

ISSN 1243-4272  
ISBN 2-910015-22-X

---

*NOTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES  
DU BUREAU DES LONGITUDES*

---

S062

Serveur d'éphémérides du Bureau des longitudes

Librairie & programmes de calcul EPROC

Guide de l'utilisateur (v1.02)

J. Berthier



---

*Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides  
Bureau des longitudes – URA 707  
77, avenue Denfert-Rochereau  
F-75014 Paris*

Novembre 1998



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Langages et Architecture</b>	<b>4</b>
2.1	Langages . . . . .	4
2.2	Architecture . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Fichier de configuration</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Description de la librairie</b>	<b>6</b>
4.1	Module A1 : Astro_cstes . . . . .	6
4.2	Module A2 : Astro_theories . . . . .	7
4.3	Module A3 : Astro_outil . . . . .	14
4.4	Module A4 : Var_global . . . . .	20
4.5	Module A5 : Var_ephem . . . . .	22
4.6	Module A6 : OutilF . . . . .	29
4.7	Module B1 : Astro_outillI . . . . .	39
4.8	Module B2 : Theo_planetaires . . . . .	45
4.9	Module B3 : Astro_dataSS . . . . .	50
4.10	Module C1 : Astro_adv . . . . .	54
4.11	Module D1 : Outil_ephem . . . . .	58
4.12	Module D2 : Ephemerides . . . . .	66
4.13	Module Z1 : Eproc_eph . . . . .	68
<b>5</b>	<b>Description des applications</b>	<b>71</b>
5.1	Ephémérides de position des corps célestes . . . . .	71
5.2	Ephémérides pour l'observation physique des corps du système solaire	74
5.2.1	Calcul des éphémérides . . . . .	74
5.2.2	Représentation graphique . . . . .	75
5.3	Représentation des différences entre les échelles de temps . . . . .	76
5.4	Calcul de la visibilité des corps du système solaire . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Installation de la librairie</b>	<b>77</b>
6.1	Présentation de l'archive . . . . .	77
6.2	Conditions d'utilisation . . . . .	77
6.3	Contenu de l'archive . . . . .	78
6.4	Installation . . . . .	79
6.5	Compilation . . . . .	80
6.6	Système de documentation . . . . .	80
6.7	Bases de données gérées par EPROC v1.02 . . . . .	81
<b>7</b>	<b>Applications</b>	<b>82</b>
7.1	Le projet Rosetta/Wirtanen . . . . .	82
7.2	Le serveur WEB d'éphémérides du Bureau des longitudes . . . . .	83
<b>8</b>	<b>Mises à jour de la librairie et des ressources</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>Prospective</b>	<b>84</b>

<b>10 Contacts</b>	<b>84</b>
<b>A Fichier de configuration \$HOME/.eproc</b>	<b>89</b>
<b>B Résumé des options des programmes d'EPROC</b>	<b>91</b>
B.1 Résumé des options d'ephemcc . . . . .	91
B.2 Résumé des options d'ephemph . . . . .	93
B.3 Résumé des options d'ephemphtra . . . . .	95
B.4 Résumé des options d'echtemps . . . . .	96
B.5 Résumé des options de visiplanete . . . . .	97
<b>C Correspondances modules – sous-programmes</b>	<b>98</b>
<b>D Classement par thèmes des sous-programmes</b>	<b>102</b>
D.1 Calculs d'astronomie fondamentale . . . . .	102
D.2 Données astéroïdales, stellaires et planétaires . . . . .	102
D.3 Transformations entre les échelles de temps . . . . .	103
D.4 Transformations entre les repères de référence . . . . .	103
D.5 Transformations entre les systèmes de coordonnées . . . . .	104
D.6 Calcul des éphémérides . . . . .	104
D.7 Conversions entre les systèmes d'unités . . . . .	105
D.8 Outils mathématiques . . . . .	105
D.9 Outils Fortran . . . . .	105
D.10 Gestion des calculs d'éphémérides . . . . .	106
<b>E Liste des corps du système solaire reconnus par EPROC</b>	<b>107</b>
<b>F Différences entre les échelles de temps TT et UTC</b>	<b>108</b>
<b>G Exemples de calculs réalisés avec les applications d'EPROC</b>	<b>110</b>
<b>H Aspects de la comète 46P/Wirtanen vue depuis la sonde spatiale Rosetta</b>	<b>112</b>

# 1 Introduction

Ce travail a été réalisé au Bureau des longitudes avec l'aide du CNRS dans le cadre d'une association (URA 707) et la participation du CNES dans le cadre d'un contrat de Recherche & Développement (marché n° 871/96/CNES/0724).

EPROC, acronyme pour Ephémérides, Prédications et Réductions pour les Objets Célestes, est un projet visant à développer une librairie et un ensemble de programmes informatiques pour UNIX dédiés aux calculs et aux développements de logiciels de calcul d'éphémérides des corps célestes (éphémérides de position et éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire), de prédiction de phénomènes célestes et de réductions astrométriques des observations terrestres. Dans la version actuelle (**v1.02**), ces deux derniers points ne sont pas encore intégrés étant en cours de développement. Ainsi sont traités pour l'instant :

- les calculs de position des corps du système solaire et des étoiles dans l'espace de la géométrie euclidienne selon une conception post-newtonnienne des interactions (les corrections de déflexion des rayons lumineux et d'aberration annuelle sont réalisées dans un cadre relativiste);
- les calculs pour l'observation physique (*i.e.* configuration apparente) de la surface des corps du système solaire;
- la transformation entre les repères et les systèmes de références spatio-temporels;
- la résolution des calculs courants d'astronomie fondamentale (précession, nutation, aberrations de la lumière, temps sidéral, etc.);
- la mise en œuvre des théories planétaires VSOP82, VSOP87, DE200 et DE403 et des théories du mouvement des principaux satellites naturels de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus;
- la gestion de bases de données astéroïdales, planétaires et stellaires.

L'utilisation de la librairie EPROC peut s'envisager de 2 manières : simple et avancée. Dans l'état actuel des choses, la manière simple offre à l'utilisateur 3 sous-programmes écrits en Fortran 90 fournissant les éphémérides de position des corps célestes (planètes, satellites naturels, astéroïdes, comètes et étoiles) après sélection d'un jeu de paramètres transmis par arguments et retour des résultats par variables globales (au sens du Fortran 90). La manière avancée permet, elle, de disposer des sous-programmes nécessaires à la mise en œuvre de ces calculs et plus largement de tous les calculs liés à la détermination de la position d'un corps céleste relativement à un autre dans le système solaire. Une description détaillée du contenu de la librairie et de son utilisation est proposée au §4.

EPROC propose aussi un ensemble de programmes informatiques pour UNIX dont l'utilisation est similaire aux commandes traditionnelles sous ce système. Actuellement ils sont au nombre de 5 :

- **ephemcc** : calculs d'éphémérides de position des corps célestes,
- **ephemph** : calculs d'éphémérides pour l'observation physiques des corps du système solaire,
- **ephemphtra** : visualisation graphique de l'aspect apparent des corps du système solaire vu depuis la Terre ou une sonde spatiale (à partir des résultats

d'ephemph),

- **visiplanete** : calculs de levers, passages au méridien et couchers des principaux corps célestes (planètes, Lune, Soleil et astéroïdes)<sup>1</sup>.
- **echtemps** : visualisation des différences entre les échelles de temps.

L'emploi de ces programmes et leurs possibilités sont décrits au §5. Une application pratique de ces programmes est aussi présentée à travers le projet Rosetta/Wirtanen et à travers la mise en œuvre d'interfaces homme-machine (IHM) comme celles du serveur d'éphémérides du Bureau des longitudes.

L'objectif de ce guide est de présenter le contenu et l'usage de la librairie et des applications qui y sont liées. Pour cela, le système de documentation est composé de 3 parties : ce document et 2 volumes détaillant les bases scientifiques des différents thèmes traités, à savoir, les éphémérides de position des corps célestes [Ber98a] et celles pour l'observation physique des corps du système solaire [Ber98b]. On pourra aussi consulter les ouvrages [Bdl97] et [CTFM94].

## 2 Langages et Architecture

### 2.1 Langages

La librairie et ses applications sont écrites en Fortran 90 et en Fortran 77 pour quelques sous-programmes<sup>2</sup>. Elles exploitent le langage shell d'UNIX (sh, awk, variables d'environnement) et utilisent les possibilités offertes par PGPLOT 5.2 (réalisation des graphiques), **whirlgif** (création des séquences animées) et par *the Numerical Recipes* (résolution de problèmes mathématiques). Les interfaces homme-machine sont, elles, écrites en langages Perl (module CGI.pm), HTML et Javascript et sont optimisées pour être exécutées sous Netscape 3.0 et plus.

La librairie et ses applications ont été développées sur les plateformes AIX 4.1.3 (architecture RISC 6000 power II ; compilateurs xlf et xlf90) et Solaris 2.5.1 (architecture Sparc Ultima 1 ; compilateur f90). Seules quelques différences mineures existent entre les deux versions telles que par exemple l'appel de la date et de l'heure du système (**itime\_** sous AIX, **date\_and\_time** sous Solaris), les codes de fin de fichier (**-1** sous AIX/xlf90, **-1001** sous Solaris/f90) ou l'écriture de code Tex pour annoter les graphiques sous PGPLOT (l'interprétation du code "\ " permettant cette insertion diffère entre les deux systèmes).

### 2.2 Architecture

La figure 1 montre comment est structurée la librairie. Son noyau est composé de 4 niveaux (A B C D) plus un niveau (Z) dit "application". Les liens entre les programmes et les sous-programmes de la librairie sont réalisés par l'intermédiaire de modules d'interfaces (au sens du Fortran 90) et lors de l'édition de lien du compilateur.

---

<sup>1</sup>La description scientifique de ce problème n'est pas traitée dans ce guide.

<sup>2</sup>La programmation informatique des théories planétaires VSOP87, DE200 et DE403 et des théories du mouvement des principaux satellites naturels de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus ont été écrites en Fortran 77 par leurs auteurs.

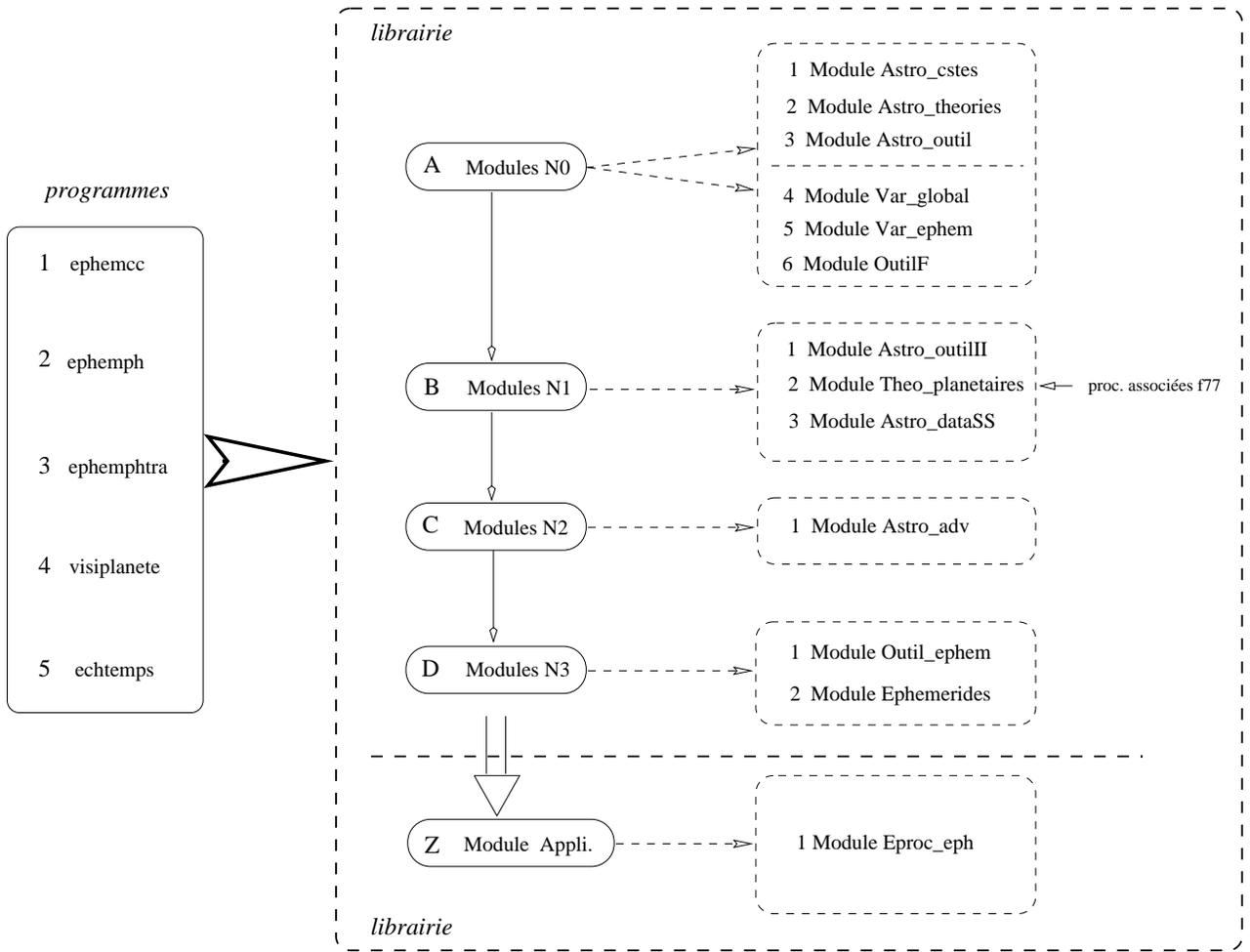


FIG. 1: Architecture de la librairie EPROC.

Le niveau A est composé de sous-programmes et de fonctions se suffisant à eux mêmes et sont interfacés dans les modules N0. Le niveau B fait appel au niveau A, le niveau C aux niveaux A et B, le niveau D aux niveaux A, B et C et sont interfacés respectivement dans les modules N1, N2 et N3. Le niveau Z regroupe quant à lui les applications et est interfacé dans le module Appli.. L'ensemble est archivé sous la forme d'une librairie à l'aide de la commande Unix `ar` sous le nom `libeproc.a`. Son exploitation dans le développement de logiciels en Fortran se fait alors en intégrant dans la commande de compilation les options `-L[.]/eproc/lib` et `-leproc` pour faire appel à la librairie et l'option `-M[.]/eproc/modules` (pour AIX) ou `-M[.]/eproc/lib` (pour Solaris) pour spécifier le répertoire contenant les modules.

### 3 Fichier de configuration

Le fonctionnement de la librairie est articulé autour de l'utilisation d'un fichier de configuration propre à chaque utilisateur, dénommé `.eproc`, d'un ensemble de variables globales (décrites §4.1, 4.4 et 4.5) et des différents niveaux de l'architecture.

Le fichier de configuration a pour objectif de fournir aux programmes les répertoires et les noms des fichiers des données numériques utilisés par la librairie et de définir les préférences pour chaque utilisateur quant aux répertoires de travail et aux choix par défaut pour les calculs d'éphémérides. Par défaut le fichier de configuration se trouve sur la racine de l'arborescence de l'utilisateur ( $\$HOME$ ) et se nomme : `.eproc`. Ce fichier est construit automatiquement lors de l'exécution, pour un utilisateur donné, du script `[.]/eproc/install_eproc` qu'il est indispensable d'exécuter au moins une fois pour chaque utilisateur pour installer les ressources nécessaires au fonctionnement d'EPROC. Il est possible d'utiliser d'autres fichiers de configuration à partir de l'option `-xw nom_fichier_cfg` de certains programmes (voir §5). L'annexe A montre un exemple du fichier de configuration.

## 4 Description de la librairie

Les tableaux 1 à 6 de l'annexe C présentent de manière synthétique la correspondance entre les modules d'interfaces et les sous-programmes et fonctions qu'ils contiennent. Les paragraphes suivants les détaillent individuellement. Les sous-programmes et fonctions y sont présentés par ordre alphabétique pour chaque module.

Pour utiliser ces sous-programmes et ces fonctions lors du développement d'applications en Fortran, il est nécessaire d'insérer en tête du code source la commande :

```
USE nom_module
```

où *nom\_module* est le nom générique du module. Cette déclaration offre aussi la possibilité de renommer un ou plusieurs sous-programmes pour ne pas créer d'ambiguïté de nom avec les autres sous-programmes de l'utilisateur :

```
USE nom_module, renomme_liste
```

où *renomme\_liste* prend la forme : `nom_1 ⇒ nom_2`, etc. Enfin, cette déclaration permet de choisir un ou plusieurs éléments du module en les désignant explicitement :

```
USE nom_module, ONLY : seulement_liste
```

où *seulement\_liste* est une liste de noms (de sous-programmes ou de fonctions) séparés par une virgule.

### 4.1 Module A1 : Astro\_cstes

Ce module met à disposition quelques constantes astronomiques sous la forme de variables de type paramètre réel (REAL (8)) :

<b>B1950</b>	le jour besselien à l'époque du 1 janvier 1950 à $0^h$ TE (B1950.0) dont la date julienne est : $B1950 = 2\,433\,282.423$
<b>JD1950</b>	le jour julien à l'époque du 1 janvier 1950 à $0^h$ TDB (J1950.0) : $JD1950 = 2\,433\,282.5$
<b>JD2000</b>	le jour julien à l'époque du 1 janvier 2000 à $12^h$ TDB (J2000.0) : $JD2000 = 2\,451\,545.0$
<b>UnUA</b>	la valeur d'une unité astronomique en kilomètres : $1\text{ ua} = 149\,597\,870.0\text{ [km]}$
<b>c</b>	la vitesse de la lumière exprimée en ua/j : $c = 29.9792458 * 8.64 / 1.49597870\text{ [ua/j]}$

<b>dmusurc2</b>	le double du rapport de la constante de gravitation héliocentrique par le carré de la vitesse de la lumière : $2GM_{\odot}/c^2 = 2.0*9.8710^{-9}$ [ua]
<b>gmp</b>	la constante de gravitation héliocentrique : $GM_{\odot} = 0.295912208285591110^{-3}$ [ua <sup>3</sup> j <sup>-2</sup> ]
<b>RTerre</b>	le rayon équatorial de la Terre exprimé en ua : $R_{\oplus} = 6378.1363/149597870.0$ [ua]
<b>Flatt</b>	le facteur d'aplatissement de la Terre : $f = 1/298.257$
<b>omegaT</b>	la vitesse angulaire de rotation de la Terre : $\omega_{\oplus} = 7.292115146710^{-5}*86400.0$ [rad/j]
<b>refracRadau</b>	la constante de la réfraction astronomique de Radau : $R_0 = 36'.6/60$ [deg]

## 4.2 Module A2 : Astro\_theories

Ce module regroupe un certain nombre de sous-programmes dédiés aux calculs des problèmes courants de l'astronomie fondamentale et de la mécanique céleste, comme les calculs d'aberration de la lumière, de précession, de nutation, de résolution de l'équation de Kepler, de passage d'un repère équatorial à un repère écliptique et inversement, etc.

### ABERANNU (vgp, vbt, vgpc) ---

**Objet** Calcul de la correction d'aberration annuelle dans un cadre relativiste d'après l'algorithme de Murray [Mur81] (précision de l'ordre de 1 mas).

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	vgp(9)	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales du corps étudié par rapport à l'observateur, en ua, ua/j et ua/j <sup>2</sup>
	vbt(9)	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales de l'observateur par rapport au barycentre du système solaire, en ua, ua/j et ua/j <sup>2</sup>
<b>Sortie</b>	vgpc(9)	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales du corps étudié par rapport à l'observateur, corrigé de l'aberration annuelle, en ua, ua/j et ua/j <sup>2</sup>

**Commentaires** Seules les positions et les vitesses interviennent dans les calculs, l'accélération n'est pas modifiée.

## CREL (a, e, i, g, p, ae, y, rep) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales ou écliptiques à partir des éléments osculateurs écliptiques de l'orbite d'un corps.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

a	(REAL (8))	demi-grand axe ( $a$ ) en ua
e	(REAL (8))	excentricité ( $e$ )
i	(REAL (8))	inclinaison par rapport à l'écliptique ( $i$ ) en radians
g	(REAL (8))	longitude du nœud ascendant ( $\Omega$ ) en radians
p	(REAL (8))	argument du périhélie ( $\varpi$ ) en radians
ae	(REAL (8))	anomalie excentrique ( $E$ ) en radians
rep	(REAL (8))	choix du repère : 1: écliptique 1950.0 2: écliptique FK5-J2000 3: équateur FK5-J2000

**Sortie** y(6) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position-vitesse) du corps à l'époque des éléments osculateurs, exprimées dans le repère choisi, en ua et ua/j

## ECLIPtoEQUAFK4 ( $\lambda$ , $\beta$ , $\alpha$ , $\delta$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion des coordonnées écliptiques en coordonnées équatoriales à l'époque 1950.0 (repère FK4).

**Classe** sous-programme

**Entrées**

$\lambda$	(REAL (8))	longitude écliptique, en radian
$\beta$	(REAL (8))	latitude écliptique, en radian

**Sorties**

$\alpha$	(REAL (8))	ascension droite, en radian
$\delta$	(REAL (8))	déclinaison, en radian

**Commentaires** La valeur utilisée de l'obliquité de l'écliptique pour 1950.0 est  $\epsilon = 23^{\circ}26'8''.26$

## ECtoEQ (v, $\epsilon$ , code) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales moyennes de la date à partir des coordonnées rectangulaires ecliptiques moyennes de la date, et inversement.

**Classe** sous-programme



## LIGHTDEFLECT (vgp, vht, vhp, vgpc) ---

**Objet** Calcul de la correction de déflexion des rayons lumineux d'après l'algorithme de Yalopp [Ast84], adapté de Murray [Mur81] (effet relativiste, paramétrisation post-newtonnienne).

**Classe** sous-programme

**Entrées** vgp(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales du corps étudié par rapport à l'observateur, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

vht(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales héliocentriques de l'observateur en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

vhp(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales héliocentriques du corps étudié, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

**Sortie** vgpc(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales du corps étudié par rapport à l'observateur, corrigé de la déflexion des rayons lumineux, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

**Commentaires** La position du corps est corrigée de la déflexion des rayons lumineux due au champ gravitationnel du Soleil uniquement. Les champs gravitationnels des planètes agissent de manière similaire et produisent une déviation plus petite d'un facteur proportionnel au rapport de la masse de la planète à celle du Soleil (1/1047 pour Jupiter). Le champ gravitationnel terrestre induit pour sa part un effet de l'ordre de quelques dixièmes de mas pour un observateur au sol. L'accélération n'est pas modifiée.

## OBLIMO (t) ---

**Objet** Calcul de l'obliquité moyenne de l'écliptique J2000 (au sens rotationnel) à l'époque  $t$  (système UAI 1976, repère FK5).

**Classe** fonction

**Entrée** t (REAL (8)) époque julienne (TT)

**Sortie** OBLIMO (REAL (8)) valeur de l'obliquité moyenne à l'époque  $t$

**Commentaires** La valeur de l'obliquité de l'écliptique (rotationnel) en J2000 est  $\epsilon = 23^\circ 26' 21''.448$  (UAI 1976).

## NUTATION ( $t$ , $\text{code}$ , $\Delta\psi$ , $\Delta\epsilon$ )

---

**Objet** Calcul de la nutation en longitude et en obliquité.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

$t$	(REAL (8))	époque julienne (TT)
$\text{code}$	(INTEGER)	choix de calcul : 1: en longitude uniquement 2: en obliquité uniquement 3: en longitude et en obliquité

**Sorties**

$\Delta\psi$	(REAL (8))	valeur de la nutation en longitude, en radian
$\Delta\epsilon$	(REAL (8))	valeur de la nutation en obliquité, en radian

**Commentaires** Les calculs sont fait d'après le formulaire UAI 1984 (système UAI 1976, modèle de nutation UAI 1980 [Kin77], [Sei82], [Wah81]).

## QPREC ( $t_i$ , $t_f$ , $\text{code}$ , $P$ )

---

**Objet** Calcul des quantités liées aux déplacements précessionnels de l'équateur et de l'écliptique entre deux époques  $t_i$  et  $t_f$ .

**Classe** sous-programme

**Entrées**

$t_i$	(REAL (8))	date julienne de l'époque initiale (TT)
$t_f$	(REAL (8))	date julienne de l'époque finale (TT)
$\text{code}$	(INTEGER)	choix de calcul : 1: précession équatoriale 2: précession écliptique

**Sortie**  $P(3)$  (REAL (8)) paramètres de la précession équatoriale ( $\zeta_A, z_A, \theta_A$ ) ou écliptique ( $\pi_A, \Pi_A, p_A$ ), en radians

**Commentaires** Les calculs sont fait d'après le formulaire UAI 1984 (précession d'après Lieske *et al.* [LLFM77]).

## REQUAM ( $v$ , $P$ , $\text{ind}$ , $w$ )

---

**Objet** Passage des coordonnées rectangulaires équatoriales moyennes entre deux repères d'époques différentes.

**Classe** sous-programme

**Entrées** v(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales moyennes de l’époque initiale, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

P(3) (REAL (8)) paramètres de la précession équatoriale entre l’époque initiale et l’époque finale, en radians

ind (INTEGER) choix de calcul : 1: en position uniquement  
2: en position et vitesse  
3: en position, vitesse et accélération

**Sortie** w(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales moyennes de l’époque finale, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

**Commentaires** Voir les sous-programmes QPREC et COPRECNU ( §4.7).

**REQUAV** ( $v$ ,  $\epsilon_m$ ,  $\Delta\psi$ ,  $\Delta\epsilon$ , **ind**,  $w$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Passage des coordonnées rectangulaires équatoriales moyennes au coordonnées rectangulaires équatoriales vraies d’une époque.

**Classe** sous-programme

**Entrées** v(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales moyennes, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

$\epsilon_m$  (REAL (8)) obliquité moyenne, en radian

$\Delta\psi$  (REAL (8)) nutation en longitude, en radian

$\Delta\epsilon$  (REAL (8)) nutation en obliquité, en radian

ind (INTEGER) choix de calcul : 1: en position uniquement  
2: en position et vitesse  
3: en position, vitesse et accélération

**Sortie** w(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales vraies, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

**Commentaires** Veillez à la cohérence de date pour les quantités  $v$ ,  $\epsilon_m$  et  $\Delta\psi$ . Voir les sous-programmes NUTATION et COPRECNU ( § 4.7).

## REQUAVINV ( $\mathbf{v}$ , $\epsilon_m$ , $\Delta\psi$ , $\Delta\epsilon$ , $\mathbf{ind}$ , $\mathbf{w}$ )

---

**Objet** Passage des coordonnées rectangulaires équatoriales vraies aux coordonnées rectangulaires équatoriales moyennes.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

$v(9)$	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales vraies, en $ua$ , $ua/j$ et $ua/j^2$
$\epsilon_m$	(REAL (8))	obliquité moyenne, en radian
$\Delta\psi$	(REAL (8))	nutation en longitude, en radian
$\Delta\epsilon$	(REAL (8))	nutation en obliquité, en radian
$\mathbf{ind}$	(INTEGER)	choix de calcul : 1: en position uniquement 2: en position et vitesse 3: en position, vitesse et accélération

**Sortie**  $w(9)$  (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales moyennes, en  $ua$ ,  $ua/j$  et  $ua/j^2$

**Commentaires** Veillez à la cohérence de date pour les quantités  $v$ ,  $\epsilon_m$  et  $\Delta\psi$ . Voir les sous-programmes NUTATION et COPRECNU ( § 4.7).

## VSOPtoFK5 ( $\mathbf{v}$ )

---

**Objet** Passage du repère inertiel de VSOP87 au repère rotationnel du FK5.

**Classe** sous-programme

**Entrée**  $v(6)$  (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse) écliptiques dans le repère de VSOP87, en  $ua$  et  $ua/j$

**Sortie**  $v(6)$  (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse) écliptiques dans le repère du FK5, en  $ua$  et  $ua/j$

**Commentaires** La valeur de l'obliquité de l'écliptique moyen inertiel de VSOP87 pour J2000 est  $\epsilon = 23^\circ 26' 21''.4091$ . L'écart entre les équinoxes de VSOP87 et du FK5 est de  $0''.09953$ .

