



**HAL**  
open science

# Les répertoires informatiques permettant de construire les théories planétaires analytiques de l'IMCCE

J.-L Simon, G Francou

► **To cite this version:**

J.-L Simon, G Francou. Les répertoires informatiques permettant de construire les théories planétaires analytiques de l'IMCCE. Notes Scientifiques et Techniques de l'Institut de Mécanique Céleste, 2023. hal-04894440

**HAL Id: hal-04894440**

**<https://hal.science/hal-04894440v1>**

Submitted on 17 Jan 2025

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ISSN 1621-3823

ISBN 978-2-910015-88-6

---

*NOTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES  
DE L'INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE*

---

S111

**LES RÉPERTOIRES INFORMATIQUES PERMETTANT DE CONSTRUIRE  
LES THÉORIES PLANÉTAIRES ANALYTIQUES DE L'IMCCE**

**J.-L. Simon, G. Francou**



---

*Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides  
UMR 8028  
77, avenue Denfert-Rochereau  
F-75014 Paris*

Novembre 2023

© IMCCE, Paris, 2023  
ISSN 1621-3823  
ISBN 978-2-910015-88-6

## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Introduction .....   | 5  |
| 1. Le répertoire CONSTRUCTION_VSOP.....                      | 5  |
| 1.1. Le sous-répertoire 0_FICHIERS INITIAUX.....             | 5  |
| 1.2. Le sous-répertoire 1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF .....     | 7  |
| 1.2.1. Le sous-répertoire 1_INPOP10a.....                    | 7  |
| 1.2.2. Le sous-répertoire 2_J2_SOLAIRE.....                  | 8  |
| 1.2.3. Le sous-répertoire 3_ASTEROIDES.....                  | 8  |
| 1.3. Le sous-répertoire 2_PROCESSUS_ITERATIF .....           | 10 |
| 1.4. Le sous-répertoire 3_SOLUTION_COMPLETEE_CORRIGEE .....  | 15 |
| 1.4.1. Le sous-répertoire 1_SOLUTION_COMPLETEE .....         | 15 |
| 1.4.2. Le sous-répertoire 2_MOINDRES_CARRES .....            | 18 |
| 1.4.3. Le sous-répertoire 3_CORRIGVSOP.....                  | 20 |
| 1.4.4. Le sous-répertoire 4_CORRIGVSOPJSTOP .....            | 20 |
| 1.4.5. Le sous-répertoire 5_FINALISATION.....                | 22 |
| 1.5. Le sous-répertoire 4_VSOP2013 .....                     | 25 |
| 2. Le répertoire CONSTRUCTION_TOP.....                       | 26 |
| 2.1. Le sous-répertoire 1_GROSSES_PLANETES.....              | 26 |
| 2.1.1. Le sous-répertoire 1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF .....   | 26 |
| 2.1.2. Le sous-répertoire 2_PROCESSUS_ITERATIF .....         | 28 |
| 2.1.3. Le sous-répertoire 3_SOLUTION_COMPLETEE_CORRIGEE..... | 35 |
| 2.1.4. Le sous-répertoire 4_TOP2013 .....                    | 42 |
| 2.2. Le sous-répertoire 2_PLUTON.....                        | 43 |
| 2.2.1. Le sous-répertoire 1_PREMIERORDRE.....                | 43 |
| 2.2.2. Le sous-répertoire 2_THEORIE.....                     | 44 |
| 3. Construction de nouvelles théories planétaires .....      | 56 |
| 3.1. Construction d'une nouvelle solution VSOP .....         | 56 |
| 3.2. Construction d'une nouvelle solution TOP .....          | 57 |
| Conclusion.....  | 59 |
| Bibliographie .....  | 59 |



