418 800	5.402 800
0.000 946	0.000 749	0.001 185	0.000 552	0.000 490	0.000 527
5.672 500	5.110 400	2.219 100	1.507 300	6.052 000	5.993 500
0.309 300	0.126 100	0.310 400	0.126 700	0.312 500	0.127 100
2.848 100	1.466 200	5.862 900	4.470 800	2.587 300	1.197 600
du 12 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 20 janvier 0h		du 20 janvier 0h au 24 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.361 700	-0.315 600	0.422 400	-0.301 800	0.484 700	-0.284 300
0.015 290	0.003 390	0.015 390	0.004 390	0.013 570	0.004 530
31.557 200	12.994 600	31.549 900	13.091 900	31.524 900	13.180 100
1.438 399	0.056 627	2.979 722	1.597 765	4.520 534	3.138 954
0.044 120	0.032 680	0.042 710	0.032 200	0.049 140	0.029 860
2.986 400	0.647 000	4.548 000	2.312 900	6.163 200	3.967 200
0.001 072	0.000 898	0.001 542	0.000 755	0.002 052	0.000 584
3.590 900	2.754 300	5.737 100	5.290 700	2.075 900	1.134 500
0.313 000	0.128 100	0.311 100	0.129 800	0.308 900	0.131 000
5.589 200	4.211 300	2.310 700	0.937 900	5.321 400	3.941 300
du 24 janvier 0h au 28 janvier 0h		du 28 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 5 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.538 700	-0.266 200	0.595 000	-0.244 200	0.641 000	-0.221 700
0.014 090	0.005 500	0.011 450	0.005 550	0.011 670	0.006 220
31.491 000	13.258 400	31.426 200	13.321 300	31.339 800	13.374 300
6.061 329	4.680 336	1.318 851	6.221 550	2.858 847	1.479 252
0.049 200	0.024 820	0.038 220	0.023 690	0.037 050	0.022 760
1.734 600	5.575 400	3.409 300	0.811 000	4.924 400	2.505 700
0.001 273	0.000 158	0.001 296	0.000 654	0.001 911	0.000 570
5.173 000	5.418 800	3.276 000	2.698 300	5.919 300	5.304 700
0.308 400	0.131 200	0.309 200	0.130 900	0.309 000	0.131 100
2.050 300	0.659 500	5.056 700	3.666 900	1.774 100	0.396 500
du 5 février 0h au 9 février 0h		du 9 février 0h au 13 février 0h		du 13 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.687 900	-0.197 200	0.724 900	-0.171 200	0.762 800	-0.143 800
0.009 300	0.006 460	0.009 520	0.006 850	0.006 530	0.007 030
31.239 100	13.414 700	31.131 400	13.444 800	30.997 500	13.461 400
4.398 194	3.019 996	5.937 246	4.560 474	1.192 920	6.100 810
0.042 810	0.020 610	0.049 150	0.018 570	0.041 120	0.015 330
0.223 100	4.144 900	2.051 100	5.885 700	3.886 500	1.281 100
0.002 360	0.000 464	0.001 887	0.000 310	0.000 969	0.000 218
2.071 400	0.527 900	4.813 300	2.695 300	2.900 100	2.505 200
0.306 500	0.131 900	0.303 100	0.132 600	0.301 000	0.132 300
4.774 000	3.406 300	1.495 200	0.124 500	4.503 000	3.122 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 17 février 0h au 21 février 0h		du 21 février 0h au 25 février 0h		du 25 février 0h au 1 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.789 400	-0.115 500	0.816 000	-0.087 300	0.833 500	-0.057 200
0.006 720	0.007 140	0.004 380	0.007 460	0.004 050	0.007 200
30.844 700	13.465 300	30.683 600	13.455 900	30.515 600	13.437 400
2.730 820	1.357 526	4.268 030	2.897 056	5.804 699	4.435 982
0.038 070	0.014 240	0.042 880	0.012 810	0.049 910	0.015 310
5.404 200	2.991 700	0.698 500	4.646 500	2.375 400	0.106 500
0.001 838	0.000 313	0.001 991	0.000 550	0.001 914	0.000 719
6.071 400	4.681 500	2.186 200	6.002 000	4.531 000	2.315 900
0.300 700	0.131 400	0.300 200	0.130 700	0.297 500	0.130 700
1.224 900	6.126 300	4.222 600	2.852 100	0.933 300	5.859 100
du 1 mars 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 9 mars 0h		du 9 mars 0h au 13 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.849 600	-0.028 400	0.856 400	0.001 600	0.861 500	0.029 500
0.001 600	0.007 530	0.001 460	0.007 020	-0.000 310	0.007 380
30.332 800	13.409 700	30.135 900	13.367 600	29.935 200	13.313 900
1.057 835	5.974 830	2.593 222	1.230 080	4.127 924	2.767 911
0.050 280	0.015 400	0.047 220	0.013 880	0.051 510	0.013 460
4.188 300	2.063 200	5.782 200	3.825 000	1.084 300	5.427 300
0.000 465	0.000 234	0.001 158	0.000 443	0.001 183	0.000 790
1.754 900	5.575 100	6.159 800	3.533 000	2.424 800	5.743 700
0.293 400	0.130 800	0.290 300	0.130 200	0.289 100	0.128 900
3.930 800	2.575 600	0.651 000	5.570 900	3.653 100	2.285 500
du 13 mars 0h au 17 mars 0h		du 17 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 25 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.860 800	0.059 300	0.855 200	0.085 700	0.845 200	0.113 500
-0.001 300	0.006 610	-0.002 560	0.006 980	-0.003 350	0.006 030
29.727 100	13.253 100	29.518 000	13.187 200	29.300 900	13.107 100
5.661 917	4.305 015	0.912 185	5.842 039	2.444 964	1.095 560
0.053 340	0.017 180	0.059 150	0.022 060	0.060 190	0.020 730
2.678 100	0.618 900	4.330 400	2.443 600	5.979 700	4.219 400
0.001 364	0.000 997	0.000 887	0.000 562	0.000 091	0.000 628
4.115 200	2.105 100	0.232 100	5.239 400	1.196 400	3.141 900
0.288 100	0.127 400	0.285 800	0.126 600	0.281 900	0.126 300
0.364 600	5.288 300	3.353 700	2.009 100	0.061 800	5.007 600
du 25 mars 0h au 29 mars 0h		du 29 mars 0h au 2 avril 0h		du 2 avril 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.831 100	0.137 800	0.815 000	0.163 400	0.791 500	0.184 700
-0.004 210	0.006 370	-0.005 760	0.005 360	-0.005 700	0.005 590
29.081 300	13.018 300	28.856 600	12.924 800	28.642 300	12.828 400
3.977 063	2.631 489	5.508 377	4.166 783	0.755 843	5.701 908
0.062 550	0.019 960	0.059 220	0.022 670	0.064 530	0.028 460
1.301 500	5.739 900	2.891 900	0.899 400	4.388 100	2.546 900
0.000 237	0.000 887	0.000 987	0.001 001	0.001 521	0.000 692
3.273 800	5.765 700	3.147 800	2.003 300	5.930 600	4.900 200
0.278 300	0.125 700	0.276 000	0.124 200	0.274 900	0.122 200
3.058 900	1.716 800	6.057 200	4.708 500	2.766 800	1.422 500