### 4.3 Module A3 : Astro\_outil

Ce module regroupe des sous-programmes de transformation entre les systèmes de référence spatio-temporels et de calcul de la magnitude apparente des corps du système solaire. Il est complété par le module **Astro\_outilll** (voir §4.7).

**COORD\_DIFF** ( $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, x, y, p, d$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des coordonnées relatives (ou différentielles) d'un corps (indice 2) par rapport à un corps de référence (indice 1) dans les systèmes de coordonnées cartésiennes et polaires.

**Classe** sous-programme

**Entrées**  $\alpha_1, \delta_1$  (REAL (8)) ascension droite et déclinaison du corps de référence, en radians  
 $\alpha_2, \delta_2$  (REAL (8)) ascension droite et déclinaison du corps étudié, en radians

**Sorties**  $x, y$  (REAL (8)) coordonnées cartésiennes du corps étudié, en radians. (x, y) représente les coordonnées du corps étudié dans le plan tangent à la sphère céleste centré sur le corps de référence  
 $p, d$  (REAL (8)) coordonnées polaires du corps étudié, en radians.  $p$  représente l'angle de position du corps étudié par rapport à la direction du pôle céleste nord et est compté positivement vers l'est ;  $d$  représente la distance angulaire entre les deux corps

**Commentaires** Ces coordonnées sont en fait les coordonnées tangentielles approchées à l'ordre deux en  $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$  et l'ordre 3 en  $\Delta\delta = \delta_2 - \delta_1$ . Elles ne sont valables que pour des distances mutuelles petites ( $\ll 1'$ ). Voir le sous-programme **COORD\_TANGENT**.

**COORD\_DIFFP** ( $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, \alpha'_1, \delta'_1, \alpha'_2, \delta'_2, x', y', p', d'$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des dérivées premières par rapport au temps des coordonnées relatives définies dans le sous-programme **COORD\_DIFF**.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	$\alpha_1, \delta_1$	(REAL (8))	ascension droite et déclinaison du corps de référence, en radians
	$\alpha_2, \delta_2$	(REAL (8))	ascension droite et déclinaison du corps étudié, en radians
	$\alpha'_1, \delta'_1$	(REAL (8))	dérivée temporelle de l'ascension droite et de la déclinaison du corps de référence, en radian par unité de temps
	$\alpha'_2, \delta'_2$	(REAL (8))	dérivée temporelle de l'ascension droite et de la déclinaison du corps étudié, en radian par unité de temps
<b>Sorties</b>	$x', y'$	(REAL (8))	dérivées temporelles des coordonnées cartésiennes du corps étudié, en radian par unité de temps
	$p', d'$	(REAL (8))	dérivées temporelles des coordonnées polaires du corps étudié, en radian par unité de temps

**Commentaires** Voir le sous-programme COORD\_DIFF.

### COORD\_TANGENT ( $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, \xi, \eta, p, d$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des coordonnées tangentielles d'un corps (indice 2) par rapport à un corps de référence (indice 1) dans les systèmes de coordonnées cartésiennes et polaires.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	$\alpha_1, \delta_1$	(REAL (8))	ascension droite et déclinaison du corps de référence, en radians
	$\alpha_2, \delta_2$	(REAL (8))	ascension droite et déclinaison du corps étudié, en radians
<b>Sorties</b>	$\xi, \eta$	(REAL (8))	coordonnées cartésiennes du corps étudié, en radians. $(\xi, \eta)$ représente les coordonnées du corps étudié dans le plan tangent à la sphère céleste centré sur le corps de référence
	$p, d$	(REAL (8))	coordonnées polaires du corps étudié, en radians. $p$ représente l'angle de position du corps étudié par rapport à la direction du pôle céleste nord et est compté positivement vers l'est ; $d$ représente la distance angulaire entre les deux corps

**Commentaires** Le repère de référence des coordonnées tangentielles est un repère orthonormé dont le centre est le point tangent et dont les axes sont dirigés respectivement en direction des ascensions droites croissantes (positives vers l'est sur la sphère céleste) et en direction du pôle céleste nord. L'angle de position d'un

corps céleste  $y$  est compté de  $0^\circ$  à  $+360^\circ$  positivement vers l'est à partir de la direction du pôle céleste nord.

### COREPHASE ( $np, ns, i, \Delta m$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la correction de la magnitude apparente des planètes et des principaux satellites naturels (à l'exception de la Lune) en fonction de l'angle de phase solaire.

**Classe** sous-programme

**Entrées**  $np$  (INTEGER) numéro de la planète  
 $ns$  (INTEGER) numéro du satellite  
 $i$  (REAL (8)) angle de phase solaire du corps considéré, en degrés

**Sortie**  $\Delta m$  (REAL (8)) correction à apporter à la magnitude apparente

**Commentaires** Pour les planètes,  $np$  doit être compris entre 1 (Mercure) et 9 (Pluton),  $ns = 0$ . Pour les satellites naturels,  $np$  correspond au numéro du corps central et  $ns$  représente le numéro d'ordre du satellite dans le système considéré : de 1 à 2 pour Mars, de 1 à 4 pour Jupiter, de 1 à 8 pour Saturne et de 1 à 5 pour Uranus. Dans le cas de la Lune, se reporter au sous-programme HAPKE.  $\Delta m$  est toujours positif.

### DATECRTEUTC ( $j, m, a, h$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Accès à la date courante (UTC) du système.

**Classe** sous-programme

**Sorties**  $j, m, a$  (INTEGER) jour, mois et année  
 $h$  (REAL (8)) heure décimale

**Commentaires** Utilise la commande `itime_` sous AIX et `date_and_time` sous Solaris.

### DATEJJ ( $j, m, a, h, JJ$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul du jour julien à partir de la date grégorienne/julienne.

**Classe** sous-programme

**Entrées**  $j, m, a$  (INTEGER) jour, mois et année  
 $h$  (REAL (8)) heure décimale

**Sortie** JJ (REAL (8)) jour julien

**Commentaires** Le jour julien zéro correspond au 1 janvier -4712 à 12<sup>h</sup>. Le jour julien de l'époque J2000.0 (1 janvier 2000 à 12<sup>h</sup>) est 2 451 545.0 (UAI, 1977). Voir le sous-programme JJDATE.

**HAPKE** (*np, ns, i, Δm*) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la fonction de phase des corps du système solaire d'après la loi de Hapke.

**Classe** sous-programme

**Entrées** *np* (INTEGER) numéro de la planète  
*ns* (INTEGER) numéro du satellite  
*i* (REAL (8)) angle de phase du corps considéré, en degré

**Sortie** *Δm* (REAL (8)) valeur de la fonction de phase

**Commentaires** Pour l'instant, seul le cas de la Lune est traité. De manière générale, ce calcul de la fonction de phase est adapté aux corps planétaires présentant un régolithe de surface. Pour les corps gazeux ou présentant une atmosphère, cette fonction de phase n'a pas de sens. Voir aussi le sous-programme COREPHASE.

**JJDATE** (JJ, j, m, a, h) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la date grégorienne/julienne à partir du jour julien.

**Classe** sous-programme

**Entrée** JJ (REAL (8)) jour julien

**Sorties** j, m, a (INTEGER) jour, mois et année  
h (REAL (8)) heure décimale

**En relation** voir aussi le sous-programme DATEJJ.

**MAGNIAS** (*Δ, ρ, H, G, i, V*) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la magnitude apparente des astéroïdes d'après la formule de Bowell [IAU85].

**Classe** sous-programme

**Entrées**     $\Delta$  (REAL (8)) distance héliocentrique de l'astéroïde, en ua  
                $\rho$  (REAL (8)) distance entre l'astéroïde et l'observateur, en ua  
               H (REAL (8)) magnitude absolue de l'astéroïde  
               G (REAL (8)) paramètre de pente  
               *i* (REAL (8)) angle de phase, en degré

**Sortie**    V (REAL (8)) magnitude apparente de l'astéroïde

**Commentaires** Pour plus de détails, consulter [Ber98b].

**MAGNICOMET** ( $\Delta$ ,  $\rho$ , phot, *i*,  $m_t$ ,  $m_n$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la magnitude apparente totale et de la magnitude apparente du noyau des comètes.

**Classe** sous-programme

**Entrées**             $\Delta$  (REAL (8)) distance héliocentrique de la comète, en ua  
                            $\rho$  (REAL (8)) distance entre la comète et l'observateur, en ua  
                           phot(6) (REAL (8)) paramètres photométriques de la comète  
                           *i* (REAL (8)) angle de phase, en degré

**Sorties**     $m_t$  (REAL (8)) magnitude apparente totale de la comète  
                $m_n$  (REAL (8)) magnitude apparente du noyau de la comète

**Commentaires** Les paramètres photométriques de la comète sont, dans l'ordre des indices de phot :  $H_1, R_1, D_1, H_2, R_2, D_2$ , où l'indice 1 correspond à la comète dans son ensemble et l'indice 2 au noyau uniquement.  $H_{1,2}$  représentent la magnitude totale de la comète et du noyau,  $R_{1,2}$  représentent une dépendance en luminosité avec la distance de l'observateur et  $D_{1,2}$  représentent une dépendance en luminosité avec la distance au Soleil.

**TDB (JJ)** \_\_\_\_\_

**Objet** Transformation d'un jour julien exprimé en Temps terrestre en un jour julien exprimé en Temps dynamique barycentrique.

**Classe** fonction

**Entrée**    JJ (REAL (8)) jour julien de l'époque considérée, en TT

**Sortie**    TDB (REAL (8)) jour julien correspondant en TDB

**Commentaires** La transformation entre les deux échelles est ici sous sa forme simple mais suffisante dans la plupart des cas (elle se limite aux différences entre les deux échelles jusqu'à l'ordre de  $5 \cdot 10^{-6}$  seconde).

**TTmTU (j, m, a)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la différence entre les échelles de Temps terrestre et de Temps universel coordonnée :  $TT - UTC = TAI + 32^s.184 - UTC$ .

**Classe** fonction

**Entrées** j, m, a (INTEGER) jour, mois et année

**Sortie** TTmTU (REAL (8)) valeur de la différence de temps entre les deux échelles TT et UTC, en secondes

**Commentaires** Cette fonction couvre la période comprise entre le 1 juillet 1670 à  $0^h$  UTC et le 1 janvier 1999 à  $0^h$  UTC. Avant et après cette période, la fonction renvoie, respectivement,  $0^s$  et  $64^s.184$ . A noter qu'avant le 1 janvier 1972 le Temps universel coordonnée n'existe pas. On parle alors de Temps universel. De même, avant 1991 on parle de Temps dynamique terrestre (TDT) et avant 1977 de Temps des éphémérides (TE) à la place de TT. Voir aussi la fonction TTmTU\_JJ.

**TTmTU\_JJ (JJ)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la différence entre les échelles de Temps terrestre et de Temps universel coordonnée à partir du jour julien.

**Classe** fonction

**Entrée** JJ (REAL (8)) jour julien de l'époque considérée (TT)

**Sortie** TTmTU\_JJ (REAL (8)) valeur de la différence de temps entre les deux échelles TT et UTC, en secondes

**Commentaires** Voir aussi la fonction TTmTU.

**VECTPOS (PA, NS)** \_\_\_\_\_

**Objet** Définition de la direction nord, sud, est ou ouest d'un astre par rapport à un autre en fonction de son angle de position.

**Classe** sous-programme

**Entrée** PA (REAL (8)) angle de position de l'astre, en degrés

**Sortie** NS (CHARACTER (len=2)) direction de l'astre parmi les valeurs suivantes : 'N', 'NE', 'E', 'SE', 'S', 'SO', 'O', 'NO' et 'N'

**Commentaires** Le vecteur position d'un astre est compté de 0° à 360° positivement vers l'est à partir de la direction du pôle céleste nord.

#### 4.4 Module A4 : Var\_global

Ce module regroupe les variables d'environnement de la librairie. Elles correspondent aux entrées du fichier de configuration de chaque utilisateur `$HOME/.eproc` (cf. §3 et annexe A). Ce sont des variables globales (au sens du Fortran 90). Certaines d'entre elles peuvent être modifiées à loisir, tandis que d'autres dépendent des ressources du système (par exemple `/usr/local/bin/`, `/DATA/`, etc.). Toutes les variables sont de type chaîne de caractères dont la longueur est indiquée entre parenthèses.

##### Environnement utilisateur :

<b>fichier_cfg</b>	(128)	nom du fichier de configuration. Par défaut : <code>.eproc</code>
<b>userhome</b>	(128)	répertoire racine de l'utilisateur ( <code>\$HOME</code> )
<b>ephem_path</b>	(128)	répertoire de sauvegarde des résultats des calculs d'éphémérides
<b>pred_path</b>	(128)	répertoire de sauvegarde des résultats des calculs de prédiction de phénomènes célestes
<b>tmp_path</b>	(128)	répertoire des sauvegardes temporaires
<b>graphic</b>	(10)	état de la variable indiquant le choix de la sortie graphique.
<b>machine</b>	(128)	nom de la machine hôte
<b>printer</b>	(128)	commande d'impression.
<b>sortie</b>	(10)	état de la variable indiquant le choix de sortie des résultats numériques. Les valeurs possibles sont : <code>ecran</code> , <code>fichier</code> , <code>toute</code> ou <code>neant</code> .

##### Environnement de la librairie :

<b>copyright</b>	(32)	version courante de la librairie : EPROC v1.02
<b>doc_path</b>	(128)	répertoire source du système de documentation de la librairie
<b>source_path</b>	(128)	répertoire source des programmes de la librairie
<b>ress_path</b>	(128)	répertoire source de certaines ressources de la librairie

<b>dataplot_path</b>	(128)	répertoire source des scripts de lancement de <i>dataplot</i> , Interactive Graphics & Data Analysis Language, James J. Filliben et Alan Heckert, Computing & Applied Mathematics Laboratory, National Institute of Standards & Technology.
<b>proj_path</b>	(128)	répertoire source des scripts de lancement de <i>proj</i> , Cartographic Projection Procedures for the UNIX Environment, U.S. Geological Survey, 1990.
<b>whirlgif_path</b>	(128)	répertoire source pour le logiciel <i>whirlgif</i> , Rev 2.01, Kevin Kadow, 1996

#### Données planétaires :

<b>bdl82_file</b>	(128)	nom du fichier des coefficients de Tchebychev de la théorie planétaire VSOP82
<b>bdl82_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier <b>bdl82_file</b>
<b>bowell_file</b>	(128)	nom du fichier de la base de données astéroïdales de T. Bowell ( <b>astorb.dat</b> )
<b>comet_path</b>	(128)	répertoire contenant les données cométaires
<b>dataeo_path</b>	(128)	répertoire contenant les données orbitales des astéroïdes
<b>datapp_path</b>	(128)	répertoire contenant les données physiques des astéroïdes
<b>emp_file</b>	(128)	nom du fichier de la base de données astéroïdales EMP97
<b>eop_file</b>	(128)	nom du fichier des paramètres d'orientation de la Terre (EOP)
<b>eop_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier d'EOP
<b>sonde_file</b>	(128)	nom du fichier des données orbitales d'une sonde spatiale
<b>sonde_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier <b>sonde_file</b>
<b>tass_file</b>	(128)	nom du fichier de données de la théorie du mouvement des satellites de Saturne : TASS 1.x
<b>tass_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données de TASS 1.x
<b>topo_path</b>	(128)	répertoire contenant les modèles topographiques des corps du système solaire
<b>vsop87_file</b>	(128)	nom du fichier des coefficients de Tchebychev de la théorie planétaire VSOP87
<b>vsop87_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier <b>vsop87_file</b>

**Remarques :** Certaines entrées du fichier de configuration ne sont pas utilisées dans cette version 1.02 de la librairie. Elles sont présentées à titre d'information, comme par exemple les répertoires des théories planétaires DE200 et DE403 qui sont codés directement dans les sources (choix des auteurs).

## Données stellaires :

<b>acrs_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue ACRS
<b>acrs_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données ACRS
<b>act_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue ACT
<b>act_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données ACT
<b>bsc_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue BSC
<b>bsc_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données BSC
<b>fk5_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue FK5
<b>fk5_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données FK5
<b>hip_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue Hipparcos
<b>hip_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données Hipparcos
<b>ppm_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue PPM
<b>ppm_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données PPM
<b>tycho_file</b>	(128)	nom du fichier de données du catalogue Tycho
<b>tycho_path</b>	(128)	répertoire contenant le fichier de données Tycho

## 4.5 Module A5 : Var\_ephem

Ce module regroupe toutes les variables globales (au sens du Fortran 90) relatives aux calculs d'éphémérides, aux caractéristiques orbitales et planétologiques des corps du système solaire, aux caractéristiques des étoiles, etc. Les variables sont présentées regroupées par type : caractère, numériques et logique.

### Variables de type caractère :

<b>AGK39</b>	(9)	désignation d'une étoile dans le catalogue AGK3
<b>AUTHORNAME</b>	(18)	nom de l'auteur du calcul des éléments osculateurs d'un astéroïde ou d'une comète
<b>BD13</b>	(13)	désignation d'une étoile dans le catalogue BD
<b>CATALOG</b>	(4)	choix du catalogue d'étoiles : ACRS, ACT, BSC, FK5, HIP, PPM, TYC
<b>CD13</b>	(13)	désignation d'une étoile dans le catalogue CD
<b>CPD13</b>	(13)	désignation d'une étoile dans le catalogue CPD
<b>CODESOURCE</b>	(128)	source des données orbitales pour un astéroïde ou une comète
<b>DM11</b>	(11)	désignation d'une étoile dans le catalogue DM
<b>ECHT</b>	(3)	choix de l'échelle de temps : TT ou UTC

<b>FIC_COMETE</b>	(128)	nom du fichier contenant les données orbitales pour une comète (cf. §5.1)
<b>FK57</b>	(7)	désignation d'une étoile dans le catalogue FK5
<b>FORMAT_FILE</b>	(128)	nom du fichier de données utilisateur contenant, au minimum, les dates pour lesquelles on veut calculer des éphémérides. Différents formats de lecture sont possibles (cf. variables <b>FORMAT_DATE</b> ). Permet aussi le calcul des <i>O-C</i> (cf. §5)
<b>LIEUOBS</b>	(128)	nom du lieu associé aux coordonnées de la station d'observation (variable <b>TOPOC</b> )
<b>NOMPLANET</b>	(128)	nom du corps du système solaire pour lequel on calcule des éphémérides
<b>NOMSONDE</b>	(128)	nom d'une sonde spatiale pour laquelle on calcule des éphémérides
<b>SOLPLANET</b>	(8)	choix de la théorie planétaires : VSOP82, VSOP87, DE200, DE403
<b>SP</b>	(4)	type spectral d'une étoile
<b>SPECTRAL</b>	(4)(:)	type spectral d'une sélection d'étoiles
<b>STARCODE</b>	(128)	numéro de l'étoile sous la forme d'une chaîne de caractères (voir <b>NUMETOILE</b> )

La longueur des chaînes de caractères est indiquée entre parenthèses. La variables **SPECTRAL** est un vecteur de rang  $n$  alloué dynamiquement.

#### Variables de type entier :

- automa** paramètre de configuration de l'intégration numérique par l'algorithme de Burlish et Stoer : **automa** = 0, le pas d'intégration (choisi par l'utilisateur) est constant (par défaut) ; **automa** = 1, le pas d'intégration est modifié automatiquement par l'algorithme et prend comme valeur la meilleure valeur estimée pour le pas suivant (voir la variable **extrap** et le sous-programme **DIFSY**)
- extrap** paramètre de configuration de l'intégration numérique par l'algorithme de Burlish et Stoer : nombre d'extrapolation maximum pour un pas  $h_0$  ( $h_0$  est un pas "global"). A chaque pas d'intégration, le sous-programme calcule  $y(x + h_0)$  avec plusieurs pas de calcul réels  $h (\leq h_0)$ , puis estime la meilleure valeur de  $y(x + h_0)$  en fonction des différentes valeurs trouvées. Le nombre de pas  $h$  essayés (ils forment une suite décroissante) est inférieur ou égal à **extrap**. Le pas  $h_0$  peut alors changer automatiquement ou non selon l'état de la variable **automa**. Par défaut **extrap** = 10 (valeur maximum)
- icent** choix du centre du repère de calcul des éphémérides : 1: héliocentre, 2: géocentre, 3: topocentre, 4: sonde spatiale

<b>ielosc</b>	choix de la source des éléments osculateurs des astéroïdes : 1: EMP97, 2: Bowell, 3: saisie manuelle
<b>ikeph</b>	choix de la théorie planétaire : 1: DE200, 2: VSOP82, 3: DE403, 4: VSOP87
<b>ikrep</b>	choix du repère de référence : 1: –, 2: FK5 J2000.0
<b>iteph</b>	choix du type de coordonnées : 1: astrométriques J2000.0, 2: apparentes de la date, 3: moyennes de la date, 4: géométriques
<b>itrep</b>	choix du type de repère : 1: équatorial, 2: écliptique, 3: rectangulaire équatorial, 4: local, 5: horaire
<b>NBDATES</b>	nombre de dates de calcul d'éphémérides pour les corps du système solaire ( $\leq 5000$ )
<b>NBDATESET</b>	nombre de dates de calcul d'éphémérides pour les étoiles ( $\leq 5000$ )
<b>NUMETOILE</b>	numéro de catalogue de l'étoile dont on veut calculer l'éphéméride
<b>NUMPLANET</b>	numéro du corps du système solaire dont on veut calculer l'éphéméride : 1..9: planètes, 10: Lune, 11: Soleil, $(4..7)*10+(1..ns)$ : satellites naturels ( $ns = 2$ pour Mars, $ns = 4$ pour Jupiter, $ns = 8$ pour Saturne et $ns = 5$ pour Uranus), 1.. $nmaxa$ : astéroïdes ( $nmaxa = 9259$ au 14/10/1998 pour la base de T. Bowell)
<b>NUMSATEL</b>	numéro du satellite extrait de la variable <b>NUMPLANET</b> lors du calcul d'éphéméride. <b>NUMSATEL = 0</b> lorsque les calculs portent sur le corps central
<b>TOBJET</b>	type du corps céleste : 1: astéroïde, 2: comète, 3: planète, 4: satellite naturel, 5: étoile
<b>FORMAT_DATE</b>	choix du format de lecture du fichier défini par la variable <b>FORMAT_FILE</b> pour le calcul d'éphémérides non tabulées. $jj$ est le jour julien, $\alpha$ , $\delta$ les coordonnées équatoriales et $O-C(\alpha)$ , $O-C(\delta)$ les différences entre les coordonnées équatoriales observées et calculées. $n$ représente un numéro d'indice (valeur entière). La lecture du fichier se fait en format libre. Les différents formats sont :
	1: $jj$
	2: $jj \alpha \delta$ (h.hhhh ; d.dddd)
	3: $jj \alpha \delta$ (h m s ; o l //)
	4: $jj \alpha O-C(\alpha) \delta O-C(\delta)$ (h.hhhh ; s ; d.dddd ; //)
	5: $jj \alpha O-C(\alpha) \delta O-C(\delta)$ (h m s ; s ; o l // ; //)
	6: $jj \alpha \delta O-C(\alpha) O-C(\delta)$ (h.hhhh ; d.dddd ; s ; //)
	7: $n jj \alpha \delta O-C(\alpha) O-C(\delta)$ (h m s ; o l // ; s ; //)
	8: $n jj O-C(\alpha) O-C(\delta) \alpha \delta$ (// ; // h m s ; o l //)
	9: format EPROC (coordonnées équatoriales)
	10: format MPCOBS

**VARIABLES DE TYPE RÉEL (REAL (8)) :**

<b>epsint</b>	paramètre de configuration de l'intégration numérique par l'algorithme de Burlish et Stoer : précision interne de l'intégration numérique. Par défaut $\text{epsint} = 10^{-14}$
<b>pasint</b>	pas de l'intégration numérique défini par l'utilisateur, en jours et fractions de jour
<b>diamplanet</b>	diamètre du corps du système solaire
<b>caplat</b>	coefficient d'aplatissement du corps céleste : $\text{caplat} = 1 - c/a$ , avec $a > b > c$ les rayons de l'ellipsoïde modélisant le corps
<b>V10</b>	magnitude visuelle des planètes à 1 ua de la Terre et $0^\circ$ d'angle de phase solaire

**VECTEURS OU MATRICES DE TYPE RÉEL (REAL (8)) :**

<b>ASTRO</b>	(6)	paramètres divers des orbites des petits corps :
	ASTRO(1)	nombre d'observations du corps
	ASTRO(2)	nombre d'oppositions observées
	ASTRO(3)	RMS ou résidu maximum de l'orbite
	ASTRO(4)	époque de passage au périhélie (comètes)
	ASTRO(5)	période orbitale (comètes)
	ASTRO(6)	non affecté
<b>ELOSCU</b>	(10)	éléments osculateurs des orbites des petits corps :
	ELOSCU(1)	anomalie moyenne (en deg)
	ELOSCU(2)	argument du périhélie (en deg)
	ELOSCU(3)	longitude du nœud ascendant (en deg)
	ELOSCU(4)	inclinaison (en deg)
	ELOSCU(5)	excentricité
	ELOSCU(6)	demi-grand axe (en ua)
	ELOSCU(7)	époque de référence de l'orbite
	ELOSCU(8)	forces non gravitationnelles (comètes) :
		0: aucune force non gravitationnelle
		1: forces non gravitationnelles (cf. FNG)
	ELOSCU(9)	moyen mouvement (en deg/j)
	ELOSCU(10)	non affecté
<b>MEOP</b>	(:,:)	paramètres d'orientation de la Terre (EOP(IERS) C 02) :
	MEOP(1,i)	jour julien de la mesure
	MEOP(2,i)	coordonnée $x$ du pôle de la Terre ( $\mu$ )
	MEOP(3,i)	coordonnée $y$ du pôle de la Terre ( $\mu$ )
	MEOP(4,i)	différence $UT1 - UTC$ en seconde
	MEOP(5,i)	durée du jour en secondes

	MEOP(6,i)	offset en longitude du pôle céleste, $\Delta\psi$ (")
	MEOP(7,i)	offset en obliquité du pôle céleste, $\Delta\epsilon$ (")
<b>EPHE</b>	(:,:) sauvegarde des éphémérides des étoiles :	
	EPHE(1,i)	époque julienne (TT)
	EPHE(2,i)	ascension droite (en rad)
	EPHE(3,i)	déclinaison (en rad)
	EPHE(4,i)	distance barycentrique (en ua)
	EPHE(5,i)	magnitude apparente
<b>EPHOMC</b>	(:,:) sauvegarde des $O-C$ en coordonnées équatoriales (en ") :	
	EPHOMC(1,i)	époque julienne (TT)
	EPHOMC(2,i)	$O-C$ calculé en ascension droite ( $\Delta\alpha$ )
	EPHOMC(3,i)	$O-C$ calculé en déclinaison ( $\Delta\delta$ )
	EPHOMC(4,i)	$O-C$ utilisateur en ascension droite ( $\Delta\alpha$ )
	EPHOMC(5,i)	$O-C$ utilisateur en déclinaison ( $\Delta\delta$ )
<b>EPHP</b>	(:,:) sauvegarde des éphémérides des corps du système solaire :	
	EPHP(1,i)	époque julienne (TT)
	EPHP(2,i)	ascension droite (en rad)
	EPHP(3,i)	déclinaison (en rad)
	EPHP(4,i)	distance géométrique (en ua)
	EPHP(5,i)	magnitude visuelle apparente
	EPHP(6,i)	angle de phase (en deg)
	EPHP(7,i)	distance héliocentrique (en ua)
	EPHP(8,i)	dérivée première par rapport au temps de l'ascension droite (en rad/j)
	EPHP(9,i)	dérivée première par rapport au temps de la déclinaison (en rad/j)
	EPHP(10,i)	dérivée première par rapport au temps de la distance au centre du repère (en ua/j)
	EPHP(11,i)	dérivée seconde par rapport au temps de l'ascension droite (en rad/j <sup>2</sup> )
	EPHP(12,i)	dérivée seconde par rapport au temps de la déclinaison (en rad/j <sup>2</sup> )
	EPHP(13,i)	dérivée seconde par rapport au temps de la distance au centre du repère (en ua/j <sup>2</sup> )
<b>EPHT</b>	(:,:) sauvegarde des coordonnées équatoriales et des $O-C$ lus dans un fichier utilisateur :	
	EPHT(1,i)	ascension droite (en heure)
	EPHT(2,i)	déclinaison (en deg)
	EPHT(3,i)	$O-C$ utilisateur en ascension droite (en ")
	EPHT(4,i)	$O-C$ utilisateur en déclinaison (en ")
<b>ETOILE</b>	(:,:) sauvegarde des paramètres astrométriques des étoiles :	
	ETOILE(1,i)	ascension droite du catalogue (en h)
	ETOILE(2,i)	déclinaison du catalogue (en deg)