## Introduction

Cette note scientifique et technique décrit les deux répertoires informatiques CONSTRUCTION\_VSOP et CONSTRUCTION\_TOP. Ces répertoires regroupent les programmes permettant de construire les théories planétaires analytiques de l'IMCCE, VSOP2013 et TOP2013 (Simon et al., 2013) ajustées à l'intégration numérique INPOP10a (Fienga et al., 2011). Ils appliquent les marches à suivre décrites aux paragraphes 7.7, 8.6 et 9.7 de la note scientifique de l'IMCCE S103 (Simon et Francou, 2016). Cette note contient trois sections, la première se rapporte au répertoire CONSTRUCTION\_VSOP, la deuxième au répertoire CONSTRUCTION\_TOP et la troisième explique comment, partant des solutions VSOP2013 et TOP2013, on peut construire de nouvelles solutions ajustées à de nouvelles intégrations numériques. Les deux premières sections ont été rédigées à partir des ALIRE des sous-répertoires des deux répertoires informatiques considérés.

Notons que le contenu de cette note aurait dû faire l'objet de l'annexe de la note scientifique de l'IMCCE S103, mais, à l'époque, suite au plantage général du système informatique de l'IMCCE, ces deux répertoires étaient perdus. Ils ont été récupérés en 2018, grâce à Mickaël Gastineau.

## 1. LE RÉPERTOIRE CONSTRUCTION\_VSOP

Le répertoire CONSTRUCTION\_VSOP contient toutes les étapes permettant de passer d'une itération  $n - 1$  à une itération  $n$ . On l'applique ici au passage de l'avant-dernière itération (septième itération) à la dernière itération (huitième itération) du processus itératif utilisé pour construire VSOP2013 et aboutir ainsi à la forme finale de la solution VSOP2013 du mouvement des planètes Mercure, Vénus, Barycentre Terre-Lune, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et de la planète naine Pluton.

Ces étapes sont décrites dans les chapitres 5, 6 et 7 de la note scientifique et technique de l'IMCCE S103.

Ce répertoire contient 5 sous-répertoires :

- 0\_FICHIERS\_INITIAUX
- 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF
- 2\_PROCESSUS\_ITERATIF
- 3\_SOLUTION\_COMPLETEE\_CORRIGEE
- 4\_VSOP2013.

Rappelons que la construction de la solution VSOP2013 est la continuation des travaux que P. Bretagnon avait entrepris avant son décès en 2002.

### 1.1. LE SOUS-RÉPERTOIRE 0\_FICHIERS\_INITIAUX

Le sous-répertoire 0\_FICHIERS\_INITIAUX contient des fichiers de données nécessaires à la construction de la solution de VSOP2013. Ce sont les fichiers suivants.

#### 1) Fichier de405ell.sequ

Ce fichier contient les éléments elliptiques ( $a, \lambda, k, h, q, p$ ) de l'intégration numérique du JPL, DE405 (Standish, 1998) pour les huit planètes et la planète naine Pluton pour 2001 dates espacées de -20 jours à partir de J2000. Il est utilisé dans le programme diffipop405.f du sous-répertoire 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/1\_INPOP10a.

2) *Fichiers correspondant à INPOP10a* (fournis par Hervé Manche en 2012)

- fichiers correspondant aux planètes, Pluton, la Lune, le Soleil et la libration lunaire
- *inpop102001.data* : 2001 dates espacées de -20 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [1890, 2000],
- *inpop102001.datafutur* : 2001 dates espacées de +20 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [2000, 2110],
- *inpop105501.data* : 5501 dates espacées de -400 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [-4000, +2000],
- *inpop105501.datafutur* : 5501 dates espacées de +400 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [2000, +8000].
- fichiers correspondant aux 165 astéroïdes de INPOP10a
- *F5* : 2001 dates espacées de -20 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [1890, 2000],
- *F6* : 2001 dates espacées de +20 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [2000, 2110],
- *F7* : 5501 dates espacées de -400 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [-4000, +2000],
- *F8* : 5501 dates espacées de +400 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [2000, +8000].
- *F9* : fichier correspondant aux constantes utilisées dans INPOP10a.