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 6 avril 0h au 10 avril 0h		du 10 avril 0h au 14 avril 0h		du 14 avril 0h au 18 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.768 700	0.207 000	0.739 500	0.225 400	0.711 700	0.244 100
-0.007 250	0.004 530	-0.007 070	0.004 720	-0.008 940	0.003 750
28.426 400	12.720 600	28.205 900	12.606 500	27.985 800	12.489 600
2.286 202	0.953 627	3.815 886	2.487 725	5.344 767	4.021 361
0.071 740	0.028 180	0.071 280	0.027 060	0.065 290	0.029 260
6.042 800	4.278 500	1.400 400	5.786 400	2.985 400	1.002 000
0.001 082	0.000 542	0.000 793	0.000 750	0.001 393	0.000 702
2.696 800	2.838 600	5.588 900	5.839 800	2.488 600	2.007 000
0.273 400	0.121 000	0.270 400	0.120 500	0.266 500	0.119 800
5.753 000	4.423 400	2.455 200	1.138 100	5.445 400	4.129 000
du 18 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 26 avril 0h		du 26 avril 0h au 30 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.675 400	0.259 100	0.643 700	0.273 700	0.604 100	0.285 400
-0.007 950	0.003 670	-0.009 940	0.002 860	-0.008 980	0.002 730
27.782 400	12.370 000	27.583 100	12.244 200	27.377 300	12.113 900
0.589 807	5.554 666	2.118 055	0.804 603	3.645 696	2.337 099
0.067 260	0.032 870	0.078 770	0.034 030	0.076 290	0.033 330
4.408 100	2.562 300	6.029 400	4.216 600	1.417 700	5.751 400
0.001 945	0.000 597	0.001 714	0.000 268	0.001 376	0.000 377
5.545 500	4.507 100	2.515 600	2.162 000	5.740 100	5.799 800
0.263 600	0.118 300	0.262 600	0.116 400	0.262 100	0.114 800
2.156 600	0.834 100	5.148 500	3.826 200	1.850 300	0.540 800
du 30 avril 0h au 4 mai 0h		du 4 mai 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 12 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.568 000	0.296 000	0.524 400	0.304 300	0.486 300	0.310 600
-0.010 830	0.002 030	-0.009 530	0.001 600	-0.011 390	0.001 230
27.178 900	11.981 600	26.997 200	11.846 300	26.823 700	11.710 600
5.172 600	3.869 257	0.415 824	5.400 921	1.942 351	0.649 182
0.069 460	0.034 920	0.069 290	0.035 350	0.080 720	0.037 670
2.975 200	1.010 700	4.406 100	2.540 200	5.978 700	4.106 300
0.001 582	0.000 241	0.001 964	0.000 384	0.001 788	0.000 268
2.415 600	2.119 000	5.292 200	3.762 700	2.205 400	0.326 200
0.260 200	0.113 900	0.256 800	0.113 100	0.254 100	0.112 000
4.831 900	3.538 500	1.533 700	0.247 200	4.524 200	3.233 700
du 12 mai 0h au 16 mai 0h		du 16 mai 0h au 20 mai 0h		du 20 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.441 000	0.315 600	0.399 500	0.318 200	0.353 100	0.320 000
-0.010 200	0.000 720	-0.011 660	0.000 400	-0.010 620	-0.000 280
26.644 800	11.571 400	26.478 100	11.430 100	26.324 800	11.286 600
3.468 427	2.180 328	4.993 910	3.711 129	0.235 945	5.241 336
0.078 440	0.038 150	0.072 160	0.038 410	0.071 750	0.036 420
1.370 800	5.684 100	2.904 500	0.968 900	4.392 000	2.487 000
0.001 323	0.000 140	0.001 242	0.000 193	0.001 402	0.000 428
5.633 300	3.367 100	2.565 300	5.341 400	5.182 800	2.644 800
0.253 200	0.110 200	0.253 200	0.108 300	0.252 500	0.107 000
1.232 500	6.221 700	4.219 200	2.933 000	0.917 800	5.930 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 24 mai 0h au 28 mai 0h		du 28 mai 0h au 1 juin 0h		du 1 juin 0h au 5 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.310 600	0.318 800	0.263 700	0.317 900	0.218 900	0.313 600
-0.011 780	-0.000 220	-0.010 990	-0.001 050	-0.011 690	-0.000 990
26.182 600	11.147 100	26.040 300	11.005 300	25.910 000	10.860 900
1.761 180	0.488 091	3.286 233	2.018 082	4.810 914	3.547 628
0.078 280	0.039 120	0.078 220	0.040 960	0.074 070	0.039 470
5.924 900	3.977 900	1.280 400	5.590 700	2.818 900	0.889 800
0.001 433	0.000 522	0.000 807	0.000 513	0.000 524	0.000 476
1.785 700	5.881 900	5.056 400	2.861 400	2.911 500	5.557 900
0.250 400	0.106 200	0.248 100	0.105 300	0.246 900	0.103 800
3.899 500	2.640 800	0.603 400	5.627 000	3.595 500	2.329 500
du 5 juin 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 13 juin 0h		du 13 juin 0h au 17 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.172 900	0.309 700	0.127 500	0.302 500	0.082 000	0.296 600
-0.011 240	-0.001 770	-0.011 410	-0.001 450	-0.011 420	-0.002 390
25.789 000	10.716 400	25.680 900	10.577 800	25.581 100	10.438 600
0.052 310	5.076 558	1.576 717	0.322 007	3.101 258	1.850 898
0.073 950	0.036 720	0.073 140	0.039 020	0.075 680	0.041 710
4.370 200	2.397 600	5.890 000	3.852 100	1.173 900	5.475 500
0.000 441	0.000 590	0.000 881	0.000 672	0.000 862	0.000 665
5.351 500	2.253 400	1.101 200	5.492 500	3.691 800	2.597 400
0.247 100	0.101 900	0.247 600	0.100 400	0.246 800	0.099 500
0.302 900	5.321 000	3.286 900	2.034 100	6.267 600	5.028 200
du 17 juin 0h au 21 juin 0h		du 21 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 29 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.035 800	0.287 100	-0.007 900	0.278 700	-0.054 000	0.267 500
-0.011 140	-0.002 080	-0.011 370	-0.002 770	-0.010 630	-0.002 440
25.488 800	10.296 800	25.403 500	10.157 900	25.332 300	10.024 500
4.625 702	3.379 270	6.150 079	4.907 087	1.391 007	0.151 444
0.074 850	0.038 890	0.073 850	0.036 610	0.066 840	0.037 940
2.750 000	0.781 700	4.347 900	2.279 900	5.877 800	3.745 500
0.000 481	0.000 557	0.000 550	0.000 551	0.000 778	0.000 649
5.545 600	5.672 100	1.786 300	2.252 900	6.098 400	5.230 700
0.244 900	0.098 900	0.243 500	0.097 700	0.243 700	0.096 000
2.969 900	1.733 500	5.962 500	4.719 000	2.672 700	1.424 200
du 29 juin 0h au 3 juillet 0h		du 3 juillet 0h au 7 juillet 0h		du 7 juillet 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.096 400	0.257 700	-0.142 200	0.245 000	-0.182 700	0.233 300
-0.011 430	-0.003 210	-0.010 200	-0.002 850	-0.011 000	-0.003 330
25.276 800	9.892 800	25.222 600	9.759 800	25.175 400	9.631 600
2.915 523	1.679 213	4.440 211	3.206 502	5.964 748	4.733 333
0.070 460	0.040 530	0.073 640	0.037 650	0.070 550	0.036 190
1.073 400	5.350 300	2.697 700	0.658 800	4.327 100	2.160 700
0.001 427	0.000 606	0.001 321	0.000 412	0.001 130	0.000 337
3.009 900	2.208 700	5.776 400	5.597 300	2.064 400	2.547 700
0.244 800	0.094 400	0.245 100	0.093 500	0.244 000	0.092 900
5.659 900	4.418 000	2.359 400	1.131 100	5.344 800	4.123 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 15 juillet 0h		du 15 juillet 0h au 19 juillet 0h		du 19 juillet 0h au 23 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.227 300	0.220 100	.. -0.266 000	0.207 400	.. -0.309 400	0.193 200
.. -0.009 700	-0.003 150	.. -0.010 880	-0.003 560	.. -0.009 070	-0.003 340
.. 25.143 500	9.507 800	.. 25.130 600	9.388 300	.. 25.115 600	9.270 300
.. 1.205 916	6.259 933	.. 2.730 816	1.503 358	.. 4.256 109	3.029 695
.. 0.061 020	0.036 210	.. 0.063 360	0.037 600	.. 0.069 860	0.035 920
.. 5.873 700	3.670 000	.. 1.001 900	5.234 200	.. 2.652 900	0.541 100
.. 0.001 188	0.000 435	.. 0.001 746	0.000 474	.. 0.001 730	0.000 180
.. 5.460 200	5.110 400	.. 2.593 200	1.628 300	.. 5.711 800	4.657 900
.. 0.242 700	0.092 100	.. 0.242 700	0.090 800	.. 0.244 200	0.089 300
.. 2.053 200	0.826 600	.. 5.048 000	3.812 500	.. 1.757 000	0.521 700
du 23 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 31 juillet 0h		du 31 juillet 0h au 4 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.345 900	0.179 500	.. -0.386 700	0.165 600	.. -0.421 400	0.151 200
.. -0.010 160	-0.003 530	.. -0.008 690	-0.003 570	.. -0.009 690	-0.003 570
.. 25.108 100	9.157 600	.. 25.116 500	9.048 800	.. 25.142 300	8.946 800
.. 5.781 181	4.555 685	.. 1.023 098	6.081 463	.. 2.548 724	1.323 812
.. 0.064 760	0.034 900	.. 0.056 400	0.033 690	.. 0.056 360	0.033 220
.. 4.306 500	2.069 200	.. 5.856 500	3.627 900	.. 0.981 000	5.146 900
.. 0.001 276	0.000 149	.. 0.001 262	0.000 120	.. 0.001 717	0.000 380
.. 2.289 800	3.728 400	.. 5.335 600	5.345 900	.. 2.240 800	0.846 700
.. 0.245 600	0.088 200	.. 0.245 600	0.087 800	.. 0.244 600	0.087 300
.. 4.744 200	3.519 600	.. 1.446 700	0.231 600	.. 4.437 100	3.219 500
du 4 août 0h au 8 août 0h		du 8 août 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 16 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.460 100	0.136 900	.. -0.492 000	0.122 300	.. -0.527 000	0.108 500
.. -0.007 850	-0.003 610	.. -0.008 840	-0.003 500	.. -0.007 530	-0.003 730
.. 25.167 200	8.849 400	.. 25.200 000	8.756 800	.. 25.248 000	8.668 900
.. 4.074 859	2.849 374	.. 5.600 818	4.374 720	.. 0.843 853	5.899 840
.. 0.064 070	0.033 320	.. 0.058 910	0.032 290	.. 0.053 410	0.030 140
.. 2.613 800	0.445 100	.. 4.284 300	2.023 100	.. 5.828 700	3.618 900
.. 0.001 621	0.000 375	.. 0.001 011	0.000 292	.. 0.000 849	0.000 174
.. 5.447 700	3.266 600	.. 2.393 300	5.079 800	.. 5.542 400	1.520 300
.. 0.244 400	0.086 300	.. 0.246 100	0.085 000	.. 0.248 300	0.084 000
.. 1.150 700	6.205 100	.. 4.148 400	2.912 900	.. 0.857 100	5.910 000
du 16 août 0h au 20 août 0h		du 20 août 0h au 24 août 0h		du 24 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.557 300	0.093 400	.. -0.588 700	0.079 700	.. -0.615 300	0.064 800
.. -0.007 890	-0.003 420	.. -0.006 550	-0.003 710	.. -0.006 980	-0.003 360
.. 25.309 000	8.589 600	.. 25.374 900	8.518 200	.. 25.447 200	8.450 500
.. 2.370 483	1.141 426	.. 3.897 649	2.666 531	.. 5.424 843	4.191 584
.. 0.051 490	0.027 880	.. 0.057 070	0.029 370	.. 0.054 670	0.028 450
.. 1.030 100	5.109 500	.. 2.601 700	0.385 400	.. 4.264 000	2.030 400
.. 0.001 298	0.000 381	.. 0.001 260	0.000 620	.. 0.000 433	0.000 480
.. 1.950 900	0.044 800	.. 4.925 800	2.883 600	.. 1.903 600	5.393 000
.. 0.249 200	0.083 500	.. 0.248 700	0.083 300	.. 0.248 500	0.082 900
.. 3.844 600	2.623 500	.. 0.552 300	5.614 300	.. 3.550 900	2.317 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 28 août 0h au 1 septembre 0h		du 1 septembre 0h au 5 septembre 0h		du 5 septembre 0h au 9 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.642 600	0.051 400	.. -0.667 300	0.036 300	.. -0.689 400	0.023 200
.. -0.006 030	-0.003 730	.. -0.005 560	-0.003 280	.. -0.005 010	-0.003 700
.. 25.532 400	8.389 200	.. 25.626 200	8.337 900	.. 25.732 500	8.296 300
.. 0.669 223	5.716 392	.. 2.197 066	0.957 787	.. 3.725 411	2.482 907
.. 0.052 120	0.025 680	.. 0.050 090	0.022 520	.. 0.050 330	0.024 290
.. 5.816 600	3.652 000	.. 1.134 600	5.150 900	.. 2.652 600	0.392 100
.. 0.000 426	0.000 284	.. 0.000 541	0.000 426	.. 0.001 039	0.000 735
.. 0.369 300	1.784 200	.. 1.659 100	5.843 000	.. 4.130 600	2.591 100
.. 0.250 000	0.082 000	.. 0.252 400	0.081 000	.. 0.254 100	0.080 700
.. 0.269 000	5.306 500	.. 3.265 600	2.018 300	.. 6.256 600	5.016 500
du 9 septembre 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 17 septembre 0h		du 17 septembre 0h au 21 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.709 700	0.008 400	.. -0.727 400	-0.004 500	.. -0.744 600	-0.019 300
.. -0.004 560	-0.003 230	.. -0.004 100	-0.003 670	.. -0.002 850	-0.003 220
.. 25.843 500	8.258 400	.. 25.963 200	8.228 800	.. 26.089 300	8.209 600
.. 5.254 113	4.008 201	.. 0.499 984	5.533 313	.. 2.029 242	0.775 327
.. 0.052 170	0.024 060	.. 0.052 210	0.021 040	.. 0.051 400	0.018 220
.. 4.262 000	2.106 600	.. 5.854 500	3.763 700	.. 1.257 600	5.317 800
.. 0.000 774	0.000 568	.. 0.000 754	0.000 239	.. 0.000 366	0.000 407
.. 0.202 900	5.379 700	.. 1.668 600	2.070 300	.. 5.262 500	5.736 800
.. 0.254 500	0.080 800	.. 0.254 400	0.080 900	.. 0.255 200	0.080 500
.. 2.965 400	1.727 600	.. 5.964 000	4.716 000	.. 2.684 300	1.420 800
du 21 septembre 0h au 25 septembre 0h		du 25 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 3 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.755 600	-0.032 100	.. -0.767 900	-0.046 600	.. -0.774 300	-0.059 600
.. -0.003 030	-0.003 620	.. -0.001 610	-0.003 200	.. -0.001 640	-0.003 590
.. 26.233 300	8.200 900	.. 26.380 300	8.196 900	.. 26.530 800	8.202 100
.. 3.558 957	2.301 132	.. 5.089 355	3.827 366	.. 0.336 822	5.353 598
.. 0.045 710	0.019 100	.. 0.050 300	0.020 220	.. 0.053 400	0.017 920
.. 2.788 300	0.538 400	.. 4.292 600	2.284 700	.. 5.940 400	4.005 800
.. 0.001 068	0.000 727	.. 0.001 544	0.000 556	.. 0.001 245	0.000 106
.. 3.281 900	2.314 300	.. 6.150 000	5.103 600	.. 2.151 400	2.481 500
.. 0.257 600	0.079 900	.. 0.260 300	0.079 800	.. 0.261 500	0.080 300
.. 5.685 300	4.414 700	.. 2.396 700	1.130 900	.. 5.389 600	4.129 000
du 3 octobre 0h au 7 octobre 0h		du 7 octobre 0h au 11 octobre 0h		du 11 octobre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.781 300	-0.073 900	.. -0.780 200	-0.086 900	.. -0.781 900	-0.100 900
.. 0.000 170	-0.003 250	.. -0.000 390	-0.003 510	.. 0.001 720	-0.003 250
.. 26.688 700	8.217 800	.. 26.865 300	8.243 600	.. 27.044 200	8.276 400
.. 1.867 674	0.597 091	.. 3.398 973	2.124 357	.. 4.931 174	3.652 300
.. 0.053 570	0.016 520	.. 0.045 090	0.016 390	.. 0.048 340	0.018 470
.. 1.373 000	5.631 900	.. 2.974 700	0.917 100	.. 4.375 500	2.595 200
.. 0.000 970	0.000 328	.. 0.001 227	0.000 614	.. 0.001 939	0.000 538
.. 5.067 700	6.086 300	.. 2.628 000	2.099 200	.. 5.919 500	4.606 200
.. 0.261 300	0.080 900	.. 0.261 800	0.081 000	.. 0.264 400	0.080 900
.. 2.104 700	0.838 100	.. 5.109 400	3.827 700	.. 1.830 400	0.538 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 15 octobre 0h au 19 octobre 0h		du 19 octobre 0h au 23 octobre 0h		du 23 octobre 0h au 27 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.775 300	.. -0.114 200	.. -0.769 700	.. -0.128 000	.. -0.755 500	.. -0.141 300
.. 0.001 380	.. -0.003 500	.. 0.003 480	.. -0.003 290	.. 0.002 950	.. -0.003 340
.. 27.221 100	.. 8.318 000	.. 27.407 300	.. 8.369 300	.. 27.607 600	.. 8.429 900
.. 0.180 379	.. 5.180 537	.. 1.713 008	.. 0.426 270	.. 3.246 106	.. 1.955 727
.. 0.054 900	.. 0.018 300	.. 0.054 870	.. 0.018 620	.. 0.047 920	.. 0.019 110
.. 6.049 200	.. 4.341 400	.. 1.478 900	.. 5.979 700	.. 3.127 300	.. 1.356 800
.. 0.001 584	.. 0.000 092	.. 0.001 119	.. 0.000 322	.. 0.001 263	.. 0.000 399
.. 2.366 500	.. 5.606 900	.. 5.168 700	.. 0.519 500	.. 2.227 800	.. 2.005 600
.. 0.267 700	.. 0.081 100	.. 0.269 500	.. 0.081 800	.. 0.269 700	.. 0.082 800
.. 4.828 600	.. 3.538 600	.. 1.540 200	.. 0.258 000	.. 4.538 600	.. 3.255 500
du 27 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 4 novembre 0h		du 4 novembre 0h au 8 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.743 900	.. -0.154 600	.. -0.723 000	.. -0.168 000	.. -0.702 500	.. -0.180 900
.. 0.005 300	.. -0.003 310	.. 0.004 970	.. -0.003 280	.. 0.007 040	.. -0.003 220
.. 27.810 600	.. 8.499 600	.. 28.007 400	.. 8.576 800	.. 28.213 400	.. 8.662 500
.. 4.780 122	.. 3.486 030	.. 0.031 181	.. 5.016 976	.. 1.565 715	.. 0.265 456
.. 0.047 100	.. 0.020 380	.. 0.055 710	.. 0.022 370	.. 0.055 140	.. 0.024 030
.. 4.515 300	.. 2.946 100	.. 6.156 200	.. 4.599 300	.. 1.579 100	.. 6.216 400
.. 0.001 890	.. 0.000 558	.. 0.001 598	.. 0.000 353	.. 0.000 874	.. 0.000 385
.. 5.647 400	.. 4.071 400	.. 2.335 300	.. 5.893 200	.. 5.369 800	.. 1.128 800
.. 0.270 300	.. 0.083 600	.. 0.272 800	.. 0.084 000	.. 0.276 300	.. 0.084 400
.. 1.260 000	.. 6.247 800	.. 4.266 900	.. 2.958 900	.. 0.986 300	.. 5.961 100
du 8 novembre 0h au 12 novembre 0h		du 12 novembre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 20 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.674 600	.. -0.194 000	.. -0.647 100	.. -0.206 100	.. -0.611 600	.. -0.218 900
.. 0.006 890	.. -0.003 020	.. 0.008 920	.. -0.003 170	.. 0.008 970	.. -0.002 790
.. 28.425 800	.. 8.756 200	.. 28.640 600	.. 8.860 300	.. 28.847 100	.. 8.969 600
.. 3.100 768	.. 1.797 634	.. 4.636 571	.. 3.330 715	.. 6.172 743	.. 4.864 734
.. 0.051 800	.. 0.025 880	.. 0.048 060	.. 0.025 630	.. 0.054 710	.. 0.028 150
.. 3.216 900	.. 1.601 700	.. 4.696 700	.. 3.191 900	.. 6.265 800	.. 4.734 500
.. 0.000 893	.. 0.000 129	.. 0.001 451	.. 0.000 543	.. 0.001 308	.. 0.000 603
.. 2.021 200	.. 2.293 800	.. 5.339 300	.. 3.575 400	.. 2.011 800	.. 5.952 000
.. 0.278 800	.. 0.085 300	.. 0.279 700	.. 0.086 800	.. 0.280 100	.. 0.088 200
.. 3.984 100	.. 2.684 300	.. 0.698 900	.. 5.686 400	.. 3.703 500	.. 2.399 000
du 20 novembre 0h au 24 novembre 0h		du 24 novembre 0h au 28 novembre 0h		du 28 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.575 000	.. -0.230 000	.. -0.533 200	.. -0.241 700	.. -0.489 000	.. -0.251 300
.. 0.010 620	.. -0.002 860	.. 0.011 000	.. -0.002 420	.. 0.012 280	.. -0.002 620
.. 29.057 900	.. 9.085 000	.. 29.266 500	.. 9.207 300	.. 29.476 100	.. 9.339 000
.. 1.426 034	.. 0.116 142	.. 2.963 025	.. 1.651 229	.. 4.500 500	.. 3.187 162
.. 0.054 570	.. 0.030 880	.. 0.054 430	.. 0.033 250	.. 0.051 640	.. 0.032 070
.. 1.668 600	.. 0.054 700	.. 3.267 000	.. 1.701 300	.. 4.872 600	.. 3.314 400
.. 0.000 374	.. 0.000 437	.. 0.000 105	.. 0.000 154	.. 0.000 689	.. 0.000 484
.. 5.454 300	.. 1.678 200	.. 2.074 700	.. 4.569 000	.. 4.978 100	.. 3.033 600
.. 0.282 100	.. 0.089 000	.. 0.285 400	.. 0.089 700	.. 0.288 600	.. 0.090 700
.. 0.430 000	.. 5.395 600	.. 3.437 000	.. 2.115 800	.. 0.153 800	.. 5.124 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIMAS 2005

N = 6.6670 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 2 décembre 0h au 6 décembre 0h		du 6 décembre 0h au 10 décembre 0h		du 10 décembre 0h au 14 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.440 000	.. -0.261 800	.. -0.387 600	.. -0.269 500	.. -0.333 400	.. -0.277 700
.. 0.012 950	.. -0.001 900	.. 0.013 770	.. -0.002 030	.. 0.014 640	.. -0.001 370
.. 29.677 400	.. 9.473 400	.. 29.873 100	.. 9.610 400	.. 30.059 100	.. 9.752 400
.. 6.038 526	.. 4.724 188	.. 1.293 670	.. 6.261 574	.. 2.832 400	.. 1.516 218
.. 0.052 190	.. 0.033 520	.. 0.053 150	.. 0.037 050	.. 0.054 800	.. 0.038 780
.. 0.124 600	.. 4.801 400	.. 1.754 500	.. 0.110 300	.. 3.326 200	.. 1.742 400
.. 0.001 068	.. 0.000 746	.. 0.000 428	.. 0.000 532	.. 0.000 824	.. 0.000 312
.. 1.352 000	.. 5.899 200	.. 3.240 500	.. 2.153 300	.. 5.142 300	.. 4.932 700
.. 0.289 800	.. 0.092 500	.. 0.290 000	.. 0.094 300	.. 0.291 100	.. 0.095 600
.. 3.152 200	.. 1.847 000	.. 6.157 200	.. 4.847 900	.. 2.885 400	.. 1.563 800
du 14 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 22 décembre 0h		du 22 décembre 0h au 26 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.274 300	.. -0.283 100	.. -0.214 600	.. -0.289 100	.. -0.149 900	.. -0.291 300
.. 0.014 940	.. -0.001 470	.. 0.016 160	.. -0.000 520	.. 0.015 850	.. -0.000 610
.. 30.242 100	.. 9.900 300	.. 30.417 500	.. 10.048 100	.. 30.575 000	.. 10.193 900
.. 4.371 343	.. 3.054 753	.. 5.910 932	.. 4.594 308	.. 1.167 611	.. 6.134 042
.. 0.055 520	.. 0.037 290	.. 0.049 160	.. 0.036 820	.. 0.049 800	.. 0.040 290
.. 5.021 400	.. 3.361 600	.. 0.328 000	.. 4.842 600	.. 1.858 800	.. 0.134 400
.. 0.000 392	.. 0.000 415	.. 0.001 001	.. 0.000 718	.. 0.001 267	.. 0.000 632
.. 2.246 200	.. 2.424 600	.. 0.578 500	.. 5.774 300	.. 3.131 100	.. 2.354 900
.. 0.294 000	.. 0.096 500	.. 0.297 100	.. 0.097 600	.. 0.298 500	.. 0.099 300
.. 5.894 700	.. 4.567 100	.. 2.613 700	.. 1.293 000	.. 5.613 400	.. 4.303 600
du 26 décembre 0h au 30 décembre 0h		du 30 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 7 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.087 000	.. -0.293 700	.. -0.018 300	.. -0.292 900	.. 0.046 800	.. -0.291 600
.. 0.017 000	.. 0.000 200	.. 0.016 320	.. 0.000 320	.. 0.017 680	.. 0.001 280
.. 30.717 800	.. 10.341 800	.. 30.852 400	.. 10.489 900	.. 30.979 000	.. 10.635 000
.. 2.707 637	.. 1.390 919	.. 4.247 686	.. 2.931 517	.. 5.788 316	.. 4.472 844
.. 0.052 680	.. 0.040 740	.. 0.056 700	.. 0.039 350	.. 0.047 380	.. 0.037 150
.. 3.432 800	.. 1.764 600	.. 5.163 300	.. 3.372 900	.. 0.594 400	.. 4.885 700
.. 0.001 582	.. 0.000 366	.. 0.001 393	.. 0.000 314	.. 0.000 936	.. 0.000 502
.. 5.307 200	.. 5.129 600	.. 1.850 600	.. 1.791 900	.. 6.018 600	.. 5.630 300
.. 0.298 300	.. 0.101 400	.. 0.298 400	.. 0.103 000	.. 0.300 300	.. 0.103 900
.. 2.334 900	.. 1.025 700	.. 5.345 300	.. 4.026 300	.. 2.072 500	.. 0.745 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