	ETOILE(3,i)	numéro de l'étoile dans le catalogue
	ETOILE(4,i)	mouvement propre en ascension droite (en s/an)
	ETOILE(5,i)	mouvement propre en déclinaison (en "/an)
	ETOILE(6,i)	erreur catalogue sur l'ascension droite (en ")
	ETOILE(7,i)	erreur catalogue sur la déclinaison (en ")
	ETOILE(8,i)	erreur catalogue sur le mouvement propre en ascension droite (en "/an)
	ETOILE(9,i)	erreur catalogue sur le mouvement propre en déclinaison (en "/an)
	ETOILE(10,i)	magnitude V ou P
	ETOILE(11,i)	parallaxe trigonométrique (en ")
	ETOILE(12,i)	vitesse radiale (en km/s)
	ETOILE(13,i)	époque julienne de référence (TT)
<b>EXYZ</b>	(:,:) sauvegarde des coordonnées rectangulaires des étoiles :	
	EXYZ(1:3,i)	direction barycentrique de l'étoile (en ua)
	EXYZ(4:6,i)	vitesse barycentrique de l'étoile (en ua/j)
	EXYZ(7:9,i)	vecteur position barycentrique de la Terre (en ua)
	EXYZ(10:12,i)	direction de l'étoile par rapport au centre du repère (en ua)
	EXYZ(13:15,i)	vitesse de l'étoile par rapport au centre du repère (en ua/j)
<b>FNG</b>	(3)	valeurs des forces non gravitationnelles (comètes)
<b>GM</b>	(20)	masses des principaux corps du système solaire (voir INITGMP)
<b>PHOT</b>	(6)	paramètres photométriques pour les petits corps :
		Cas des astéroïdes :
	PHOT(1)	magnitude absolue V(1,0)
	PHOT(2)	paramètre de pente de la magnitude
	PHOT(3)	indice B - V
	PHOT(4:6)	non affecté
		Cas des comètes :
	PHOT(1)	magnitude absolue totale
	PHOT(2)	dépendance à la distance à la Terre
	PHOT(3)	dépendance à la distance au Soleil
	PHOT(4)	magnitude absolue du noyau
	PHOT(5)	dépendance à la distance à la Terre
	PHOT(6)	dépendance à la distance au Soleil
<b>RAYONP</b>	(3)	rayons $a \geq b \geq c$ de l'ellipsoïde triaxial modélisant le corps du système solaire étudié

<b>RXYZ</b>	(:,:)	sauvegarde des coordonnées rectangulaires des corps du système solaire :
	RXYZ(1:3,i)	position héliocentrique du corps (en ua)
	RXYZ(4:6,i)	vitesse héliocentrique du corps (en ua/j)
	RXYZ(7:9,i)	position héliocentrique de la Terre (en ua)
	RXYZ(10:12,i)	position du corps par rapport au centre du repère (en ua)
	RXYZ(13:15,i)	vitesse du corps par rapport au centre du repère (en ua/j)
<b>TOPOC</b>	(3)	coordonnées géodésiques de la station d'observation (le géoïde de référence est celui du système IERS92) :
	TOPOC(1)	longitude (en heure, négative vers l'est)
	TOPOC(2)	latitude (en degré, positive vers le nord)
	TOPOC(3)	altitude (en m)
<b>YO</b>	(9)	coordonnées rectangulaires équatoriales FK5 (position-vitesse) initiales des petits corps

La deuxième colonne indique le rang du vecteur ou de la matrice. Lorsque le rang d'une matrice est indiqué sous la forme (:,:) cela signifie qu'elle est allouée dynamiquement. En d'autres termes, cela veut dire qu'on peut choisir n'importe quel couple de valeurs  $(n, m)$  à la condition de le déclarer avant toute première affectation d'un élément de la matrice. En pratique, cette déclaration peut se coder sous la forme :

```

...
if (allocated(tab)) deallocate (tab)
allocate (tab(n,m))
...

```

Ces variables dynamiques contiennent les résultats des calculs d'éphémérides et des données numériques sur les corps. Elles sont allouées et affectées dans les sous-programmes concernés. Il est préférable de ne pas chercher à modifier la valeur des éléments de ces matrices.

**Variables de type logique :**

<b>IMPR_ELEM</b>	.true.	impression ou non des éléments osculateurs des petits corps avant les résultats d'éphémérides
<b>OmC</b>	.false.	calcul ou non des $O-C$ dans le cas où un fichier utilisateur est chargé (voir <b>FORMAT_DATE</b> et <b>FORMAT_FILE</b> )

La deuxième colonne présente l'état par défaut de ces variables logiques.

## 4.6 Module A6 : OutilF

Ce module constitue un complément utile aux commandes Fortran. Il regroupe des fonctions de transformation entre les types numérique et caractère, des commandes de manipulation des fichiers et quelques opérateurs et fonctions mathématiques comme le produit vectoriel, les rotations autour d'un axe, les interpolations-extrapolations et les conversions d'unité des angles.

### Pi, dPi, extPi

---

**Objet** Valeurs de la variable  $\pi$ .

**Classe** paramètres

<b>Valeurs</b>	Pi (REAL (8))	$\pi = 3.141592653589793$
	dPi (REAL (8))	$2\pi = 6.283185307179586$
	extPi (REAL (16))	$\pi = 3.141592653589793238462643383279$

### CtoI (chaîne)

---

**Objet** Conversion d'une chaîne de caractères représentant une valeur numérique entière en un nombre de type entier.

**Classe** fonction

**Entrée** chaîne (CHARACTER (len=\*)) chaîne de caractère

**Sortie** CtoI (INTEGER) nombre entier

**En relation** Voir aussi la fonction ltoC.

### CtoR (chaîne)

---

**Objet** Conversion d'une chaîne de caractères représentant une valeur numérique réelle en un nombre de type réel.

**Classe** fonction

**Entrée** chaîne (CHARACTER (len=\*)) chaîne de caractère

**Sortie** CtoR (INTEGER) nombre réel

**En relation** Voir aussi la fonction RtoC.

## DEGRAD ( $x$ )

---

**Objet** Conversion entre les degrés et les radians.

**Classe** fonction

**Entrée**  $x$  (REAL (8)) angle en degrés

**Sortie** DEGRAD (REAL (8)) angle en radians

**En relation** Voir aussi la fonction RADDEG.

## GESIOSTAT (code, nomf)

---

**Objet** Gestion des erreurs liées à la manipulation des fichiers (ouverture, lecture, écriture, etc.). Provoque l'arrêt immédiat de l'exécution du programme si la valeur de **code** est différente de zéro (commande STOP).

**Classe** sous-programme

**Entrées** code (INTEGER) code de l'erreur  
nomf (CHARACTER (len=128)) nom du fichier manipulé

**Sortie** Message d'erreur sur la sortie standard ; fin du programme

## H\_DEC (h, hd)

---

**Objet** Conversion d'une heure exprimée en heures, minutes et secondes en heure décimale.

**Classe** sous-programme

**Entrée** h (REAL (8)) heure exprimée sous le format hh.mmssss

**Sorties** hd (REAL (8)) heure exprimée sous le format hh.hhhhhh

**En relation** Voir aussi les sous-programmes H\_HMS et HMS\_H.

## H\_HMS (t, h, m, s)

---

**Objet** Conversion d'une heure décimale en une heure exprimée en heures, minutes et secondes.

**Classe** sous-programme

**Entrée** t (REAL (8)) heure exprimée sous le format hh.hhhhhh

**Sorties** h (INTEGER) heures  
m (INTEGER) minutes  
s (REAL (8)) secondes

**En relation** Voir aussi les sous-programmes H\_DEC et HMS\_H.

**HEURAD (x)** \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion entre les heures et les radians.

**Classe** fonction

**Entrée** x (REAL (8)) angle en heures

**Sortie** HEURAD (REAL (8)) angle en radians

**En relation** Voir aussi la fonction RADHEU.

**HMS\_H (h, m, s, t)** \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion d'une heure exprimée en heures, minutes et secondes en heure décimale.

**Classe** sous-programme

**Entrées** h (INTEGER) heures  
m (INTEGER) minutes  
s (REAL (8)) secondes

**Sortie** t (REAL (8)) heure exprimée sous le format hh.hhhhhh

**Commentaires** Voir aussi les sous-programmes H\_DEC et H\_HMS.

**INDEX\_VECTEUR (n, tab, index)** \_\_\_\_\_

**Objet** Indexation du vecteur **tab** dans l'ordre croissant des données. Rangement dans le vecteur **index**. Le vecteur **tab** n'est pas modifié.

**Classe** sous-programme

**Entrées** n (INTEGER) nombre d'éléments du vecteur  
tab(n) (REAL (8)) vecteur à indexer

**Sortie** index(n) (INTEGER) index du vecteur

**Commentaires** Adaptation en Fortran 90 du sous-programme `indexx` du *Numerical Recipes*, Indexing and ranking, p. 330 [PTVF92].

### ItoC (n) \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion d'une valeur numérique entière en une chaîne de caractères représentant cette valeur.

**Classe** fonction

**Entrée** n (INTEGER) nombre entier

**Sortie** chaine (CHARACTER(len=10)) chaîne de caractère

**En relation** Voir aussi la fonction `Ctol`.

### MATINV (Mi, n, Mo) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de l'inverse de la matrice carrée `Mi` (de rang `n`) par la méthode de décomposition LU et de substitution inverse.

**Classe** sous-programme

**Entrées** `Mi` (REAL (n,n)) matrice à inverser  
n (INTEGER) rang de la matrice

**Sortie** `Mo` (REAL (n,n)) inverse de la matrice `Mi`

**Commentaires** Adaptation en Fortran 90 des sous-programmes `ludcmp` et `luksb` du *Numerical Recipes*, Solution of linear algebraic equations, p. 40 [PTVF92].

### NOMBRE (chaine) \_\_\_\_\_

**Objet** Reconnaissance d'une chaîne de caractères pour savoir si elle représente une valeur numérique entière ou non.

**Classe** fonction

**Entrée** chaine (CHARACTER(len=128)) chaîne de caractères

**Sortie** NOMBRE (LOGICAL) prend la valeur **vraie** si la chaîne de caractères représente un nombre entier, sinon prend la valeur **faux**

**Commentaires** La chaîne de caractères **chaîne** représente un nombre si elle n'est composée que des caractères ". + - 0 ... 9".

### NOMME\_FICHIER (fichier) \_\_\_\_\_

**Objet** Procédure de dénomination d'un fichier en fonction des fichiers de même nom existant dans le répertoire indiqué. Concaténation de la variable **fichier** avec la valeur d'un compteur incrémenté automatiquement.

**Classe** sous-programme

**Entrée** fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier

**Sortie** fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier incrémenté

**Commentaires** La variable **fichier** doit contenir le nom du répertoire où se trouve le fichier. Sinon c'est le répertoire courant qui est considéré.

### OUVRE\_LECTURE (unite, fichier) \_\_\_\_\_

**Objet** Ouverture en lecture séquentielle d'un fichier sur une unité logique donnée. Si une erreur se produit alors le programme s'arrête (STOP).

**Classe** sous-programme

**Entrées** unite (INTEGER) numéro de l'unité logique  
fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier à ouvrir

**Commentaires** Ne pas omettre de fermer le fichier (CLOSE) après lecture, le cas échéant.

### OUVRE\_ECRITURE (unite, fichier) \_\_\_\_\_

**Objet** Ouverture en écriture séquentielle d'un fichier sur une unité logique donnée. Si une erreur se produit alors le programme s'arrête (STOP).

**Classe** sous-programme

**Entrées** unite (INTEGER) numéro de l'unité logique  
fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier à ouvrir

**Commentaires** Le nom du fichier est incrémenté pour tenir compte des fichiers existant dans le répertoire spécifié (voir `NOMME_FICHIER`). Ne pas omettre de fermer le fichier (`CLOSE`) après écriture, le cas échéant.

**POLINT** (`xa`, `ya`, `n`, `x`, `y`, `dy`) \_\_\_\_\_

**Objet** Interpolation-extrapolation polynomiale d'après l'algorithme de Neville. Si  $P(x)$  est un polynôme de degré  $N - 1$  tel que  $P(xa_i) = ya_i, i = 1, \dots, n$  alors la valeur retournée est  $y = P(x)$ .

**Classe** sous-programme

**Entrées**

<code>xa(n)</code>	(REAL (8))	abscisses de la fonction (discrète) à interpoler
<code>ya(n)</code>	(REAL (8))	ordonnées de la fonction (discrète) à interpoler
<code>n</code>	(INTEGER)	dimension des vecteurs
<code>x</code>	(REAL (8))	abscisse pour laquelle on cherche l'interpolation

**Sorties**

<code>y</code>	(REAL (8))	valeur interpolée ou extrapolée de la fonction
<code>dy</code>	(REAL (8))	estimation de l'erreur sur cette valeur

**Commentaires** Adaptation en Fortran 90 du sous-programmes `polint` du *Numerical Recipes*, Polynomial interpolation and extrapolation, p. 103 [PTVF92].

**RADDEG** (`x`) \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion entre les radians et les degrés.

**Classe** fonction

**Entrée** `x` (REAL (8)) angle en radians

**Sortie** `RADDEG` (REAL (8)) angle en degrés

**En relation** Voir aussi la fonction `DEGRAD`.

**RADHEU** () \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion entre les radians et les heures.

**Classe** fonction

**Entrée** `x` (REAL (8)) angle en radians

**Sortie** `RADDEG` (REAL (8)) angle en heures

**En relation** Voir aussi la fonction HEURAD.

**RATINT (xa, ya, n, x, y, dy)** \_\_\_\_\_

**Objet** Interpolation-extrapolation par des fractions rationnelles d'après l'algorithme de Bulirsh et Stoer. La valeur retournée est celle des fonctions rationnelles, évaluées en  $x$ , qui passent par les  $n$  points  $(x a_i, y a_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

**Classe** sous-programme

**Entrées**

xa(n)	(REAL (8))	abscisses de la fonction (discrète) à interpoler
ya(n)	(REAL (8))	ordonnées de la fonction (discrète) à interpoler
n	(INTEGER)	dimension des vecteurs
x	(REAL (8))	abscisse pour laquelle on cherche l'interpolation

**Sorties**

y	(REAL (8))	valeur interpolée ou extrapolée de la fonction
dy	(REAL (8))	estimation de l'erreur sur cette valeur

**Commentaires** Adaptation en Fortran 90 du sous-programmes `ratint` du *Numerical Recipes*, Polynomial interpolation and extrapolation, p. 104 [PTVF92].

**RECTOSPHE (x, a, d, r)** \_\_\_\_\_

**Objet** Transformation des coordonnées rectangulaires en coordonnées sphériques.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

x(3)	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (en unité de distance)
------	------------	---

**Sorties**

a,d,r	(REAL (8))	coordonnées sphériques (en radians et unité de distance)
-------	------------	--

**En relation** Voir aussi le sous-programme RECTOSPHEP.

**RECTOSPHEP (x, rp, rp2, da, dd, da2, dd2)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des dérivées premières et secondes par rapport au temps des coordonnées sphériques à partir des coordonnées rectangulaires (position-vitesse-accélération) et des dérivées première et seconde de la distance.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	x(9)	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (position-vitesse-accélération) en ua, ua/j et ua/j <sup>2</sup>
	rp, rp2	(REAL (8))	dérivées première et seconde de la distance, en ua/j et ua/j <sup>2</sup>
<b>Sorties</b>	da,dd	(REAL (8))	dérivées premières des coordonnées sphériques, en rad/j
	da2,dd2	(REAL (8))	dérivées secondes des coordonnées sphériques, en rad/j <sup>2</sup>

**En relation** Voir aussi le sous-programme RECTOSPHE.

### ROTX ( $v, \theta$ )

---

**Objet** Image du vecteur  $v$  par la rotation d'angle  $\theta$  selon l'axe  $x$  d'un repère orthonormé (x,y,z).

**Classe** fonction

**Entrées**  $v(3)$  (REAL (8)) vecteur initial  
 $\theta$  (REAL (8)) angle de la rotation, en radians

**Sortie** ROTX (REAL (8)) image du vecteur  $v$

**En relation** Voir aussi les fonctions ROTY et ROTZ.

### ROTY ( $v, \theta$ )

---

**Objet** Image du vecteur  $v$  par la rotation d'angle  $\theta$  selon l'axe  $y$  d'un repère orthonormé (x,y,z).

**Classe** fonction

**Entrées**  $v(3)$  (REAL (8)) vecteur initial  
 $\theta$  (REAL (8)) angle de la rotation, en radians

**Sortie** ROTY (REAL (8)) image du vecteur  $v$

**En relation** Voir aussi les fonctions ROTX et ROTZ.

### ROTZ ( $v, \theta$ )

---

**Objet** Image du vecteur  $v$  par la rotation d'angle  $\theta$  selon l'axe  $z$  d'un repère orthonormé (x,y,z).

**Classe** fonction

**Entrées**  $v(3)$  (REAL (8)) vecteur initial  
 $\theta$  (REAL (8)) angle de la rotation, en radians

**Sortie** ROTZ (REAL (8)) image du vecteur  $v$

**En relation** Voir aussi les fonctions ROTX et ROTY.

**RtoC (x)** \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion d'une valeur numérique réelle en une chaîne de caractères représentant cette valeur.

**Classe** fonction

**Entrée**  $x$  (REAL (8)) nombre réel

**Sortie** RtoC (CHARACTER (len=32)) chaîne de caractère

**En relation** Voir aussi la fonction CtoR.

**TRANSCOOR ( $\alpha, \delta, \alpha_h, \alpha_m, \alpha_s, sgn, \delta_d, \delta_m, \delta_s, \mathbf{mod}$ )** \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion des coordonnées sphériques exprimées en heures décimales (ou degrés décimaux) en coordonnées exprimées en heures, minutes et secondes de temps (ou degrés, minutes et secondes de degrés).

**Classe** sous-programme

**Entrées**  $\alpha$  (REAL (8)) première coordonnée sphérique, en heure ou degré  
 $\delta$  (REAL (8)) deuxième coordonnée sphérique, en degré  
 $\mathbf{mod}$  (INTEGER) choix de l'unité de la première coordonnée sphérique (optionnel) : 0 = heure  
1 = degré

**Sorties**  $\alpha_h$  (INTEGER) valeur des heures ou degrés  
 $\alpha_m$  (INTEGER) valeur des minutes d'heure ou de degré  
 $\alpha_s$  (REAL (8)) valeur des secondes d'heure ou de degré  
 $sgn$  (CHARACTER (len=1)) signe de la deuxième coordonnée  
 $\delta_d$  (INTEGER) valeur des degrés  
 $\delta_m$  (INTEGER) valeur des minutes de degré  
 $\delta_s$  (REAL (8)) valeur des secondes de degré

**Commentaires** Le paramètre **mod** est optionnel. Par défaut l'unité de la première coordonnée sphérique est l'heure décimale. Voir aussi le sous-programme **TRANSCOORINV**.

**TRANSCOORINV** ( $\alpha_h, \alpha_m, \alpha_s, sgn, \delta_d, \delta_m, \delta_s, \alpha, \delta$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion des coordonnées sphériques exprimées en heures, minutes et secondes de temps (ou degrés, minutes et secondes de degrés) en coordonnées exprimées en heures décimales (ou degrés décimaux).

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	$\alpha_h$	(INTEGER)	valeur des heures ou degrés
	$\alpha_m$	(INTEGER)	valeur des minutes d'heure ou de degré
	$\alpha_s$	(REAL (8))	valeur des secondes d'heure ou de degré
	$sgn$	(CHARACTER (len=1))	signe de la deuxième coordonnée
	$\delta_d$	(INTEGER)	valeur des degrés
	$\delta_m$	(INTEGER)	valeur des minutes de degré
	$\delta_s$	(REAL (8))	valeur des secondes de degré

<b>Sorties</b>	$\alpha$	(REAL (8))	première coordonnée sphérique, en heure ou degré
	$\delta$	(REAL (8))	deuxième coordonnée sphérique, en degré

**Commentaires** La première coordonnée sphérique peut être exprimée indifféremment en heures ou en degrés. Voir aussi le sous-programme **TRANSCOOR**.

**VEC\_PRODUCT** (**x**, **y**) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la norme du produit vectoriel des deux vecteurs  $x$  et  $y$ .

**Classe** fonction

**Entrées**  $x(3), y(3)$  (REAL (8)) vecteurs à multiplier

**Sortie** **VEC\_PRODUCT** (REAL (8)) norme du produit vectoriel

**Commentaires** En complément de la fonction **DOT\_PRODUCT** du Fortran pour le produit scalaire.

## 4.7 Module B1 : Astro\_outillI

Ce module regroupe des sous-programmes de transformation entre les systèmes de référence spatio-temporels et des sous-programmes de calcul de la magnitude apparente des planètes et de leurs satellites naturels, de l'élongation d'un corps par rapport au Soleil ou à la Lune, des paramètres d'orientation de la Terre et des masses des principaux corps du système solaire. Ce module complète le module **Astro\_outil** (voir §4.3).

### COPREC NUT (JJ, $\alpha$ , $\delta$ , $\alpha_c$ , $\delta_c$ )

---

**Objet** Corrections des effets de précession et de nutation sur les coordonnées équatoriales géocentriques (repère FK5 J2000).

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
 $\alpha$  (REAL (8)) ascension droite (en rad)  
 $\delta$  (REAL (8)) déclinaison (en rad)

**Sorties**  $\alpha_c$ ,  $\delta_c$  (REAL (8)) ascension droite et déclinaison corrigées de la précession et de la nutation (en rad)

**Commentaires** Ce sous-programme assure la transformation entre des coordonnées moyennes (équateur J2000 ; équinoxe J2000) et des coordonnées vraies de la date (équateur vrai ; équinoxe de la date). Les formulaires utilisés sont ceux cités dans les sous-programmes QPREC et NUTATION.

### ECLIPtoEQUA (JJ, $\lambda_e$ , $\beta_e$ , $\alpha$ , $\delta$ )

---

**Objet** Conversion des coordonnées écliptiques géocentriques en coordonnées équatoriales géocentriques dans un repère moyen de l'époque J2000.0.

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
 $\lambda_e$  (REAL (8)) longitude écliptique (en rad)  
 $\beta_e$  (REAL (8)) latitude écliptique (en rad)

**Sorties**  $\alpha$  (REAL (8)) ascension droite (en rad)  
 $\delta$  (REAL (8)) déclinaison (en rad)

**Commentaires** L'obliquité (moyenne) de l'écliptique est calculée à l'époque JJ à l'aide de la fonction OBLIMO (obliquité du FK5). Voir aussi le sous-programme EQUAtoECLIP.

**EQUAtoECLIP (JJ,  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\lambda_e$ ,  $\beta_e$ )** \_\_\_\_\_

**Objet** Conversion des coordonnées équatoriales géocentriques en coordonnées éclip-tiques géocentriques dans un repère moyen de l'époque J2000.0.

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
 $\alpha$  (REAL (8)) ascension droite (en rad)  
 $\delta$  (REAL (8)) déclinaison (en rad)

**Sorties**  $\lambda_e$  (REAL (8)) longitude écliptique (en rad)  
 $\beta_e$  (REAL (8)) latitude écliptique (en rad)

**Commentaires** L'obliquité (moyenne) de l'écliptique est calculée à l'époque JJ à l'aide de la fonction OBLIMO (obliquité du FK5). Voir aussi le sous-programme ECLIPtoEQUA.

**ELONGLUNE (JJ,  $\rho_L$ ,  $\Delta$ ,  $\rho_p$ , ELL)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de l'élongation d'un corps du système solaire par rapport à la Lune. Cas géocentrique.

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
 $\rho_L$  (REAL (8)) distance Terre – Lune  
 $\Delta$  (REAL (8)) distance Lune – corps  
 $\rho_p$  (REAL (8)) distance Terre – corps

**Sortie** ELL (REAL (8)) élongation du corps par rapport à la Lune (en deg)

**Commentaires** Les distances sont exprimées en ua.

**ELONGSOLEIL (vht, vgp, ELS)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de l'élongation d'un corps du système solaire par rapport au Soleil. Cas général.

**Classe** sous-programme

**Entrées** vht (3) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires héliocentriques du corps central  
vgp (3) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires du corps étudié par rapport au corps central

**Sortie** ELS (REAL (8)) élongation du corps par rapport au Soleil (en deg)

**Commentaires** Les coordonnées rectangulaires sont exprimées en ua.

## **EOP (n)** \_\_\_\_\_

**Objet** Chargement des paramètres d'orientation de la Terre d'après les séries à 5 jours d'intervalles de l'IERS.

**Classe** sous-programme

**Sortie** n (INTEGER) nombre de séries de paramètres

**Sorties** (variable globale) MEOP(7,n)

**Commentaires** Les paramètres EOP(IERS) C 02 disponibles sont retournés par l'intermédiaire de la variable globale MEOP du module Var\_ephem (cf. §4.5).

Ce sous-programme nécessite une remise à jour régulière des fichiers de données EOP(IERS) C 02 pour disposer des paramètres récents d'orientation de la Terre. Ces fichiers sont téléchargeables à l'adresse ftp suivante : <ftp://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc02/>. Au sein de la librairie EPROC, ces fichiers sont rassemblés dans le répertoire défini par la variable d'environnement `eop_path` et le fichier courant de données à utiliser est défini par la variable `eop_file`. Dans la version v1.02, la période couverte est comprise entre le 4 Janvier 1962 à 12<sup>h</sup> UTC et le 29 juin 1998 à 12<sup>h</sup> UTC.

## **FDILUNE (JJ, FDI)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de la fraction illuminée du disque lunaire.

**Classe** sous-programme

**Entrée** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)

**Sortie** FDI (REAL (8)) fraction illuminée du disque lunaire (en %)

## INITGMP (code, gm)

---

**Objet** Initialisation des masses des principaux corps du système solaire.

**Classe** sous-programme

**Entrée** code (CHARACTER (len=6)) choix du système de masses planétaires :  
uai76 : système UAI 1976  
iers92 : système IERS 1992 (\*)

**Sortie** gm (20) (REAL (8)) masses des principaux corps

**Détail** Le vecteur **gm** regroupe les masses des principaux corps du système solaire exprimées sous la forme :  $gm(i) = gm(11)/spmr(i)$ ,  $i = 1..12$  où  $spmr(i)$  représente l'inverse des masses des planètes rapportées à celle du Soleil ( $spmr(11) = 1.0$ ) :

gm (1)	=	Mercure
gm (2)	=	Vénus
gm (3)	=	Barycentre Terre – Lune
gm (4)	=	Mars
gm (5)	=	Jupiter
gm (6)	=	Saturne
gm (7)	=	Uranus
gm (8)	=	Neptune
gm (9)	=	système Pluton – Charon
gm (10)	=	Lune
gm (11)	=	constante gravitationnelle héliocentrique ( $GM_{\odot}$ )
gm (12)	=	Terre

**Commentaires** Le système UAI76 doit être utilisé pour les calculs d'éphémérides avec les théories VSOP82, VSOP87 et DE200. Le système IERS92 doit être utilisé pour les calculs d'éphémérides avec la théorie DE403 (sauf pour les masses de Saturne et d'Uranus qui sont propres à DE403).

(\*) les masses de Saturne et d'Uranus sont ici celles de DE403.