Certains de ces fichiers sont utilisés dans des programmes du sous-répertoire

1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/1\_INPOP10a.

3) *Fichiers nécessaires au processus itératif*

Ces fichiers sont utilisés dans des programmes du sous-répertoire 2\_PROCESSUS\_ITERATIF. Ce sont :

- *pr2.iter7*, résultat de l'itération 7 dans la construction de VSOP2013 ; ce fichier est utilisé dans les programmes *pr1.f*, *pr2.f*, *pr3.f*, *pr4.f*, *pr6.f*.
- *constantes.iter7*, fichier des constantes et moyens mouvements moyens de l'itération 7 ; il est utilisé dans les programmes *pr1.f*, *pr2.f*, *pr3.f*, *pr4.f*, *pr6.f*.
- *lunexyz85403.j2000*, fichier contenant les séries des variables X,Y,Z de la Lune par rapport à l'écliptique J2000 issues de la solution du mouvement de la Lune ELP2000 (Chapront-Touze et Chapront, 1983) et mises sous forme de séries de Poisson par P. Bretagnon ; il est utilisé dans le programme *pr3.f*.
- *pr6.outiter7prov*, fichier contenant la différence entre les itérations 7 et 6 ; il contient les termes qu'il faut ajouter à ceux du fichier *pr2.iter6* pour obtenir ceux du fichier *pr2.iter7*. Il est utilisé dans le programme *difprov.f*, après exécution du programme *pr6.f*.

4) *Fichiers créés dans la construction de TOP2013*

- *subgpplumu.data*, fichier issu de TOP2013 et contenant la substitution numérique des perturbations de Pluton sur les quatre grosses planètes sur l'intervalle [1890, 2000] ; il est utilisé dans le programme *ctevsop.f* du sous-répertoire 2\_PROCESSUS\_ITERATIF.
- *gpplutonmu.data*, fichier issu de TOP2013 et contenant les perturbations de Pluton sur les quatre grosses planètes sous la forme de séries de Poisson de l'argument  $\mu$  de TOP2013 ; il est utilisé dans le programme *codepluton.f* du sous-répertoire 3\_SOLUTION\_COMPLETEE\_CORRIGEE/1\_SOLUTION\_COMPLETEE.
- *pplutontop2013.data* et *iplutontop2013.data*, fichiers issus de TOP2013 et représentant la solution du mouvement de Pluton sous la forme de séries de Poisson de  $\mu$ .

## 1.2. LE SOUS-RÉPERTOIRE 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF

Le sous-répertoire 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF se rapporte aux calculs faits antérieurement au processus itératif qui sont décrits dans le paragraphe 7.7.1 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

Il contient les fichiers construits à partir de INPOP10a :

- *inpop10ell14corps2001.data*, éléments elliptiques écliptiques issus de INPOP10a pour les huit planètes, Pluton et les 5 gros astéroïdes Vesta, Iris, Bamberga, Cérés et Pallas, pour 2001 dates espacées de -20 jours à partir de J2000, correspondant à l'intervalle de temps [1890, 2000],
- *inpop10ell11001.data*, éléments elliptiques écliptiques issus de INPOP10a pour les huit planètes et Pluton, pour 11001 dates espacées de 400 jours, correspondant à l'intervalle de temps [-4000, 8000].

Il contient les sous-répertoires suivants :

- 1\_INPOP10a
- 2\_J2SOLAIRE
- 3\_ASTEROIDES

### 1.2.1. Le sous-répertoire 1\_INPOP10a

Le sous-répertoire 1\_INPOP10a contient les programmes permettant de calculer les coordonnées elliptiques des planètes et de Pluton issues de INPOP10a, ainsi que l'orientation de INPOP10a.