ENCELADE 2005

N = 4.5860 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.282 600	.. -0.010 900	.. -0.287 600	.. -0.023 500	.. -0.286 900	.. -0.036 600
.. -0.000 320	.. -0.000 790	.. 0.000 220	.. -0.000 790	.. 0.000 650	.. -0.000 720
.. 40.248 200	.. 16.120 600	.. 40.396 300	.. 16.426 300	.. 40.145 800	.. 16.555 300
.. 4.902 823	.. 3.588 768	.. 2.897 957	.. 1.577 562	.. 0.890 539	.. 5.847 395
.. 0.049 650	.. 0.026 730	.. 0.043 780	.. 0.017 870	.. 0.043 620	.. 0.007 270
.. 6.029 400	.. 4.033 500	.. 4.556 800	.. 2.230 300	.. 3.185 400	.. 0.860 200
.. 0.000 779	.. 0.000 312	.. 0.000 869	.. 0.000 396	.. 0.000 896	.. 0.000 417
.. 1.837 100	.. 0.468 000	.. 0.231 200	.. 4.985 800	.. 4.851 600	.. 3.141 200
.. 0.095 400	.. 0.038 700	.. 0.095 700	.. 0.039 200	.. 0.096 300	.. 0.039 700
.. 2.016 200	.. 0.709 500	.. 4.181 200	.. 2.851 600	.. 0.050 200	.. 5.000 100
du 17 février 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.276 700	.. -0.048 300	.. -0.262 800	.. -0.057 400	.. -0.247 600	.. -0.066 100
.. 0.000 850	.. -0.000 670	.. 0.001 080	.. -0.000 540	.. 0.001 040	.. -0.000 330
.. 39.533 000	.. 16.489 400	.. 38.646 100	.. 16.242 400	.. 37.602 500	.. 15.857 300
.. 5.160 548	.. 3.829 183	.. 3.139 046	.. 1.804 367	.. 1.108 193	.. 6.055 261
.. 0.051 020	.. 0.010 410	.. 0.062 910	.. 0.021 370	.. 0.075 730	.. 0.031 230
.. 1.757 800	.. 0.610 600	.. 0.141 500	.. 5.255 700	.. 4.690 900	.. 3.388 800
.. 0.000 820	.. 0.000 377	.. 0.000 749	.. 0.000 324	.. 0.000 589	.. 0.000 217
.. 3.084 100	.. 1.290 300	.. 1.285 300	.. 5.699 200	.. 5.788 500	.. 3.800 700
.. 0.094 200	.. 0.039 500	.. 0.091 900	.. 0.038 400	.. 0.089 800	.. 0.038 100
.. 2.175 500	.. 0.848 700	.. 4.319 400	.. 2.977 000	.. 0.151 900	.. 5.105 400
du 6 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.228 600	.. -0.072 200	.. -0.212 100	.. -0.075 700	.. -0.197 900	.. -0.079 100
.. 0.000 920	.. -0.000 250	.. 0.001 060	.. -0.000 140	.. 0.001 000	.. 0.000 000
.. 36.511 800	.. 15.379 200	.. 35.457 200	.. 14.853 000	.. 34.508 200	.. 14.317 900
.. 5.350 894	.. 4.015 416	.. 3.301 818	.. 1.968 782	.. 1.245 496	.. 6.199 965
.. 0.086 250	.. 0.038 110	.. 0.093 210	.. 0.042 050	.. 0.097 450	.. 0.044 410
.. 2.856 700	.. 1.454 800	.. 0.979 300	.. 5.767 600	.. 5.349 500	.. 3.773 700
.. 0.000 491	.. 0.000 133	.. 0.000 386	.. 0.000 071	.. 0.000 327	.. 0.000 024
.. 4.026 000	.. 1.843 500	.. 2.214 200	.. 6.149 100	.. 0.442 000	.. 6.117 100
.. 0.087 600	.. 0.036 800	.. 0.085 400	.. 0.035 300	.. 0.083 000	.. 0.034 200
.. 2.265 600	.. 0.927 200	.. 4.362 900	.. 3.025 500	.. 0.176 900	.. 5.141 500
du 24 mai 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.181 400	.. -0.080 700	.. -0.168 600	.. -0.080 400	.. -0.157 300	.. -0.081 300
.. 0.000 770	.. -0.000 020	.. 0.000 880	.. -0.000 040	.. 0.000 730	.. 0.000 020
.. 33.704 600	.. 13.793 900	.. 33.069 900	.. 13.300 100	.. 32.622 800	.. 12.847 700
.. 5.466 667	.. 4.143 870	.. 3.400 854	.. 2.085 410	.. 1.332 824	.. 0.025 893
.. 0.098 530	.. 0.044 260	.. 0.098 590	.. 0.043 030	.. 0.097 450	.. 0.040 590
.. 3.417 100	.. 1.765 600	.. 1.478 800	.. 6.035 700	.. 5.813 800	.. 4.013 200
.. 0.000 286	.. 0.000 047	.. 0.000 231	.. 0.000 090	.. 0.000 243	.. 0.000 121
.. 4.804 700	.. 4.690 900	.. 3.139 200	.. 2.960 100	.. 1.466 300	.. 0.922 800
.. 0.082 100	.. 0.033 100	.. 0.080 200	.. 0.032 100	.. 0.079 900	.. 0.031 000
.. 2.275 100	.. 0.953 400	.. 4.354 700	.. 3.043 800	.. 0.164 700	.. 5.143 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

ENCELADE 2005

N = 4.5860 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.143 400	-0.081 200	-0.133 500	-0.080 400	-0.124 300	-0.081 000
0.000 480	-0.000 010	0.000 570	-0.000 020	0.000 610	0.000 040
32.364 700	12.443 700	32.302 200	12.094 700	32.435 900	11.807 700
5.547 132	4.249 743	3.479 031	2.192 004	1.413 008	0.136 762
0.094 430	0.037 110	0.090 760	0.033 030	0.086 320	0.028 260
3.869 600	1.986 500	1.930 000	6.253 700	0.009 700	4.248 300
0.000 255	0.000 138	0.000 300	0.000 160	0.000 311	0.000 173
5.887 300	5.107 400	3.948 100	3.047 900	1.895 100	0.867 900
0.079 200	0.029 900	0.079 900	0.029 500	0.080 900	0.028 800
2.259 500	0.965 000	4.350 000	3.071 900	0.162 000	5.173 200
du 28 août 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.112 400	-0.080 900	-0.102 700	-0.080 400	-0.091 400	-0.081 200
0.000 610	0.000 010	0.000 900	0.000 000	0.000 990	0.000 000
32.766 800	11.589 600	33.284 900	11.449 700	33.987 000	11.399 700
5.633 497	4.368 116	3.575 335	2.320 384	1.522 730	0.277 309
0.082 280	0.023 170	0.078 980	0.017 820	0.075 900	0.013 350
4.386 400	2.281 200	2.515 800	0.394 900	0.665 500	4.959 200
0.000 359	0.000 194	0.000 374	0.000 213	0.000 420	0.000 244
6.218 900	5.004 700	4.391 600	2.872 100	2.518 700	0.764 200
0.080 900	0.028 500	0.082 900	0.028 100	0.086 000	0.028 300
2.265 100	1.006 900	4.381 000	3.127 200	0.218 300	5.258 100
du 15 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.074 800	-0.081 300	-0.058 600	-0.081 500	-0.037 400	-0.082 900
0.001 100	-0.000 070	0.001 390	-0.000 060	0.001 470	-0.000 030
34.854 100	11.449 600	35.844 400	11.608 400	36.912 600	11.882 100
5.759 911	4.522 241	3.721 348	2.488 979	1.690 800	0.460 672
0.073 200	0.011 600	0.071 530	0.014 940	0.069 080	0.020 710
5.117 400	3.517 800	3.324 200	2.059 800	1.544 700	0.322 300
0.000 500	0.000 256	0.000 535	0.000 240	0.000 586	0.000 221
0.655 900	4.962 500	5.216 100	2.926 000	3.467 900	0.948 500
0.087 700	0.028 600	0.090 300	0.028 800	0.093 300	0.030 200
2.328 600	1.100 400	4.475 600	3.242 800	0.333 800	5.384 800
du 2 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 19 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.011 000	-0.083 400	0.016 600	-0.083 600	0.047 300	-0.083 200
0.001 680	-0.000 020	0.002 000	0.000 120	0.002 080	0.000 240
37.974 800	12.260 000	38.928 500	12.713 700	39.661 000	13.197 200
5.951 316	4.720 101	3.936 018	2.700 446	1.926 460	0.683 925
0.065 550	0.026 540	0.060 570	0.030 540	0.053 140	0.030 390
6.090 100	4.737 100	4.378 600	2.814 400	2.724 000	0.878 900
0.000 598	0.000 154	0.000 677	0.000 076	0.000 761	0.000 141
1.828 300	5.402 900	0.235 400	4.373 500	4.911 900	3.639 900
0.096 100	0.031 200	0.098 300	0.032 100	0.099 000	0.033 500
2.481 600	1.249 400	4.633 900	3.393 100	0.511 800	5.554 100

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TÉTHYS 2005

N = 3.3280 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.011 100	0.012 600	0.016 100	0.010 400	0.005 100	0.011 300
0.000 010	-0.000 190	-0.000 340	0.000 200	0.000 480	-0.000 040
49.816 800	19.129 600	50.004 600	19.498 000	49.697 500	19.657 200
3.345 717	2.047 366	0.074 630	5.051 254	3.084 763	1.770 362
0.096 720	0.038 790	0.092 800	0.031 340	0.087 500	0.022 670
4.630 300	2.778 100	1.685 700	6.043 900	5.071 200	3.219 100
0.001 052	0.000 383	0.001 138	0.000 477	0.001 077	0.000 517
0.214 100	5.151 600	3.602 000	2.161 900	0.671 600	5.334 000
0.003 700	0.001 000	0.004 800	0.001 800	0.003 600	0.001 300
1.909 800	6.273 800	1.228 800	0.080 200	0.729 500	6.209 000
du 17 février 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.013 700	0.013 200	0.003 800	0.009 300	0.005 400	0.013 200
-0.000 660	-0.000 080	0.000 490	0.000 190	-0.000 220	-0.000 230
48.939 900	19.583 700	47.849 500	19.293 200	46.560 500	18.832 500
6.089 640	4.768 427	2.803 546	1.477 065	5.791 610	4.461 467
0.083 430	0.020 070	0.082 980	0.025 440	0.084 400	0.033 190
2.180 000	0.708 100	5.567 000	4.346 800	2.631 200	1.393 100
0.001 049	0.000 486	0.000 935	0.000 398	0.000 767	0.000 304
3.976 800	2.295 300	0.995 100	5.435 000	4.233 600	2.301 300
0.004 000	0.001 700	0.002 400	0.001 500	0.002 100	0.001 800
0.105 500	5.408 500	0.192 100	5.030 600	5.427 300	4.026 400
du 6 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.006 700	0.009 200	-0.000 800	0.011 000	0.007 900	0.010 600
-0.000 090	0.000 200	0.000 320	-0.000 170	-0.000 550	-0.000 010
45.214 300	18.260 800	43.916 300	17.632 000	42.745 800	16.990 400
2.487 205	1.155 156	5.457 412	4.125 090	2.137 058	0.805 921
0.087 720	0.039 790	0.090 790	0.043 870	0.091 520	0.045 810
5.904 400	4.573 900	2.841 800	1.403 700	6.011 000	4.456 300
0.000 658	0.000 202	0.000 531	0.000 108	0.000 466	0.000 083
1.205 600	5.516 700	4.493 000	2.393 900	1.356 600	5.996 400
0.003 100	0.001 300	0.003 100	0.000 700	0.004 400	0.001 200
5.751 300	3.801 000	4.837 400	3.495 800	4.467 200	3.163 000
du 24 mai 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.002 300	0.008 100	0.004 200	0.010 600	0.001 300	0.006 800
0.000 540	0.000 060	-0.000 470	-0.000 150	0.000 180	0.000 190
41.755 400	16.364 700	40.975 600	15.777 600	40.427 900	15.240 700
5.094 123	3.765 545	1.763 857	0.438 891	4.714 062	3.393 759
0.091 490	0.045 780	0.090 440	0.044 370	0.087 050	0.041 470
2.870 000	1.217 800	6.000 900	4.229 600	2.825 100	0.950 700
0.000 419	0.000 053	0.000 371	0.000 095	0.000 396	0.000 118
4.587 300	3.757 900	1.578 200	0.776 900	4.570 600	3.889 000
0.002 500	0.000 900	0.003 300	0.001 600	0.002 300	0.001 300
3.964 500	2.725 600	3.271 700	2.260 100	3.105 900	2.038 200

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DIONÉ 2005

N = 2.2960 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.075 700	0.065 900	.. -0.093 300	0.067 000	.. -0.095 300	0.063 500
.. -0.000 530	0.000 210	.. 0.000 160	-0.000 150	.. -0.000 330	0.000 140
.. 63.811 600	25.587 200	.. 64.048 000	26.073 300	.. 63.652 000	26.281 400
.. 3.169 347	1.854 468	.. 2.226 014	0.904 909	.. 1.281 266	6.237 455
.. 0.085 960	0.043 810	.. 0.081 280	0.031 840	.. 0.082 040	0.018 370
.. 4.321 500	2.371 400	.. 3.860 200	1.690 500	.. 3.442 900	1.387 300
.. 0.001 301	0.000 489	.. 0.001 365	0.000 627	.. 0.001 338	0.000 625
.. 6.247 500	4.923 300	.. 5.715 800	4.244 900	.. 5.177 300	3.496 300
.. 0.058 600	0.023 800	.. 0.060 300	0.024 100	.. 0.060 300	0.024 900
.. 5.873 600	4.574 400	.. 3.929 700	2.606 300	.. 1.986 800	0.669 000
du 17 février 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.107 000	0.059 600	.. -0.104 000	0.061 000	.. -0.110 600	0.054 900
.. 0.000 460	0.000 060	.. -0.000 320	-0.000 350	.. 0.000 730	-0.000 010
.. 62.677 600	26.175 900	.. 61.274 600	25.785 700	.. 59.617 000	25.173 900
.. 0.331 810	5.283 063	.. 5.658 053	4.322 775	.. 4.692 318	3.355 648
.. 0.087 480	0.019 060	.. 0.099 350	0.032 570	.. 0.111 550	0.045 900
.. 2.995 200	1.617 500	.. 2.443 300	1.205 900	.. 1.812 500	0.487 300
.. 0.001 213	0.000 586	.. 0.001 124	0.000 503	.. 0.000 866	0.000 357
.. 4.490 900	2.688 800	.. 3.835 900	1.940 000	.. 3.055 600	1.159 300
.. 0.057 700	0.024 000	.. 0.056 700	0.024 600	.. 0.054 600	0.023 600
.. 0.041 700	4.971 900	.. 4.356 700	3.022 700	.. 2.389 000	1.063 900
du 6 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.113 700	0.053 900	.. -0.103 600	0.049 200	.. -0.106 300	0.047 800
.. 0.000 730	-0.000 270	.. 0.000 030	0.000 040	.. 0.000 510	-0.000 210
.. 57.882 400	24.415 700	.. 56.217 600	23.582 900	.. 54.710 200	22.731 100
.. 3.717 302	2.381 312	.. 2.733 812	1.400 432	.. 1.742 949	0.414 017
.. 0.121 980	0.055 470	.. 0.132 180	0.061 450	.. 0.138 510	0.064 710
.. 1.077 800	5.936 500	.. 0.297 000	5.063 100	.. 5.771 900	4.171 200
.. 0.000 829	0.000 263	.. 0.000 684	0.000 171	.. 0.000 499	0.000 046
.. 2.280 800	0.439 500	.. 1.655 500	6.001 900	.. 1.003 800	5.608 500
.. 0.055 900	0.023 000	.. 0.053 400	0.021 900	.. 0.052 000	0.020 700
.. 0.410 100	5.374 100	.. 4.732 800	3.388 300	.. 2.740 900	1.389 900
du 24 mai 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.097 400	0.048 000	.. -0.101 000	0.042 700	.. -0.095 700	0.043 300
.. -0.000 140	-0.000 290	.. 0.000 730	0.000 050	.. 0.000 050	-0.000 150
.. 53.435 600	21.900 300	.. 52.431 200	21.118 400	.. 51.720 800	20.399 200
.. 0.745 981	5.706 226	.. 6.027 913	4.712 493	.. 5.023 724	3.716 989
.. 0.140 400	0.064 480	.. 0.142 110	0.063 520	.. 0.141 120	0.060 130
.. 4.922 800	3.237 000	.. 4.068 300	2.301 500	.. 3.198 700	1.358 000
.. 0.000 491	0.000 060	.. 0.000 429	0.000 123	.. 0.000 444	0.000 163
.. 0.157 400	5.253 000	.. 5.856 100	5.241 000	.. 5.050 500	4.498 900
.. 0.050 800	0.020 900	.. 0.049 100	0.020 000	.. 0.049 800	0.019 600
.. 0.745 700	5.712 200	.. 5.020 200	3.722 600	.. 3.002 700	1.730 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

DIONÉ 2005

N = 2.2960 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.088 800	0.039 900	.. -0.093 000	0.040 700	.. -0.086 700	0.039 300
.. -0.000 120	0.000 120	.. 0.000 330	-0.000 140	.. -0.000 110	0.000 040
.. 51.314 500	19.757 900	.. 51.211 800	19.203 500	.. 51.425 400	18.746 800
.. 4.017 960	2.720 934	.. 3.012 326	1.725 759	.. 2.007 922	0.732 284
.. 0.137 420	0.054 970	.. 0.134 780	0.049 300	.. 0.131 220	0.042 460
.. 2.325 500	0.397 100	.. 1.469 500	5.738 400	.. 0.612 300	4.805 800
.. 0.000 477	0.000 176	.. 0.000 447	0.000 212	.. 0.000 506	0.000 240
.. 4.070 400	3.330 400	.. 3.310 400	2.426 300	.. 2.445 600	1.348 500
.. 0.048 100	0.018 500	.. 0.049 000	0.017 900	.. 0.049 400	0.017 600
.. 1.044 300	6.026 100	.. 5.330 400	4.018 400	.. 3.348 000	2.058 000
du 28 août 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.094 200	0.036 500	.. -0.087 000	0.038 400	.. -0.091 200	0.036 300
.. 0.000 690	0.000 180	.. -0.000 360	-0.000 040	.. 0.000 240	0.000 150
.. 51.948 700	18.401 500	.. 52.771 200	18.176 800	.. 53.884 600	18.095 100
.. 1.006 021	6.024 712	.. 0.007 987	5.037 223	.. 5.298 095	4.053 726
.. 0.126 940	0.035 670	.. 0.123 790	0.027 450	.. 0.120 670	0.020 620
.. 6.051 400	3.905 300	.. 5.236 300	3.103 200	.. 4.435 200	2.460 800
.. 0.000 594	0.000 317	.. 0.000 608	0.000 318	.. 0.000 713	0.000 357
.. 1.536 200	0.325 900	.. 0.764 300	5.584 200	.. 6.273 800	4.515 300
.. 0.050 300	0.017 400	.. 0.051 000	0.017 200	.. 0.050 800	0.017 000
.. 1.323 300	0.079 800	.. 5.609 500	4.386 500	.. 3.645 300	2.423 200
du 15 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.098 000	0.038 300	.. -0.097 400	0.036 300	.. -0.107 800	0.036 500
.. 0.000 320	-0.000 100	.. -0.000 090	0.000 200	.. 0.000 200	0.000 050
.. 55.255 900	18.172 800	.. 56.830 600	18.423 700	.. 58.523 800	18.854 800
.. 4.311 244	3.074 710	.. 3.331 319	2.100 264	.. 2.359 477	1.130 773
.. 0.118 120	0.018 600	.. 0.113 550	0.023 540	.. 0.109 330	0.032 910
.. 3.653 200	2.069 700	.. 2.925 800	1.668 800	.. 2.205 300	0.990 300
.. 0.000 850	0.000 393	.. 0.000 797	0.000 377	.. 0.000 936	0.000 341
.. 5.540 200	3.530 300	.. 4.792 100	2.489 000	.. 4.101 100	1.641 700
.. 0.052 800	0.017 500	.. 0.054 000	0.017 500	.. 0.055 400	0.017 700
.. 1.656 100	0.434 400	.. 6.008 000	4.761 000	.. 4.022 400	2.775 300
du 2 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 19 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.105 000	0.039 000	.. -0.120 100	0.036 900	.. -0.127 400	0.038 600
.. -0.000 950	-0.000 140	.. 0.000 130	0.000 050	.. -0.000 430	-0.000 210
.. 60.207 900	19.450 400	.. 61.721 800	20.170 900	.. 62.880 900	20.934 200
.. 1.395 859	0.166 115	.. 0.439 973	5.489 031	.. 5.773 812	4.532 762
.. 0.103 700	0.042 620	.. 0.095 770	0.048 460	.. 0.087 740	0.048 730
.. 1.524 600	0.181 700	.. 0.902 900	5.626 100	.. 0.329 200	4.761 500
.. 0.001 062	0.000 242	.. 0.001 097	0.000 143	.. 0.001 234	0.000 258
.. 3.472 200	1.054 200	.. 2.857 700	0.894 300	.. 2.333 200	0.971 500
.. 0.057 700	0.018 300	.. 0.058 500	0.019 100	.. 0.060 200	0.020 600
.. 2.087 300	0.837 700	.. 0.139 200	5.171 600	.. 4.447 700	3.231 200