## JJtoAA (JJ)

---

**Objet** Conversion d'une époque exprimée en jour julien en une époque exprimée en année décimale.

**Classe** fonction

**Entrée** JJ (REAL (8)) époque en jour julien

**Sortie** JJtoAA (REAL (8)) époque en année décimale de 365.25 jours

**MAGNIPLANET** ( $np, ns, V_{10}, \rho, \Delta, \sigma, M_v$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Formulaire de calcul de la magnitude visuelle apparente,  $M_v$ , des planètes et de leurs satellites naturels :

$$M_v = V_{10} + 5 \log(\rho * \Delta) + \Delta m$$

où  $\Delta m$  représente une correction de phase, calculée sous la forme d'une série de puissances de l'angle de phase,  $\sigma$ , ou à partir d'une loi de réflectance (loi de Hapke par exemple pour la Lune).

**Classe** sous-programme

**Entrées**

$np$	(INTEGER)	numéro de la planète
$ns$	(INTEGER)	numéro du satellite
$V_{10}$	(REAL (8))	magnitude absolue V(1,0) du corps
$\rho$	(REAL (8))	distance géocentrique du corps (en ua)
$\Delta$	(REAL (8))	distance héliocentrique du corps (en ua)
$\sigma$	(REAL (8))	angle de phase (en deg)

**Sortie**  $M_v$  (REAL (8)) magnitude visuelle apparente

**Commentaires** Pour plus de détails, consulter [Ber98b]. Voir aussi les sous-programmes COREPHASE et HAPKE.

**PHASEGEOM** ( $vps, vhs, \sigma$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de l'angle de phase solaire géométrique d'un corps du système solaire.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

$vps(3)$	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires du corps étudié par rapport à un corps central
$vsh(3)$	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires héliocentriques du corps étudié

**Sortie**  $\sigma$  (REAL (8)) angle de phase solaire géométrique (en deg)

**Commentaires** Les coordonnées rectangulaires sont exprimés en ua.

## TEMPSIDERAL (JJ, GST0, type) ---

**Objet** Formulaire de calcul du temps sidéral moyen ou vrai à Greenwich d'après Aoki *et al.*, 1982 [AGK<sup>+</sup>82].

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
type (INTEGER) choix du temps sidéral : 0 : temps sidéral moyen  
1 : temps sidéral vrai

**Sortie** GST0 (REAL (8)) temps sidéral à Greenwich

**Commentaires** GST0 représente l'angle horaire de l'équinoxe à la date JJ pour Greenwich. En théorie, JJ doit être exprimé dans l'échelle de temps UT1 (voir sous-programme EOP). En pratique, on pourra l'exprimer dans l'échelle UTC. Pour plus de détail, consulter [Ber98a].

## TT (JJ) ---

**Objet** Conversion d'un jour julien exprimé dans l'échelle de temps UTC en un jour julien exprimé dans l'échelle de temps TT.

**Classe** fonction

**Entrée** JJ (REAL (8)) jour julien UTC

**Sortie** TT (REAL (8)) jour julien TT

**En relation** Voir aussi la fonction UTC.

## UTC (JJ) ---

**Objet** Conversion d'un jour julien exprimé dans l'échelle de temps TT en un jour julien exprimé dans l'échelle de temps UTC.

**Classe** sous-programme

**Entrée** JJ (REAL (8)) jour julien TT

**Sortie** UTC (REAL (8)) jour julien UTC

**En relation** Voir aussi la fonction TT.

#### 4.8 Module B2 : Theo\_planetaires

Ce module regroupe les sous-programmes de mise en œuvre des théories planétaires VSOP82, VSOP87, DE200, DE403 et des théories du mouvement des satellites naturels ESAPHO/ESADEI, SAMPSON-LIESKE/G5, TASS, GUST. En fait, la mise en œuvre de ces théories ayant été écrite par leurs auteurs en Fortran 77, seul l'appel à VSOP82 (sous-programme BDL82, traduit en F90) et aux théories du mouvement des satellites naturels (sous-programmes intermédiaires de mises en œuvre de ces théories) sont réellement interfacées dans ce module. Une description des appels aux autres sous-programmes (mise en œuvre de VSOP87, DE200 et DE403) est proposée à titre indicatif. Pour plus de détails sur le contenu et l'emploi de ces théories, on se reportera à leurs sources respectives.

**BDL82 (JJ, corps, cent, ider, krep, keph, epoq, r, err)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales J2000 (position–vitesse–accélération) d'une planète à partir de la théorie planétaire VSOP82 [Bre82]. Ce sous-programme est une traduction en F90 du sous-programme de G. Francou, Bureau des longitudes.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	JJ	(REAL (8))	époque julienne (TT)
	corps	(INTEGER)	choix du corps :
			1: Mercure                    7: Uranus
			2: Vénus                    8: Neptune
			3: Barycentre T–L    9: Pluton
			4: Mars                    10: Lune
			5: Jupiter                11: Soleil
			6: Saturne                12: Terre
	cent	(INTEGER)	choix du centre du repère (idem <b>corps</b> )
	ider	(INTEGER)	choix de calcul des dérivées :
			0: position uniquement
			1: position et vitesse
			2: position, vitesse et accélération
	krep	(INTEGER)	choix du type de repère :
			0: repère équatorial VSOP82 J2000
			1: repère équatorial DE200 J2000
			2: repère équatorial FK5 J2000 (par défaut)
	keph	(INTEGER)	numéro d'unité logique du fichier source



**Entrées**      JJ    (REAL (8))    époque julienne (TT)  
                 indice    (INTEGER)    numéro du satellite (1 à 4)

**Sorties**    vps (6)    (REAL (8))    coordonnées rectangulaires (position–vitesse) du satellite, en ua et ua/j

**EPHEM\_SAT\_SATU (JJ, indice, vps)** \_\_\_\_\_

**Objet**    Calcul des coordonnées rectangulaires (position–vitesse) planétocentriques d’un satellite de Saturne dans un repère moyen se référant à l’équinoxe et à l’écliptique J2000 à partir de la théorie TASS [VD95].

**Classe**    sous-programme

**Entrées**      JJ    (REAL (8))    époque julienne (TT)  
                 indice    (INTEGER)    numéro du satellite (1 à 8)

**Sorties**    vps (6)    (REAL (8))    coordonnées rectangulaires (position–vitesse) du satellite, en ua et ua/j

**Commentaires**    Le vecteur **vps** est rapporté à l’équateur J2000.

**EPHEM\_SAT\_URAN (JJ, indice, vps)** \_\_\_\_\_

**Objet**    Calcul des coordonnées rectangulaires (position–vitesse) planétocentriques d’un satellite d’Uranus dans le repère FK5 à partir de la théorie GUST [Las87].

**Classe**    sous-programme

**Entrées**      JJ    (REAL (8))    époque julienne (TT)  
                 indice    (INTEGER)    numéro du satellite (1 à 5)

**Sorties**    vps (6)    (REAL (8))    coordonnées rectangulaires (position–vitesse) du satellite, en ua et ua/j

**PLEPH\_DE200 (JJ, corps, cent, r)** \_\_\_\_\_

**Objet**    Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales J2000 (position–vitesse) d’une planète à partir de la théorie planétaire DE200 [Sta82], [Sta90] (Auteur : Jet Propulsion Laboratory). Ce sous-programme n’est pas interfacé dans le module B2.

**Classe**    sous-programme

**Entrées**      JJ    (REAL (8))    époque julienne (TT)  
                  corps    (INTEGER)    choix du corps :

1: Mercure	9: Pluton
2: Vénus	10: Lune
3: Terre	11: Soleil
4: Mars	12: Barycentre système solaire
5: Jupiter	13: Barycentre Terre – Lune
6: Saturne	14: Nutation (longitude, obliquité)
7: Uranus	15: Libration
8: Neptune	

                 cent    (INTEGER)    choix du centre du repère (idem **corps**)

**Sorties**    r (6)    (REAL (8))    coordonnées rectangulaires (position–vitesse) équatoriales J2000, en ua et ua/j

**Commentaires**    L’emploi de ce sous-programme nécessite de posséder le fichier des coefficients de Tchebytchev adéquat et de spécifier son nom et son répertoire dans le fichier **solde200.f** (ligne 214) de la librairie **EPROC** (/DATA/DE200/JPLEPH par défaut). Pour toutes informations sur DE200, consulter [New83] ou contacter E. Myles Standish, Jr. ou X X (Skip) Newhall, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA 91109-8099 (ems@smyles.jpl.nasa.gov). La période couverte par DE200 est comprise entre le 9 décembre 1599  $0^h$  TT (2305424.5) et le 31 mars 2169  $0^h$  TT (2513360.5).

**Remarques**    Les fichiers sources de DE200 peuvent être obtenus via internet sur le serveur ftp anonyme : [navigator.jpl.nasa.gov](ftp://navigator.jpl.nasa.gov) [128.149.23.82].

**PLEPH\_DE403 (JJ, corps, cent, rrd)** \_\_\_\_\_

**Objet**    Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales J2000 (position–vitesse) d’une planète à partir de la théorie planétaire DE403 [SNWF95] (Auteur : Jet Propulsion Laboratory). Ce sous-programme n’est pas interfacé dans le module B2.

**Classe**    sous-programme

**Entrées**      JJ    (REAL (8))    époque julienne (TT)  
                  corps    (INTEGER)    choix du corps :

1: Mercure	9: Pluton
2: Vénus	10: Lune
3: Terre	11: Soleil
4: Mars	12: Barycentre système solaire
5: Jupiter	13: Barycentre Terre – Lune
6: Saturne	14: Nutation (longitude, obliquité)
7: Uranus	15: Libration
8: Neptune	

cent (INTEGER) choix du centre du repère (idem **corps**)

**Sorties** rrd (6) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse)  
équatoriales J2000, en ua et ua/j

**Commentaires** L'emploi de ce sous-programme nécessite de posséder le fichier des coefficients de Tchebychev adéquat et de spécifier son nom et son répertoire dans le fichier **solde403.f** (ligne 221) de la librairie **EPROC** (/DATA/DE403/de403.unx par défaut). Pour toutes informations sur DE403, consulter [SNWF95] ou contacter E. Myles Standish, Jr., Jet Propulsion Laboratory 301-150, Pasadena, CA 91109-8099 (ems@smyles.jpl.nasa.gov). La période couverte par DE403 est comprise entre le 29 avril 1599 0<sup>h</sup> TT (2305200.5) et le 1 février 2200 0<sup>h</sup> TT (2524624.5).

**Remarques** Les fichiers sources de DE403 peuvent être obtenus via internet sur le serveur ftp anonyme : **navigator.jpl.nasa.gov** [128.149.23.82].

**SLP96 (JJ, corps, cent, ider, nul, r, err)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales J2000 (position–vitesse–accélération) d'une planète à partir de la théorie planétaire VSOP87 [BF88] – solution SLP96 (Auteur : G. Francou, Bureau des longitudes). Ce sous-programme n'est pas interfacé dans le module B2.

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
corps (INTEGER) choix du corps :  
1: Mercure 7: Uranus  
2: Vénus 8: Neptune  
3: Barycentre T–L 9: –  
4: Mars 10: Lune  
5: Jupiter 11: Soleil  
6: Saturne 12: Terre  
cent (INTEGER) choix du centre du repère (idem **corps**)  
ider (INTEGER) choix de calcul des dérivées :  
0: position uniquement  
1: position et vitesse  
2: position, vitesse et accélération  
nul (INTEGER) numéro d'unité logique du fichier source

**Sorties** r(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–  
accélération) équatoriales J2000, en ua, ua/j et  
ua/j<sup>2</sup>

err (INTEGER) code d'erreur : 0: pas d'erreur  
 10: erreur de fichier source  
 11: erreur sur l'époque de calcul  
 12: erreur sur le choix de **corps**  
 13: erreur sur le choix de **cent**  
 14: erreur sur le choix de **ider**

**Commentaires** L'emploi de ce sous-programme nécessite au préalable l'ouverture d'un fichier de données (coefficients de Tchebychev, dénommé **slp96.ad**) sous le numéro d'unité logique **nul** (choisi par l'utilisateur). La période couverte est comprise entre le 21 décembre 1549 0<sup>h</sup> TT (2287184.5) et le 30 janvier 2350 0<sup>h</sup> TT (2579408.5). La solution SLP96 est basée sur les théories VSOP87A (planètes sauf Pluton), ELP2000-82B (Lune) et VSOP87E (Soleil).

**Remarques** Les fichiers sources de la théorie VSOP87 peuvent être obtenus via internet sur le serveur ftp anonyme : **ftp.bdl.fr** [193.48.190.6] dans le répertoire **/pub/ephem/planets/vsop87/** et **/pub/ephem/sun/slp96/** pour la solution en coefficients de Tchebychev, SLP96.

#### 4.9 Module B3 : Astro\_dataSS

Ce module regroupe des sous-programmes relatifs à la gestion des bases de données planétaires, astéroïdales et stellaires et à la définition des données physiques et planétologiques des principaux corps du système solaire.

#### DATA\_ ASTEROIDE () \_\_\_\_\_

**Objet** Chargement des dimensions physiques et des éléments osculateurs de l'astéroïde désigné par la variable globale **NUMPLANET** (désignation UAI) et calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales J2000 (FK5) (position–vitesse) initiales du corps (à l'époque des éléments osculateurs). Les données sont sauvegardées dans des variables globales du module A5 **Var\_ephem** (c.f §4.5).

**Classe** sous-programme

**Entrée** (variable globale) **NUMPLANET**

**Sorties** (variables globales) **NOMPLANET, CODESOURCE, AUTHORNAME, DIAMPLANET, RAYONP, CAPLAT, ASTRO, PHOT, ELOSCU, YO**

**Commentaires** Les données proviennent au choix de la base de Bowell, "Asteroid Orbital Elements Database" [Bow98], de la base EMP-97 [BS95], ou d'une saisie manuelle des informations par l'utilisateur. La base de Bowell peut être remise à jour régulièrement à partir du serveur ftp qui lui est consacré : **ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html**.

**Remarque** Pour les astéroïdes référencés dans la base de Bowell et ne possédant pas de numéro UAI définitif (environ 80% des astéroïdes), la variable NUMPLANET doit contenir le numéro de la ligne à laquelle l'astéroïde recherché apparaît dans la base. Pour cela, le script *shell* [..]/eproc/bin/recnomaster.sh permet d'extraire de cette base le numéro de la ligne à partir de la dénomination temporaire du corps. Par exemples : *recnomaster.sh Ceres* ⇒ 1 ; *recnomaster.sh 1994 AW1* ⇒ 20283.

#### DATA\_COMETE ( )

---

**Objet** Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales J2000 (FK5) (position-vitesse) initiales d'une comète à partir des éléments osculateurs de son orbite contenus dans le fichier désigné par la variable globale FIC\_COMETE (c.f §4.5). Les données sont sauvegardées dans des variables globales du module A5 *Var\_ephem* (c.f §4.5).

**Classe** sous-programme

**Entrée** (variable globale) FIC\_COMETE, comet\_path

**Sorties** (variables globales) NOMPLANET, CODESOURCE, DIAMPLANET, RAYONP, CAPLAT, ASTRO, PHOT, FNG, ELOSCU, YO

**Commentaires** Pour plus de précision sur la structure du fichier de données cométaires, se reporter au §5.1.

#### DATA\_ETOILE (n, err)

---

**Objet** Chargement des données stellaires de l'étoile désignée par les variables globales NUMETOILE (identification de l'étoile) et CATALOG (désignation du catalogue).

**Classe** sous-programme

**Entrées** (variables globales) NUMETOILE, CATALOG

**Entrées** n (INTEGER) indice de rangement des données de l'étoile dans la variable ETOILE(13,:)  
err (INTEGER) code d'erreur : si err ≠ 0 l'étoile n'a pas été trouvée dans le catalogue

**Sorties** (variables globales) ETOILE, SPECTRAL

**Commentaires** Selon le cas, les variables globales suivantes : AGK39, BD13, CD13, CPD13, DM11, FK57 sont aussi affectées lorsqu'elles sont fournies par le catalogue consulté. Les fichiers de données numériques des catalogues sont ceux contenus dans les répertoires mentionnés dans le fichier `.eproc` sous les noms de variable : `ppm_path`, `bsc_path`, `hip_path`, `tycho_path`, `act_path`, `acrs_path`, `fk5_path`. Les noms des fichiers de données doivent obligatoirement être :

<code>acrs1.dat</code>	pour l'ACRS
<code>act.cat</code>	pour l'ACT
<code>bsc.cat</code>	pour le BSC
<code>fk5.cat</code>	pour le FK5
<code>hip_main.dat</code>	pour le HIP
<code>ppmz1nz2</code>	pour le PPM nord (†)
<code>ppmz1sz2</code>	pour le PPM sud (†)
<code>tyc_main.dat</code>	pour le TYC

(†) La version du PPM exploitée par EPROC v1.02 est particulière. Se renseigner auprès des auteurs.

**DATA\_PLANETE** ( ) \_\_\_\_\_

**Objet** Chargement des dimensions physiques et de la magnitude  $V(1,0)$  des planètes et des principaux satellites naturels.

**Classe** sous-programme

**Entrées** (variables globales) NUMPLANET, NUMSATEL

**Sorties** (variables globales) NOMPLANET, DIAMPLANET, RAYONP, CAPLAT, V10

**Commentaires** Les données planétaires sont issues principalement de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* [Bdl97].

**DATAPHYS\_PLANETE** (`nump`, `nums`, `JJ`,  $\rho$ , `syst`,  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$ , `W`, `sWp`, `Anneaux`, `RAnneaux`, `NbAnneaux`, `Satel`, `Surface`, `NbSurface`, `DetSurface`, `NomSurface`) \_\_\_\_\_

**Objet** Chargement des données pour l'observation physique des planètes et des principaux satellites naturels.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	nump	(INTEGER)	numéro de la planète
	nums	(INTEGER)	numéro du satellite
	JJ	(REAL (8))	époque julienne (TT)
	$\rho$	(REAL (8))	distance géocentrique du corps
	syst	(INTEGER)	système de rotation de référence (I, II, III)
<b>Sorties</b>	$\alpha_0, \delta_0$	(REAL (8))	coordonnées équatoriales du pôle nord du corps à l'époque J2000.0
	W	(REAL (8))	longitude planétocentrique du méridien origine
	sWp	(REAL (8))	sens de rotation du corps : +1 = prograde ; -1 = rétrograde
	Anneaux	(LOGICAL )	présence ou non d'anneaux autour du corps
	RAnneaux (10)	(REAL (8))	rayons des anneaux (en unité de rayon du corps)
	NbAnneaux	(INTEGER )	nombre d'anneaux
	Satel	(LOGICAL )	présence ou non de satellites naturels en orbite autour du corps
	Surface	(LOGICAL )	présence ou non de détail à la surface du corps
	NbSurface	(INTEGER )	nombre de détails de surface
	DetSurface (2,100)	(REAL (8))	coordonnées planétocentriques des détails de surface (longitude, latitude)
NomSurface (100)	(CHARACTER (len=20))	désignation des détails de surface	

**Commentaires** Les variables angulaires sont exprimées en radian. Les systèmes de rotation I et II ne sont ici définis que pour Jupiter. Pour les autres planètes géantes seul le système III est considéré. Pour plus d'informations sur les paramètres pour l'observation physique des planètes et des principaux satellites naturels, consulter [Ber98b] ou [DAB<sup>+</sup>96].

**DATAPHYS\_PCSS** (**nom, nums, JJ,  $\rho$ , syst,  $\alpha_0, \delta_0, W, sWp, Anneaux, RAnneaux, NbAnneaux, Satel, Surface, NbSurface, DetSurface, NomSurface$** ) \_\_\_\_\_

**Objet** Chargements des données pour l'observation physique des petits corps du système solaire (astéroïdes et comètes).

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	nom	(INTEGER)	nom du petit corps (ex. Ceres ou 46P/Wirtanen)
	nums	(INTEGER)	numéro du satellite
	JJ	(REAL (8))	époque julienne des calculs (TT)
	$\rho$	(REAL (8))	distance géocentrique du corps
	syst	(INTEGER)	système de rotation de référence (1, 2, etc.)
<b>Sorties</b>	$\alpha_0, \delta_0$	(REAL (8))	coordonnées équatoriales du pôle nord du corps à l'époque J2000.0
	W	(REAL (8))	longitude planétocentrique du méridien origine
	sWp	(REAL (8))	sens de rotation du corps : +1 = prograde ; -1 = rétrograde
	Anneaux	(LOGICAL )	présence ou non d'anneaux autour du corps
	RAnneaux (10)	(REAL (8))	rayons des anneaux (en unité de rayon du corps)
	NbAnneaux	(INTEGER )	nombre d'anneaux
	Satel	(LOGICAL )	présence ou non de satellites naturels en orbite autour du corps
	Surface	(LOGICAL )	présence ou non de détail à la surface du corps
	NbSurface	(INTEGER )	nombre de détails de surface
	DetSurface (2,100)	(REAL (8))	coordonnées planétocentriques des détails de surface (longitude, latitude)
NomSurface (100)	(CHARACTER (len=20))	désignation des détails de surface	

**Commentaires** Les variables angulaires sont exprimées en radian. La notion de système de rotation est inexistante. La variable **syst** est présente pour permettre le choix entre plusieurs jeux de paramètres de rotation. Actuellement **syst** = 1 quelque soit le corps. Pour plus d'informations sur les paramètres pour l'observation physique des petits corps du système solaire, consulter [Ber98b] ou [DAB<sup>+</sup>96]. Les valeurs numériques fournies ici sont issues de [Mag95], de [DC89], de [DFC98] et de [TH98]. Les corps disponibles sont (1) *Ceres*, (2) *Pallas*, (4) *Vesta*, (243) *Ida*, (85) *Io*, (951) *Gaspra*, (15) *Eunomia*, (39) *Laetitia*, (43) *Ariadne*, (44) *Nysa*, (63) *Ausonia*, (216) *Kleopatra*, (624) *Hektor*, *46P/Wirtanen* et *46P/Wirtanen\_CNES*.

#### 4.10 Module C1 : Astro\_adv

Ce module regroupe des sous-programmes de calculs d'astronomie fondamentale de niveau avancé (i.e nécessitant des modules de niveau inférieur). Les calculs traités sont la transformation des coordonnées géodésiques d'un observateur en coordonnées géocentriques, et *vice et versa*, le calcul des coordonnées horizontales, le calcul de la libration de la Lune et les calculs de levers, passages au méridien et couchers des corps du système solaire.

## CONVGEOctogEOD (JJ, vgo, topoc) \_\_\_\_\_

**Objet** Transformation des coordonnées géocentriques d'un observateur en coordonnées géodésiques. La latitude et l'altitude sont obtenues à l'aide de l'algorithme de Borkowski (1989) [Bor89].

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
vgo(3) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires équatoriales géocentriques (FK5) de l'observateur, en ua

**Sortie** topoc(3) (REAL (8)) coordonnées géodésiques en longitude (en heures), latitude (en degrés) et altitude (en mètres)

**Commentaires** L'ellipsoïde de révolution modélisant la Terre a pour rayon équatorial  $R_{\text{Terre}}$  (6378.1363 km) et pour facteur d'aplatissement  $Flatt$  (1/298.257) (c.f §4.1).

**En relation** Voir aussi le sous-programme CONVGEOdtoGEOC.

## CONVGEOdtoGEOC (JJ, topoc, vgo, mod) \_\_\_\_\_

**Objet** Transformation des coordonnées géodésiques d'un observateur en coordonnées géocentriques.

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
topoc(3) (REAL (8)) coordonnées géodésiques de l'observateur en longitude (en heures), latitude (en degrés) et altitude (en mètres)  
mod (INTEGER) choix du repère :  
– **mod** = 0 : repère vrai (instantané)  
– **mod** = 1 : repère moyen à l'époque J2000.0

**Sorties** vgo(9) (REAL (8)) coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales géocentriques (FK5) de l'observateur en ua, ua/j et ua/j<sup>2</sup>

**Commentaires** L'ellipsoïde de révolution modélisant la Terre a pour rayon équatorial  $R_{\text{Terre}}$  (6378.1363 km) et pour facteur d'aplatissement  $Flatt$  (1/298.257) (c.f §4.1). On néglige un terme de Coriolis dans la vitesse de l'observateur de l'ordre de  $10^{-5}$  m/s. L'accélération n'est pas calculée (nulle).

**En relation** Voir aussi le sous-programme CONVGEOCtoGEOD.

**EQUAtoHORIZ (JJ,  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$ , topoc, Az, H)** \_\_\_\_\_

**Objet** Transformation des coordonnées sphériques équatoriales apparentes topocentriques d'un corps céleste en coordonnées horizontales (azimut, hauteur).

**Classe** sous-programme

**Entrées**

JJ	(REAL (8))	époque julienne (UTC)
$\alpha_0, \delta_0$	(REAL (8))	coordonnées sphériques équatoriales apparentes topocentriques
topoc(3)	(REAL (8))	coordonnées géodésiques de l'observateur en longitude (en heures), latitude (en degrés) et altitude (en mètres)

**Sorties**

Az	(REAL (8))	azimut compté de $0^\circ$ à $360^\circ$ à partir du sud positivement vers l'ouest, en degrés
H	(REAL (8))	hauteur sur l'horizon comptée de $0^\circ$ à $\pm 90^\circ$ positivement vers le zénith, en degrés

**Commentaires** Le choix de convention pour exprimer l'azimut est ici celui des astronomes, à savoir que l'azimut est compté à partir du sud positivement vers l'ouest. On pourra choisir la convention des marins (compter l'azimut à partir du nord), en ajoutant  $180^\circ$  à l'azimut et en retranchant  $360^\circ$  si  $Az \geq 360^\circ$ .

**LEVCOUCH\_OSS (JJ,  $p$ ,  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$ , topoc, L, T, C, cj,  $h$ , Az, code)** \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des heures de levers, passages au méridien et couchers des principaux corps du système solaire (planètes, astéroïdes, Lune, Soleil). L'algorithme utilisé est basé sur celui de J. Meeus [Mee91]. Les levers et couchers des astres sont calculés pour leur centre ; ils correspondent à une hauteur sous l'horizon,  $h_0$ , égale à  $h_0 = p - R$ , où  $p$  est la parallaxe horizontale équatoriale de l'astre et  $R$  la constante de la réfraction astronomique de Radau ( $36'36''$ ).

**Classe** sous-programme

**Entrées**

JJ(5)	(REAL (8))	époque julienne (TT) centrée sur la date de calcul (JJ(3)) et couvrant la période : JJ(1) = JJ(3)-1, JJ(2) = JJ(3)-0.5, JJ(4) = JJ(3)+0.5, JJ(5) = JJ(3)+1
$p$	(REAL (8))	parallaxe horizontale équatoriale de l'astre, en degrés

	$\alpha_0(5), \delta_0(5)$	(REAL (8))	ascension droite et déclinaison géocentrique du corps aux époques données par JJ(5)
	topoc(3)	(REAL (8))	coordonnées géodésiques de l'observateur en longitude (en heures), latitude (en degrés) et altitude (en mètres)
<b>Sorties</b>	L(3)	(REAL (8))	heure, minute et secondes du lever
	T(3)	(REAL (8))	heure, minute et secondes du passage au méridien
	C(3)	(REAL (8))	heure, minute et secondes du coucher
	cj(3)	(REAL (8))	décalage par rapport à la date courante JJ(3) de l'instant de passage au méridien, de lever et de coucher (en jours)
	$h(3)$	(REAL (8))	hauteur de l'astre au dessus de l'horizon à son passage au méridien, son lever et son coucher, en radians
	$Az(3)$	(REAL (8))	azimut de l'astre à son passage au méridien, son lever et son coucher, en radians
	code	(INTEGER)	code selon les circonstances : 0 rien à signaler 1 astre toujours au dessus de l'horizon 2 astre toujours sous l'horizon 3 pas de phénomène ce jour

**Commentaires** L'échelle de temps des calculs est UTC. Le méridien origine est le méridien de Greenwich. Les azimuts sont comptés ici de 0 à  $2\pi$  à partir du nord positivement vers l'est. Les instants de levers, de passages au méridien et de couchers sont calculés avec une précision de 5 sec. (critère de fin d'itération), sans prendre en compte les approximations de l'algorithme et la précision des données initiales.