- Programme *inpopell.f* : calcul des coordonnées elliptiques INPOP10a des planètes et de Pluton sur [1890, 2000] ou [2000, 2110] à partir de leurs coordonnées rectangulaires.
- Programme *diffinpop405.f* : calcul des différences entre les éléments elliptiques de DE405 et ceux de INPOP10a (en particulier p et q du BTL).
- Programme *inpopell5501.f* : calcul des coordonnées elliptiques INPOP10a des planètes et de Pluton sur [-4000, +2000] ou [2000, 8000] à partir de leurs coordonnées rectangulaires.
- Programme *inpopell4001.f* : regroupement des coordonnées elliptiques INPOP10a des planètes et de Pluton en un seul fichier sur [1890, 2110].
- Programme *inpopell11001.f* : regroupement des coordonnées elliptiques INPOP10a des planètes et de Pluton en un seul fichier sur [-4000, +8000].
- Programme *extracaster.f* : extraction des coordonnées rectangulaires INPOP10a correspondant aux astéroïdes.
- Programme *inpopasterell.f* : calcul des coordonnées elliptiques INPOP10a des cinq gros astéroïdes sur [1890, 2000] ou [2000, 2110] à partir des coordonnées rectangulaires.
- Programme *inpop14corpsell.f* : rassemblement des coordonnées elliptiques INPOP10a des planètes, Pluton et des cinq gros astéroïdes avec un fichier sur [1890, 2000] et un fichier sur [2000, 2110].

Le ALIRE de ce sous-repertoire (fichier ALIRE-INPOP10a.txt) donne la marche à suivre pour :

- calculer l'orientation de INPOP10a à l'aide des programmes *inpopell.f* et *diffinpop405.f*, conformément à la méthode donnée dans le paragraphe 6.2 de la note scientifique de l'IMCCE S103 ;
- créer, à l'aide du programme *inpopell.f*, les fichiers *inpop10ell2001.data* et *inpop10ell2001.datafutur* qui donnent les éléments elliptiques a,  $\lambda$ , k, h, q, p des huit planètes et Pluton issus de INPOP10a sur, respectivement, l'intervalle [1890, 2000] pour 2001 dates espacées de -20 jours à partir de J2000 et l'intervalle [2000, 2110] pour 2001 dates espacées de 20 jours à partir de J2000 ;
- créer, à l'aide des programmes *inpopell5501.f* et *inpopell11001.f*, le fichier *inpop10ell11001.data* qui donne les éléments elliptiques des huit planètes et Pluton issus de INPOP10a pour 11001 dates espacées de 400 jours sur l'intervalle [-4000, +8000] ;

- créer, à l'aide des programmes *extracaster.f*, *inpopasterell.f* et *inpop14corpsell.f*, le fichier *inpop10ell14corps2001.data* qui donne les éléments elliptiques issus de INPOP10a des 14 corps Mercure, Vénus, Barycentre Terre-Lune (BTL), Mars, Vesta, Iris, Bamberga, Cérès, Pallas, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton sur [1890, 2000] pour 2001 dates espacées de -20 jours à partir de J2000.

Les fichiers *inpop10ell14corps2001.data* et *inpop10ell11001.data* sont ensuite envoyés dans le sous-répertoire précédent : ../1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF.

### 1.2.2. Le sous-répertoire 2\_J2\_SOLAIRE

Le sous-répertoire 2\_J2\_SOLAIRE contient les programmes permettant de calculer les termes séculaires dus au  $J_2$  solaire pour les variables k, h, q, p des planètes Mercure, Vénus, BTL et Mars. Ces termes séculaires sont calculés à partir des formules de la page 47 de la thèse de Valery Lainey (2002).

*Les programmes*

Ce sont les programmes *j2smmercure.f*, *j2svenus.f*, *j2sterre.f*, *j2smars.f*.

Ils sont appelés par :

`j2smmercure > j2smmercure.out`, `j2svenus > j2svenus.out`, `j2sterre > j2sterre.out`, `j2smars > j2smars.out`.