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

RHÉA 2005

N = 1.3910 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.093 700	-0.018 400	0.092 500	-0.014 400	0.098 900	-0.018 000
0.000 930	0.000 200	0.001 400	0.000 200	0.000 370	0.000 310
89.073 800	35.413 200	89.404 900	36.089 800	88.847 700	36.388 700
1.682 601	0.380 324	5.110 960	3.802 306	2.255 014	0.940 145
0.129 880	0.062 220	0.126 990	0.047 690	0.127 190	0.032 870
2.872 400	0.958 300	0.458 600	4.635 900	4.349 000	2.388 100
0.001 793	0.000 625	0.001 903	0.000 879	0.001 816	0.000 918
4.694 800	3.419 600	2.317 800	0.776 800	6.122 800	4.552 600
0.059 100	0.022 900	0.056 100	0.022 800	0.056 400	0.023 400
5.903 000	4.611 800	0.145 800	5.126 900	0.717 700	5.715 700
du 17 février 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.095 100	-0.012 500	0.096 200	-0.017 600	0.095 000	-0.012 500
0.001 220	0.000 130	0.000 210	0.000 410	0.000 760	0.000 160
87.486 600	36.248 300	85.529 200	35.713 700	83.213 700	34.866 000
5.678 003	4.358 265	2.810 441	1.487 186	6.217 802	4.893 246
0.129 650	0.029 150	0.141 500	0.046 050	0.151 160	0.062 380
1.939 900	0.507 200	5.730 200	4.455 900	3.218 600	1.930 600
0.001 723	0.000 811	0.001 726	0.000 771	0.001 281	0.000 452
3.504 700	1.667 200	1.022 000	5.504 800	4.569 400	2.584 000
0.053 700	0.022 500	0.052 000	0.022 300	0.050 600	0.021 500
1.238 400	6.201 200	1.799 500	0.484 100	2.290 700	0.946 700
du 6 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.089 000	-0.016 500	0.090 100	-0.012 500	0.077 700	-0.016 800
0.000 260	0.000 380	0.000 580	0.000 070	0.000 720	0.000 440
80.798 100	33.810 000	78.469 000	32.652 300	76.366 800	31.457 000
3.332 635	2.008 523	0.439 230	5.400 910	3.821 202	2.503 953
0.162 860	0.074 160	0.174 550	0.083 810	0.178 330	0.085 750
0.586 800	5.461 600	4.225 800	2.720 300	1.502 100	6.179 900
0.001 262	0.000 442	0.000 814	0.000 130	0.000 888	0.000 177
1.978 900	0.098 200	5.710 700	3.799 000	2.902 200	1.090 900
0.048 400	0.020 600	0.048 400	0.019 800	0.044 900	0.018 800
2.814 500	1.506 600	3.285 500	1.945 800	3.804 900	2.476 500
du 24 mai 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.083 400	-0.014 100	0.069 900	-0.016 600	0.075 500	-0.015 200
0.000 420	0.000 080	0.000 840	0.000 380	0.000 420	0.000 030
74.593 000	30.299 500	73.189 600	29.194 500	72.201 500	28.189 200
0.914 176	5.886 145	4.285 391	2.981 565	1.370 455	0.075 274
0.186 040	0.088 410	0.183 620	0.084 580	0.185 390	0.081 340
5.060 000	3.364 600	2.298 300	0.515 000	5.812 800	3.938 000
0.000 635	0.000 142	0.000 649	0.000 136	0.000 668	0.000 245
0.594 500	6.252 500	3.832 800	3.315 600	1.416 600	0.614 800
0.046 200	0.018 300	0.043 400	0.017 200	0.045 700	0.017 100
4.265 400	2.935 100	4.755 200	3.453 900	5.225 900	3.931 300

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

RHÉA 2005

N = 1.3910 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.061 900	-0.016 300	0.068 100	-0.017 200	0.058 800	-0.016 000
0.001 150	0.000 300	0.000 380	0.000 110	0.001 060	0.000 180
71.630 600	27.278 100	71.497 000	26.498 500	71.794 400	25.843 600
4.736 905	3.451 350	1.819 840	0.544 651	5.186 897	3.922 654
0.181 230	0.074 020	0.179 710	0.066 840	0.174 600	0.057 310
3.048 700	1.087 200	0.273 100	4.497 400	3.805 100	1.672 300
0.000 577	0.000 239	0.000 756	0.000 316	0.000 647	0.000 334
4.718 200	4.146 300	2.152 600	1.067 000	5.529 800	4.567 700
0.043 100	0.016 000	0.045 700	0.016 400	0.043 800	0.015 600
5.701 200	4.423 400	6.182 000	4.934 600	0.370 700	5.407 500
du 28 août 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.063 200	-0.018 300	0.056 100	-0.016 100	0.058 400	-0.019 800
0.000 240	0.000 110	0.001 170	0.000 100	0.000 340	0.000 210
72.525 600	25.348 000	73.680 100	25.020 300	75.235 900	24.890 900
2.272 991	1.019 627	5.645 911	4.403 235	2.740 165	1.506 875
0.170 480	0.046 670	0.168 480	0.037 150	0.162 480	0.025 710
1.052 600	5.124 000	4.607 700	2.429 300	1.905 000	6.150 600
0.000 823	0.000 381	0.000 850	0.000 456	0.000 913	0.000 470
2.740 900	1.401 600	0.139 500	5.000 300	3.537 500	1.786 900
0.046 500	0.016 200	0.046 100	0.015 600	0.048 500	0.016 300
0.872 500	5.934 900	1.353 900	0.117 000	1.882 100	0.661 100
du 15 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.058 400	-0.017 000	0.056 600	-0.020 600	0.061 800	-0.017 700
0.000 980	0.000 100	0.000 520	0.000 240	0.001 010	0.000 050
77.148 800	24.984 000	79.350 300	25.316 000	81.715 700	25.905 500
6.123 874	4.898 504	3.231 131	2.010 947	0.346 642	5.411 904
0.162 330	0.024 690	0.156 700	0.031 490	0.152 710	0.044 630
5.494 600	3.873 600	2.854 200	1.621 100	0.199 600	5.261 600
0.001 117	0.000 558	0.001 096	0.000 492	0.001 534	0.000 540
1.072 500	5.405 400	4.653 700	2.343 600	2.065 100	6.049 800
0.050 100	0.016 200	0.052 400	0.017 000	0.054 900	0.017 200
2.367 100	1.125 600	2.907 000	1.695 200	3.402 000	2.167 400
du 2 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 19 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.055 600	-0.022 200	0.067 300	-0.018 900	0.060 600	-0.022 800
0.001 030	0.000 410	0.001 010	0.000 070	0.001 140	0.000 490
84.066 400	26.720 000	86.180 300	27.719 200	87.799 000	28.773 500
3.753 226	2.534 001	0.885 000	5.944 508	4.306 384	3.075 567
0.146 670	0.058 970	0.136 190	0.066 500	0.130 660	0.068 990
3.935 400	2.591 400	1.366 200	6.084 000	5.195 900	3.337 400
0.001 376	0.000 289	0.001 770	0.000 320	0.001 736	0.000 396
5.883 700	3.302 200	3.219 800	1.198 800	0.888 400	5.788 000
0.055 500	0.018 000	0.058 200	0.018 700	0.057 600	0.019 100
3.979 400	2.737 000	4.488 700	3.248 100	5.065 300	3.827 000

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TITAN 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 11 janvier 0h		du 11 janvier 0h au 22 janvier 0h		du 22 janvier 0h au 2 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -3.862 300	.. -2.185 300	.. -4.222 400	.. -3.595 400	.. -0.925 300	.. -4.696 800
.. 1.658 930	.. -0.051 590	.. 1.853 570	.. 0.213 170	.. 1.386 670	.. 0.446 780
.. 206.054 500	.. 81.266 000	.. 217.775 700	.. 83.374 200	.. 200.874 200	.. 80.585 700
.. 3.344 455	.. 2.071 894	.. 1.483 061	.. 0.167 333	.. 5.840 006	.. 4.482 209
.. 1.663 200	.. 0.275 700	.. 1.312 260	.. 0.168 870	.. 1.140 680	.. 0.495 330
.. 5.416 300	.. 3.364 800	.. 5.568 900	.. 5.425 800	.. 6.143 200	.. 5.488 400
.. 2.929 700	.. 1.203 400	.. 3.884 800	.. 1.443 400	.. 2.628 600	.. 1.172 600
.. 3.206 900	.. 1.793 800	.. 5.329 200	.. 4.049 800	.. 1.329 200	.. 6.274 100
du 2 février 0h au 13 février 0h		du 13 février 0h au 24 février 0h		du 24 février 0h au 7 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 2.184 100	.. -5.643 000	.. 6.050 000	.. -5.801 700	.. 9.206 100	.. -4.856 200
.. 0.893 430	.. 0.639 500	.. 0.214 710	.. 0.725 610	.. -0.383 600	.. 0.601 220
.. 205.528 400	.. 86.652 000	.. 204.514 700	.. 85.092 900	.. 200.024 600	.. 79.536 700
.. 3.856 109	.. 2.523 112	.. 1.957 162	.. 0.667 604	.. 6.274 801	.. 4.954 198
.. 1.179 120	.. 0.581 080	.. 0.291 040	.. 0.534 630	.. 0.726 840	.. 0.503 660
.. 6.089 100	.. 5.421 300	.. 6.004 200	.. 5.671 100	.. 2.130 900	.. 6.056 700
.. 2.893 700	.. 1.066 900	.. 3.465 400	.. 1.553 600	.. 2.937 800	.. 1.138 600
.. 4.070 200	.. 2.764 600	.. 0.041 300	.. 5.008 500	.. 2.268 800	.. 0.860 500
du 7 mars 0h au 18 mars 0h		du 18 mars 0h au 29 mars 0h		du 29 mars 0h au 9 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 12.810 600	.. -3.425 200	.. 15.096 700	.. -1.577 600	.. 14.329 100	.. -0.501 700
.. -1.066 540	.. 0.362 470	.. -1.610 680	.. 0.050 700	.. -1.572 990	.. -0.141 040
.. 204.469 700	.. 83.451 900	.. 185.896 600	.. 80.034 300	.. 188.730 400	.. 79.849 500
.. 4.364 609	.. 2.999 575	.. 2.436 795	.. 1.079 003	.. 0.405 653	.. 5.389 845
.. 1.128 920	.. 0.461 500	.. 1.023 380	.. 0.059 430	.. 1.477 040	.. 0.329 360
.. 1.922 600	.. 6.043 900	.. 2.466 700	.. 6.010 300	.. 2.792 200	.. 2.017 000
.. 2.361 200	.. 1.060 200	.. 3.352 600	.. 1.326 500	.. 2.980 600	.. 1.218 500
.. 4.869 400	.. 3.608 000	.. 1.068 600	.. 5.939 800	.. 3.068 000	.. 1.828 600
du 9 avril 0h au 20 avril 0h		du 20 avril 0h au 1 mai 0h		du 1 mai 0h au 12 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 12.428 500	.. 0.624 100	.. 9.235 300	.. 1.822 300	.. 6.847 900	.. 1.706 800
.. -1.308 610	.. -0.357 360	.. -0.848 710	.. -0.612 140	.. -0.472 160	.. -0.612 620
.. 193.723 100	.. 78.146 900	.. 178.716 400	.. 71.798 700	.. 179.453 900	.. 76.191 600
.. 4.797 003	.. 3.483 289	.. 2.842 481	.. 1.480 686	.. 0.849 885	.. 5.783 525
.. 1.448 860	.. 0.371 960	.. 0.462 270	.. 0.392 350	.. 0.670 530	.. 0.685 950
.. 2.514 900	.. 1.676 800	.. 2.606 000	.. 2.718 100	.. 3.864 900	.. 2.692 000
.. 2.140 600	.. 0.915 100	.. 2.985 800	.. 1.197 300	.. 2.791 700	.. 1.247 700
.. 5.745 200	.. 4.310 800	.. 1.890 900	.. 0.651 000	.. 3.996 100	.. 2.641 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TITAN 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 12 mai 0h au 23 mai 0h		du 23 mai 0h au 3 juin 0h		du 3 juin 0h au 14 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
3.683 700	1.021 900	-0.805 400	-0.043 300	-2.401 400	-1.005 900
0.073 350	-0.507 140	0.902 280	-0.354 120	1.195 220	-0.184 960
175.099 100	72.918 000	173.139 700	67.971 900	177.824 500	69.103 900
5.195 941	3.898 295	3.179 652	1.887 196	1.266 250	6.204 617
0.557 110	0.507 110	0.774 930	0.179 810	1.435 110	0.372 920
3.560 900	2.250 300	5.849 200	3.403 500	5.502 500	3.440 800
2.202 500	0.805 100	2.412 700	1.074 600	3.009 900	1.110 600
0.154 400	5.134 400	2.771 500	1.441 900	4.895 100	3.542 900
du 14 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 6 juillet 0h		du 6 juillet 0h au 17 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-2.501 300	-1.924 900	-2.180 500	-3.661 900	-1.331 100	-4.340 700
1.222 900	-0.016 940	1.256 240	0.306 350	1.115 090	0.450 370
162.568 500	65.927 400	166.972 000	66.628 300	172.475 600	64.025 200
5.586 755	4.253 290	3.539 292	2.257 987	1.625 450	0.356 582
0.993 270	0.142 800	0.910 520	0.423 320	1.354 440	0.455 120
5.215 100	2.519 500	6.138 600	5.583 500	5.974 200	5.162 500
2.084 100	0.856 500	2.304 900	0.834 400	2.928 600	1.115 300
0.815 300	5.895 100	3.611 400	2.241 000	5.687 700	4.488 500
du 17 juillet 0h au 28 juillet 0h		du 28 juillet 0h au 8 août 0h		du 8 août 0h au 19 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.377 700	-4.205 600	4.944 400	-4.152 700	7.340 200	-3.687 800
0.798 260	0.436 790	-0.012 960	0.468 430	-0.484 110	0.405 530
162.002 200	59.466 000	167.678 700	63.087 900	162.941 200	60.526 000
5.936 079	4.614 185	3.942 571	2.628 657	1.982 942	0.729 864
0.791 090	0.230 710	0.535 900	0.510 250	0.707 540	0.413 270
5.529 400	5.683 400	1.778 700	5.966 200	1.352 100	5.622 800
2.142 300	0.853 800	2.155 900	0.751 800	2.731 500	1.053 900
1.641 000	0.294 900	4.266 500	3.094 800	0.324 700	5.298 600
du 19 août 0h au 30 août 0h		du 30 août 0h au 10 septembre 0h		du 10 septembre 0h au 21 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
8.522 800	-3.087 000	10.765 700	-1.543 700	11.260 900	-0.420 100
-0.743 920	0.295 630	-1.258 240	0.034 590	-1.417 800	-0.175 810
167.065 300	57.368 500	174.981 700	58.924 400	162.678 100	56.454 600
6.247 607	5.001 319	4.333 074	3.047 751	2.361 281	1.071 385
0.331 990	0.159 000	1.389 570	0.213 570	1.378 190	0.117 660
2.393 700	6.044 900	2.623 300	0.805 700	2.288 200	1.681 900
2.584 000	0.827 900	1.912 100	0.736 500	2.915 400	0.908 500
2.420 700	1.146 800	4.990 800	3.764 700	1.202 700	6.214 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TITAN 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 21 septembre 0h au 2 octobre 0h		du 2 octobre 0h au 13 octobre 0h		du 13 octobre 0h au 24 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
11.021 600	0.041 700	7.584 500	0.697 400	4.524 800	0.799 300
-1.442 540	-0.279 210	-0.935 330	-0.419 300	-0.398 430	-0.466 370
172.421 500	59.037 100	179.621 800	57.771 300	175.726 400	54.920 400
0.316 708	5.380 144	4.700 635	3.486 036	2.721 517	1.462 866
0.865 920	0.263 230	1.069 460	0.415 640	0.703 400	0.384 090
2.599 700	2.426 400	3.197 300	2.380 900	2.811 600	2.407 400
2.806 400	0.953 900	2.098 900	0.668 900	2.810 100	0.919 000
3.179 100	2.028 900	5.790 800	4.454 500	1.990 200	0.849 200
du 24 octobre 0h au 4 novembre 0h		du 4 novembre 0h au 15 novembre 0h		du 15 novembre 0h au 26 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
2.194 000	0.747 100	-1.881 100	-0.287 700	-4.298 800	-1.636 100
-0.002 790	-0.493 370	0.755 830	-0.331 550	1.271 630	-0.094 400
183.832 800	60.216 700	180.151 300	59.028 000	190.435 400	59.277 200
0.757 800	5.775 771	5.098 210	3.885 652	3.089 851	1.893 167
0.208 660	0.358 670	1.079 790	0.364 900	0.879 620	0.169 800
5.294 000	2.739 000	5.115 700	3.047 200	5.222 000	2.726 700
3.038 800	1.020 100	2.470 100	0.719 100	2.624 000	0.888 000
4.142 200	2.842 200	0.189 800	5.309 400	2.922 200	1.629 000
du 26 novembre 0h au 7 décembre 0h		du 7 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 29 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-6.535 800	-2.701 000	-5.017 200	-3.774 500	-2.049 400	-4.500 200
1.767 990	0.069 690	1.612 230	0.268 860	1.139 180	0.427 420
201.925 300	61.397 200	187.940 300	60.517 000	200.062 300	66.266 100
1.215 202	6.250 914	5.544 254	4.275 947	3.547 106	2.320 683
1.379 260	0.176 760	1.712 420	0.385 110	1.022 890	0.216 750
5.850 300	5.362 300	5.812 400	4.970 600	5.586 800	5.407 400
3.659 300	1.054 700	2.578 100	0.901 100	2.812 700	0.822 500
5.069 600	3.845 400	0.999 100	6.076 100	3.795 300	2.530 200
du 29 décembre 0h au 9 janvier 0h		du 9 janvier 0h au 20 janvier 0h		du 20 janvier 0h au 31 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.935 200	-5.424 500	5.018 700	-5.046 100	8.800 800	-3.755 900
0.727 810	0.609 230	0.041 340	0.569 680	-0.690 220	0.345 820
205.628 300	66.347 300	203.011 600	64.107 000	210.208 800	70.339 500
1.656 471	0.458 600	5.980 696	4.727 122	4.070 362	2.786 347
0.489 390	0.575 210	0.757 060	0.623 010	0.408 920	0.208 600
0.321 100	5.928 100	0.950 800	5.657 000	1.735 500	5.638 700
3.591 000	1.247 200	3.028 000	0.977 400	2.594 600	0.900 500
6.005 600	4.810 700	1.985 100	0.625 900	4.581 700	3.408 000