### LUNE\_LIBRATION (JJ, $\alpha_L, \delta_L, l, b$ ) ---

**Objet** Calcul de la libration géocentrique optique et physique de la Lune.

**Classe** sous-programme

**Entrées** JJ (REAL (8)) époque julienne (TT)  
 $\alpha_L, \delta_L$  (REAL (8)) coordonnées sphériques équatoriales géocentriques de la Lune, en radians

**Sorties**  $l, b$  (REAL (8)) libration géocentrique totale (optique et physique) en longitude et en latitude, en degrés

**Commentaires** Pour plus d'informations sur le mouvement de libration de la Lune, veuillez consulter [Ber98b] ou [Kop66]. Pour calculer la libration topocentrique, se reporter à [Ber98b].

#### 4.11 Module D1 : Outil\_ephem

Ce module regroupe des sous-programmes liés aux calculs d'éphémérides de position, pour contrôler les données initiales (numéro du corps, type de repère, etc.) et afficher les messages d'erreur, pour lire le fichier de configuration de la librairie et pour afficher les résultats des calculs d'éphémérides. En outre il contient aussi l'intégrateur numérique (algorithme de Bulirsh et Stoer), le calcul des éphémérides des sondes spatiales et le calcul des  $O-C$ .

##### AFFICHE\_ERREUR (code) \_\_\_\_\_

**Objet** Affichage des messages d'erreur liés à la validité des données initiales des calculs d'éphémérides.

**Classe** sous-programme

**Entrée** code (INTEGER) code de l'erreur :

0	pas d'erreur
1	erreur sur le numéro du corps
2	erreur sur le catalogue d'étoile
3	erreur sur le centre du repère
4	erreur sur le type du repère
5	erreur sur le type des coordonnées
6	erreur sur le choix de la théorie planétaire
7	erreur sur l'échelle de temps
8	erreur sur le nombre de dates
9	erreur sur le pas de calcul
10	erreur sur le choix des éléments osculateurs
11	erreur sur le format du fichier de dates
12	erreur sur le choix de la sortie

**Sortie** Impression d'un message d'erreur sur la sortie standard

**Commentaires** Ce sous-programme traite la valeur du code d'erreur issue des sous-programmes VERIFIE\_CHOIXPLA et VERIFIE\_ENTEPHEM.

##### CALCUL\_OmC (dev, i, j) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des différences entre positions observées et calculées des corps célestes ( $O-C$  en coordonnées équatoriales sphériques,  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$ ) à partir des données utilisateur chargées par l'intermédiaire du sous-programme LIT\_FICHER\_DATE.

**Classe** sous-programme

**Entrées** dev (CHARACTER (len=10)) choix d'impression des résultats  
i (INTEGER) indice de début de calcul des  $O-C$   
j (INTEGER) indice de fin de calcul des  $O-C$

**Entrées** (variables globales) TOBJET, EPHP(:,i:j) ou EPHE(:,i:j), EPHT(:,i:j)

**Sortie** (variables globales) EPHOMC

**Impression** selon le cas sur la sortie désignée par la variable **dev**, parmi les choix suivants : **ecran, fichier, toute, neant**

**Commentaires** Ce sous-programme peut être utilisé de manière plus générale pour générer des différences entre positions de corps céleste. Tout dépend du type de coordonnées (observées ou calculées) contenu dans la variables EPHT que l'on compare aux positions calculées et stockées dans les variables EPHP ou EPHE en fonction du type d'objet traité (corps du système solaire ou étoile).

**DIFSY** ( $x, y, dy, h_0, s, fin$ ) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul de l'orbite des petits corps du système solaire par intégration numérique du problème perturbé par les neuf planètes principales. Ce sous-programme calcule un pas d'intégration  $h \leq h_0$  pour un système d'équations différentielles ordinaires du premier ordre, de la forme :

$$\frac{dz}{dx} = f(x, z)$$

dont le membre de droite est donné par le sous-programme **f(x, z, dz)**. Le programme prend pour pas  $h$  le premier des nombres  $h_0, h_0/2, h_0/4$ , etc. pour lequel 9 étapes d'extrapolation suffisent à obtenir un résultat avec la précision requise (définie par la variable globale EPSINT). Si  $h$  est différent de  $h_0$ , la variable **fin** prend la valeur **true**.  $x$  et  $y(n)$  sont les valeurs initiales. Après exécution de DIFSY, les valeurs initiales de  $x$  et  $y$  sont remplacées par  $x+h$  et  $y(x+h)$ .  $h_0$  peut également être modifié (changement de pas automatique contrôlé par la variable globale **automa**). La nouvelle valeur de  $h_0$  est alors la meilleure valeur estimée pour le pas suivant. Le tableau  $s(n)$  et la constante EPSINT commandent la précision des valeurs calculées : le calcul est arrêté lorsque, pour tous les  $i$ , deux valeurs successives de  $y(i)$  diffèrent au plus de  $EPSINT \times s(i)$ . EPSINT ne doit pas être inférieur à  $10^{-D+3}$  où  $D$  est le nombre de chiffres décimaux de l'ordinateur utilisé.

**Classe** sous-programme

**Entrées** (variables globales) **automa, extrap, EPSINT**

<b>Entrées/Sorties</b>	$x$	(REAL (8))	époque julienne (TT)
	$y(9)$	(REAL (8))	coordonnées rectangulaires (position–vitesse–accélération) équatoriales héliocentriques (FK5) de l’astéroïde, en ua, ua/j et ua/j <sup>2</sup>
	$dy(9)$	(REAL (8))	dérivées par rapport au temps du vecteur $y$
	$h_0$	(REAL (8))	pas d’intégration en jours
	$s(9)$	(REAL (8))	contrôle de la précision

**Sorties**  $fin$  (LOGICAL) témoin d’égalité ou non entre  $h$  et  $h_0$

**Commentaires** Ce sous-programme est à l’origine la traduction, par G. Balmino, du programme Algol de Bulirsh et Stoer [BS66]. Lors du premier pas d’intégration, il faut initialiser la variable  $y$  avec les valeurs des coordonnées rectangulaires équatoriales (FK5) de l’astéroïde à l’époque des éléments osculateurs (variable globale YO). On intègre alors de cette époque jusqu’à l’époque initiale de calcul de l’éphéméride avec un pas  $h_0$  de 40 jours (pas d’intégration optimum). Puis on utilise le pas d’intégration souhaité sur la période de calcul de l’éphéméride.  $h_0$  est un pas ”global”. Le sous-programme calcule  $y(x + h_0)$  avec plusieurs pas de calcul réels  $h$  ( $\leq h_0$ ), puis estime la meilleure valeur de  $y(x + h_0)$  en fonction des différentes valeurs trouvées. Le nombre de pas  $h$  essayés (ils forment une suite décroissante) est inférieur ou égal à **extrap** qui lui même doit être plus petit ou égal à 10. Le calcul est optimisé pour un nombre d’extrapolation voisin, en moyenne, de 5. D’autre part il est conseillé de faire  $s(i) = 0$  pour le premier pas d’intégration. A la sortie de DIFSY, le tableau  $s(i)$  est devenu :

$$s(i) = \max(s(i), y(i, \xi))$$

où  $\xi$  est compris dans l’intervalle  $[x, x + h]$ .

### Description du sous-programme f(x, z, dz)

**Objet** Calcul des dérivées secondes par rapport au temps du vecteur position héliocentrique d’une petite planète,  $\mathbf{z}$ , tel que :

$$\frac{d^2\mathbf{z}}{dt^2} = -GM_{\odot} \frac{\mathbf{z}}{|\mathbf{z}|^3} + \nabla R (+ N)$$

où  $GM_{\odot}$  est la constante de gravitation héliocentrique,  $|\mathbf{z}|$  la distance héliocentrique de la petite planète et  $R$  la fonction perturbatrice de la mécanique newtonienne :

$$R = \sum_{i=1}^9 gm(i) \left( \frac{1}{\Delta_i} - \frac{\mathbf{p}_i \cdot \mathbf{z}}{r_i^3} \right)$$

où  $gm(i)$  est donné par le sous-programme INITGMP.  $\Delta_i$  est la distance de la petite planète par rapport à la planète perturbatrice considérée.  $\mathbf{p}_i$  et  $r_i$  représentent



**Commentaires** (†) Dans cette version **v1.02** seules les éphémérides de la sonde spatiale Rosetta (**sonde = 1**) peuvent être calculées par rapport à la comète 46P/Wirtanen. L'orbite a été calculée par le CNES et simule une orbite de parking et la phase d'approche finale d'un module (c.f §7.1).

### IMPRIMERESP (**dev, unit, i, j**) \_\_\_\_\_

**Objet** Impression à l'écran ou dans un fichier des résultats numériques des calculs d'éphémérides des corps du système solaire.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

dev	(REAL (8))	choix de la sortie d'impression
unit	(REAL (8))	numéro de l'unité logique connectée en écriture
i	(REAL (8))	indice de début des résultats à présenter (min = 1)
j	(REAL (8))	indice de fin des résultats à présenter (max = NB-DATES)

**Entrées** (variables globales) variables du module **Var\_ephem**

**Impression** selon le cas sur la sortie désignée par **dev** parmi les choix suivants : **ecran, fichier, toute, neant**. Les résultats numériques imprimés sont : l'époque, les coordonnées, la distance, la magnitude visuelle, l'angle de phase et l'élongation par rapport au Soleil. Ils sont complétés par un rappel des paramètres de calcul de l'éphéméride.

**Commentaires** Pour les petites planètes il est aussi possible d'imprimer les valeurs numériques des éléments osculateurs utilisés lors des calculs (voir **IMPRIMEE-LEO**).

### IMPRIMERESE (**dev, unit, ne, i, j**) \_\_\_\_\_

**Objet** Impression à l'écran ou dans un fichier des résultats numériques des calculs d'éphémérides des étoiles.

**Classe** sous-programme

**Entrées**

dev	(REAL (8))	choix de la sortie d'impression
unit	(REAL (8))	numéro de l'unité logique connectée en écriture
ne	(REAL (8))	indice de rangement des données numériques de l'étoile dans la variable globale <b>ETOILE(13,:)</b>
i	(REAL (8))	indice de début des résultats à présenter (min = 1)
j	(REAL (8))	indice de fin des résultats à présenter (max = NB-DATES)

**Entrées** (variables globales) variables du module **Var\_ephem**

**Impression** selon le cas sur la sortie désignée par **dev** parmi les choix suivants : **ecran**, **fichier**, **toute**, **neant**. Les résultats numériques imprimés sont : l'époque, les coordonnées et un rappel des données catalogue concernant l'étoile (position, mouvements propres, parallaxe, vitesse radiale, magnitude et type spectral). Ils sont complétés par un rappel des paramètres de calcul de l'éphéméride.

### **IMPRIMEELEO (dev, unit)** \_\_\_\_\_

**Objet** Impression à l'écran ou dans un fichier des valeurs numériques des éléments osculateurs des petites planètes utilisées pour le calcul des éphémérides.

**Classe** sous-programme

**Entrées** dev (REAL (8)) choix de la sortie d'impression  
unit (REAL (8)) numéro de l'unité logique connecté en écriture

**Entrées** (variables globales) variables du module **Var\_ephem**

**Impression** selon le cas sur la sortie désignée par **dev** parmi les choix suivants : **ecran**, **fichier**, **toute**, **neant**. Les résultats numériques imprimés sont : la source des données, l'époque de référence, le nombre d'observations ayant contribué au calcul des paramètres de l'orbite, le *RMS* ou résidu maximum de l'ajustement, l'auteur, le diamètre (IRAS pour les astéroïdes), la magnitude absolue *H*, le paramètre de pente *G* et les éléments osculateurs : *a* le demi grand axe, *e* l'excentricité, *i* l'inclinaison sur l'écliptique,  $\Omega$  la longitude du nœud ascendant,  $\omega$  l'argument du périhélie et *M* l'anomalie moyenne.

**Commentaires** Ce sous-programme n'est pas très bien adapté à l'impression des éléments de l'orbite des comètes dans la mesure où ce ne sont pas toujours les mêmes qui sont utilisés que pour les astéroïdes.

### **LIT\_CONFIG (fichier)** \_\_\_\_\_

**Objet** Lecture du fichier de configuration d'EPROC et chargement des variables d'environnement (utilisateur, système) des applications.

**Classe** sous-programme

**Entrée** fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier de configuration

**Sorties** (variables globales) variables du module **Var\_global**

**Commentaire** Par défaut, le fichier de configuration est le fichier \$HOME/.eproc

### LIT\_DONINIT (fichier) \_\_\_\_\_

**Objet** Lecture du fichier de configuration d'EPROC et chargement des paramètres par défaut de calcul d'éphémérides de l'utilisateur.

**Classe** sous-programme

**Entrée** fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier de configuration

**Sorties** (variables globales) valeurs par défaut des variables du module Var\_ephem : CATALOG, ECHT, FORMAT\_DATE, icent, ielosc, ikeph, iteph, itrep, NBDATES, NB-DATESSET, NUMPLANET, NUMETOILE, LIEUOBS, pasint, TOPOC(3)

**Commentaire** Par défaut, le fichier de configuration est le fichier \$HOME/.eproc

### LIT\_FICHER\_DATE () \_\_\_\_\_

**Objet** Lecture du fichier de données utilisateur et chargement des dates de calcul pour l'éphéméride et le cas échéant des positions observées du corps céleste pour le calcul des *O-C*. Le nom du fichier et son format sont contrôlés par les variables globales FORMAT\_FILE et FORMAT\_DATE du module Var\_ephem (c.f §4.5).

**Classe** sous-programme

**Entrées** (variables globales) FORMAT\_FILE, FORMAT\_DATE

**Sorties** (variables globales) NBDATES, EPHP(1,:), EPHT(:,:)

**Commentaires** Les variables dynamiques EPHP et RXYZ sont dimensionnées à l'issue de ce sous-programme.

### VERIFIE\_CHOIXPLA (code, num, cata, err) \_\_\_\_\_

**Objet** Vérification, en vue d'un calcul d'éphémérides, du choix de la planète ou du satellite naturel ou de l'astéroïde ou de l'étoile parmi la liste des objets reconnus par EPROC.

**Classe** sous-programme

**Entrées**    code    (INTEGER)                    code du type d'objet : 1: astéroïde, 2: planète ou satellite naturel, 3: étoile  
                  num    (INTEGER)                    numéro du corps céleste  
                  cata    (CHARACTER (len=4))        choix du catalogue d'étoile

**Sortie**    err    (INTEGER)    code d'erreur :  
   0 : pas d'erreur  
   1 : erreur sur le numéro du corps  
   2 : erreur sur le choix du catalogue

**Commentaires** Pour les astéroïdes, leurs numéros (UAI) sont reconnus jusqu'à 100 000. Les variables d'entrée sont détaillées au §4.5 (module **Var\_ephem**).

**En relation** Le sous-programme **AFFICHE\_ERREUR** peut être utilisé pour afficher un message d'erreur à partir du code retourné, **err**.

### VERIFIE\_DATES (JJ) \_\_\_\_\_

**Objet** Vérification, en vue d'un calcul d'éphémérides, du choix de la période de calcul par rapport à la théorie planétaire choisie.

**Classe** sous-programme

**Entrées**    JJ    (REAL (8))    époque julienne initiale

**Entrées**    (variables globales)    NBDATES, PASINT, ikeph

**Sortie**    Impression le cas échéant d'un message d'erreur sur la sortie standard

**Commentaires** Les périodes de calcul d'éphémérides couvertes par les théories planétaires gérées par **EPROC** sont :

VSOP82 → 28/03/1599 – 02/01/2050    (bdl82.ad2)  
 VSOP82 → 25/05/1800 – 02/01/2050    (bdl82.ad1)  
 VSOP87 → 21/12/1549 – 30/01/2350    (slp96.ad )  
 DE200    → 10/12/1959 – 13/01/2025  
 DE403    → 09/12/1599 – 24/07/2199

### VERIFIE\_ENTEPHEM (icent, iteph, itrep, ikeph, echel, ndat, pas, fm- tusr, tsort, err) \_\_\_\_\_

**Objet** Vérification, en vue d'un calcul d'éphémérides, du choix des paramètres de type d'éphéméride, de type de repère, de type de coordonnée, de théorie planétaire, etc.

## Classe sous-programme

<b>Entrées</b>	icent	(INTEGER)	centre du repère
	iteph	(INTEGER)	type de repère
	itrep	(INTEGER)	type des coordonnées
	ikeph	(INTEGER)	choix de la théorie planétaire
	echel	(CHARACTER (len=3))	échelle de temps
	ndat	(INTEGER)	nombre de dates de calcul
	pas	(REAL (8))	pas en jours entre deux dates
	fmtusr	(INTEGER)	format du fichier de dates utilisateur
	tsort	(CHARACTER (len=10))	choix de la sortie d'impression des résultats

<b>Sortie</b>	err	(INTEGER)	code d'erreur :
			0 : pas d'erreur
			3 : erreur sur le centre du repère
			4 : erreur sur le type de repère
			5 : erreur sur le type de coordonnées
			6 : erreur sur le choix de la théorie planétaire
			7 : erreur sur l'échelle de temps
			8 : erreur sur le nombre de date (max = 5000)
			9 : erreur sur le pas de calcul
			10 : erreur sur le choix des éléments osculateurs
			11 : erreur sur le format du fichier de dates utilisateur
			12 : erreur sur le choix de la sortie d'impression

**Commentaires** Les variables d'entrée sont détaillées au §4.5 (module `Var_ephem`).

**En relation** Le sous-programme `AFFICHE_ERREUR` peut être utilisé pour afficher un message d'erreur à partir du code retourné, `err`.

## 4.12 Module D2 : Ephemerides

Ce module regroupe les sous-programmes de calcul d'éphémérides des petits corps du système solaire, des planètes, des principaux satellites naturels et des étoiles. Les algorithmes de calcul sont ceux décrits par Kaplan *et al.* [KHSS89]. Les positions géométriques des petits corps sont obtenues par intégration numérique (sous-programme `DIFSY`) ; celles des planètes et des satellites naturels à partir de solutions analytiques ou sous la forme de polynômes de Tchebytchev ; celles des étoiles à partir des données du catalogue. Tous les calculs sont décrits dans [Ber98a]. Voir aussi §5.1.

Toutes les entrées/sorties se font ici par l'intermédiaire des variables globales. Cela implique qu'avant de réaliser un calcul d'éphéméride par appel à un de ces sous-programmes, il est indispensable de réaliser toutes les initialisations nécessaires (paramètres de l'éphéméride) ainsi que la gestion des fichiers (certaines bases de données, fichiers temporaires, sorties utilisateur). A titre d'exemples, consultez les sources des sous-programmes `EPHEM_objet` (répertoire `[..]/eproc/lib/`) décrits au paragraphe 4.13.

## CALCUL\_EPHEM\_ASTEROIDE ()

---

**Objet** Calcul des éphémérides des astéroïdes et des comètes dans le repère FK5 par intégration numérique de leur mouvement perturbé par les 9 planètes principales.

**Classe** sous-programme

**Entrées** (variables globales) variables du module `Var_ephem`

**Sorties** (variables globales) variables du module `Var_ephem`

**Commentaires** Les résultats des calculs sont regroupés dans les variables globales `EPHP` et `RXYZ` et fournissent la position du corps dans un repère équatorial défini par les paramètres transmis (centre et type).

## CALCUL\_EPHEM\_ETOILE (ne)

---

**Objet** Calcul des éphémérides des étoiles dans le repère FK5 à partir des données de positions (barycentriques, repère moyen à l'époque J2000.0), de mouvements propres (à partir d'une époque de référence), de parallaxes et de vitesses radiales fournies par le catalogue.

**Classe** sous-programme

**Entrée** `ne` (REAL (8)) indice de rangement de l'étoile dans la variable `ETOILE`

**Entrées** (variables globales) variables du module `Var_ephem`

**Sorties** (variables globales) variables du module `Var_ephem`

**Commentaires** Les résultats des calculs sont regroupés dans les variables globales `EPHE` et `EXYZ` et fournissent la position du corps dans un repère équatorial défini par les paramètres transmis (centre et type).

## CALCUL\_EPHEM\_PLANETE ()

---

**Objet** Calcul des éphémérides des planètes et des principaux satellites naturels dans le repère FK5 à partir de théories de leur mouvement écrites sous forme analytique ou sous la forme de polynômes de Tchebychev.

**Classe** sous-programme

**Entrées** (variables globales) variables du module `Var_ephem`

**Sorties** (variables globales) variables du module `Var_ephem`

**Commentaires** Les résultats des calculs sont regroupés dans les variables globales EPHP et RXYZ et fournissent la position du corps dans un repère équatorial défini par les paramètres transmis (centre et type).

### 4.13 Module Z1 : Eproc\_eph

Ce module regroupe les 3 sous-programmes de calcul d'éphémérides des corps célestes et représente le niveau application de la librairie, en ce sens qu'ils constituent la manière la plus simple de calculer des éphémérides des corps célestes dans le but de les exploiter à l'intérieur d'un autre programme Fortran (voir par exemple le code source du programme `ephemcc` dans le répertoire `[.]/eproc/src/`). Pour les utiliser il suffit d'initialiser les paramètres transmis en arguments et de récupérer les résultats par l'intermédiaire des variables globales du module `Var_ephem`. Pour cela, le programme ou sous-programme appelant doit comporter dans son entête (avant la déclaration des variables), au minimum, les deux lignes :

```
Use Var_ephem
Use Eproc_eph
```

En outre, un fichier de configuration de la librairie (fichier `.eproc`) doit exister sur la racine des répertoires de l'utilisateur (c.f §3).

**EPHEM\_asteroïde** (**num, cent, teph, trep, keph, elosc, topo, nomlieu, jj, echel, ndat, pas, tsort, fichier, codeCMD, fmtusr, err**) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des éphémérides des astéroïdes et des comètes par intégration numérique de leur mouvement perturbé par les 9 planètes principales.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	<code>num</code>	(INTEGER)	numéro de l'astéroïde (†) ou -99 pour les comètes
	<code>cent</code>	(INTEGER)	centre du repère
	<code>teph</code>	(INTEGER)	type du repère
	<code>trep</code>	(INTEGER)	type des coordonnées
	<code>keph</code>	(INTEGER)	choix de la théorie planétaire
	<code>elosc</code>	(INTEGER)	choix des éléments osculateurs
	<code>topo(3)</code>	(REAL (8))	coordonnées géodésiques de la station d'observation
	<code>jj</code>	(REAL (8))	époque julienne initiale (TT)
	<code>ndat</code>	(INTEGER)	nombre de dates de calcul
	<code>pas</code>	(REAL (8))	pas en jours entre deux dates

codeCMD (INTEGER) code de travail :

- 0 : les dates de calcul sont fournies par les variables **jj**, **ndat**, **pas**
- 1 : les dates de calcul sont fournies par le fichier de dates utilisateur
- 2 : les dates de calcul sont fournies par la variable globale **EPHP(1,:)**

fmtusr (INTEGER) format du fichier de dates utilisateur

nomlieu (CHARACTER (len=128)) nom de la station d'observation

echel (CHARACTER (len=3)) échelle de temps

tsort (CHARACTER (len=10)) choix de la sortie d'impression des résultats

fichier (CHARACTER (len=128)) nom du fichier résultat. Si fichier = '?' alors un nom par défaut est utilisé (c.f 5.1)

**Sortie** err (INTEGER) code d'erreur retourné à l'issue du sous-programme.  
err = 0 si il n'y a pas d'erreur

**Sorties** (variables globales) variables du module **Var\_ephem**

**Commentaires** Voir §4.5 pour des explications sur les variables d'entrées (par analogies sur les noms) et de sorties.

(†) dans le cas des astéroïdes non numérotés officiellement (environ 80% de la base de données actuelle de Bowell), il suffit de transmettre le numéro de la ligne à laquelle les éléments osculateurs du corps apparaissent dans la base de Bowell. Pour cela, le script *shell* [..]/**eproc/bin/recnomaster.sh**, permet d'extraire de cette base le numéro de la ligne. Par exemples : **recnomaster.sh Ceres** ⇒ 1 ; **recnomaster.sh 1994 AW1** ⇒ 20283. Voir aussi §5.1.

**EPHEM\_ETOILE** (**num**, **cata**, **cent**, **teph**, **trep**, **keph**, **topo**, **nomlieu**, **jj**, **echel**, **ndat**, **pas**, **tsort**, **fichier**, **codeCMD**, **fmtusr**, **err**) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des éphémérides des étoiles à partir des données de positions (barycentriques, repère moyen à l'époque J2000.0), de mouvements propres (à partir d'une époque de référence), de parallaxes et de vitesses radiales fournies par le catalogue.

**Classe** sous-programme

**Entrées** num (INTEGER) numéro de l'étoile dans le catalogue

cent (INTEGER) centre du repère

teph (INTEGER) type du repère

trep (INTEGER) type des coordonnées

keph	(INTEGER)	choix de la théorie planétaire
topo(3)	(REAL (8))	coordonnées géodésiques de la station d'observation
jj	(REAL (8))	époque julienne initiale (TT)
ndat	(INTEGER)	nombre de dates de calcul
pas	(REAL (8))	pas en jours entre deux dates
codeCMD	(INTEGER)	code de travail : 0 : les dates de calcul sont fournies par les variables <b>jj</b> , <b>ndat</b> , <b>pas</b> 1 : les dates de calcul sont fournies par le fichier de dates utilisateur 2 : les dates de calcul sont fournies par la variable globale <b>EPHP(1,:)</b>
fmtusr	(INTEGER)	format du fichier de dates utilisateur
cata	(CHARACTER (len=4))	désignation du catalogue d'étoile
nomlieu	(CHARACTER (len=128))	nom de la station d'observation
echel	(CHARACTER (len=3))	échelle de temps
tsort	(CHARACTER (len=10))	choix de la sortie d'impression des résultats
fichier	(CHARACTER (len=128))	nom du fichier résultat. Si fichier = '?' alors un nom par défaut est utilisé (c.f 5.1)

**Sortie** err (INTEGER) code d'erreur retourné à l'issu du sous-programme.  
**err = 0** si il n'y a pas d'erreur

**Sorties** (variables globales) variables du module **Var\_ephem**

**Commentaires** Voir §4.5 pour des explications sur les variables d'entrées (par analogies sur les noms) et de sorties.

**EPHEM\_PLANETE** (**num**, **cent**, **teph**, **trep**, **keph**, **topo**, **nomlieu**, **jj**,  
**echel**, **ndat**, **pas**, **tsort**, **fichier**, **codeCMD**, **fmtusr**,  
**err**) \_\_\_\_\_

**Objet** Calcul des éphémérides des planètes et des principaux satellites naturels à partir de théories de leur mouvement écrites sous forme analytique ou sous la forme de polynômes de Tchebychev.

**Classe** sous-programme

<b>Entrées</b>	num	(INTEGER)	numéro de la planète ou du satellite (†)
	cent	(INTEGER)	centre du repère
	teph	(INTEGER)	type du repère
	trep	(INTEGER)	type des coordonnées
	keph	(INTEGER)	choix de la théorie planétaire
	topo(3)	(REAL (8))	coordonnées géodésiques de la station d'observation
	jj	(REAL (8))	époque julienne initiale (TT)
	ndat	(INTEGER)	nombre de dates de calcul
	pas	(REAL (8))	pas en jours entre deux dates
	codeCMD	(INTEGER)	code de travail : 0 : les dates de calcul sont fournies par les variables <b>jj</b> , <b>ndat</b> , <b>pas</b> 1 : les dates de calcul sont fournies par le fichier de dates utilisateur 2 : les dates de calcul sont fournies par la variable globale <b>EPHP(1,:)</b>
	fmtusr	(INTEGER)	format du fichier de dates utilisateur
	nomlieu	(CHARACTER (len=128))	nom de la station d'observation
	echel	(CHARACTER (len=3))	échelle de temps
	tsort	(CHARACTER (len=10))	choix de la sortie d'impression des résultats
	fichier	(CHARACTER (len=128))	nom du fichier résultat. Si fichier = '?' alors un nom par défaut est utilisé (c.f 5.1)
<b>Sortie</b>	err	(INTEGER)	code d'erreur retourné à l'issu du sous-programme. <b>err = 0</b> si il n'y a pas d'erreur

**Sorties** (variables globales) variables du module **Var\_ephem**

**Commentaires** Voir §4.5 pour des explications sur les variables d'entrées (par analogies sur les noms) et de sorties.

(†) voir les valeurs possibles de la variable **NUMPLANET** du module **Var\_ephem**.