*Les résultats*

Les résultats sont donnés à la fin des fichiers de sortie .out, sous le titre "résultats termes séculaires J2solaire"

Pour chaque planète :

- la première ligne donne les termes séculaires des variables k et h, dus au  $J_2$  solaire pour les quatre planètes,
- la deuxième ligne donne les termes séculaires des variables q et p, dus au  $J_2$  solaire pour les quatre planètes.

Ces résultats seront :

- mis en clair dans le programme de calcul des constantes d'intégration par le programme *ctevsop.f* du sous-répertoire ../2\_PROCESSUS\_ITERATIF ;
- ajoutés aux termes séculaires des variables k, h, q, p des quatre planètes lors de la constitution de la solution finale dans le sous-répertoire ../3\_SOLUTION\_COMPLETEE\_CORRIGEE/1\_SOLUTION\_COMPLETEE.

### 1.2.3. Le sous-répertoire 3\_ASTEROIDES

Le sous-répertoire 3\_ASTEROIDES se rapporte au calcul des perturbations au premier ordre des masses des astéroïdes de INPOP10a sur les planètes. Ces perturbations seront utilisées aussi bien pour construire VSOP2013 que TOP2013. Ces perturbations auront la forme de séries de Poisson de l'argument  $\mu$ , argument des séries de Poisson de TOP2013.

Pour construire VSOP2013, il faut calculer les perturbations dues aux 160 petits astéroïdes de INPOP10a autres que les cinq gros astéroïdes Vesta, Iris, Bamberga, Cérès, Pallas.

Pour construire TOP2013, il faut calculer les perturbations dues aux 165 astéroïdes de INPOP10a.

Les calculs s'effectuent à l'aide des programmes suivants.

- *Programmes de calcul des constantes J2000 des éléments elliptiques des astéroïdes de INPOP10a*
  - Programme *cteasterell.f*: calcul des valeurs moyennes, sur l'intervalle de temps [1890, 2000], des éléments elliptiques des 160 petits astéroïdes de INPOP10a et calcul de leurs moyens mouvements moyens. Ces calculs s'effectuent à partir du fichier *F5* du sous-répertoire ../1\_INPOP10a/0\_FICHIERS\_INITIAUX. Les résultats sont donnés dans le fichier *ctes160aster.data*.
  - Programme *cte165asterell.f*: même calcul que le programme précédent mais pour les 165 astéroïdes de INPOP10a. Le fichier résultat est *ctes165aster.data*.

- Programmes de calcul des perturbations au premier ordre des masses des 160 petits astéroïdes de INPOP10a sur les huit planètes

Ce sont les programmes *harmopremieroastmer.f*, *harmopremieroastven.f*, *harmopremieroastter.f*, *harmopremieroastmar.f*, *harmopremieroastjup.f*, *harmopremieroastsat.f*, *harmopremieroastura.f*, *harmopremieroastnep.f*.

Ces programmes calculent les perturbations au premier ordre des masses des astéroïdes sur, respectivement, Mercure, Vénus, BTL, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, sous forme de séries de Poisson de l'argument  $\mu$ .

Pour chaque programme, les constantes elliptiques des astéroïdes sont issues du fichier *ctes160aster.data*, celles de la planète, issues d'un stade avancé de VSOP2013, sont en clair dans le programme.

Les fichiers de sortie sont conformes à l'organisation de TOP2013. Ce sont les fichiers :

- *mer160aster.data* et *imer160aster.data*,
- *ven160aster.data* et *iven160aster.data*,
- *ter160aster.data* et *iter160aster.data*,
- *mar160aster.data* et *imar160aster.data*,
- *jup160aster.data* et *ijup160aster.data*,
- *sat160aster.data* et *isat160aster.data*,
- *ura160aster.data* et *iura160aster.data*,
- *nep160aster.data* et *inep160aster.data*.

Ces fichiers vont être utilisés pour la construction de VSOP2013.