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

HYPÉRION 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 8 janvier 0h		du 8 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 24 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-41.552 700	-28.258 700	-6.949 200	-44.286 800	34.303 700	21.911 900
3.101 810	0.527 680	9.131 840	6.535 560	-19.135 100	-6.756 480
233.388 400	94.673 000	183.087 500	56.718 700	159.712 300	76.580 800
4.063 613	2.718 588	0.231 139	4.977 702	2.545 921	0.876 770
18.706 560	7.737 990	14.658 210	3.137 710	4.570 000	2.804 100
2.006 700	0.621 100	5.196 600	3.987 300	1.528 000	4.665 200
0.997 800	0.560 500	1.694 600	1.177 800	5.474 700	1.381 700
1.737 700	0.080 000	1.648 600	0.467 000	2.496 700	1.245 000
du 24 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 9 février 0h		du 9 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-41.278 500	-32.453 500	95.563 500	-13.282 500	-88.715 600	-14.348 000
6.692 160	1.071 660	-17.811 670	3.121 990	10.686 130	-2.462 090
203.710 600	85.883 500	204.712 600	77.643 600	255.916 200	91.448 900
4.923 166	3.570 397	0.548 801	5.855 961	3.172 597	1.998 005
16.954 810	7.280 620	8.115 730	3.429 970	18.807 030	5.967 570
3.031 800	1.643 700	4.442 400	4.296 600	0.848 800	6.073 700
0.685 200	0.390 900	6.196 300	1.881 800	1.637 000	0.360 700
2.934 000	1.356 400	3.995 900	2.907 800	5.705 600	3.565 800
du 17 février 0h au 25 février 0h		du 25 février 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 13 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-26.556 900	-27.823 000	10.730 600	-9.791 500	-38.282 900	-26.401 200
7.955 810	0.319 200	-3.506 160	1.996 640	2.891 010	-0.006 030
184.021 600	81.609 500	222.486 000	86.552 600	219.010 700	91.098 400
5.831 176	4.487 968	1.812 382	0.579 121	4.252 394	2.900 442
16.086 490	7.475 700	14.167 100	5.715 190	18.100 610	7.510 470
4.208 000	2.808 200	0.013 300	5.219 600	2.213 000	0.828 800
0.782 100	0.433 200	7.071 700	2.840 700	1.116 400	0.526 500
5.560 000	3.631 600	0.255 700	5.341 600	2.061 600	0.348 000
du 13 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 29 mars 0h		du 29 mars 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
2.548 000	-38.447 800	5.502 400	26.797 300	-34.882 400	-25.469 900
7.516 100	5.647 940	-12.921 570	-8.538 280	5.316 530	-0.519 840
176.058 700	60.296 000	171.251 400	69.732 400	187.422 600	78.819 600
0.373 791	5.168 208	2.657 545	0.900 473	5.060 236	3.775 907
13.605 270	3.503 750	5.698 050	3.165 870	16.415 010	7.088 150
5.316 200	3.994 100	0.929 900	4.322 400	3.187 400	1.926 200
1.459 500	0.964 500	4.100 100	1.332 400	0.954 000	0.464 100
2.193 900	0.947 200	2.740 200	1.927 500	3.345 500	2.309 300

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

HYPÉRION 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 6 avril 0h au 14 avril 0h		du 14 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 30 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
93.414 000	-1.696 100	-63.628 900	-11.860 900	-19.968 100	-29.472 200
-19.102 550	0.324 100	5.092 390	-2.504 850	6.120 730	1.239 650
184.262 500	83.074 000	215.949 800	80.970 700	168.221 000	70.042 200
0.586 881	5.874 272	3.336 666	2.083 097	5.852 992	4.482 735
8.336 780	4.390 910	15.462 460	5.414 070	14.843 000	6.103 670
4.330 300	3.946 200	1.105 900	6.169 700	4.205 300	2.816 900
5.921 600	2.288 600	0.862 900	0.341 100	0.501 300	0.191 400
4.183 200	3.205 000	5.556 700	3.821 800	5.340 900	3.994 300
du 30 avril 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 16 mai 0h		du 16 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
31.406 300	-10.578 400	-40.395 700	-22.862 400	-2.395 900	-39.362 100
-9.048 630	2.610 180	2.667 500	-0.121 270	7.637 120	6.280 690
171.405 600	75.523 400	192.041 000	79.110 900	153.842 300	46.474 200
1.779 010	0.652 050	4.246 721	2.910 577	0.352 482	5.109 294
8.661 190	5.208 930	16.229 800	6.705 660	12.038 050	2.428 520
0.066 900	5.347 800	2.222 100	0.847 900	5.331 100	4.219 000
5.170 700	2.533 900	1.017 700	0.519 900	1.370 100	0.998 300
0.494 100	5.557 500	2.104 800	0.473 700	2.158 300	0.818 300
du 24 mai 0h au 1 juin 0h		du 1 juin 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 17 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-1.777 100	20.582 600	-49.572 700	-26.092 800	66.589 500	-3.672 900
-10.876 490	-6.622 350	7.623 790	0.332 970	-13.446 400	0.673 120
157.878 600	62.884 800	154.609 900	67.254 900	172.698 100	71.016 100
2.583 548	0.918 085	4.949 302	3.650 276	0.603 159	5.820 417
5.874 670	2.949 910	12.914 510	5.850 490	7.996 410	3.877 240
0.689 600	4.516 700	3.118 200	1.773 700	4.625 500	3.913 900
3.232 800	1.026 000	0.389 600	0.259 100	5.218 700	1.975 300
2.743 900	1.917 800	3.720 300	1.844 900	4.303 600	3.233 000
du 17 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 3 juillet 0h		du 3 juillet 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-70.978 700	-8.473 100	-32.649 100	-22.863 800	27.197 000	-5.599 100
5.988 500	-2.321 830	7.185 220	0.192 330	-8.432 170	1.525 300
202.811 700	69.221 500	147.490 700	62.417 700	160.926 200	64.393 000
3.190 871	1.995 160	5.731 043	4.425 720	1.612 820	0.462 177
15.282 680	4.758 990	13.193 760	5.790 760	8.129 390	4.007 560
0.933 600	6.082 700	4.137 300	2.755 200	6.144 000	5.101 700
1.194 700	0.271 300	0.697 900	0.294 500	4.667 900	1.990 600
5.854 200	3.997 700	5.563 200	3.522 400	0.354 600	5.419 000

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

HYPÉRION 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 19 juillet 0h		du 19 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 4 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-49.890 100	-13.679 300	-9.115 000	-33.184 500	13.512 900	21.155 800
2.976 870	-1.548 150	7.161 330	4.863 510	-14.809 430	-6.035 780
177.526 400	62.958 900	144.763 700	43.731 400	132.982 100	57.330 400
4.066 523	2.837 016	0.141 459	4.939 677	2.389 913	0.726 040
14.851 540	5.136 790	10.666 090	2.161 040	3.169 730	3.033 710
2.048 000	0.843 500	5.115 000	3.830 600	0.669 300	4.317 400
0.773 200	0.208 400	1.547 100	0.837 500	3.471 100	0.840 700
1.804 200	0.728 700	2.155 100	0.859 600	2.734 300	1.936 400
du 4 août 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 20 août 0h		du 20 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-49.882 900	-21.894 600	64.094 200	-7.859 300	-66.760 100	-6.326 600
5.420 090	0.215 460	-13.179 670	1.655 920	3.503 350	-1.829 350
159.746 200	59.832 400	178.750 400	59.133 000	201.156 900	63.047 000
4.770 380	3.495 974	0.399 890	5.693 557	3.048 126	1.848 473
14.006 590	5.270 320	8.958 630	3.012 640	15.150 040	4.506 350
2.919 500	1.607 500	4.417 800	3.879 200	0.842 200	5.964 800
0.706 400	0.295 300	5.330 600	1.605 800	0.797 000	0.123 500
3.162 400	1.551 600	4.113 400	3.082 000	5.862 200	4.059 500
du 28 août 0h au 5 septembre 0h		du 5 septembre 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 21 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-43.898 400	-22.243 000	16.380 300	-9.217 800	-71.298 300	-13.705 100
7.454 460	0.527 100	-5.643 630	2.476 390	6.051 070	-0.884 410
147.185 700	54.514 100	175.049 800	56.564 700	183.693 500	60.316 600
5.511 382	4.227 764	1.452 967	0.374 977	3.776 238	2.640 017
12.948 450	4.829 810	10.156 660	3.760 530	14.825 850	4.987 980
3.928 300	2.575 300	5.991 700	5.119 400	1.692 100	0.606 300
0.659 900	0.172 700	5.236 800	1.874 700	1.069 900	0.290 200
5.533 000	3.780 600	0.140 600	5.335 100	0.808 700	0.117 300
du 21 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 7 octobre 0h		du 7 octobre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-38.819 100	-30.626 600	8.293 600	20.310 200	-60.036 700	-15.214 500
12.561 440	4.161 730	-13.862 910	-5.356 330	5.417 330	-0.969 750
136.460 200	42.190 500	151.681 100	57.069 600	172.159 600	55.499 200
0.058 951	4.767 542	2.149 134	0.590 243	4.588 719	3.440 743
11.792 670	2.101 200	4.719 920	3.148 350	14.970 610	5.024 930
5.190 400	3.590 200	0.089 600	4.267 900	2.748 100	1.630 200
1.550 000	0.732 800	2.943 000	0.658 700	0.726 300	0.327 500
1.465 600	0.725 700	2.502 900	1.792 600	3.046 300	2.189 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

HYPÉRION 2005

N = 0.3940 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 15 octobre 0h au 23 octobre 0h		du 23 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 8 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
61.535 900	-4.935 600	-61.724 200	0.690 800	-44.789 000	-17.772 800
-12.941 650	0.865 490	0.179 400	-3.160 900	5.209 560	-0.426 310
201.211 000	61.467 200	209.923 500	56.432 000	175.923 100	56.440 200
0.264 250	5.547 674	2.949 139	1.669 369	5.360 297	4.178 998
10.609 170	3.464 400	14.943 550	3.565 920	15.775 470	5.324 870
4.330 600	3.652 700	0.803 800	5.748 700	3.715 300	2.540 800
5.903 400	1.740 400	0.438 700	0.345 700	0.598 400	0.317 100
3.993 900	2.981 400	4.914 200	3.277 000	4.596 600	3.456 600
du 8 novembre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 24 novembre 0h		du 24 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
30.883 400	-8.142 400	-70.901 700	-12.699 700	-49.827 600	-36.512 600
-9.407 910	2.332 880	4.115 680	-1.025 910	14.586 460	5.534 700
183.424 800	57.032 300	207.606 600	62.452 800	148.860 200	40.999 700
1.248 692	0.240 652	3.723 845	2.550 199	6.234 815	4.576 701
8.644 700	3.574 840	16.875 750	5.121 660	12.266 270	1.329 320
5.751 000	5.000 200	1.687 200	0.541 300	5.153 300	3.722 200
4.877 400	1.789 300	0.976 800	0.255 500	1.977 400	1.025 800
0.038 800	5.228 500	1.074 600	0.121 600	1.446 800	0.519 600
du 2 décembre 0h au 10 décembre 0h		du 10 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 26 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
15.535 600	17.631 000	-73.113 000	-20.551 900	48.482 200	-7.165 300
-16.299 010	-4.537 330	7.354 630	0.145 530	-9.930 910	1.387 750
165.633 100	62.563 200	189.974 200	63.408 000	220.342 100	66.417 000
2.075 284	0.625 088	4.508 688	3.301 669	0.338 443	5.539 712
4.579 740	3.166 540	15.579 510	5.482 690	11.126 000	3.608 010
0.047 700	4.485 000	2.667 700	1.440 400	4.565 400	3.717 600
3.493 500	0.666 800	0.415 300	0.252 300	5.984 500	1.810 600
2.444 600	1.393 600	2.627 600	1.416 100	4.134 500	3.033 700
du 26 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 11 janvier 0h		du 11 janvier 0h au 19 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-83.189 400	-1.791 600	-67.951 200	-19.046 000	25.867 900	-4.432 400
4.396 570	-2.937 840	10.178 580	-0.709 870	-8.694 430	1.502 790
249.383 900	66.773 600	173.114 000	64.320 200	206.412 200	68.004 300
2.896 693	1.676 195	5.388 276	4.196 045	1.320 964	0.190 161
18.714 390	4.430 950	14.530 620	6.041 860	10.176 260	3.912 030
0.695 800	5.787 600	3.886 700	2.598 000	5.815 900	4.833 400
1.062 800	0.264 000	1.107 500	0.400 300	5.398 800	1.909 000
5.833 100	3.543 900	5.745 900	3.715 300	0.128 100	5.214 900

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JAPET 2005**N = 0.0790** rad/jour**COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 16 janvier 0h		du 16 janvier 0h au 1 février 0h		du 1 février 0h au 17 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -7.983 500	.. -1.729 200	.. 23.397 700	.. -8.712 700	.. 31.800 300	.. -5.294 100
.. 2.660 790	.. -0.154 970	.. 1.973 510	.. 0.532 410	.. 0.506 060	.. 0.734 060
.. 646.966 900	.. 100.874 000	.. 637.123 100	.. 111.047 400	.. 601.685 700	.. 110.203 700
.. 1.895 615	.. 0.907 186	.. 3.136 256	.. 2.209 310	.. 4.416 830	.. 3.411 650
.. 12.471 400	.. 2.917 300	.. 9.427 100	.. 1.984 100	.. 16.998 600	.. 3.124 500
.. 5.754 900	.. 4.847 300	.. 2.225 900	.. 0.622 400	.. 4.677 700	.. 3.709 700
du 17 février 0h au 5 mars 0h		du 5 mars 0h au 21 mars 0h		du 21 mars 0h au 6 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 14.450 100	.. 1.996 000	.. -6.153 800	.. -3.264 700	.. 23.161 400	.. -4.437 800
.. -0.592 810	.. 0.070 370	.. 2.924 570	.. 0.307 400	.. 1.987 670	.. 0.793 700
.. 595.386 200	.. 104.551 400	.. 563.999 300	.. 101.038 300	.. 579.008 400	.. 106.059 200
.. 5.741 059	.. 4.795 385	.. 0.809 703	.. 6.136 588	.. 2.036 246	.. 1.200 844
.. 11.350 200	.. 1.898 500	.. 5.130 300	.. 0.389 700	.. 8.150 200	.. 2.051 000
.. 0.484 400	.. 5.256 000	.. 3.622 700	.. 3.578 300	.. 5.371 500	.. 4.852 000
du 6 avril 0h au 22 avril 0h		du 22 avril 0h au 8 mai 0h		du 8 mai 0h au 24 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 39.021 500	.. 4.120 400	.. 7.368 700	.. 2.685 100	.. -5.410 200	.. -5.187 400
.. -0.756 340	.. 0.306 820	.. 0.296 830	.. -0.094 840	.. 1.736 960	.. -0.169 600
.. 534.988 700	.. 102.839 200	.. 513.522 700	.. 91.740 000	.. 479.268 400	.. 83.876 200
.. 3.273 416	.. 2.367 263	.. 4.489 904	.. 3.592 397	.. 5.768 166	.. 4.901 035
.. 4.778 300	.. 0.739 000	.. 11.970 000	.. 3.080 000	.. 8.757 500	.. 1.980 600
.. 2.482 500	.. 2.439 000	.. 5.123 700	.. 4.259 600	.. 0.759 900	.. 5.996 900
du 24 mai 0h au 9 juin 0h		du 9 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 11 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 16.882 800	.. -12.199 300	.. 34.015 200	.. -3.010 300	.. 20.682 000	.. 7.488 600
.. 2.308 430	.. 0.821 620	.. 0.144 750	.. 0.894 410	.. -0.903 780	.. 0.136 070
.. 476.785 100	.. 68.958 600	.. 487.136 900	.. 73.965 600	.. 471.731 100	.. 67.440 800
.. 0.775 865	.. 6.222 764	.. 1.955 760	.. 1.226 142	.. 3.178 188	.. 2.308 752
.. 7.713 400	.. 0.282 200	.. 9.124 600	.. 1.605 700	.. 3.993 100	.. 0.711 300
.. 3.591 400	.. 2.674 000	.. 5.288 500	.. 4.440 700	.. 1.622 000	.. 3.454 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