## 5 Description des applications

### 5.1 Ephémérides de position des corps célestes

Le programme **ephemcc** calcule les éphémérides de position des principaux corps célestes à savoir les planètes, les principaux satellites naturels, les astéroïdes et les comètes (cf. annexe E). Les choix du contexte des calculs sont faits par l'intermédiaire des paramètres transmis en argument (optionnels) de l'application (c.f annexe

B.1 ou exécuter la commande `ephemcc -h` avec pour choix par défaut ceux définis dans le fichier de configuration de la librairie (c.f annexe A).

Les paramètres calculés sont la position du corps, sa distance géométrique par rapport au centre du repère, sa magnitude visuelle, son angle de phase et son élongation par rapport au Soleil. Les types de coordonnées proposés sont les coordonnées sphériques, rectangulaires, locales ou horaires. Les types de repères possibles sont les repères équatoriales et écliptiques, géométriques, astrométriques J2000.0, apparent (équateur vrai, équinoxe de la date) et moyens de la date. Le centre du repère peut être héliocentrique, géocentrique, topocentrique ou centré sur une sonde spatiale. L'échelle de temps des calculs est le Temps terrestre (TT) mais les résultats peuvent aussi être exprimés en Temps universel coordonnée (UTC).

Tous les calculs sont réalisés dans le repère FK5 J2000.0. Lorsqu'on utilise la théorie planétaire DE403, on assimile son repère de référence, l'ICRF, au repère du FK5. Cela a pour conséquence de ne pas fournir un résultat avec la précision que l'on peut attendre d'un tel repère. L'erreur la plus importante qui est commise provient de l'orientation du pôle du repère FK5 dont l'erreur d'orientation par rapport au pôle moyen à J2000.0 est de  $\pm 50$  mas alors que cette erreur est de  $-18.0 \pm 0.1$  mas pour l'ICRF. Une autre source d'erreur provient des erreurs systématiques zonales du FK5 que l'on peut chiffrer à  $\pm 100$  mas. Pour plus de détail sur les calculs d'éphémérides réalisés ici on se reportera à [Ber98a].

Le programme offre toute liberté quant à l'utilisation conjointe de telle ou telle option de calcul. Il est donc du ressort de l'utilisateur de faire attention à ses choix (type de repère / type d'éphéméride) pour ne pas calculer des éphémérides qui n'ont aucun sens physique : par définition les coordonnées astrométriques n'ont un sens que d'un point de vue géocentrique. De même, les coordonnées topocentriques n'ont de sens que dans un repère vrai de la date et les coordonnées locales ou horaires dépendent d'un lieu géodésique d'observation, etc.

Le choix du corps pour lequel on veut calculer une éphéméride se fait par l'intermédiaire de son numéro ou de son nom à l'exception des comètes pour lesquelles on doit indiquer le nom d'un fichier individuel contenant ses données orbitales et planétologiques (pour la raison qu'il n'existe pas actuellement de base de données cométaires au même titre que celle de Bowell pour les astéroïdes par exemple). Voici un exemple d'un tel fichier pour la comète 46P/Wirtanen. On pourra le reproduire pour calculer les éphémérides de toute comète périodique (par intégration numérique de leur mouvement comme pour les astéroïdes). Il existe deux possibilités de présenter les données orbitales des comètes : par l'intermédiaire des éléments osculateurs (cas 1) ou par la données de la position et de la vitesse initiale du corps (cas 2) (dans ces fichiers, toute ligne débutant par `#` est considérée comme étant une ligne de commentaire) :

Cas 1 : Fichier `[.]/eproc/ressources/wirtanen/wirtanen.dat` :

```
#
# Fichier individuel de donnees cometaires pour EPROC !
#
# source : NBDL0032 P. Rocher (20/10/97)
# repere : Equinoxe et Ecliptique moyens J2000
```

```

# observations : 257
# periode couverte : 06/02/1975 27/06/1997
# ecart type des O-C : 0.83"
# ellipsoide de revolution : Meech et al., A&A june 1997
#
P/Wirtanen
! nom provisoire 1
! nom provisoire 2
1 ! description de l'orbite : elem. osc.
2450520.5 ! epoque de reference (TT)
2450521.64912 ! epoque de passage au perihelie
356.3408501 ! POmega (argument du perihelie)
82.2056453 ! GOmega (longitude du noeud)
11.7225062 ! i (inclinaison)
1.063762971 ! q (distance au Soleil au perihelie)
0.656735801 ! e (excentricite)
0.000000000 ! z
5.455 ! P (periode en annees)
0.77381 -0.16233 0.00000 ! forces non gravitationnelles
11.86 10 5 ! magnitude totale et param. k et n
16.77 5 5 ! magnitude du noyau et param. k et n
0.58 0.58 0.34 ! ellipsoide de revolution (km)

```

Cas 2 : Fichier [..]/eproc/ressources/wirtanen/wirtanen\_cnes.dat :

```

#
# Fichier individuel de donnees cometaires pour EPROC !
#
# source : J. Bernard, CT/TI/MS/AM, CNES, 29/04/1998
# repere : Equinoxe et Ecliptique moyens J2000
# epoque : 31/08/2012 00h 00m 00s TDB
# date Julienne CNES : 22888.00000
#
P/Wirtanen_CNES
! nom provisoire 1
! nom provisoire 2
2 ! description de l'orbite: pos./vit.
2456170.5 ! epoque de reference (TDB)
1.77051727266 -2.68052458743 -0.44110318748 ! pos. init. (ua)
0.00235355585 0.00900579993 -0.00022969313 ! vit. init. (ua/j)
0.77381 -0.16233 0.00000 ! forces non gravitationnelles)
11.86 10 5 ! magnitude totale et param. k et n
16.77 5 5 ! magnitude du noyau et param. k et n
0.75 0.60 0.48 ! ellipsoide de revol. (km)

```

Pour les astéroïdes ne possédant pas de numéro UAI définitif (c'est le cas d'environ 80% des astéroïdes référencés dans la base de Bowell), on calculera leurs éphémérides en utilisant l'option **-nom** du programme suivie de l'appellation provisoire du corps dans laquelle le caractère espace séparant les deux champs de cette appellation

est remplacé par le caractère ”\_”. Exemple : 1994\_AW1 ou 5772\_T-3.

Les dates de calcul de l'éphéméride sont fournies, au choix, par les jeux d'options **-b**, **-d** et **-p** ou **-j**, **-d** et **-p**. Une troisième méthode consiste à lire les dates de calcul dans un fichier dont le nom et le format sont transmis en arguments de l'option **-j**. Cette méthode permet en plus le calcul d'*O-C* (option **-omc**) si les coordonnées observées du corps sont présentes dans le fichier de dates (voir §4.5 pour les formats de fichier).

Les résultats des calculs d'éphémérides peuvent être visualisés à l'écran ou bien imprimés dans un fichier (options **-s**). Si de plus les options **-f** ou **-r** sont présentes dans la ligne de commande, alors le nom du fichier et le répertoire sont ceux indiqués par l'utilisateur. Par défaut les fichiers de résultats des éphémérides sont sauvegardés dans le répertoire désigné par la variable **EPHEM\_PATH** (définie dans le fichier de configuration) sous le nom **eph\_nom\_planète.dat.i** où *i* représente l'indice du fichier. L'option **-s neant** peut aussi être utilisée pour ne pas afficher de résultats.

Les choix faits par défaut par l'utilisateur sont définis dans le fichier de configuration **\$HOME/.eproc**. L'utilisateur peut utiliser d'autres fichiers de configuration (au même format) en spécifiant son nom à l'aide de l'option **-xw nom\_fichier** qui doit être présente sur la ligne de commande avant tout autre argument ou option.

## 5.2 Ephémérides pour l'observation physique des corps du système solaire

### 5.2.1 Calcul des éphémérides

Le programme **ephemph** calcule les éphémérides pour l'observation physique des planètes, des principaux satellites naturels, de quelques astéroïdes ainsi que de la comète 46P/Wirtanen (cf. annexe E). L'aspect apparent des corps vu par un observateur est quantifié à l'aide de paramètres numériques et est représenté graphiquement à l'aide d'un modèle géométrique (ellipsoïde triaxial) ou topographique (pour certains corps seulement) par le programme **ephemphtra**. Les différents arguments et options acceptés par ces programmes sont décrits en annexes B.2 et B.3.

Les paramètres calculés par le programme **ephemph** sont les positions planéto-centriques des points subterrestre (ou plus généralement subobservateur, abrégé. SEP) et subsolaire (abrégé. SSP), les coordonnées polaires du pôle nord<sup>4</sup> (ou sud) du corps, sa magnitude visuelle, son angle de phase, son rayon apparent, ses distances géocentrique et héliocentrique ainsi que deux paramètres liés à l'équateur d'intensité : son angle de position par rapport au pôle céleste nord et la longueur du segment de droite de l'équateur d'intensité qui n'est pas illuminé.

Tous les calculs sont réalisés dans un repère équatorial apparent (équateur vrai, équinoxe de la date) lié au repère FK5 J2000.0. L'échelle de temps des calculs est le TT mais les résultats peuvent aussi être exprimés en UTC. La théorie planétaire utilisée est celle spécifiée dans le fichier de configuration. Les données numériques des paramètres de rotation des corps du système solaire sont ceux entéri-

---

<sup>4</sup>Par définition, le pôle nord d'un corps est celui des deux pôles de l'axe de rotation qui se trouve au nord du plan invariant du système solaire et ceci quelque soit le sens de la rotation sidérale du corps. L'inclinaison de ce plan par rapport à l'écliptique J2000 est environ 1°.58 [Ber98b].

nés par l'Union Astronomique Internationale qui a suivi les recommandations du IAU/IAG/COSPAR *Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements on the Planets and Satellites*. Ce groupe de travail publie tous les trois ans (Davies et al., 1980a, 1980b, 1983a, 1983b, 1986, 1989, 1992, 1996) la liste remise à jour des valeurs numériques des paramètres de rotation des planètes, des satellites naturels et de deux astéroïdes (*Ida* et *Gaspra*). Pour les autres astéroïdes, la base de données la plus complète est la base *Asteroid spin vector v1.0* compilée par Magnusson [Mag95] et dont sont issues les données numériques pour les corps proposés ici : *Cérès, Pallas, Vesta, Io, Eunomia, Laetitia, Ariadne, Nysa, Ausonia, Kleopatra, Hektor*. Dans l'avenir cette liste devrait s'agrandir à tous les astéroïdes pour lesquels il existe des paramètres de rotation. Pour plus de détail sur les calculs d'éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire on se reportera à [Ber98b].

Toutes les remarques faites dans le paragraphe 5.1 sur le choix du corps, des dates de calcul et des choix par défaut de l'utilisateur restent vraies pour ce programme. Les impressions des résultats dans un fichier sont ici systématiques à moins que l'option `-nof` soit utilisée. La lecture à l'écran des résultats peut directement être obtenue à l'aide de l'option `-print`. L'utilisateur peut choisir le nom du fichier résultat et du répertoire de travail à l'aide des options `-f` et `-r`. Par défaut ce fichier est sauvegardé dans le répertoire spécifié par la variable `EPHEM_PATH` sous le nom `phy_nom_planète.dat.i`. A chaque utilisation du programme un fichier à accès direct est aussi généré et contient toutes les informations utiles à la représentation graphique du corps. Ce fichier est sauvegardé dans le répertoire désigné par la variable `TMP_PATH` sous le nom `phy_nom_planète.tmp`. Tant que ce fichier n'est pas détruit ou modifié (nouveaux calculs) on peut visualiser graphiquement l'aspect apparent du corps pour les différentes dates calculées à l'aide du programme `ephemphtra` décrit ci-après. Une visualisation graphique peut aussi être directement obtenue à l'aide de l'option `-v`.

## 5.2.2 Représentation graphique

Le programme `ephemphtra` permet de représenter graphiquement et de manière interactive l'aspect apparent des corps du système solaire. Il s'appuie sur les résultats obtenus par le programme `ephemph` et en particulier le fichier `.tmp` généré par ce dernier. Les graphiques sont réalisés à l'aide de *PGPLOT v5.2* (c.f §6.1). Les différents arguments et options du programme `ephemphtra` sont décrits en annexe B.3. Un exemple est proposé en annexe H.

Les corps sont modélisés à l'aide d'un ellipsoïde triaxial ou à partir d'un modèle topographique (option `-relief`). Les corps pour lesquels une telle représentation est disponible ici sont : *Mercury, Venus, la Lune, Mars, Phobos, Deimos, Ida, Gaspra* et la comète *46P/Wirtanen* [Ber98b]. Ces modèles sont exploités sous la forme d'un ensemble de points formant un maillage à la surface du corps et définis par les coordonnées sphériques : latitude, longitude, rayon vecteur. Ainsi on peut facilement changer le modèle topographique d'un corps en échangeant son fichier de données numériques (fichiers `./eproc/ressources/shape_models/*tab`) par un autre au même format (latitude en degrés, longitude en degrés et rayon vecteur en kilomètres) tout en précisant le répertoire dans lequel il se trouve au moyen de la

variable `TOPO_PATH` du fichier de configuration.

Les différentes options possibles pour la sortie graphique sont `null`, `xterm`, `xwindow`, `xserve`, `ps`, `vps`, `cps`, `vcps`, `qms`, `vqms`, `gif`, `vgif`<sup>5</sup>, `?`. correspondant aux différentes sorties proposées par *PGPLOT* [Pea98]. La sauvegarde du graphique et d'autres fonctions sont aussi accessibles par le mode interactif du programme (`xwindow`, `xserve`).

Ce programme permet aussi de faire une animation graphique présentant la rotation sidérale du corps vue par l'observateur à une époque donnée. Pour cela il faut calculer une éphéméride sur  $n$  dates ( $n \leq 300$ ) d'une époque donnée, avec un pas de calcul adéquate, et faire appel à l'option `-a` du programme. Une image animée au format GIF est alors générée à l'aide du logiciel *whirlgif*<sup>6</sup> et des  $n$  images fabriquées par *ephemtra*. Cette animation graphique peut ensuite être visualisée à l'aide d'un navigateur Internet en chargeant le fichier `$HOME/Eproc/html/animephem.html` qui visualise l'image `$HOME/Eproc/html/animephem.gif`. L'image animée est aussi sauvegardée dans le répertoire désignée par la variable `EPHEM_PATH` sous le nom `phy_nom-planète.a.gif` (de même que les images au format postscript avec l'extension `.eps`).

### 5.3 Représentation des différences entre les échelles de temps

Le programme *echtemps* visualise les différences, sur la période 1950 – 2000, entre les échelles de temps de l'astronomie, de la mécanique céleste et le Temps atomique international (TAI), base métrologiques des échelles de temps [Ber98a]. L'utilisation de ce programme est décrite en annexe B.4.

Les échelles de temps représentées sont le Temps terrestre (TT), le Temps dynamique barycentrique (TDB), les Temps coordonnés géocentrique (TCG) et barycentrique (TCB), le Temps universel coordonné (UTC) et le Temps universel UT1 [Ber98a]. Les différences entre le Temps des éphémérides (TE<sup>7</sup>) et le Temps universel (UT) sur la période 1650 – 2000 est aussi proposée (option `ut`) sous la forme de deux courbes : l'une d'après Morrison et Stephenson [MS82] et l'autre d'après les valeurs utilisées par la librairie *EPROC* (c.f annexe F). La sortie graphique par défaut est `/XSERVE`.

### 5.4 Calcul de la visibilité des corps du système solaire

Le programme *visiplanete* calcule les instants de levers, de passages au méridien et de couchers des planètes, des astéroïdes, de la Lune et du Soleil en fonction du lieu géographique et de l'époque. L'utilisation de ce programme est décrite en annexe B.5.

Ce programme est basé sur le sous-programme `LEVCOUCH_OSS` qui réalise l'essentiel des calculs (module `C1 Astro_adv`). L'algorithme utilisé est basé sur celui de J. Meeus [Mee91]. Les levers et couchers des astres sont calculés pour leur centre ;

---

<sup>5</sup>Il est à noter que pour Solaris le format GIF n'est pas disponible car il ne nous a pas été possible de compiler le source correspondant avec le compilateur `f90` (Sun) du fait d'une fonction inconnue pour ce dernier (fonction `%VAL()`). Nous espérons pouvoir corriger cela dans l'avenir.

<sup>6</sup>*whirlgif* Rev 2.01 ©1996 by Kevin Kadow ; ©1991,1992 by Mark Podlipec.

<sup>7</sup>désigné depuis Temps dynamique terrestre (TDT) et maintenant Temps terrestre (TT).

ils correspondent à une hauteur sous l'horizon,  $h_0$ , égale à  $h_0 = p - R$ , où  $p$  est la parallaxe horizontale équatoriale de l'astre et  $R$  la constante de la réfraction astronomique de Radau ( $36'36''$ ). L'échelle de temps des calculs est UTC. Le méridien origine est le méridien de Greenwich. Les instants de levers, de passages au méridien et de couchers des astres sont présentés accompagnés des valeurs des azimuts aux levers et aux couchers (exprimés entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$  à partir du nord, positivement vers l'est) et de la hauteur de l'astre au méridien (comptée positivement au dessus de l'horizon).

Compte tenu de la difficulté de prédire en un lieu et une époque donnés les conditions atmosphériques, il n'est envisageable que de considérer la réfraction atmosphérique comme constante (c'est le cas ici) ou dans des conditions standard. D'autre part, le calcul précis des instants de levers et de couchers des astres en un lieu géographique donné nécessite de disposer d'une carte du relief de l'horizon de l'observateur en fonction de l'azimut pour pouvoir estimer le retard occasionné par ce relief sur le lever de l'astre ou l'avance sur son coucher. En milieu urbain, la tâche devient impossible. Dans ces conditions, la précision de calcul des instants de levers et de couchers des astres est de l'ordre de 1 minute pour un observateur se situant au niveau de la mer et dont l'horizon est dégagé.

Les choix faits par défaut par l'utilisateur sont définis dans le fichier de configuration `$HOME/.eproc`. L'utilisateur peut utiliser d'autres fichiers de configuration (au même format) en spécifiant son nom à l'aide de l'option `-xw nom_fichier` qui doit être présente sur la ligne de commande avant tout autre argument ou option.

## 6 Installation de la librairie

### 6.1 Présentation de l'archive

EPROC v1.02 est distribué sous la forme d'une archive (tar) compressée (gzip), `eproc1.02-xxx.tar.gz`, comprenant les fichiers sources et compilés de la librairie et de ses applications pour la plateforme xxx ainsi qu'un certain nombre de bases de données indispensables au fonctionnement des logiciels. Pour une exploitation complète des logiciels il est nécessaire de se procurer des bases de données complémentaires (cf. la liste §6.7). D'autre part il est nécessaire que *PGPLOT 5.2* (ou plus) soit installé dans un répertoire du type : `/usr/local/pgplot/` à préciser dans le makefile. Dans le cas contraire, *PGPLOT* pourra être téléchargé depuis <http://astro.caltech.edu/~tjp/pgplot/>. Enfin il est souhaitable de posséder le logiciel *whirlgif* pour la création des animations des éphémérides pour l'observation physique. Les sources de ce logiciel sont fournies avec l'archive dans le répertoire `./eproc/ressources/whirlgif/`. Avant utilisation, veuillez prendre connaissance des conditions d'exploitation de ces logiciels.

### 6.2 Conditions d'utilisation

La librairie EPROC et ses applications peuvent être librement exploitées et diffusées sous la seule condition du respect des termes des licences *GNU General Library Public License* et *GNU General Public License*, version 2, 1991, telles que publiées

par la Free Software Foundation<sup>8</sup>.

Les termes de ces licences peuvent être obtenus en consultant les fichiers LICENSE, LICENSE-GPL et LICENSE-GPL du répertoire [..]/**eproc/doc/** ou en écrivant à la Free Software Foundation. Ces informations peuvent aussi être obtenues en ligne après l'installation complète des logiciels à l'aide de la commande **eproc-licence**.

### 6.3 Contenu de l'archive

EPROC v1.02 est disponible pour les plateformes suivantes :

- \* **AIX 4.1.3** : eproc1.02-Aix.tar.gz
- \* **Solaris 2.5** : eproc1.02-Sol.tar.gz

Chaque archive contient le système de fichier suivant :

[..]/eproc1.02-xxx/	répertoire source d'EPROC v1.02
[..]/eproc1.02-xxx/.eproc	exemple du fichier de configuration
[..]/eproc1.02-xxx/Install_eproc	script d'installation utilisateur
[..]/eproc1.02-xxx/Makefile	script de compilation de la librairie et des applications.
[..]/eproc1.02-xxx/bin/	répertoire des exécutables
[..]/eproc1.02-xxx/doc/	répertoire du système de documentation
[..]/eproc1.02-xxx/lib/	répertoire des sources de la librairie
[..]/eproc1.02-xxx/modules/	répertoire des modules (AIX uniquement)
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/	répertoire des bases de données
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/cat/	catalogues d'étoiles
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/eop/	paramètres d'orientation de la Terre
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/html/	visualisation des animations graphiques et simulations pour le projet Rosetta/Wirtanen
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/models/	modèles topographiques des corps du système solaire
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/theories/	théories planétaires
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/whirlgif/	sources du logiciel <i>whirlgif</i>
[..]/eproc1.02-xxx/ressources/wirtanen/	données numériques pour la comète 46P/Wirtanen
[..]/eproc1.02-xxx/src/	sources des applications

---

<sup>8</sup>Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

## 6.4 Installation

Voici un exemple d'installation de la librairie. Les répertoires mentionnés dépendent de l'architecture de la machine hôte et peuvent donc être changés. Pour cela il est fortement conseillé de posséder les droits de **root** pour procéder à l'installation. Cependant une installation locale sur l'arborescence d'un utilisateur est possible.

1. Téléchargez l'archive correspondant à votre système sur le serveur ftp de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides – Bureau des longitudes ([ftp.bdl.fr](http://ftp.bdl.fr)) :

```
ftp# get pub/ephem/eproc/eproc1.02-Aix.tar.gz pour AIX
```

ou

```
ftp# get pub/ephem/eproc/eproc1.02-Sol.tar.gz pour Solaris
```

et placez la dans un répertoire temporaire, par exemple `[.]/tmp/`.

2. Dé-archivagez le contenu de l'archive `eproc1.02-xxx.tar.gz` dans le répertoire choisi, par exemple :

```
root# cd /usr/local/
```

```
root# zcat [.] /tmp/eproc1.02-xxx.tar.gz | tar -xvf -
```

puis renommez plus simplement le répertoire contenant EPROC :

```
root# mv /usr/local/eproc1.02-xxx /usr/local/eproc1.02
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc1.02 /usr/local/eproc
```

3. Créez des liens symboliques ou installez directement les exécutables dans un répertoire du type `/usr/local/bin/`, par exemple :

```
root# cd /usr/local/bin/
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc/bin/eproc eproc
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc/bin/ephemcc ephemcc
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc/bin/ephemph ephemph
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc/bin/ephemphtra ephemphtra
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc/bin/echtemps echtemps
```

```
root# ln -s /usr/local/eproc/bin/visiplanete visiplanete
```

4. Testez si les exécutables fonctionnent correctement. Pour cela, pour un utilisateur donné (par ex. `moloko`), exécutez tout d'abord le script d'installation (cette opération doit être réalisée au moins une fois pour chaque utilisateur) :

```
moloko# cd /home/moloko/
```

```
moloko# /usr/local/eproc/Install_eproc
```

Ce script crée le fichier de configuration `.eproc` dans le répertoire racine de l'utilisateur (`$HOME`) et prépare une arborescence pour son fonctionnement : `$HOME/Eproc/` par défaut. Eventuellement éditez et modifiez le fichier de configuration utilisateur.

5. Testez les applications en exécutant les commandes suivantes :

```
# informations sur EPROC :
```

```
moloko# eproc -h
```

```
# éphémérides de position :
```

```
moloko# ephemcc
```

```
# éphémérides pour l'observation physique (si PGPLOT est disponible) :
```

```
moloko# ephemph -print -v xwin
```

```
# sinon
```

```
moloko# ephemph -print
# visibilité des planètes :
moloko# visiplanete
# différences entre les échelles de temps :
moloko# echttemps
```

Si l'on a en retour les résultats des calculs alors c'est que tout semble correctement installé (cf. les exemples présentés en annexe G). Sinon il est probable que des bases de données soient absentes ou qu'il faille recompiler les sources.

6. En pratique, on pourra déplacer les bases de données dans une autre partie de l'arborescence (du type /DATA/) pour ne pas encombrer le répertoire /usr/local/. Dans ce cas, modifiez les chemins en conséquence dans le fichier de configuration \$HOME/.eproc de chaque utilisateur ou dans le script d'installation [..]/eproc/Install\_eproc avant son utilisation.

## 6.5 Compilation

Pour compiler la librairie et les applications, il est nécessaire de disposer d'un compilateur Fortran 90/77. Les compilateurs testés sont :

- **xlf90/xlf** (IBM) sur AIX 4.1.3
- **f90** (Sun) sur Solaris 2.5

Avant de compiler, éditez les fichiers de compilation et vérifiez la compatibilité des choix faits avec le système :

```
[..]/eproc/Makefile
[..]/eproc/lib/Makefile
[..]/eproc/src/Makefile
```

Puis exécuter dans le répertoire [..]/eproc/ les commandes :

```
root# make
root# make clean
```

Une fois la compilation terminée, créez (si ce n'est déjà fait, voir plus haut) des liens symboliques entre les applications d'EPROC (dans le répertoire [..]/eproc/bin/) et par exemple le répertoire /usr/local/bin/ pour les mettre en accès publique.

## 6.6 Système de documentation

Le système de documentation de la librairie EPROC se trouve dans le répertoire [..]/eproc/doc/ et est constitué des aides en lignes des applications que l'on obtient en exécutant la commande :

```
moloko# application -h
```

et des 3 documents de référence scientifique et technique :

- **ephemcc\_doc.ps** : définitions relatives aux éphémérides de position des corps célestes
- **ephemph\_doc.ps** : définitions relatives aux éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire
- **eproc\_doc.ps** : guide de l'utilisateur de la librairie EPROC

Des informations sur les auteurs, sur les conditions d'utilisation de la librairie et de ses applications et sur les termes du copyright peuvent être obtenus en consultant les fichiers **eproc.auteurs**, **eproc.copyright**, **LICENSE**, **LICENSE-GPL** et **LICENSE-LGPL** dans le répertoire [..]/eproc/doc/. Ce sont les termes de la *GNU General (Library)*

*Public License*, version 2, 1991. Ces informations peuvent aussi être obtenues, en ligne, à travers les commandes :

```
moloko# eproc -auteurs
moloko# eproc -licence
moloko# eproc -copyright
```

**Remarque :** Si le visualisateur postscript `gv` est installé alors les documents scientifiques et techniques `ephemcc_doc.ps`, `ephemph_doc.ps` et `eproc_doc.ps` peuvent être obtenus en ligne à l'aide des commandes :

```
moloko# ephemcc ou ephemph -doc.
moloko# eproc -doc
```

## 6.7 Bases de données gérées par EPROC v1.02

Les applications d'EPROC se basent sur l'utilisation de données numériques issues des bases de données suivantes :

- Théories planétaires :
  - VSOP82/BDL82 [Bre82] (\*)
  - VSOP87/SLP96 [BF88] (\*)
  - DE200 [Sta82], [Sta90]
  - DE403 [SNWF95]
  - EOP(IERS) C 02 (paramètres de rotation de la Terre) [IER98] (\*)
- Solutions du mouvement des satellites naturels :
  - ESAPHO/ESADEI [CT90] (\*)
  - SAMPSON-LIESKE/G5 [Lie80], [Arl82] (\*)
  - TASS [VD95] (\*)
  - GUST86 [Las87] (\*)
- Bases de données des corps du système solaire :
  - *Bowell Asteroid Orbital Elements Database* [Bow98] (\*)
  - Catalogue of Orbital Elements and Photometric parameters of 6160 Minor Planets numbered by 18 November, 1994 (EMP 96) [BS95]
  - Données IRAS sur les astéroïdes [BGM89] (†)
  - Asteroid spin vectors v1.0 [Nod98] (\*) (†)
  - Small body shape models v1.0 [Nod98] (\*)
- Catalogues d'étoiles :
  - HIP (Hipparcos catalog) [Hip96]
  - TYC (Tycho catalog) [Hip96]
  - ACT (Astrographic catalog combined with Tycho) [UCW97]
  - PPM (Position and proper motion) [RB88]
  - ACRS (Astrographic catalog references stars) [CUW91]
  - FK5 (Fundamental katalog 5) [FSL88]
  - BSC (Bright star catalog) [HW91]

Il est à noter que toutes ces bases de données sont disponibles librement, que se soit par l'intermédiaire d'un serveur ftp ou par demande directe auprès des auteurs.