JAPET 2005

N = 0.0790 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 11 juillet 0h au 27 juillet 0h		du 27 juillet 0h au 12 août 0h		du 12 août 0h au 28 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -9.815 500	.. 4.049 200	.. 3.734 700	.. -5.460 100	.. 28.757 800	.. -11.941 600
.. 1.666 840	.. -0.280 050	.. 2.082 100	.. -0.196 020	.. 1.326 430	.. 0.671 770
.. 465.251 400	.. 57.087 700	.. 447.058 500	.. 50.425 100	.. 463.316 200	.. 37.188 000
.. 4.339 516	.. 3.513 931	.. 5.620 677	.. 4.781 935	.. 0.606 756	.. 6.082 861
.. 9.310 800	.. 2.137 300	.. 6.355 700	.. 1.405 600	.. 8.570 000	.. 0.052 300
.. 5.083 800	.. 4.367 600	.. 0.835 800	.. 5.991 000	.. 3.669 200	.. 3.147 800
du 28 août 0h au 13 septembre 0h		du 13 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 15 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 26.286 400	.. -4.296 200	.. 1.626 700	.. 3.225 200	.. -9.761 700	.. 1.434 100
.. -0.671 520	.. 0.700 850	.. 0.247 470	.. 0.184 410	.. 2.863 670	.. -0.083 670
.. 485.917 600	.. 41.198 100	.. 503.805 400	.. 39.189 300	.. 505.805 300	.. 32.776 000
.. 1.793 665	.. 1.095 912	.. 3.023 557	.. 2.097 027	.. 4.190 791	.. 3.210 581
.. 10.483 200	.. 1.177 900	.. 6.064 600	.. 0.765 700	.. 8.879 300	.. 1.347 400
.. 5.367 300	.. 4.257 200	.. 1.272 500	.. 4.054 100	.. 4.805 100	.. 4.458 800
du 15 octobre 0h au 31 octobre 0h		du 31 octobre 0h au 16 novembre 0h		du 16 novembre 0h au 2 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 21.990 700	.. -4.030 600	.. 31.156 000	.. -4.681 900	.. 1.499 600	.. -1.925 300
.. 1.588 870	.. 0.132 780	.. 0.004 510	.. 0.419 780	.. 0.456 570	.. 0.126 730
.. 505.115 300	.. 28.188 300	.. 537.616 900	.. 23.265 200	.. 578.116 400	.. 31.371 600
.. 5.506 616	.. 4.351 470	.. 0.500 868	.. 5.650 870	.. 1.769 487	.. 0.650 148
.. 4.487 000	.. 0.928 500	.. 9.226 100	.. 0.494 500	.. 14.415 700	.. 1.702 500
.. 0.753 400	.. 5.735 200	.. 3.842 800	.. 3.296 600	.. 5.636 800	.. 4.232 500
du 2 décembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 19 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -1.612 700	.. -5.089 200	.. 17.312 700	.. -8.734 000	.. 32.614 000	.. -1.845 500
.. 1.960 010	.. 0.087 980	.. 2.449 520	.. 0.638 440	.. -0.449 000	.. 0.680 270
.. 605.719 100	.. 37.416 800	.. 595.330 200	.. 45.678 400	.. 607.729 000	.. 41.508 900
.. 3.015 039	.. 1.807 961	.. 4.250 502	.. 2.936 356	.. 5.602 688	.. 4.161 544
.. 10.106 100	.. 1.227 300	.. 13.366 400	.. 0.446 900	.. 6.061 000	.. 0.821 100
.. 1.658 300	.. 5.511 600	.. 4.506 500	.. 4.726 900	.. 0.252 800	.. 4.310 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

SATELLITES D'URANUS

Coordonnées différentielles tangentielles (X, Y)

MIRANDA	II. 136
ARIEL	II. 140
UMBRIEL	II. 141
TITANIA	II. 143
OBÉRON	II. 145

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$A_0 + A_1 u + B_0 \sin(Nu + F_0) + B_1 u \sin(Nu + F_1) + B_2 u^2 \sin(Nu + F_2) + C_0 \sin(2Nu + P_0),$$

où : $u = t - t_0$ (compté en jours).

MIRANDA 2005

N = 4.4880 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 9 janvier 0h		du 9 janvier 0h au 18 janvier 0h		du 18 janvier 0h au 27 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.003 500	0.004 900	0.002 900	0.005 200	0.002 500	0.002 700
-0.000 020	-0.000 450	0.000 080	-0.000 440	0.000 110	0.000 160
2.321 900	8.589 700	2.268 900	8.538 500	2.213 300	8.490 800
6.010 227	1.864 960	2.013 685	4.171 822	4.297 832	0.195 841
0.106 180	0.373 810	0.104 740	0.371 540	0.102 980	0.368 730
4.381 600	0.275 100	0.378 600	2.582 900	2.663 700	4.897 000
0.002 378	0.007 837	0.002 318	0.007 762	0.002 309	0.007 851
2.579 400	4.784 000	4.837 700	0.802 100	0.827 200	3.119 300
0.001 600	0.006 800	0.001 500	0.006 000	0.001 300	0.006 600
1.221 000	3.555 400	5.956 600	1.793 300	4.166 800	0.090 200
du 27 janvier 0h au 5 février 0h		du 5 février 0h au 14 février 0h		du 14 février 0h au 23 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.003 200	0.000 800	0.003 600	0.001 200	0.002 400	0.004 600
-0.000 080	0.000 410	-0.000 150	0.000 160	0.000 090	-0.000 550
2.158 800	8.456 000	2.105 400	8.428 200	2.053 500	8.406 300
0.296 199	2.503 785	2.576 340	4.812 990	4.854 515	0.838 955
0.100 490	0.365 970	0.098 540	0.365 530	0.096 420	0.362 880
4.943 200	0.920 600	0.939 600	3.230 300	3.220 800	5.545 600
0.002 242	0.007 634	0.002 192	0.007 545	0.002 151	0.007 576
3.124 900	5.434 400	5.400 200	1.446 400	1.398 700	3.778 100
0.001 300	0.005 800	0.001 400	0.005 700	0.001 400	0.005 300
2.594 200	4.676 700	0.909 300	3.074 100	5.579 200	1.376 400
du 23 février 0h au 4 mars 0h		du 4 mars 0h au 13 mars 0h		du 13 mars 0h au 22 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 100	0.003 700	0.002 600	-0.000 400	0.002 800	0.000 100
0.000 090	-0.000 220	-0.000 060	0.000 610	-0.000 090	0.000 260
2.005 100	8.397 200	1.960 000	8.395 300	1.920 100	8.402 300
0.848 399	3.149 097	3.124 216	5.459 783	5.399 706	1.487 794
0.094 470	0.361 790	0.092 320	0.360 590	0.090 540	0.360 300
5.500 800	1.573 200	1.500 200	3.887 200	3.778 300	6.202 200
0.002 117	0.007 482	0.002 090	0.007 451	0.002 022	0.007 469
3.674 700	6.092 300	5.969 900	2.137 700	1.959 600	4.453 500
0.001 500	0.005 800	0.001 500	0.005 400	0.001 500	0.005 900
3.778 600	6.133 400	2.109 400	4.468 500	0.335 900	2.784 500
du 22 mars 0h au 31 mars 0h		du 31 mars 0h au 9 avril 0h		du 9 avril 0h au 18 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 500	0.002 400	0.001 700	0.003 300	0.001 700	0.001 200
-0.000 040	-0.000 280	0.000 100	-0.000 350	0.000 040	0.000 100
1.885 000	8.417 300	1.854 900	8.442 200	1.831 000	8.477 100
1.392 560	3.799 915	3.668 485	6.111 860	5.946 009	2.141 271
0.089 140	0.361 990	0.087 170	0.361 520	0.085 700	0.363 500
6.059 200	2.236 000	2.059 900	4.549 800	4.342 700	0.580 000
0.001 986	0.007 610	0.001 942	0.007 544	0.001 889	0.007 541
4.226 100	0.473 000	0.247 400	2.808 200	2.528 700	5.109 800
0.001 400	0.006 500	0.001 400	0.006 200	0.001 200	0.006 500
4.810 900	1.060 600	3.136 200	5.681 900	1.357 100	3.907 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIRANDA 2005

N = 4.4880 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 18 avril 0h au 27 avril 0h		du 27 avril 0h au 6 mai 0h		du 6 mai 0h au 15 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 600	-0.002 100	0.002 200	0.000 400	0.001 500	0.003 400
-0.000 150	0.000 670	-0.000 040	-0.000 020	0.000 090	-0.000 610
1.812 400	8.516 600	1.799 100	8.564 500	1.790 700	8.617 500
1.942 495	4.454 131	4.224 649	0.483 570	0.227 037	2.796 271
0.084 300	0.365 660	0.082 980	0.366 960	0.081 880	0.368 700
0.344 900	2.895 600	2.634 800	5.208 500	4.931 300	1.242 000
0.001 833	0.007 610	0.001 795	0.007 568	0.001 796	0.007 734
4.822 500	1.140 300	0.835 400	3.464 300	3.135 500	5.790 900
0.001 100	0.006 100	0.001 200	0.006 400	0.001 100	0.005 200
5.979 000	2.199 200	4.293 000	0.591 200	2.788 200	5.201 100
du 15 mai 0h au 24 mai 0h		du 24 mai 0h au 2 juin 0h		du 2 juin 0h au 11 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.001 500	0.000 900	0.001 900	-0.001 400	0.002 400	-0.001 600
0.000 040	0.000 020	-0.000 040	0.000 430	-0.000 110	0.000 290
1.788 000	8.675 700	1.789 600	8.737 500	1.794 700	8.800 200
2.516 436	5.108 979	4.810 418	1.138 460	0.825 594	3.450 358
0.080 760	0.371 320	0.080 160	0.375 480	0.079 360	0.377 420
0.941 100	3.554 400	3.241 000	5.868 200	5.548 700	1.901 500
0.001 724	0.007 717	0.001 695	0.007 839	0.001 693	0.008 071
5.443 800	1.825 000	1.447 000	4.119 900	3.764 900	0.170 200
0.001 200	0.006 000	0.001 200	0.005 500	0.001 400	0.006 200
1.009 300	3.600 000	5.722 800	1.998 700	3.980 100	0.398 800
du 11 juin 0h au 20 juin 0h		du 20 juin 0h au 29 juin 0h		du 29 juin 0h au 8 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.001 800	0.001 200	0.001 200	0.002 800	0.001 900	-0.001 500
0.000 030	-0.000 320	0.000 140	-0.000 570	-0.000 020	0.000 390
1.804 300	8.867 700	1.816 900	8.934 000	1.832 000	8.997 100
3.128 901	5.762 201	5.437 004	1.790 328	1.466 656	4.100 691
0.078 770	0.381 510	0.078 230	0.385 530	0.077 840	0.387 700
1.569 900	4.209 400	3.883 200	0.236 300	6.200 400	2.546 600
0.001 627	0.008 005	0.001 607	0.008 094	0.001 586	0.008 203
6.076 100	2.470 600	2.118 000	4.771 800	4.448 100	0.814 200
0.001 300	0.006 000	0.001 500	0.007 100	0.001 300	0.006 600
2.297 600	4.902 300	0.518 300	3.284 900	5.120 400	1.461 400
du 8 juillet 0h au 17 juillet 0h		du 17 juillet 0h au 26 juillet 0h		du 26 juillet 0h au 4 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 400	-0.003 100	0.002 200	0.000 300	0.001 800	0.001 500
-0.000 100	0.000 550	0.000 000	-0.000 310	0.000 100	-0.000 460
1.849 500	9.055 600	1.869 300	9.111 000	1.891 200	9.159 200
3.784 242	0.127 531	6.105 180	2.436 420	2.146 910	4.745 074
0.077 990	0.392 180	0.077 630	0.393 730	0.078 090	0.397 230
2.238 900	4.856 100	4.565 100	0.879 300	0.606 200	3.183 800
0.001 580	0.008 360	0.001 581	0.008 389	0.001 558	0.008 412
0.472 900	3.105 100	2.834 400	5.428 600	5.155 700	1.439 600
0.001 300	0.006 800	0.001 200	0.006 700	0.001 300	0.006 300
3.449 400	6.112 200	1.735 200	4.290 700	0.226 600	2.808 200

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIRANDA 2005

N = 4.4880 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 4 août 0h au 13 août 0h		du 13 août 0h au 22 août 0h		du 22 août 0h au 31 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.001 700	0.000 200	0.002 600	-0.002 900	0.003 000	-0.003 000
0.000 100	-0.000 100	-0.000 070	0.000 490	-0.000 100	0.000 320
1.913 900	9.194 800	1.938 000	9.227 200	1.962 000	9.247 000
4.474 441	0.769 828	0.519 907	3.076 497	2.849 853	5.382 936
0.078 870	0.401 320	0.079 120	0.401 390	0.080 230	0.403 630
2.936 300	5.493 300	5.265 200	1.510 200	1.312 700	3.812 600
0.001 577	0.008 687	0.001 584	0.008 552	0.001 624	0.008 581
1.190 000	3.724 500	3.556 200	6.046 200	5.879 400	2.054 900
0.001 200	0.005 900	0.001 400	0.006 100	0.001 400	0.006 200
4.860 900	0.984 400	3.253 400	5.789 900	1.557 300	4.093 100
du 31 août 0h au 9 septembre 0h		du 9 septembre 0h au 18 septembre 0h		du 18 septembre 0h au 27 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 300	0.001 600	0.002 200	0.000 800	0.002 700	-0.003 000
0.000 100	-0.000 690	0.000 120	-0.000 360	0.000 010	0.000 480
1.985 500	9.252 900	2.007 800	9.250 900	2.026 600	9.232 600
5.179 404	1.405 303	1.225 064	3.710 286	3.552 139	6.014 634
0.081 210	0.404 880	0.082 480	0.404 930	0.084 030	0.404 040
3.640 300	6.117 100	5.964 500	2.133 000	2.009 500	4.438 100
0.001 649	0.008 694	0.001 682	0.008 622	0.001 775	0.008 767
1.932 600	4.350 500	4.255 600	0.368 600	0.283 400	2.679 900
0.001 600	0.006 100	0.001 400	0.006 700	0.001 500	0.006 900
6.248 700	2.539 800	4.440 400	0.709 100	2.792 900	5.360 500
du 27 septembre 0h au 6 octobre 0h		du 6 octobre 0h au 15 octobre 0h		du 15 octobre 0h au 24 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.003 400	-0.003 100	0.003 400	-0.001 300	0.002 500	0.001 000
-0.000 090	0.000 280	-0.000 050	-0.000 180	0.000 150	-0.000 570
2.043 400	9.206 900	2.055 800	9.170 100	2.062 100	9.120 700
5.876 411	2.035 488	1.914 801	4.339 526	4.232 558	0.359 501
0.085 190	0.403 840	0.086 580	0.403 860	0.087 780	0.400 580
4.323 800	0.453 900	0.353 800	2.753 900	2.667 300	5.057 700
0.001 774	0.008 673	0.001 810	0.008 648	0.001 873	0.008 666
2.603 000	4.965 200	4.907 200	0.963 300	0.927 400	3.280 600
0.001 400	0.007 200	0.001 300	0.006 700	0.001 300	0.007 000
1.095 300	3.608 900	5.742 900	1.827 700	4.030 400	0.168 800
du 24 octobre 0h au 2 novembre 0h		du 2 novembre 0h au 11 novembre 0h		du 11 novembre 0h au 20 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.002 600	-0.000 900	0.003 600	-0.005 100	0.003 500	-0.002 600
0.000 080	-0.000 060	-0.000 110	0.000 680	-0.000 050	-0.000 020
2.063 800	9.069 100	2.059 000	9.008 500	2.048 200	8.941 600
0.263 263	2.662 957	2.572 934	4.966 448	4.878 505	0.986 534
0.088 750	0.398 840	0.089 250	0.396 100	0.090 040	0.392 220
4.971 100	1.072 300	0.991 300	3.372 400	3.289 200	5.676 300
0.001 896	0.008 495	0.001 939	0.008 345	0.001 967	0.008 307
3.225 100	5.567 600	5.540 400	1.586 200	1.530 400	3.895 800
0.001 300	0.006 100	0.001 400	0.005 900	0.001 400	0.005 800
2.484 200	4.737 900	0.848 800	3.125 900	5.462 500	1.452 600

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

MIRANDA 2005**N = 4.4880 rad/jour****COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 20 novembre 0h au 29 novembre 0h		du 29 novembre 0h au 8 décembre 0h		du 8 décembre 0h au 17 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.003 000	0.000 400	0.002 600	-0.001 100	0.002 900	-0.003 600
0.000 050	-0.000 630	0.000 100	-0.000 150	0.000 010	0.000 280
2.031 500	8.872 300	2.009 500	8.803 600	1.983 500	8.735 100
0.896 682	3.290 255	3.193 160	5.594 164	5.485 717	1.615 623
0.090 600	0.389 180	0.090 290	0.385 000	0.090 370	0.382 600
5.584 500	1.698 800	1.591 600	3.999 900	3.876 600	0.021 900
0.002 013	0.008 367	0.002 017	0.008 119	0.002 016	0.008 076
3.803 400	6.196 800	6.107 300	2.226 400	2.085 800	4.515 300
0.001 600	0.005 700	0.001 500	0.005 800	0.001 600	0.006 200
3.767 200	6.216 500	2.051 400	4.446 000	0.299 800	2.815 600
du 17 décembre 0h au 26 décembre 0h		du 26 décembre 0h au 4 janvier 0h		du 4 janvier 0h au 13 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.003 700	-0.004 800	0.003 000	-0.001 900	0.002 100	0.000 200
-0.000 150	0.000 370	0.000 000	-0.000 310	0.000 140	-0.000 670
1.953 300	8.666 700	1.920 300	8.605 900	1.885 600	8.548 700
1.490 785	3.920 632	3.774 623	6.226 045	6.054 444	2.248 912
0.090 020	0.379 400	0.089 250	0.375 690	0.088 380	0.372 190
6.159 900	2.331 000	2.156 900	4.633 000	4.437 800	0.658 700
0.002 016	0.008 133	0.002 003	0.007 831	0.002 024	0.007 807
4.360 800	0.540 300	0.361 100	2.848 200	2.641 300	5.162 100
0.001 400	0.006 800	0.001 400	0.006 000	0.001 200	0.006 900
4.763 100	1.061 700	3.138 900	5.660 700	1.239 100	3.845 000

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

ARIEL 2005

N = 2.4930 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 31 janvier 0h		du 31 janvier 0h au 3 mars 0h		du 3 mars 0h au 3 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.006 800	-0.020 100	0.006 400	-0.019 400	0.006 400	-0.020 200
-0.000 010	0.000 060	0.000 000	0.000 030	-0.000 010	0.000 070
4.122 700	12.455 100	3.893 600	12.236 800	3.702 000	12.160 600
2.620 930	4.915 581	4.436 582	0.519 065	6.236 890	2.411 590
0.010 830	0.009 200	0.012 270	0.005 660	0.011 840	0.003 830
0.284 600	1.815 800	2.245 500	3.227 600	4.212 600	3.947 700
0.000 029	0.000 078	0.000 017	0.000 089	0.000 042	0.000 082
0.814 700	5.430 200	4.174 100	0.748 100	0.629 100	2.669 600
0.002 400	0.006 500	0.002 600	0.008 300	0.001 900	0.007 100
0.349 900	2.481 400	3.836 800	0.131 200	1.303 300	3.710 900
du 3 avril 0h au 4 mai 0h		du 4 mai 0h au 4 juin 0h		du 4 juin 0h au 5 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.006 600	-0.020 500	0.006 200	-0.019 300	0.006 200	-0.020 300
-0.000 010	0.000 030	0.000 010	-0.000 050	0.000 000	0.000 000
3.586 100	12.240 400	3.556 500	12.456 800	3.602 300	12.763 600
1.753 674	4.307 573	3.572 244	6.204 351	5.425 975	1.815 658
0.009 570	0.007 100	0.005 910	0.010 310	0.002 790	0.011 250
6.213 500	5.061 900	2.077 400	0.413 800	5.012 700	2.106 600
0.000 066	0.000 059	0.000 080	0.000 040	0.000 083	0.000 045
2.703 000	4.324 900	4.733 700	5.383 100	0.490 300	6.241 500
0.002 100	0.007 400	0.001 700	0.006 300	0.002 300	0.007 600
4.959 500	1.324 800	2.452 800	4.987 400	6.174 500	2.661 000
du 5 juillet 0h au 5 août 0h		du 5 août 0h au 5 septembre 0h		du 5 septembre 0h au 6 octobre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.006 400	-0.020 500	0.006 100	-0.020 100	0.006 500	-0.021 700
0.000 000	-0.000 020	0.000 030	-0.000 050	0.000 000	0.000 040
3.698 900	13.083 400	3.821 900	13.326 800	3.937 800	13.409 100
1.038 962	3.704 937	2.971 588	5.587 968	4.919 970	1.182 001
0.005 600	0.009 950	0.008 720	0.006 210	0.008 910	0.004 600
1.854 700	3.774 600	4.050 000	5.186 300	6.111 000	5.773 700
0.000 060	0.000 083	0.000 025	0.000 103	0.000 060	0.000 103
2.612 800	1.189 000	5.489 800	2.724 000	2.554 400	4.357 100
0.002 000	0.008 100	0.002 000	0.006 800	0.002 200	0.007 300
3.532 300	6.177 500	1.283 500	3.744 200	4.948 600	1.241 500
du 6 octobre 0h au 6 novembre 0h		du 6 novembre 0h au 7 décembre 0h		du 7 décembre 0h au 7 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.006 800	-0.021 600	0.006 200	-0.019 400	0.006 000	-0.019 600
-0.000 010	0.000 010	0.000 010	-0.000 060	0.000 010	0.000 000
4.004 600	13.295 000	3.982 200	13.023 100	3.865 100	12.681 000
0.575 237	3.055 755	2.483 555	4.929 726	4.352 931	0.523 698
0.005 540	0.008 390	0.002 500	0.011 580	0.006 960	0.011 470
1.984 200	0.523 400	5.398 900	2.142 600	1.947 800	3.886 200
0.000 095	0.000 064	0.000 093	0.000 028	0.000 062	0.000 062
4.688 000	6.067 600	0.414 000	0.458 500	2.421 400	1.426 500
0.002 300	0.007 500	0.002 400	0.008 000	0.001 800	0.007 000
2.447 800	4.896 300	6.163 800	2.426 400	3.700 700	5.960 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

UMBRIEL 2005

N = 1.5162 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 27 janvier 0h		du 27 janvier 0h au 23 février 0h		du 23 février 0h au 22 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.015 200	0.032 400	0.018 300	0.003 500	0.019 500	0.008 300
0.000 010	-0.000 790	0.000 060	0.000 100	-0.000 320	0.000 790
5.769 200	17.341 600	5.491 300	17.065 400	5.246 100	16.940 600
4.846 072	0.860 485	1.743 647	4.101 685	4.910 471	1.063 185
0.014 790	0.012 570	0.017 020	0.008 190	0.016 830	0.004 860
2.502 100	3.943 100	5.812 300	0.636 700	2.838 700	3.057 100
0.000 044	0.000 096	0.000 025	0.000 125	0.000 046	0.000 130
2.999 800	1.287 100	1.309 200	4.512 200	5.329 900	1.351 400
0.010 300	0.030 400	0.010 500	0.032 800	0.010 900	0.034 800
5.941 800	1.975 500	5.876 200	1.997 900	6.117 100	2.295 900
du 22 mars 0h au 18 avril 0h		du 18 avril 0h au 15 mai 0h		du 15 mai 0h au 11 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.008 800	0.030 500	0.010 000	0.007 700	0.014 200	0.001 400
0.000 000	-0.000 670	0.000 180	-0.000 390	-0.000 210	0.000 790
5.073 800	16.978 000	4.991 800	17.169 700	4.998 800	17.486 200
1.789 755	4.309 932	4.959 531	1.273 664	1.866 137	4.519 521
0.014 880	0.007 130	0.011 410	0.011 700	0.006 770	0.015 020
6.164 500	5.223 400	3.281 900	1.803 400	0.576 700	4.847 300
0.000 074	0.000 102	0.000 099	0.000 071	0.000 117	0.000 056
2.531 000	4.300 500	6.041 300	0.737 200	3.117 000	3.062 800
0.009 200	0.030 900	0.009 300	0.032 200	0.010 500	0.036 500
0.023 000	2.573 600	6.248 300	2.588 900	0.214 600	2.875 500
du 11 juin 0h au 8 juillet 0h		du 8 juillet 0h au 4 août 0h		du 4 août 0h au 31 août 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.006 200	0.029 100	0.007 900	0.012 600	0.017 300	-0.004 700
0.000 010	-0.000 430	0.000 300	-0.000 630	-0.000 110	0.000 950
5.077 000	17.873 000	5.202 600	18.258 900	5.352 000	18.550 000
5.085 890	1.479 819	2.054 084	4.718 585	5.332 444	1.669 646
0.004 080	0.015 400	0.007 840	0.013 120	0.011 980	0.008 470
4.951 500	1.590 300	2.855 800	4.591 700	0.120 900	1.211 100
0.000 117	0.000 064	0.000 088	0.000 091	0.000 034	0.000 119
0.169 500	5.588 600	3.651 000	2.033 900	1.444 500	5.101 900
0.009 600	0.033 700	0.009 400	0.033 300	0.011 100	0.038 700
0.523 600	3.186 000	0.561 200	3.195 800	0.838 300	3.410 300
du 31 août 0h au 27 septembre 0h		du 27 septembre 0h au 24 octobre 0h		du 24 octobre 0h au 20 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.013 100	0.023 900	0.011 300	0.018 700	0.020 900	-0.005 400
-0.000 090	0.000 080	0.000 300	-0.000 770	-0.000 010	0.000 690
5.496 400	18.670 700	5.595 600	18.585 000	5.610 400	18.311 200
2.342 120	4.901 119	5.631 256	1.847 409	2.619 077	5.077 582
0.012 700	0.005 490	0.009 620	0.009 220	0.004 380	0.014 280
3.522 700	3.430 200	0.679 200	5.697 800	4.582 400	2.352 800
0.000 068	0.000 142	0.000 117	0.000 122	0.000 125	0.000 085
6.158 700	1.900 000	3.424 900	4.896 600	0.522 500	1.028 900
0.010 800	0.036 700	0.009 800	0.032 600	0.011 200	0.037 200
1.194 000	3.731 500	1.315 700	3.757 500	1.455 000	3.894 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

UMBRIEL 2005**N = 1.5162 rad/jour****COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 20 novembre 0h au 17 décembre 0h		du 17 décembre 0h au 13 janvier 0h		du 13 janvier 0h au 9 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.018 000	0.019 200	0.010 600	0.024 000	0.016 500	-0.003 800
-0.000 230	0.000 240	0.000 170	-0.000 970	-0.000 010	0.000 230
5.519 300	17.921 500	5.340 800	17.508 800	5.121 600	17.158 200
5.863 069	2.026 769	2.793 607	5.262 207	5.978 972	2.218 197
0.005 720	0.015 940	0.011 020	0.014 930	0.014 990	0.011 380
3.116 900	5.386 000	0.458 500	2.145 500	3.825 300	5.165 500
0.000 111	0.000 063	0.000 084	0.000 081	0.000 041	0.000 109
3.812 400	3.448 900	0.868 700	5.707 800	4.451 400	2.570 700
0.010 900	0.036 600	0.009 200	0.030 300	0.009 800	0.033 900
1.756 300	4.232 400	1.866 000	4.351 200	1.874 300	4.442 700

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TITANIA 2005

N = 0.7217 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 17 janvier 0h		du 17 janvier 0h au 3 février 0h		du 3 février 0h au 20 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.031 200	0.064 700	.. -0.042 700	0.099 400	.. -0.034 900	0.054 000
.. -0.000 780	0.001 850	.. 0.000 950	-0.003 000	.. 0.000 180	0.000 160
.. 9.391 000	28.439 200	.. 9.110 800	28.147 200	.. 8.827 700	27.928 400
.. 0.370 361	2.667 725	.. 0.040 512	2.374 584	.. 5.987 318	2.081 942
.. 0.023 590	0.016 530	.. 0.026 110	0.018 200	.. 0.028 000	0.012 360
.. 4.346 400	5.504 000	.. 3.954 300	4.895 400	.. 3.790 100	4.628 300
.. 0.000 104	0.000 169	.. 0.000 187	0.000 330	.. 0.000 075	0.000 262
.. 3.265 100	5.076 700	.. 5.363 900	1.161 600	.. 0.221 700	2.923 900
.. 0.012 000	0.037 900	.. 0.010 600	0.033 300	.. 0.011 100	0.035 700
.. 5.353 000	1.384 600	.. 4.737 200	0.776 200	.. 4.357 600	0.483 500
du 20 février 0h au 9 mars 0h		du 9 mars 0h au 26 mars 0h		du 26 mars 0h au 12 avril 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.021 300	0.032 000	.. -0.025 800	0.027 300	.. -0.011 600	0.026 100
.. 0.000 130	-0.000 780	.. 0.000 770	0.001 070	.. -0.000 210	0.000 460
.. 8.574 600	27.813 000	.. 8.376 600	27.803 500	.. 8.225 200	27.895 700
.. 5.644 239	1.789 054	.. 5.301 655	1.499 160	.. 4.955 707	1.207 337
.. 0.025 840	0.014 140	.. 0.027 660	0.009 440	.. 0.023 320	0.011 740
.. 3.526 600	3.752 000	.. 3.299 200	3.008 500	.. 3.061 700	2.080 200
.. 0.000 073	0.000 285	.. 0.000 157	0.000 330	.. 0.000 149	0.000 272
.. 5.010 200	1.498 600	.. 5.905 600	1.137 100	.. 5.698 800	1.858 700
.. 0.007 100	0.023 200	.. 0.006 700	0.023 100	.. 0.004 300	0.014 700
.. 3.904 400	0.088 600	.. 2.920 400	5.459 100	.. 2.242 100	4.800 100
du 12 avril 0h au 29 avril 0h		du 29 avril 0h au 16 mai 0h		du 16 mai 0h au 2 juin 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.020 800	0.067 500	.. -0.019 300	0.053 800	.. -0.034 100	0.114 400
.. 0.000 010	0.000 200	.. -0.000 960	0.003 500	.. 0.000 470	-0.002 470
.. 8.136 200	28.084 300	.. 8.109 800	28.377 900	.. 8.131 400	28.699 300
.. 4.614 039	0.915 139	.. 4.282 007	0.625 087	.. 3.955 953	0.330 866
.. 0.018 690	0.020 010	.. 0.018 000	0.017 020	.. 0.010 780	0.030 170
.. 2.864 600	1.686 600	.. 2.717 000	0.761 000	.. 2.773 200	0.674 500
.. 0.000 108	0.000 262	.. 0.000 256	0.000 298	.. 0.000 166	0.000 391
.. 5.288 300	6.246 100	.. 5.583 000	1.274 600	.. 5.548 800	4.206 200
.. 0.006 900	0.024 200	.. 0.008 900	0.030 600	.. 0.009 800	0.034 300
.. 1.039 100	3.649 100	.. 0.715 600	3.357 600	.. 6.273 700	2.680 000
du 2 juin 0h au 19 juin 0h		du 19 juin 0h au 6 juillet 0h		du 6 juillet 0h au 23 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.032 400	0.082 600	.. -0.030 300	0.077 500	.. -0.033 200	0.073 600
.. -0.000 160	0.000 740	.. 0.000 510	-0.002 340	.. 0.000 820	-0.001 960
.. 8.206 100	29.119 600	.. 8.313 200	29.534 100	.. 8.438 300	29.898 800
.. 3.642 741	0.036 348	.. 3.344 879	6.025 522	.. 3.056 246	5.725 910
.. 0.006 250	0.024 240	.. 0.007 730	0.026 620	.. 0.015 520	0.028 440
.. 3.066 100	0.319 900	.. 3.214 700	5.642 400	.. 3.894 700	6.114 900
.. 0.000 170	0.000 174	.. 0.000 361	0.000 559	.. 0.000 078	0.000 845
.. 4.801 200	5.120 100	.. 4.931 100	1.610 500	.. 0.196 300	3.768 200
.. 0.011 400	0.041 000	.. 0.009 300	0.032 700	.. 0.009 600	0.033 700
.. 5.991 200	2.383 400	.. 5.627 300	2.009 800	.. 5.044 700	1.418 400

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

TITANIA 2005

N = 0.7217 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 23 juillet 0h au 9 août 0h		du 9 août 0h au 26 août 0h		du 26 août 0h au 12 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.015 000	0.023 600	.. -0.023 200	0.051 300	.. -0.014 000	0.030 000
.. -0.000 290	0.000 530	.. 0.000 670	-0.000 750	.. -0.000 590	0.002 160
.. 8.598 200	30.258 800	.. 8.747 500	30.494 300	.. 8.898 600	30.614 500
.. 2.781 869	5.428 119	.. 2.515 486	5.127 894	.. 2.253 070	4.826 207
.. 0.016 180	0.017 850	.. 0.019 680	0.015 700	.. 0.023 370	0.007 310
.. 3.778 800	5.142 400	.. 3.518 300	4.480 000	.. 3.420 900	5.290 200
.. 0.000 153	0.000 181	.. 0.000 171	0.000 364	.. 0.000 217	0.000 843
.. 4.310 500	2.006 400	.. 4.882 500	1.336 600	.. 0.120 500	2.832 300
.. 0.006 900	0.024 300	.. 0.005 400	0.019 100	.. 0.006 000	0.020 500
.. 4.685 500	1.036 700	.. 3.545 100	6.117 200	.. 3.060 800	5.591 700
du 12 septembre 0h au 29 septembre 0h		du 29 septembre 0h au 16 octobre 0h		du 16 octobre 0h au 2 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.022 900	0.077 700	.. -0.032 800	0.086 100	.. -0.034 400	0.118 300
.. 0.000 020	-0.000 340	.. -0.000 270	0.001 750	.. 0.000 030	-0.003 540
.. 9.027 400	30.617 800	.. 9.113 300	30.480 400	.. 9.139 000	30.231 300
.. 1.991 926	4.525 337	.. 1.725 464	4.223 678	.. 1.453 560	3.923 081
.. 0.019 090	0.009 820	.. 0.016 780	0.015 770	.. 0.012 510	0.026 370
.. 3.221 500	2.476 700	.. 3.129 900	1.613 000	.. 3.101 000	0.761 900
.. 0.000 110	0.000 294	.. 0.000 177	0.000 278	.. 0.000 328	0.000 519
.. 5.415 100	0.787 700	.. 5.932 600	0.144 500	.. 5.943 500	3.082 800
.. 0.007 700	0.026 100	.. 0.011 800	0.038 700	.. 0.010 300	0.035 200
.. 2.056 500	4.564 000	.. 1.740 700	4.235 200	.. 1.262 900	3.736 800
du 2 novembre 0h au 19 novembre 0h		du 19 novembre 0h au 6 décembre 0h		du 6 décembre 0h au 23 décembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.041 000	0.091 700	.. -0.029 500	0.046 500	.. -0.035 800	0.074 300
.. 0.000 220	-0.000 440	.. 0.000 000	-0.000 240	.. 0.001 540	-0.004 150
.. 9.098 900	29.853 300	.. 8.988 300	29.431 800	.. 8.828 500	29.036 300
.. 1.170 777	3.623 640	.. 0.875 709	3.324 078	.. 0.570 877	3.028 813
.. 0.006 750	0.024 780	.. 0.008 210	0.025 810	.. 0.015 640	0.034 790
.. 3.558 500	0.673 800	.. 4.063 700	0.038 300	.. 4.311 700	0.035 700
.. 0.000 170	0.000 254	.. 0.000 245	0.000 117	.. 0.000 148	0.000 689
.. 5.321 800	5.305 500	.. 5.199 800	1.972 200	.. 5.538 300	3.587 900
.. 0.012 600	0.041 200	.. 0.010 300	0.033 500	.. 0.007 800	0.025 600
.. 0.860 900	3.301 000	.. 0.603 200	3.050 000	.. 6.093 700	2.325 000
du 23 décembre 0h au 9 janvier 0h		du 9 janvier 0h au 26 janvier 0h		du 26 janvier 0h au 12 février 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.014 200	0.009 900	.. -0.016 700	0.045 800	.. -0.020 300	0.053 700
.. -0.000 450	0.002 020	.. 0.000 200	-0.000 450	.. -0.000 250	0.001 770
.. 8.610 000	28.578 400	.. 8.387 200	28.229 900	.. 8.168 700	27.962 100
.. 0.251 756	2.731 427	.. 6.205 135	2.437 041	.. 5.868 245	2.146 415
.. 0.017 630	0.022 400	.. 0.022 290	0.021 180	.. 0.029 170	0.016 320
.. 4.226 800	5.469 500	.. 3.965 800	5.128 900	.. 3.800 200	5.645 700
.. 0.000 180	0.000 155	.. 0.000 126	0.000 156	.. 0.000 153	0.000 781
.. 4.326 900	1.172 400	.. 4.763 100	2.066 800	.. 0.674 100	3.498 900
.. 0.006 500	0.022 300	.. 0.004 600	0.015 300	.. 0.007 300	0.025 200
.. 5.666 300	1.878 500	.. 4.405 000	0.639 300	.. 3.709 600	0.001 800