(\*) Ces bases de données sont contenues dans l'archive d'EPROC.

(†) Les données de ces bases sont pour parties intégrées directement dans le code source des sous-programmes concernés.

## 7 Applications

### 7.1 Le projet Rosetta/Wirtanen

Le développement de la librairie EPROC et en particulier des calculs d'éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire a donné lieu à une application particulière : la simulation de l'orbite de parking et de l'approche finale de la comète 46P/Wirtanen par le module de la sonde Rosetta qui doit effectuer une étude *in situ* du noyau de la comète en août 2012. Le résultat final de cette simulation peut être visualisé à l'aide d'un navigateur internet en chargeant l'URL : `file:./eproc/ressources/html/wirtanen/Wirtanen.html`.

Ce projet a été l'occasion d'étendre les calculs d'éphémérides de position et pour l'observation physique des corps du système solaire proposés initialement par EPROC aux calculs d'éphémérides depuis une sonde spatiale en orbite héliocentrique ou planétocentrique (option `-c 4` des programmes `ephemcc` et `ephemph`). Pour l'instant, seul le cas de la sonde Rosetta en orbite autour de la comète 46P/Wirtanen est prévu. C'est l'objet du sous-programme `EPHEM_SONDE` (c.f §4.11) qui pour une époque donnée retourne les coordonnées rectangulaires équatoriales de la sonde (position et vitesse) dans un repère FK5 centré sur la comète. Au fur et à mesure des besoins, d'autres cas de sondes spatiales pourront être introduits dans ce sous-programme. Le choix des données orbitales de la sonde est obtenu par les variables `sonde_file` et `sonde_path` du fichier de configuration.

Dans le cas de la sonde Rosetta (et de son module RoLand), seules les orbites de parking et d'approche finale de la comète 46P/Wirtanen, couvrant la période allant du 28/08/2012 22<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> TT au 30/08/2012 23<sup>h</sup> 59<sup>m</sup> TT, sont simulées. Elles ont été calculées par le CNES (données transmises par J. Bernard - CT/TI/MS/AM, 1998) sous la forme de coordonnées rectangulaires (positions-vitesses) tabulées dans le temps (pas de une minute) et exprimées dans un repère écliptique J2000.0 centré au centre de masse de la comète (fichier `rosetta_cnes.eph` dans le répertoire `./eproc/ressources/html/wirtanen/`). Les éphémérides de la comète sont elles obtenues par intégration numérique du problème perturbé par les 9 planètes principales à partir d'une position et d'une vitesse initiale à l'époque 31/08/2012 0<sup>h</sup> TDB (fichier `wirtanen_cnes.dat` dans le répertoire `./eproc/ressources/html/wirtanen/` présenté au §5.1). Les éphémérides de la comète 46P/Wirtanen depuis la sonde spatiale sont alors obtenues en incluant les options `-nom wirtanen_cnes.dat` et `-c 4` dans les lignes de commande des programmes `ephemcc` et `ephemph`. On pourra changer les données orbitales de la comètes en utilisant un autre fichier, par exemple `wirtanen.dat` (c.f §5.1).

La représentation graphique du noyau de la comète est basée soit sur un modèle

géométrique (ellipsoïde triaxial) proposé par Meech *et al.* [MBH97], soit sur un modèle topographique généré aléatoirement à l'Institut Max-Planck d'Aéronomie (Lindau, Allemagne) dans le cadre de la préparation de l'instrument OSIRIS qui sera embarqué à bord de la sonde Rosetta [Tho98]. L'annexe H présente graphiquement ces deux modèles. D'autres modélisation de la forme du noyau de la comète peuvent être envisagées en modifiant les valeurs numériques des rayons de l'ellipsoïde triaxial (dans le fichier des données cométaires, voir § 5.1) ou en proposant un autre modèle topographique sous le nom **wirtanen.tab** dont on précisera l'accès par l'intermédiaire de la variable **TOPO\_PATH** du fichier de configuration (voir §5.2).

## 7.2 Le serveur WEB d'éphémérides du Bureau des longitudes

Le développement de la librairie EPROC et des ses applications a donné naissance à 3 des services proposés par le serveur WEB d'éphémérides du Bureau des longitudes (URL: <http://www.bdl.fr/ephemeride.html/>). Ces services sont :

- les calculs d'éphémérides générales de position des corps du système solaire : [http://www.bdl.fr/ephem/ephepos/ephepos\\_f1.html](http://www.bdl.fr/ephem/ephepos/ephepos_f1.html)
- les calculs d'éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire : [http://www.bdl.fr/ephem/ephephys/ephephys\\_f1.html](http://www.bdl.fr/ephem/ephephys/ephephys_f1.html)
- les calculs de levers, de passages au méridien et de couchers des corps du système solaire : [http://www.bdl.fr/cgi-bin/CGI\\_pm/levcou.cgi](http://www.bdl.fr/cgi-bin/CGI_pm/levcou.cgi)

Les IHM de ces services sont écrites en langages HTML et Javascript (saisie dynamique des dates de calculs) et les formulaires d'interrogation sont écrits en langage Perl (v5.0) [Wal98] – module CGI.pm. Ces formulaires assurent la collecte des paramètres de l'éphéméride souhaités par l'utilisateur puis construisent et exécutent la ligne de commande de l'application concernée : **ephemcc** et **ephemph** pour les éphémérides de positions et les éphémérides pour l'observation physiques ; **visiplanete** pour les levers, passages au méridien et couchers des astres.

Pour plus de détails, on se reportera au serveur WEB d'éphémérides du Bureau des longitudes et à la documentation accompagnant chaque service proposé.

## 8 Mises à jour de la librairie et des ressources

Les mises à jour de la librairie et des applications seront annoncées par e-mail par l'intermédiaire de l'adresse **eproc@bdl.fr**. Il est donc important de se faire enregistrer comme utilisateur d'EPROC pour pouvoir en être informé (voir §10). A tout moment un utilisateur peut savoir si la version qu'il exploite correspond bien à la dernière version installée en exécutant le script d'installation utilisateur d'EPROC : `[.]/eproc/Install_eproc`. Dans le cas d'une nouvelle version, un nouveau fichier de configuration est généré (si nécessaire), l'ancien fichier étant renommé en **.eproc.old**.

La numérotation des versions successives d'EPROC suit la logique suivante (la version actuelle est 1.02) :

- si le dernier chiffre est pair, la version est stable
- si le dernier chiffre est impair, la version est en cours de débogage
- le premier chiffre augmente à l'occasion de mises à jour majeures

Les mises à jour des ressources de la librairie doivent être effectuées par les utilisateurs eux mêmes. Les bases de données concernées sont EOP(IERS) C 02 (remises à jour régulières), TASS et la base *Asteroid orbital elements database* de

Bowell (remises à jour mensuelles). Les catalogues d'étoiles peuvent aussi évoluer. Les extensions en ressources de la librairie se feront à l'occasion de mises à jour du code de la librairie.

Pour les programmeurs de Fortran 90 il est aussi tout à fait possible de compléter la librairie en y ajoutant des sous-programmes, interfacés ou non dans des modules, et en modifiant les fichiers **makefile** en conséquence. Se renseigner sur les conditions d'utilisation de la librairie et de ses applications en consultant les fichiers **LICENSE**, **LICENSE-GPL** et **LICENSE-LGPL** du répertoire `./eproc`. Ce sont les termes des licences GNU (Library) General Public License, version 2, juin 1991.

## 9 Prospective

Les développements actuels de la librairie portent sur les calculs de levers, passages au méridien et couchers des corps célestes, sur les prédictions de rapprochements mutuels des corps célestes et sur la réduction astrométrique des observations astronomiques. D'autre part une interface graphique (X window) de mise en œuvre des calculs d'éphémérides est en cours d'élaboration : **xeproc**.

Il est aussi envisagé de faciliter les mises à jour de certaines ressources (en particulier les données EOP(IERS) C 02) en proposant des scripts de téléchargement automatiques. De même, une connexion aux services proposés par le Centre de Données Stellaires de Strasbourg est envisagé pour la recherche des données stellaires, notamment dans le cadre de la réduction des observations astrométriques.

Enfin, il est prévu d'étendre les calculs d'éphémérides aux satellites proches et lointains de Jupiter, aux petits satellites de Saturne et aux satellites de Neptune. Les calculs d'éphémérides pour l'observation physique seront étendus à tous les corps de la base *Asteroid spin vectors*. Et bien sur tous les bogues détectés seront fixés ...

## 10 Contacts

Toute demande de renseignement, tout commentaire ou toute question sont bienvenus. Pour cela, vous pouvez contacter :

**J. Berthier ou A. Fienga**

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides

*BDL – URA 707*

77, av. Denfert Rochereau

F-75014 PARIS, FRANCE

tél. : 33(0)1 40 51 22 64

e-mail : berthier@bdl.fr

tél. : 33(0)1 40 51 22 74

e-mail : fienga@bdl.fr

ou envoyer un message, qui sera reçu par tous les utilisateurs enregistrés, à l'adresse :

**eproc@bdl.fr**

## Références

- [AGK<sup>+</sup>82] S. Aoki, B. Guinot, G.H. Kaplan, H. Kinoshita, D.D. McCarthy, and P.K. Seidelmann. The new definition of Universal Time. *Astron. Astrophys.*, **105**:359–361, 1982.
- [Arl82] J.E. Arlot. New constants for Sampson-Lieske theory. *Astron. Astrophys.*, **107**:305, 1982.
- [Arl93] J.E. Arlot. *communication privée*, 1993.
- [Ast84] *The Astronomical Almanac*. US Government Printing Office, Washington, 1984.
- [Bdl97] Bureau des longitudes, editor. *Introduction aux éphémérides astronomiques*. Les éditions de physique, 1997.
- [Ber98a] J. Berthier. Serveur d'éphémérides du bureau des longitudes. Définitions relatives aux éphémérides de position des corps célestes. *Notes Scientifiques et Techniques S060*, Bureau des longitudes, 1998.
- [Ber98b] J. Berthier. Serveur d'éphémérides du bureau des longitudes. Définitions relatives aux éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire. *Notes Scientifiques et Techniques S061*, Bureau des longitudes, 1998.
- [BF88] P. Bretagnon and G. Francou. Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions. *Astron. Astrophys.*, **202**:309, 1988.
- [BGM89] P. Binzel, T. Gehrels, and M.S. Matthews, editors. *Asteroid II*. The University of Arizona Press, 1989.
- [Bor89] K.M. Borkowski. Accurate algorithms to transform geocentric to geodetic coordinates. *Bull. Géodésique* **63**, 50, 1989.
- [Bow98] E. Bowell. The asteroid orbital elements database. Technical report, Lowell Observatory : <ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.html>, 1998.
- [Bre82] P. Bretagnon. Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. solution VSOP82. *Astron. Astrophys.*, **114**:278, 1982.
- [BRS97] P. Bretagnon, P. Rocher, and J.L. Simon. Theory of the rotation of the rigid Earth. *Astron. Astrophys.*, **319**:305–317, 1997.
- [BS66] R. Bulirsch and J. Stoer. *Numerische Mathematik* **8**, 1, 1966.
- [BS95] Y.V. Batrakov and V.A. Shor. Catalogue of orbital elements and photometric parameters of 6160 minor planets numbered by 18 november, 1994. Technical report, Institute of Theoretical Astronomy, 1995.
- [CT90] M. Chapront-Touzé. Orbits of the martian satellites from ESAPHO and ESADE theories. *Astron. Astrophys.*, **240**:159, 1990.
- [CTFM94] M. Chapront-Touzé, G. Francou, and B. Morando. Les systèmes de référence utilisés en astronomie. *Notes Scientifiques et Techniques S046*, Bureau des longitudes, 1994.
- [CUW91] T.E. Corbin, S.E. Urban, and W.H.Jr. Warren. Astrographic Catalogue Reference Stars. Doc. no. nssdc/wdc-a-r&s 91-10, National Space Science Data Center, 1991.

- [DAB<sup>+</sup>96] M.E. Davies, V.K. Abalakin, M. Bursa, J.H. Lieske, B. Morando, D. Morrison, P.K. Seidelmann, A.T. Sinclair, B. Yallop, and Y.S. Tjufflin. Report of the IAU/IAG/COSPAR working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites: 1994. *Celes. Mech.*, **63**:127–148, 1996.
- [DC89] J.D. Drummond and W.J. Cocke. Triaxial ellipsoid dimensions and rotational pole of (2) Pallas from two stellar occultations. *Icarus*, **78**:323–329, 1989.
- [DFC98] J.D. Drummond, R.Q. Fugate, and J.C. Christou. Full adaptive optics images of asteroids Ceres and Vesta ; rotational poles and triaxial ellipsoid dimensions. *Icarus*, **132**:80–99, 1998.
- [FSL88] W. Fricke, H. Schwan, and T. Lederle. Fifth Fundamental Catalogue. Veröffentlichungen des Astronomischen **32**, Rechen-Institute Heidelberg, 1988.
- [Hip96] The Hipparcos and Tycho catalogues. Volume 1: Introduction and guide to the data. draft version (release 1): 8 august 1996, ESA Hipparcos Space Astrometry Mission, 1996.
- [HW91] D. Hoffleit and W.H.Jr. Warren. The Bright Star Catalogue, 5th revised ed. Technical report, National Space Science Data Center NSSDC/ADC, 1991.
- [IAU85] *Proceedings of the 19<sup>e</sup> general assembly - Transactions of the IAU*, volume XIXB, 1985.
- [IER96] IERS conventions (1996). IERS technical note **21**, Observatoire de Paris, 1996.
- [IER98] IERS. Eop(iers) 97 c 02. Technical report, Observatoire de Paris : <ftp://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc02/>, 1998.
- [Jor98] L. Jorda. *communication privée*, 1998.
- [KHSS89] G.H. Kaplan, J.A. Hughes, P.K. Seidelmann, and C.A. Smith. Mean and apparent place computations in the new IAU system. III. Apparent, topocentric, and astrometric places of planets and stars. *Astron. Journal.*, **97**(4), 1989.
- [Kin77] H. Kinoshita. Theory of the rotation of the rigid Earth. *Celes. Mech.*, **15**:277, 1977.
- [Kop66] Z. Kopal. *An introduction to the study of the Moon*. D. Reidel publishing company, 1966.
- [Las87] J. Laskar. GUST86 - an analytical ephemeris of the uranian satellites. *Astron. Astrophys.*, **188**:212, 1987.
- [Lie80] J.H. Lieske. Improved ephemerides of the galilean satellites. *Astron. Astrophys.*, **82**:340, 1980.
- [LLFM77] J.H. Lieske, T. Lederle, W. Fricke, and B. Morando. Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants. *Astron. Astrophys.*, **58**:1, 1977.
- [Mag95] P. Magnusson. Asteroid spin vector determinations. Technical report, Uppsala Astronomical Observatory : <ftp://ftp.astro.uu.se/pub/Asteroids/SpinVectors/>, 1995.

- [MBH97] K.J. Meech, J.M. Bauer, and O.R. Hainaut. Rotation of comet 46P/Wirtanen. *Astron. Astrophys.*, **326**:1268–1276, 1997.
- [Mee91] J. Meeus. *Astronomical algorithms*. Willmann-Bell, Inc., 1991.
- [MS82] L.V. Morrison and F.R. Stephenson. Secular and decade fluctuations in the Earth’s rotation : 700 BC - AD 1978. In W. Fricke and G. Teleki, editors, *Sun and Planetary System*. D. Reidel, 1982.
- [Mur81] C.A. Murray. Relativistic astrometry. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **195**:639–648, 1981.
- [New83] X.X. Newhall. DE102 : a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries. *Astron. Astrophys.*, **125**:150–167, 1983.
- [Nod98] PDS Small Bodies Node. SBN asteroid data: Physical parameters. Technical report, [http://pdssbn.astro.umd.edu/sbnhtml/asteroids/physical\\_param.html](http://pdssbn.astro.umd.edu/sbnhtml/asteroids/physical_param.html), 1998.
- [Pea98] T. Pearson. Pgplot graphics subroutine library. Technical report, California Institute of Technology : <http://astro.caltech.edu/~tjp/pgplot/>, 1998.
- [PTVF92] W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, and B.P. Flannery. *Numerical Recipes in Fortran*. Cambridge University Press, 1986, 1992. second edition.
- [RB88] S. Roeser and U. Bastian. Catalogue of positions and proper motions. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **74**:449, 1988.
- [Sei82] P.K. Seidelmann. 1980 IAU theory of nutation. the final report of the IAU working group on nutation. *Celes. Mech.*, **27**:79, 1982.
- [SNWF95] E.M. Standish, X.X. Newhall, J.G. Williams, and W.F. Folkner. JPL planetary and lunar ephemerides, DE403/LE403. *JPL IOM*, **314**:10–127, 1995.
- [Sta82] E.M. Standish. Orientation of the JPL ephemerides DE200/LE200 to the dynamical equinox of J2000. *Astron. Astrophys.*, **114**:297–302, 1982.
- [Sta90] E.M. Standish. The observational basis for JPL’s DE200, the planetary ephemerides of the Astronomical Almanac. *Astron. Astrophys.*, **233**:252–271, 1990.
- [TH98] P. Tanga and D. Hestroffer. *communication privée*, 1998.
- [Tho98] N. Thomas. OSIRIS - the scientific imaging system for Rosetta. Technical report, Max-Planck-Institut fuer Aeronomie : [http://www.mpae.gwdg.de/mpae\\_projects/OSIRIS/osiris.html](http://www.mpae.gwdg.de/mpae_projects/OSIRIS/osiris.html), 1998.
- [UCW97] S.E. Urban, T.E. Corbin, and G.L. Wycoff. ACT Reference Catalog. Technical report, United States Naval Observatory, 1997.
- [VD95] A. Vienne and L. Duriez. TASS 1.6: Ephemerides of the major saturnian satellites. *Astron. Astrophys.*, **297**:588, 1995.
- [Wah81] J.M. Wahr. The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic, and oceanless Earth. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **64**:705, 1981.
- [Wal98] L. Wall. Perl - Practical Extraction and Report Language. Technical report, <http://www.qpsf.edu.au/software/doc/perl/perl.html>, 1998.



# Annexes

## A Fichier de configuration \$HOME/.eproc

```
#
# Fichier de configuration des applications EPROC v1.02.
# (C) 1998, EPROC.
#
# Environnement de travail :
#
ephe.sortie      : ecran
ephe.graphic    : ecran
ephe.printer    : /bin/lpr -Pps3
ephe.machine    : aster
ephe.tmp_path   : /users/berthier/Eproc/tmp/
ephe.ephem_path : /users/berthier/Eproc/ephem/
ephe.pred_path  : /users/berthier/Eproc/
#
ephe.source_path : /usr/local/eproc/bin/
ephe.doc_path    : /usr/local/eproc/doc/
ephe.ress_path   : /usr/local/eproc/ressources/
ephe.whirlgif_path : /usr/local/bin/
ephe.proj_path   : /usr/local/eproc/ressources/proj/
ephe.dataplot_path : /usr/local/bin/dataplot/
#
# Theories planetaires
#
ephe.bd182_file  : bd182.ad1
ephe.vsop87_file : slp96.ad
ephe.tass_file   : tass17.dat
ephe.bd182_path  : /DATA/ephtch/
ephe.vsop87_path : /DATA/ephtch/
ephe.tass_path   : /DATA/PLANETES_SATELLITES/SATURNE/VIENNE/
ephe.de200_path  : /DATA/DE200/
ephe.de403_path  : /DATA/DE403/
#
# Parametres d'orientation de la Terre
#
ephe.eop_file    : Eop97c02.all
ephe.eop_path    : /usr/local/eproc/ressources/eop/
#
# Base de donnees asteroidales
#
ephe.bowell_file : astorb980619.dat
ephe.emp_file    : EMP97.dat
ephe.spin_file   : spin.tab
ephe.dataeo_path : /DATA/ASTEROIDES/ELEMENTS_OSCULATEURS/
```

```

ephe.datapp_path      : /DATA/ASTEROIDES/PARAMETRES_PHYSIQUES/
ephe.spinass_path     : /DATA/ASTEROIDES/SPIN_VECTORS/
ephe.topo_path        : /usr/local/eproc/ressources/shape_models/
#
# Base de donnees cometaires
#
ephe.comet_file       : wirtanen_cnes.dat
ephe.comet_path       : /usr/local/eproc/ressources/wirtanen/
#
# Base de donnees sondes spatiales
#
ephe.sonde_file       : rosetta_cnes.eph      ! Rosetta (CNES)
ephe.sonde_path       : /usr/local/eproc/ressources/wirtanen/
#
# Catalogues d'etoiles
#
ephe.ppm_path         : /DATA/PPM/
ephe.bsc_path         : /DATA/BSC/
ephe.hip_path         : /DATA/HIPP/
ephe.tycho_path       : /DATA/HIPP/
ephe.act_path         : /DATA/ACT/
ephe.acrs_path        : /DATA/ACRS/
ephe.fk5_path         : /DATA/FK5/
ephe.ngc_path         : /DATA/NGC/
ephe.etoile_path     : /DATA/ETOILES/
#
# Preferences pour les calculs d'ephemerides
#
ephe.numplanet        : 4                ! mars
ephe.numetoile        : 129230          ! PPM 129230
ephe.cata              : PPM              ! catalogue d'etoile
ephe.teph              : 1                ! 1: astrometrique J2000 2: apparente
#                               ! 3: moyenne date 4: geometrique
ephe.trep              : 1                ! 1: equatorial 2: ecliptique
#                               ! 3:rectangulaire 4: local 5: horaire
ephe.keph              : 3                ! 1: De200 2: Bd182
#                               ! 3: De403 4: Vsop87
ephe.cent              : 2                ! 1: heliocentrique 2: geocentrique
#                               ! 3: topocentrique 4: sonde
ephe.elosc             : 2                ! 1: EMP-97 2: Bowell 3: utilisateur
ephe.lieu              : Observatoire de Paris
ephe.geo1              : -0.092159981    ! longitude hh.mmss
ephe.geo2              : 48.501200       ! latitude dd.mmss
ephe.geo3              : 67.0            ! en m
ephe.echel            : TT                ! ou TT
ephe.ndat              : 5                ! nombre de date de calcul
ephe.pas               : 1.0             ! pas de calcul en jour
ephe.format_date      : 1                ! format par defaut des fichiers

```

## B Résumé des options des programmes d'EPROC

### B.1 Résumé des options d'ephemcc

```
#####  
!  
! Programme de calcul des ephemerides de position des corps celestes. !  
!  
! Usage : ephemcc [corps] [options] !  
!  
! avec [corps] : !  
!  
!     planete : ephemerides des planetes et des satellites (par default) !  
!     asteroide : ephemerides des asteroides !  
!     comete : ephemerides des cometes !  
!     etoile : ephemerides des etoiles !  
!  
! et [options] : !  
!  
! -a [PPM,BSC,FK5,ACRS,HIP,TYC,ACT] : choix du catalogues d'etoiles !  
! -b [jj mm aaaa hh mm ss.sss] : date et heure de debut de l'ephemeride !  
!                               (voir aussi option -j) !  
! -c [n] : centre du repere (1:helio. 2:geoc. 3:topoc. 4:sonde) !  
! -d [n] : nombre de dates de l'ephemeride !  
! -doc : documentation detaillee des calculs d'ephemerides de position !  
!       (format postscript lu par gv) !  
! -e [utc/UTC,tt/TT] : echelle de temps !  
! -f [chaine] : nom du fichier resultat utilisateur (voir option -s) !  
! -g [long. lat. alt.] : coordonnees de l'observateur : !  
!                       long. exprimee en heure, < 0 vers l'est. !  
!                       lat.  exprimee en degre, < 0 vers le sud !  
!                       alt.  exprimee en metre !  
! -j [jd] : jour julien du debut de l'ephemeride (voir option -b) !  
!         [jd] peut etre remplace par les champs [chaine id] ou : !  
!         chaine : nom d'un fichier utilisateur dans lequel se !  
!                 trouve les dates de calcul !  
!         id      : numero du format de ce fichier (de 1 a ...) !  
!                 id est optionnel. Par default id = format_date !  
!                 id = ? donne la liste des formats disponibles !  
! -k [1,2,3,4,5] : choix de la theorie planetaire : !  
!                 1:DE200, 2:VSOP82, 3:DE403, 4:VSOP87 !  
! -l [chaine] : nom du lieu d'observation (chaine 128 caract.) !  
! -n [n] : numero de la planete, du satellite, de l'asteroide !  
!         ou de l'etoile : !  
!         - Planetes :   1: Mercure           6: Saturne !  
!                       2: Venus             7: Uranus !  
!                       4: Mars              8: Neptune !  
!                       5: Jupiter           9: Pluton !
```

```

!           - Satellites : 10: Lune !
!                               41: Phobos           65: Rhea           !
!                               42: Deimos           66: Titan            !
!                               51: Io               67: Hyperion         !
!                               52: Europe           68: Japet            !
!                               53: Ganymede         71: Ariel             !
!                               54: Callisto         72: Umbriel          !
!                               61: Mimas            73: Titania          !
!                               62: Encelade         74: Oberon           !
!                               63: Tethys           75: Miranda          !
!                               64: Dione            !
!           - Asteroides : 1..6678: les asteroides EMP-97 !
!                               1..9259: les asteroides de Bowell (*) !
!           - Cometes : pas de designation par numero (voir -nom) !
!           - Divers : 11: Soleil !
! -noelem : pas d'impression des elements osculateurs des asteroides et !
!           des cometes !
! -nom [chaine] : nom du corps (planete, satellite, ou asteroide) ou !
!           nom du fichier de donnees pour les cometes (le reper. !
!           par defaut est comet_path) !
! -o [1,2,3] : choix des elements osculateurs : !
!           asteroides : 1: EMP97 ; 2: Bowell ; 3: utilisateur !
!           cometes : 1: - ; 2: - (voir option -nom) !
! -omc : calcul des O-C lorsqu'un fichier de dates est utilise (voir -j)!
! -p [x] : pas en jour entre deux dates (reel) !
! -r [chaine] : repertoire utilisateur (chaine 128 carac.) (voir -s) !
! -s [neant,ecran,fichier,toute] : choix de la sortie d'impression !
! -tc [1,2,3,4,5] : choix du type de coordonnees : !
!           1: equatoriales, 2: ecliptiques, 3: rectangualires !
!           4: locales, 5: horaires !
! -te [1,2,3,4] : choix du type d'ephemeride : !
!           1: astrometrique J2000, 2: apparente, !
!           3: moyenne de la date, 4: geometrique !
!
! (*) pour les asteroides sans numero UAI officiel, utiliser l'option -nom !
! avec leur designation temporaire : ex.: -nom 1994_AW1 !
! Les choix par defaut sont definis dans le fichier $HOME/.eproc ou dans !
! tout autre fichier (au meme format) dont on precise le nom a l'aide !
! de l'option : -xw [nom fichier]. Cette instruction doit apparaitre !
! en premier sur la ligne de commande. !
!
! (C) 1998, EPROC v1.02. !
!
! #####