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

OBÉRON 2005

N = 0.4667 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 22 janvier 0h		du 22 janvier 0h au 13 février 0h		du 13 février 0h au 7 mars 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.006 000	-0.033 200	0.015 000	-0.076 500	-0.020 500	0.032 600
0.000 750	-0.001 700	-0.001 510	0.005 680	0.000 650	-0.000 500
12.582 600	38.119 900	12.083 900	37.610 600	11.590 200	37.253 700
1.051 998	3.342 140	4.991 604	1.046 174	2.637 876	5.035 783
0.031 740	0.035 840	0.034 300	0.037 790	0.030 460	0.029 750
4.890 700	0.104 100	2.564 000	3.683 200	0.408 900	0.732 800
0.000 147	0.000 526	0.000 316	0.000 910	0.000 294	0.000 688
6.097 600	3.772 200	4.110 100	0.818 700	1.335 100	4.168 200
0.006 300	0.020 200	0.001 700	0.004 200	0.003 900	0.014 200
2.396 600	4.703 400	4.446 600	0.865 500	3.399 900	6.022 700
du 7 mars 0h au 29 mars 0h		du 29 mars 0h au 20 avril 0h		du 20 avril 0h au 12 mai 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.005 700	0.026 800	-0.029 800	0.027 800	-0.018 900	0.016 100
-0.001 310	0.000 110	0.000 880	-0.001 160	0.001 020	-0.004 330
11.203 400	37.145 100	10.956 600	37.355 300	10.848 900	37.785 100
0.280 397	2.745 887	4.204 736	0.455 332	1.850 759	4.446 072
0.031 670	0.020 160	0.031 900	0.013 450	0.026 020	0.013 200
4.648 100	3.751 700	2.406 900	0.868 300	0.107 300	4.879 500
0.000 075	0.000 185	0.000 202	0.000 466	0.000 324	0.000 678
3.893 900	0.461 000	5.547 900	1.551 200	2.773 500	4.859 600
0.007 600	0.023 400	0.009 100	0.032 100	0.010 000	0.035 700
5.640 100	1.864 000	1.341 600	3.861 500	3.415 500	6.035 100
du 12 mai 0h au 3 juin 0h		du 3 juin 0h au 25 juin 0h		du 25 juin 0h au 17 juillet 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
0.005 600	-0.081 600	0.007 000	-0.045 900	0.003 700	-0.018 700
-0.000 190	0.002 290	0.000 030	0.000 000	-0.000 630	0.001 990
10.849 000	38.320 400	10.958 000	38.976 700	11.151 100	39.677 700
5.793 533	2.151 888	3.472 603	6.139 748	1.173 667	3.841 895
0.016 030	0.025 640	0.010 120	0.035 630	0.012 570	0.036 300
4.343 400	2.544 600	2.823 500	6.256 700	1.537 800	3.753 000
0.000 263	0.000 437	0.000 247	0.000 258	0.000 251	0.000 334
0.421 900	1.755 700	4.887 700	4.063 700	2.846 400	1.088 200
0.008 400	0.030 200	0.004 900	0.017 500	0.000 600	0.002 500
5.529 500	1.904 800	1.417 900	4.124 900	0.168 500	2.894 600
du 17 juillet 0h au 8 août 0h		du 8 août 0h au 30 août 0h		du 30 août 0h au 21 septembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
-0.023 200	0.035 800	-0.017 100	0.044 300	-0.019 500	-0.010 500
0.000 450	0.000 650	-0.000 560	-0.001 520	0.000 100	-0.000 060
11.400 200	40.326 400	11.687 500	40.817 100	11.932 000	40.959 500
5.179 323	1.540 827	2.915 768	5.520 402	0.661 422	3.215 133
0.018 990	0.027 560	0.025 780	0.010 630	0.031 380	0.006 940
5.933 300	1.299 600	4.059 700	5.181 000	1.853 900	3.973 000
0.000 284	0.000 256	0.000 066	0.000 297	0.000 251	0.000 764
0.802 800	5.026 900	4.345 100	3.818 600	4.812 600	1.188 000
0.006 600	0.020 900	0.009 600	0.031 900	0.011 000	0.038 300
2.757 400	5.412 000	4.983 800	1.257 700	0.848 100	3.366 600

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

OBÉRON 2005

N = 0.4667 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 21 septembre 0h au 13 octobre 0h		du 13 octobre 0h au 4 novembre 0h		du 4 novembre 0h au 26 novembre 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. -0.025 300	.. 0.019 000	.. 0.009 300	.. -0.118 300	.. -0.003 200	.. -0.021 000
.. 0.001 830	.. -0.006 420	.. -0.000 800	.. 0.005 730	.. 0.000 460	.. -0.000 640
.. 12.118 700	.. 40.814 500	.. 12.214 800	.. 40.445 400	.. 12.166 200	.. 39.908 800
.. 4.690 767	.. 0.911 632	.. 2.427 810	.. 4.892 700	.. 0.147 317	.. 2.590 119
.. 0.025 900	.. 0.006 850	.. 0.012 030	.. 0.022 310	.. 0.009 280	.. 0.041 220
.. 5.834 500	.. 0.139 000	.. 3.762 100	.. 2.854 200	.. 3.102 200	.. 6.232 200
.. 0.000 396	.. 0.001 064	.. 0.000 310	.. 0.001 052	.. 0.000 072	.. 0.000 868
.. 2.074 800	.. 4.317 900	.. 5.734 100	.. 1.199 100	.. 3.887 100	.. 4.166 700
.. 0.010 400	.. 0.034 700	.. 0.007 500	.. 0.025 300	.. 0.003 500	.. 0.009 900
.. 3.013 900	.. 5.517 300	.. 5.110 900	.. 1.312 200	.. 0.998 700	.. 3.519 800
du 26 novembre 0h au 18 décembre 0h		du 18 décembre 0h au 9 janvier 0h		du 9 janvier 0h au 31 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
.. 0.008 000	.. -0.019 800	.. -0.026 500	.. 0.051 600	.. -0.026 100	.. 0.035 900
.. -0.001 520	.. 0.003 030	.. 0.000 430	.. -0.000 920	.. 0.000 270	.. -0.001 560
.. 11.955 900	.. 39.187 900	.. 11.607 000	.. 38.420 200	.. 11.209 900	.. 37.766 700
.. 4.130 544	.. 0.289 318	.. 1.811 591	.. 4.274 665	.. 5.757 727	.. 1.980 147
.. 0.018 330	.. 0.043 650	.. 0.024 050	.. 0.034 950	.. 0.031 220	.. 0.023 890
.. 1.351 300	.. 3.574 700	.. 5.637 100	.. 1.035 800	.. 3.555 600	.. 4.888 900
.. 0.000 169	.. 0.000 568	.. 0.000 215	.. 0.000 281	.. 0.000 108	.. 0.000 128
.. 2.961 900	.. 1.103 600	.. 0.361 700	.. 4.745 000	.. 4.139 300	.. 3.042 900
.. 0.002 500	.. 0.008 300	.. 0.006 900	.. 0.022 000	.. 0.009 600	.. 0.033 600
.. 0.057 400	.. 2.704 500	.. 2.263 200	.. 4.731 800	.. 4.345 200	.. 0.583 600

Unité : seconde de degré

Échelle de temps : TAI + 32.184 s

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2005

JANVIER			FÉVRIER			MARS		
JOUR	JJ à 12h	JDA	JOUR	JJ à 12h	JDA	JOUR	JJ à 12h	JDA
		0			31			59
Sam	2453372	1	Mar	2453403	32	Mar	2453431	60
Dim	3373	2	Mer	3404	33	Mer	3432	61
Lun	3374	3	Jeu	3405	34	Jeu	3433	62
Mar	3375	4	Ven	3406	35	Ven	3434	63
Mer	3376	5	Sam	3407	36	Sam	3435	64
Jeu	3377	6	Dim	3408	37	Dim	3436	65
Ven	3378	7	Lun	3409	38	Lun	3437	66
Sam	3379	8	Mar	3410	39	Mar	3438	67
Dim	3380	9	Mer	3411	40	Mer	3439	68
Lun	3381	10	Jeu	3412	41	Jeu	3440	69
Mar	3382	11	Ven	3413	42	Ven	3441	70
Mer	3383	12	Sam	3414	43	Sam	3442	71
Jeu	3384	13	Dim	3415	44	Dim	3443	72
Ven	3385	14	Lun	3416	45	Lun	3444	73
Sam	3386	15	Mar	3417	46	Mar	3445	74
Dim	3387	16	Mer	3418	47	Mer	3446	75
Lun	3388	17	Jeu	3419	48	Jeu	3447	76
Mar	3389	18	Ven	3420	49	Ven	3448	77
Mer	3390	19	Sam	3421	50	Sam	3449	78
Jeu	3391	20	Dim	3422	51	Dim	3450	79
Ven	3392	21	Lun	3423	52	Lun	3451	80
Sam	3393	22	Mar	3424	53	Mar	3452	81
Dim	3394	23	Mer	3425	54	Mer	3453	82
Lun	3395	24	Jeu	3426	55	Jeu	3454	83
Mar	3396	25	Ven	3427	56	Ven	3455	84
Mer	3397	26	Sam	3428	57	Sam	3456	85
Jeu	3398	27	Dim	3429	58	Dim	3457	86
Ven	3399	28	Lun	3430	59	Lun	3458	87
Sam	3400	29				Mar	3459	88
Dim	3401	30				Mer	3460	89
Lun	3402	31				Jeu	3461	90
AVRIL			MAI			JUIN		
JOUR	JJ à 12h	JDA	JOUR	JJ à 12h	JDA	JOUR	JJ à 12h	JDA
		90			120			151
Ven	2453462	91	Dim	2453492	121	Mer	2453523	152
Sam	3463	92	Lun	3493	122	Jeu	3524	153
Dim	3464	93	Mar	3494	123	Ven	3525	154
Lun	3465	94	Mer	3495	124	Sam	3526	155
Mar	3466	95	Jeu	3496	125	Dim	3527	156
Mer	3467	96	Ven	3497	126	Lun	3528	157
Jeu	3468	97	Sam	3498	127	Mar	3529	158
Ven	3469	98	Dim	3499	128	Mer	3530	159
Sam	3470	99	Lun	3500	129	Jeu	3531	160
Dim	3471	100	Mar	3501	130	Ven	3532	161
Lun	3472	101	Mer	3502	131	Sam	3533	162
Mar	3473	102	Jeu	3503	132	Dim	3534	163
Mer	3474	103	Ven	3504	133	Lun	3535	164
Jeu	3475	104	Sam	3505	134	Mar	3536	165
Ven	3476	105	Dim	3506	135	Mer	3537	166
Sam	3477	106	Lun	3507	136	Jeu	3538	167
Dim	3478	107	Mar	3508	137	Ven	3539	168
Lun	3479	108	Mer	3509	138	Sam	3540	169
Mar	3480	109	Jeu	3510	139	Dim	3541	170
Mer	3481	110	Ven	3511	140	Lun	3542	171
Jeu	3482	111	Sam	3512	141	Mar	3543	172
Ven	3483	112	Dim	3513	142	Mer	3544	173
Sam	3484	113	Lun	3514	143	Jeu	3545	174
Dim	3485	114	Mar	3515	144	Ven	3546	175
Lun	3486	115	Mer	3516	145	Sam	3547	176
Mar	3487	116	Jeu	3517	146	Dim	3548	177
Mer	3488	117	Ven	3518	147	Lun	3549	178
Jeu	3489	118	Sam	3519	148	Mar	3550	179
Ven	3490	119	Dim	3520	149	Mer	3551	180
Sam	3491	120	Lun	3521	150	Jeu	3552	181
			Mar	3522	151			

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

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : William THUILLOT

Directeur adjoint : Alain VIENNE

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : Jean-Louis SIMON,
William THUILLOT,
Patrick ROCHER.

Astronomes adjoints : Pascal DESCAMPS,
Daniel HESTROFFER,
Agnès FIENGA.

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : Jean-Eudes ARLOT,
Jacques LASKAR.

Chargés de recherche : François COLAS,
Alain ALBOUY,
David SAUZIN,
Philippe ROBUTEL.

**CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS
DES UNIVERSITÉS**

Professeurs : Alain CHENCINER.
Maîtres de conférences : Laurent NIEDERMAN,
Luc DURIEZ,
Alain VIENNE,
Jacques FEJAZ.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

Ingénieurs de recherche : Mickaël GASTINEAU,
Jérôme BERTHIER.
Ingénieurs d'études : Christian RUATTI,
Jackie RENAUDINEAU, *chargé de mission*,
Alain MONTINTIN,
Mirel BIRLAN,
Julien LECUBIN.
Assistant ingénieur : Natalie PETCHNIKOW.
Technicien : Nicole BARON.

**CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS
DE RECHERCHE ET DE FORMATION**

Assistant ingénieur : Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER.
Techniciens : Viviane RAOULT,
Maryse BONNAVENTURE,
Thérèse DEROUAZI,
Philippe DUHAMEL,
Jean-Sébastien DAVID.

BUREAU DES LONGITUDES

PALAIS DE L'INSTITUT, 3, RUE MAZARINE, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2004

Président : Suzanne DÉBARBAT

Vice-Président : François BARLIER

Secrétaire : Pierre BAÜER

MEMBRES TITULAIRES

Jean-François DENISSE (*), membre de l'Académie des sciences.

Jean KOVALEVSKY (*), membre de l'Académie des sciences.

Bernard GUINOT, correspondant de l'Académie des sciences.

Charles FEHRENBACH (*), membre de l'Académie des sciences.

Pierre GIACOMO, directeur honoraire du Bureau international des poids et mesures.

Roger CAYREL, astronome, observatoire de Paris.

Nicole CAPITAINÉ, astronome, observatoire de Paris.

Jean-Louis LE MOUËL, physicien, institut de physique du globe de Paris.

Suzanne DÉBARBAT, astronome titulaire, observatoire de Paris.

Jean-Paul POIRIER, physicien, institut de physique du globe de Paris.

Claude AUDOIN, directeur de recherche au CNRS, Laboratoire de l'horloge atomique.

François BARLIER, astronome, observatoire de la Côte d'Azur.

André LEBEAU, professeur, ancien président du CNES.

MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

Michel FERRIER, président du Comité d'action scientifique de la Défense.

Yves DESNOËS, directeur du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Michel LE PAPE, chef du Service de la géodésie et du nivellement, IGN.

Stéphane JANICHEWSKI, directeur des programmes et de l'industrie, CNES.

Marc Pierrot DESEILLIGNY, directeur technique adjoint de l'IGN.

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

MEMBRES CORRESPONDANTS

Marcel GOLAY, ancien directeur de l'observatoire de Genève.

Jean-Claude PECKER, professeur au Collège de France.

Pierre MERLIN, professeur, université de Paris VIII.

Raymond MICHARD, astronome titulaire honoraire.

Akihiko SAKUMA, physicien principal, Bureau international des poids et mesures.

Jacques LÉVY, astronome titulaire honoraire, observatoire de Paris.

André BERROIR, professeur, ancien directeur de l'INSU.

Gilbert AMAT, professeur, université de Paris VI.

Bernard SAINT-GUILY, ancien sous-directeur du laboratoire d'océanographie physique du Muséum national d'histoire naturelle.

Michel LEFEBVRE, ingénieur, CNES.

Pierre BAUER, directeur de recherche au CNRS.

Claude BOUCHER, ingénieur général des Ponts et Chaussées à l'IGN.

Jean CHAPRONT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Jean-Claude DUPLESSY, directeur de recherche au CNRS, directeur du Centre des faibles radioactivités.

Jean-Eudes ARLOT, directeur de recherche au CNRS.

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

Jacques HINDERER, chargé de recherche au CNRS, institut de physique du globe de Strasbourg.

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

Jean-Claude HUSSON, président directeur général d'Alcatel Espace.

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

Georges BALMINO, ingénieur, CNES, directeur exécutif du GRGS.

Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS.

Pascal WILLIS, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à l'IGN.

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

Felicita ARIAS, physicienne, Bureau international des poids et mesures.

Catherine TURON, astronome, observatoire de Paris.

Christophe SOTIN, professeur, université de Nantes.

José ACHACHE, directeur général adjoint scientifique, CNES.

Catherine DE BERGH, directeur de recherche au CNRS.

Christian LE PROVOST, directeur de recherche au CNRS.

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 0 5

Cet ouvrage d'éphémérides destiné aux astronomes, aux professeurs et aux étudiants est divisé en deux parties.

La première partie donne l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées, ainsi que les explications nécessaires au calcul des éphémérides. La deuxième partie donne pour l'année en cours, avec une très grande précision, les positions du Soleil, de la Lune et des planètes sous forme de développements en polynômes de Tchebychev. Elle donne aussi les positions des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus, sous forme de coefficients de fonctions élémentaires dépendant directement du temps. Elle contient également une méthode permettant d'effectuer les prédictions des phénomènes des satellites de Jupiter.

L'utilisateur peut aisément à l'aide d'une calculatrice de poche, ou, en utilisant avec son micro-ordinateur la disquette associée à cet ouvrage, obtenir les coordonnées de l'astre souhaitées.

Depuis 1984, la *Connaissance des Temps* fait usage des théories élaborées à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides et du système des constantes astronomiques adoptées par l'Union Astronomique Internationale (UAI) en 1976.

Cette année, deux améliorations ont été apportées : les éphémérides ont été calculées en introduisant les modèles de précession et de nutation recommandés en 2000 par l'UAI et les éphémérides des satellites de Saturne sont issues d'une théorie nouvelle.

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



35 euros

2-86883-743-3

www.edpsciences.org