```

## B.2 Résumé des options d'ephemph

```
#####  
!  
! Programme de calcul des ephemerides pour l'observation physiques des  
! corps du systeme solaire.  
!  
! Usage : ephemph [corps] [options]  
!  
! avec [corps] :  
!  
!     planete : ephemerides physiques des planetes et des satellites  
!     asteroide : ephemerides physiques des asteroides  
!     comete : ephemerides physiques des cometes  
!  
! (par default : planete)  
!  
! et [options] :  
!  
! -a : animation des configuration physiques calculees (gif animee)  
! -bi [jj mm aaaa hh mm ss.sss] : date et heure de debut de l'ephemeride!  
! -bf [jj mm aaaa hh mm ss.sss] : date et heure de fin de l'ephemeride  
!     (voir option -d)  
! -c [2,4] : centre du repere (2: geoc. ; 4: sonde spatiale)  
! -d [n] : nombre de dates de l'ephemeride (voir option -bf)  
! -doc : documentation detaillee des ephemerides pour l'observation  
!     physique des planetes (format postscript lu par gv)  
! -e [utc/UTC,tt/TT] : echelle de temps (par default UTC)  
! -f [chaine] : nom du fichier resultat utilisateur  
! -nof : pas de sauvegarde du fichier de resultats  
! -j [jd] : jour julien du debut de l'ephemeride (voir option -bi)  
!     [jd] peut etre remplace par les champs [chaine id] ou :  
!     chaine : nom d'un fichier utilisateur dans lequel se  
!     trouve les dates de calcul  
!     id      : numero du format de ce fichier (de 1 a ...)  
!     id est optionnel. Par default id = format_date  
!     id = ? donne la liste des formats disponibles  
! -l [chaine] : nom du lieu d'observation (chaine 128 carac.)  
! -n [n] : numero du corps :  
!  
!     - Planetes :    1: Mercure          6: Saturne  
!                   2: Venus            7: Uranus  
!                   4: Mars             8: Neptune  
!                   5: Jupiter          9: Pluton  
!  
!     - Satellites : 10: Lune  
!                   41: Phobos          65: Rhea  
!                   42: Deimos         66: Titan  
!                   51: Io             67: Hyperion  
!                   52: Europe         68: Japet
```

```

!           53: Ganymede           71: Ariel           !
!           54: Callisto          72: Umbriel        !
!           61: Mimas             73: Titania        !
!           62: Encelade          74: Oberon         !
!           63: Tethys            75: Miranda        !
!           64: Dione              !
!           - Divers :           11: Soleil          !
!           - Asteroides (*) : 1..6678: les asteroides EMP-97 !
!                               1..9259: les asteroides de  !
!                               1..9259: les asteroides de  !
!                               1..9259: les asteroides de  !
! -nom [chaine] : nom du corps (planete, satellite ou asteroide) ou nom !
!                   du fichier de donnees pour les cometes (le repertoire !
!                   par default est comet_path) !
! -p [x] : pas en jour entre deux dates (reel) !
! -print : impression des resultats sur la sortie standard !
! -r [chaine] : repertoire utilisateur (chaine 128 caract.) !
! -reel : prise en compte de la distance observateur/corps ... !
! -relief : modele topographique de la surface des corps !
! -s [1,2,3,4] : affichage ou non des coordonnees geocentriques !
!                   apparentes sous la forme de coordonnees : !
!                   1: equatoriales ; 2: ecliptiques !
!                   3: rectangulaires ; 4: aucune (par default) !
! -v [device ind] : visualisation graphique de la configuration !
!                   d'indice ind sur la sortie definie par device !
!                   (xwin,ps,gif,?,...) ; par default ind=1 !
! ! !
! (*) Il n'est possible de calculer des ephemerides physiques que pour !
!     un certain nombre d'asteroides ... !
! ! !
! Les choix par default sont definis dans le fichier $HOME/.eproc ou dans !
! tout autre fichier (au meme format) dont on precise le nom a l'aide !
! de l'option : -xw [nom fichier]. Cette instruction doit apparaitre !
! en premier sur la ligne de commande. !
! ! !
! (C) 1998, EPROC v1.02. !
! ! !
!#####

```

### B.3 Résumé des options d'ephemtra

```
#####  
!  
! Programme de trace des configurations physiques des planetes, des !  
! satellites naturels, des asteroides et des cometes a partir des !  
! resultats obtenus par le programme ephemph. !  
!  
! Usage : ephemtra [-f] [options] !  
!  
! avec : !  
!  
! -f [chaine] : nom du fichier resultat (sans extension) !  
! (si chaine=? le repertoire courant est liste) !  
!  
! et [options] : !  
!  
! -a : animation des configuration physiques calculees (*) !  
! -d [xwin, ps, gif, ..., ?]: device graphique du trace !  
! -i [n] : indice de la configuration a tracer !  
! -r [chaine] : repertoire utilisateur (chaine 128 caract.) !  
! -reel : prise en compte de la distance observateur/corps ... !  
! -relief : modele topographique de la surface physique de la planete !  
! lorsque celui ci est connu !  
! -z [nombre] : facteur multiplicatif pour changer les echelles des !  
! axes x et y tel que max(x et y) = nombre*1.5 !  
!  
! (*) creation d'une image gif animee visualisable a l'aide d'un naviga- !  
! teur internet en chargeant l'URL : !  
! file:$HOME/Eproc/html/animephem.html !  
!  
! (C) 1998, EPROC v1.02. !  
!  
#####
```

## B.4 Résumé des options d'echtemps

```
#####  
!  
! Representation graphique des differences entre les echelles de temps : !  
! TAI - (TT | TCG | TDB | TCB | UTC | UT1) entre les epoques 1950 et 2050 !  
!  
! Representation des differences entre les echelles de temps TE et UT !  
! entre les epoques 1670 et 1998 !  
!  
! Usage : echtemps [options] !  
!  
! avec [options] : !  
!  
! [gif vgif] : device GIF pour la sortie graphique. !  
! [ps vps cps vcps] : device POSTSCRIPT pour la sortie graphique. !  
! ut : representation des differences TE - UT entre 1670 et 1998. !  
! zoom : vue en zoom des differences entre les echelles TAI et !  
! (TT | TCG | TDB | TCB) !  
! zoomutc : vue en zoom des differences entre UTC et UT1 !  
! nolab : pour ne pas mettre de label sur le graphique. !  
!  
! -TT : pour ne pas afficher l'echelle TT. !  
! -UT : pour ne pas afficher les echelles UT1 et UTC. !  
! -TCD : pour ne pas afficher les echelles TCG, TCB et TDB. !  
!  
! La sortie graphique par default est /XSERVE. !  
!  
! (C) 1998, EPROC v1.02. !  
!  
#####
```

## B.5 Résumé des options de visiplanete

```
#####
!
! Programme de calcul du lever, passage au meridien et coucher des corps
! du systeme solaire pour un lieu d'observation quelconque.
!
! Usage : visiplanete [options]
!
! avec [options] :
!
!   -b [jj mm aaaa] : date initiale de calcul (UTC)
!   -d [n] : nombre de date de calcul (par default 1)
!   -f [chaine] : nom du fichier resultat utilisateur
!   -g [long. lat. alt.] : coordonnees de l'observateur :
!                       long. : longitude exprimee en heure, < 0 vers l'est
!                       lat.  : latitude exprimee en degre, < 0 vers le sud
!                       alt.  : altitude exprimee en metre
!   -l [chaine] : nom du lieu d'observation (chaine 128 carac.)
!   -n [n] : numero de la planete : de 1 a 11 ou 100 pour tout
!           selectionner ou nombre negatif pour les asteroides
!   -nom [chaine][!] : nom du corps du systeme solaire (si "!" suit le
!                   nom du corps alors c'est un asteroide)
!   -r [chaine] : repertoire utilisateur (chaine 128 carac.)
!
! Les choix par default sont definis dans le fichier $HOME/.eproc ou dans
! tout autre fichier (au meme format) dont on precise le nom a l'aide
! de l'option : -xw [nom fichier]. Cette instruction doit apparaitre
! en premier sur la ligne de commande.
!
! (C) 1998, EPROC v1.02.
!
#####
```

## C Correspondances modules – sous-programmes

Les tableaux des pages suivantes (tab. 1, 2, 3, 4, 5 et 6) présentent la correspondance entre les sous-programmes et les fonctions de la librairie EPROC et les modules où ils sont interfacés. L'utilisation de ces modules et le détail de chacune de leurs composantes sont décrits au §4. Les modules de variables globales `Var_global` (N0-A4) et `Var_ephem` (N0-A5) sont présentés aux §4.4 et §4.5.

Les sous-programmes suivant, écrits en Fortran 77 par leurs auteurs, ne sont pas interfacés dans un module mais sont intégrés à la librairie. Il s'agit des sous-programmes de calcul des positions géométriques des planètes, du Soleil et de la Lune sur la base, respectivement, des théories planétaires DE200/LE200, DE403/LE403 et VSOP87/ELP2000. Ces sous-programmes ont comme nom :

- PLEPH\_DE200
- PLEPH\_DE403
- SLP96

On se reportera au §4.8 pour le détail des entrées/sorties de ces sous-programmes.

Modules N0		
A1	A2	
<b>Astro_cstes</b>	<b>Astro_theories</b>	
variables	sous-programmes	fonctions
B1950	ABERANNU	EKEPLER
JD1950	CREL	OBLIMO
JD2000	ECLIPtoEQUAFK4	
UnUA	ECtoEQ	
c	FK4toFK5	
dmusurc2	LIGHTDEFLECT	
gmp	NUTATION	
RTerre	QPREC	
Flatt	REQUAM	
omegaT	REQUAV	
refracRadau	REQUAVINV	
	VSOPtoFK5	

TAB. 1: Liste des sous-programmes et fonctions des modules N0 (A1, A2).

Modules N0			
A3		A6	
<b>Astro_outil</b>		<b>OutilF</b>	
sous-programmes	fonctions	sous-programmes	fonctions
COORD_DIFF	TDB	PI, dPI, extPi (*)	CtoI
COORD_DIFFP	TTmTU	GESIOSTAT	CtoR
COORD_TANGENT	TTmTU_JJ	H_DEC	DEGRAD
COREPHASE		H_HMS	HEURAD
DATECRTEUTC		HMS_H	ItoC
DATEJJ		INDEX_VECTEUR	NOMBRE
HAPKE		MATINV	RADDEG
JJDATE		NOMME_FICHER	RADHEU
MAGNIASTER		OUVRE_LECTURE	ROTX
MAGNICOMET		OUVRE_ECRITURE	ROTY
VECTPOS		POLINT	ROTZ
		RATINT	RtoC
		RECTOSPHE	VEC_PRODUCT
		RECTOSPHEP	
		TRANSCOOR	
		TRANSCOORINV	

TABLE 2: Liste des sous-programmes et fonctions des modules N0 (A3, A4).  
 (\*) indique qu'il s'agit de variables.

Modules N1			
B1 <b>Astro_outilIII</b>		B2 <b>Theo_planetaires</b>	B3 <b>Astro_dataSS</b>
sous-programmes	fonctions	sous-programmes	sous-programmes
COPREC�UT	JJtoAA	BDL82	DATA_ASTEROIDE
ECLIPtoEQUA	TT	EPHEM_SAT_MARS	DATA_COMETE
EQUAtoECLIP	UTC	EPHEM_SAT_JUPI	DATA_ETOILE
ELONGLUNE		EPHEM_SAT_SATU	DATA_PLANETE
ELONGSOLEIL		EPHEM_SAT_URAN	DATAPHYS_PLANETE
EOP			DATAPHYS_PCSS
FDILUNE			
INITGMP			
MAGNIPLANET			
PHASEGEOM			
TEMPSIDERAL			

TAB. 3: Liste des sous-programmes et fonctions des modules N1 (B1, B2, B3).

Module N2
C1
<b>Astro_adv</b>
sous-programmes
CONVGEOCtoGEOD
CONVGEODtoGEOC
EQUAtoHORIZ
LEVCOUCH_LOSS
LUNE_LIBRATION

TAB. 4: Liste des sous-programmes du module N2 (C1).

Modules N3	
D1 <b>Outil_ephem</b> sous-programmes	D2 <b>Ephemerides</b> sous-programmes
AFFICHE_ERREUR	CALCUL_EPHEM_ASTEROIDE
CALCUL_OmC	CALCUL_EPHEM_ETOILE
DIFSY	CALCUL_EPHEM_PLANETE
EPHEM_SONDE	
IMPRIMERESP	
IMPRIMERESE	
IMPRIMEELEO	
LIT_CONFIG	
LIT_DONINIT	
LIT_FICHER_DATE	
VERIFIE_CHOIXPLA	
VERIFIE_DATES	
VERIFIE_ENTEPHEM	

TAB. 5: Liste des sous-programmes et fonctions des modules N3 (D1, D2).

Module Appli.
Z1
<b>Eproc_eph</b>
sous-programmes
EPHEM_ASTEROIDE
EPHEM_ETOILE
EPHEM_PLANETE

TAB. 6: Liste des sous-programmes du module Appli. (Z1).

## D Classement par thèmes des sous-programmes

Les tableaux qui suivent regroupent par thèmes les sous-programmes et les fonctions de la librairie. Le nom du module contenant l'interface du sous-programme ainsi que le numéro de la page à laquelle chaque sous-programme est décrit sont aussi mentionnés.

### D.1 Calculs d'astronomie fondamentale

nom	module	page
ABERANNU	Astro_theories	7
COREPHASE	Astro_outil	16
CREL	Astro_theories	8
EKEPLER	Astro_theories	9
ELONGLUNE	Astro_outillI	40
ELONGSOLEIL	Astro_outillI	40
EOP	Astro_outillI	41
FDILUNE	Astro_outillI	41
HAPKE	Astro_outil	17
LEVCOUCH_LOSS	Astro_adv	56
LIGHTDEFLECT	Astro_theories	10
LUNELIBRATION	Astro_adv	57
MAGNIASTER	Astro_outil	17
MAGNICOMET	Astro_outil	18
MAGNIPLANET	Astro_outillI	43
PHASEGEOM	Astro_outillI	43
INITGMP	Astro_outillI	42

### D.2 Données astéroïdales, stellaires et planétaires

nom	module	page
DATA_ ASTEROIDE	Astro_dataSS	50
DATA_COMETE	Astro_dataSS	51
DATA_ETOILE	Astro_dataSS	51
DATA_PLANETE	Astro_dataSS	52
DATAPHYS_PLANETE	Astro_dataSS	52
DATAPHYS_PCSS	Astro_dataSS	53

### D.3 Transformations entre les échelles de temps

nom	module	page
DATECRTEUTC	Astro_outil	16
DATEJJ	Astro_outil	16
JJDATE	Astro_outil	17
JJtoAA	Astro_outilII	42
TDB	Astro_outil	18
TEMPSIDERAL	Astro_outilII	44
TT	Astro_outilII	44
TTmTU	Astro_outil	19
TTmTU_JJ	Astro_outil	19
UTC	Astro_outilII	44

### D.4 Transformations entre les repères de référence

nom	module	page
CONVGEOCtoGEOD	Astro_adv	55
CONVGEODtoGEOC	Astro_adv	55
COPRECNU	Astro_outilII	39
ECLIPtoEQUA	Astro_outilII	39
ECLIPtoEQUAFK4	Astro_theories	8
ECtoEQ	Astro_theories	8
EQUAtoECLIP	Astro_outilII	40
FK4toFK5	Astro_theories	9
NUTATION	Astro_theories	11
OBLIMO	Astro_theories	10
QPREC	Astro_theories	11
REQUAM	Astro_theories	11
REQUAV	Astro_theories	12
REQUAVINV	Astro_theories	13
VSOPtoFK5	Astro_theories	13

## D.5 Transformations entre les systèmes de coordonnées

nom	module	page
COORD_DIFF	Astro_outil	14
COORD_DIFFP	Astro_outil	14
COORD_TANGENT	Astro_outil	15
EQUAtoHORIZ	Astro_adv	56
RECTOSPHE	OutilF	35
RECTOSPHEP	OutilF	35

## D.6 Calcul des éphémérides

nom	module	page
CALCUL_EPHEM_ASTEROIDE	Ephemerides	67
CALCUL_EPHEM_ETOILE	Ephemerides	67
CALCUL_EPHEM_PLANETE	Ephemerides	67
CALCUL_OmC	Outil_ephem	58
EPHEM_ASTEROIDE	Eproc_eph	68
EPHEM_ETOILE	Eproc_eph	69
EPHEM_PLANETE	Eproc_eph	70
EPHEM_SAT_MARS	Theo_planetaire	46
EPHEM_SAT_JUPI	Theo_planetaire	46
EPHEM_SAT_SATU	Theo_planetaire	47
EPHEM_SAT_URAN	Theo_planetaire	47
EPHEM_SONDE	Outil_ephem	61
BDL82	Theo_planetaire	45
PLEPH_DE200	–	47
PLEPH_DE403	–	48
SLP96	–	49

## D.7 Conversions entre les systèmes d'unités

nom	module	page
H_DEC	OutilF	30
H_HMS	OutilF	30
HMS_H	OutilF	31
DEGRAD	OutilF	30
HEURAD	OutilF	31
RADDEG	OutilF	34
RADHEU	OutilF	34
TRANSCOOR	OutilF	37
TRANSCOORINV	OutilF	38
VECTPOS	Astro_outil	19

## D.8 Outils mathématiques

nom	module	page
DIFSY	Outil_ephem	59
INDEX_VECTEUR	OutilF	31
MATINV	OutilF	32
POLINT	OutilF	34
RATINT	OutilF	35
ROTX	OutilF	36
ROTY	OutilF	36
ROTZ	OutilF	36
VEC_PRODUCT	OutilF	38

## D.9 Outils Fortran

nom	module	page
Pi, dPi	OutilF	29
CtoI	OutilF	29
CtoR	OutilF	29
ItoC	OutilF	32
RtoC	OutilF	37
NOMBRE	OutilF	32

## D.10 Gestion des calculs d'éphémérides

nom	module	page
AFFICHE_ERREUR	Outil_ephem	58
GESIOSTAT	OutilF	30
IMPRIMERESP	Outil_ephem	62
IMPRIMERESE	Outil_ephem	62
IMPRIMEELEO	Outil_ephem	63
LIT_CONFIG	Outil_ephem	63
LIT_DONINIT	Outil_ephem	64
LIT_FICHER_DATE	Outil_ephem	64
NOMME_FICHER	OutilF	33
OUVRE_LECTURE	OutilF	33
OUVRE_ECRITURE	OutilF	33
VERIFIE_CHOIXPLA	Outil_ephem	64
VERIFIE_DATES	Outil_ephem	65
VERIFIE_ENTEPHEM	Outil_ephem	65

## E Liste des corps du système solaire reconnus par EPROC

Les numéros et les noms des planètes et des principaux satellites naturels reconnus par EPROC v1.02 sont présentés dans le tableau suivant. Pour les astéroïdes, tous les corps enregistrés dans la base de **Bowell** peuvent être exploités (42267 objets le 14 octobre 1998). De même, il est possible de calculer les éphémérides de n'importe quelle comète périodique à partir des fichiers individuels de conditions initiales (cf. §5.1).

numéro	nom		numéro	nom
11	Soleil		10	Lune
1	Mercure			
2	Vénus			
4	Mars	.....	41	Phobos
			42	Deimos
5	Jupiter	.....	51	Io
			52	Europe
			53	Ganymède
			54	Callisto
6	Saturne	.....	61	Mimas
			62	Encelade
			63	Théthys
			64	Dioné
			65	Rhéa
			66	Titan
			67	Hypérion
			68	Japet
7	Uranus	.....	71	Ariel
			72	Umbriel
			73	Titania
			74	Obéron
			75	Miranda
8	Neptune			
9	Pluton			

## F Différences entre les échelles de temps TT et UTC

Ce tableau présente les différences  $TAI + 32^s.184 - UTC$  en secondes sur la période 1670.5 – 1999. Avant le 1 janvier 1972, UTC n'existe pas encore et ce sont les différences avec UT qui sont présentées.

Période		$\Delta t$ (s)	Source
1999.0	–	64.184	[IER96]
1997.496235	– 1999.0	63.184	–
1996.0	– 1997.496235	62.184	–
1994.495551	– 1996.0	61.184	–
1993.496235	– 1994.495551	60.184	–
1992.496920	– 1993.496235	59.184	–
1991.0	– 1992.496920	58.184	–
1990.0	– 1991.0	57.184	–
1988.0	– 1990.0	56.184	–
1985.496235	– 1988.0	55.184	–
1983.494867	– 1985.496235	54.184	–
1982.495551	– 1983.494867	53.184	–
1981.496235	– 1982.495551	52.184	–
1980.0	– 1981.496235	51.184	–
1979.0	– 1980.0	50.184	–
1978.0	– 1979.0	49.184	–
1977.0	– 1978.0	48.184	–
1976.0	– 1977.0	47.184	–
1975.0	– 1976.0	46.184	–
1974.0	– 1975.0	45.184	–
1973.0	– 1974.0	44.184	–
1972.5	– 1973.0	43.184	–
1972.0	– 1972.5	42.184	–
1900.5	– 1972.0	Eq. 1	[Arl93]
1895.5	– 1900.5	$-7 + 3 * (T - 1895.5)/5$	–
1875.5	– 1895.5	-7.0	–
1860.5	– 1875.5	$5 - 12 * (T - 1860.5)/15$	–
1835.5	– 1860.5	$5 * (T - 1835.5)/25$	–
1820.5	– 1835.5	$4 - 4 * (T - 1820.5)/15$	–
1765.5	– 1820.5	$2 + 2 * (T - 1765.5)/55$	–
1740.5	– 1765.5	$-3 + 5 * (T - 1740.5)/25$	–
1722.5	– 1740.5	-3.0	–
1700.5	– 1722.5	$-5.5 + 2.5 * (T - 1700.5)/22$	–
1670.5	– 1700.5	-5.5	–
	– 1670.5	0.0	–

$T$  est le jour de l'année exprimé en années décimales de 365.25 jours. Les différences  $TE - UT$  entre 1900.5 et 1972.0 sont calculées de la manière suivante :

$$TE - UT = \frac{B(1) - B(3) + C(1)}{2} \quad (1)$$

avec

$$B(i) = 2 * X * B(i + 1) - B(i + 2) + C(i) \quad i = 11 \dots 1$$

où  $B(12) = B(13) = 0$ ,  $X = (T - 1941)/40.5$  et où les constantes  $C(i)$  sont :

$C(1)$	=	25.56901215782545000
$C(2)$	=	23.69057533697719000
$C(3)$	=	-1.21061351502200200
$C(4)$	=	4.54764287937943000
$C(5)$	=	-1.07739777646227200
$C(6)$	=	-0.56295083791729020
$C(7)$	=	0.22241930887195262
$C(8)$	=	-0.92367140252526250
$C(9)$	=	-0.66127235362467730
$C(10)$	=	-0.01142096008928990
$C(11)$	=	0.08505766807300032

Il est à noter que d'autres formulations sont possibles pour exprimer ces différences.

## G Exemples de calculs réalisés avec les applications d'EPROC

Les deux figures qui suivent présentent, à titre d'exemples, les résultats d'éphémérides obtenus à l'aide des programmes `ephemcc` et `ephemph` pour la planète Mars, du 18 novembre 1998 0<sup>h</sup> TT au 22 novembre 1998 0<sup>h</sup> TT.

```
#####
# EPHÉMÉRIDES DES CORPS DU SYSTÈME SOLAIRE
#####
# Planète 4 Mars
# Théorie planétaire VSOP87
# Ephéméride Astrométrique J2000
# Repère géocentrique
# Coordonnées équatoriales (R,A, Dec.)
#####
#
# Date TT      R,A      Dec.      Distance  V.Mag  Phase  Elong.
#   h m s      h m s      o ' "      ua.             o             o
#
18 11 1998  0 0 0.00  11 43 0.264 +03 35 46.11  1.902566  1.48  31.29  60.80
19 11 1998  0 0 0.00  11 45 7.265 +03 22 29.60  1.894105  1.47  31.42  61.23
20 11 1998  0 0 0.00  11 47 13.946 +03  9 14.36  1.885595  1.47  31.55  61.67
21 11 1998  0 0 0.00  11 49 20.307 +02 56  0.50  1.877037  1.46  31.68  62.11
22 11 1998  0 0 0.00  11 51 26.345 +02 42 48.12  1.868431  1.45  31.81  62.55
#
# > Format des données : (1x,I2,1x,I2,1x,I4,1x,I2,1x,I2,1x,F5,2,3x,I2,1x,I2,1x,F6,3,1x,A1,
# > I2,2,1x,I2,1x,F5,2,2x,F9,16,2x,F6,2,2x,F6,2,3x,F6,2)
```

FIG. 2: Résultats obtenus avec la commande `ephemcc -b 18 11 1998 0 0 0.0`



## H Aspects de la comète 46P/Wirtanen vue depuis la sonde spatiale Rosetta

La figure 4 présente l'aspect du noyau de la comète 46P/Wirtanen depuis un module au moment de son atterrissage simulé à la date du 30/08/2012 23<sup>h</sup> 59<sup>m</sup> TT. L'orbite de la sonde autour de la comète a été générée par le CNES. Les rayons de l'ellipsoïde triaxial sont ceux proposés par Meech *et al.* [MBH97] (0.58 km × 0.58 km × 0.34 km). La forme du noyau de la comète a été générée par l'Institut Max-Planck d'Aéronomie (le rayon du noyau varie entre 0.7 km et 1 km) [Jor98]. Les calculs ont été réalisés avec le programme **ephemph**. Les symboles au centre des graphiques matérialisent les points subsonde et subsolaire (SEP et SSP).

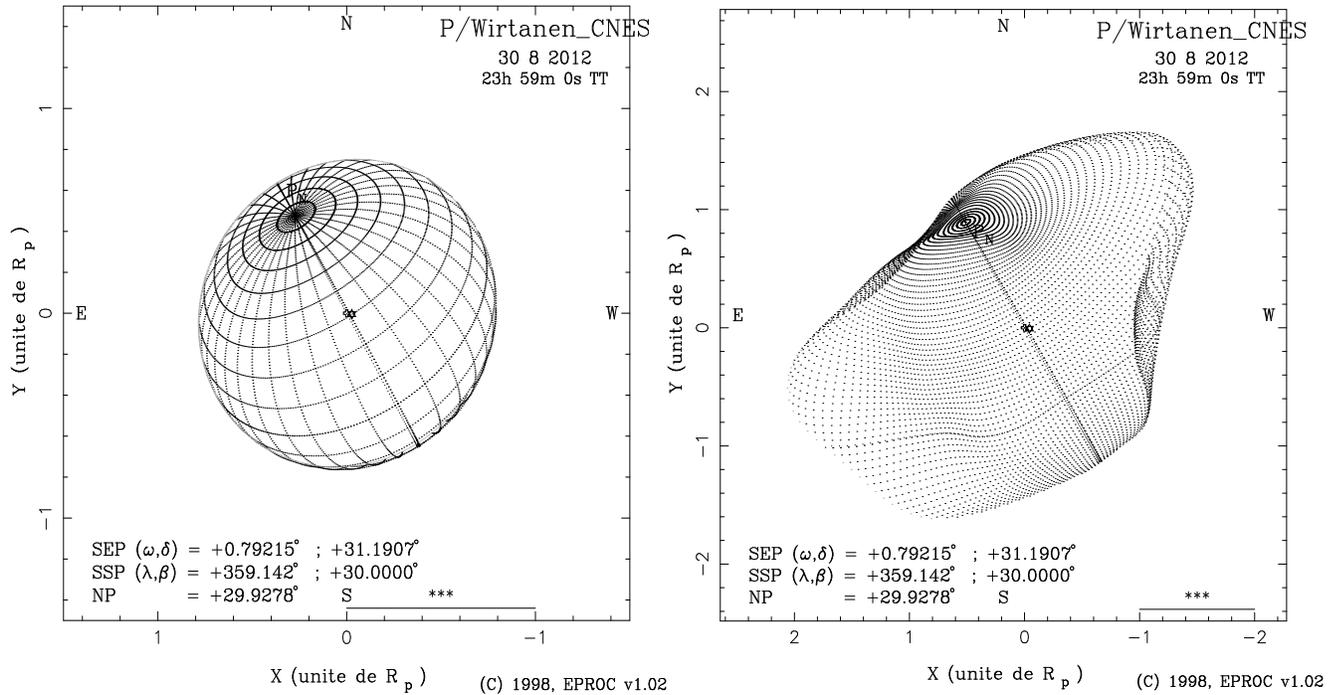


FIG. 4: Aspects de la comète 46P/Wirtanen depuis la sonde spatiale Rosetta le 30/08/2012 à 23<sup>h</sup> 59<sup>m</sup> TT (simulation)