- Programmes de calcul des perturbations au premier ordre des masses des 165 astéroïdes de INPOP10a sur les quatre grosses planètes

Ce sont les programmes *harmopremieroastjuptop.f*, *harmopremieroastsattop.f*, *harmopremieroasturatop.f*, *harmopremieroastneptop.f*.

Ces programmes calculent les perturbations au premier ordre des masses des astéroïdes sur Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, respectivement, sous forme de séries de Poisson de l'argument  $\mu$ .

Pour chaque programme, les constantes elliptiques des astéroïdes sont issues du fichier *ctes165aster.data*, celles de la planète, issues d'un stade avancé de VSOP2013, sont en clair dans le programme.

Les fichiers de sortie sont :

- *jup165aster.data* et *ijup165aster.data*,
- *sat165aster.data* et *isat165aster.data*,
- *ura165aster.data* et *iura165aster.data*,
- *nep165aster.data* et *inep165aster.data*.

Ces fichiers vont être utilisés pour la construction de TOP2013.

- Programmes de calcul des perturbations au premier ordre des masses des 165 astéroïdes de INPOP10a sur Pluton.

- Programme *harmopremieroastplutopnu.f* : calcul des perturbations des 165 astéroïdes de INPOP10a sur Pluton sous forme de séries de Poisson de  $\nu$ , argument utilisé, dans un premier temps, pour la construction de la théorie du mouvement de Pluton,
- Programme *harmopremieroastplutop.f* : calcul des perturbations des 165 astéroïdes de INPOP10a sur Pluton sous forme de séries de Poisson de  $\mu$ .

Dans ces deux programmes, les constantes elliptiques des astéroïdes sont issues du fichier *ctes165aster.data*, celles de Pluton sont les constantes de la planète à un stade avancé de la solution de son mouvement. Les calculs sont effectués avec les valeurs finales de  $\mu$  et  $\nu$ . Mais il faut noter que les calculs effectués avec des valeurs antérieures de ces arguments et des constantes donnent pratiquement les mêmes résultats.

Les fichiers de sortie correspondant à ces deux programmes sont *pluton165aster.datanu* et *ipluton165aster.datanu* pour *harmopremieroastplutopnu.f* et *pluton165aster.data* et *ipluton165aster.data* pour *harmopremieroastplutop.f*.

- *Programmes de substitutions numériques sur [1890, 2000]*

Ces programmes calculent les perturbations des 160 petits astéroïdes sur les huit planètes pour 2001 dates espacées de -20 jours sur l'intervalle [1890, 2000]. Ce sont les programmes *submer160aster.f*, *subven160aster.f*, *subter160aster.f*, *submar160aster.f*, *subjup160aster.f*, *subsat160aster.f*, *subura160aster.f* et *subnep160aster.f*.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers créés lors du calcul des perturbations au premier ordre des masses des perturbations des astéroïdes sur les huit planètes sous forme de séries de Poisson de  $\mu$ .

Les fichiers de sortie sont, respectivement, *submer160aster.data*, *subven160aster.data*, *subter160aster.data*, *submar160aster.data*, *subjup160aster.data*, *subsat160aster.data*, *subura160aster.data* et *subnep160aster.data*.

- *Programmes de substitutions numériques sur [-4000, +8000]*

Ces programmes calculent les perturbations des 160 petits astéroïdes sur les huit planètes pour 11001 dates espacées de 400 jours sur l'intervalle [-4000, +8000]. Ce sont les programmes *submer160aster11001.f*, *subven160aster11001.f*, *subter160aster11001.f*, *submar160aster11001.f*, *subjup160aster11001.f*, *subsat160aster11001.f*, *subura160aster11001.f* et *subnep160aster11001.f*.

Les fichiers d'entrée sont les mêmes que pour les programmes précédents.

Les fichiers de sortie sont, respectivement, *submer160aster11001.data*, *subven160aster11001.data*, *subter160aster11001.data*, *submar160aster11001.data*, *subjup160aster11001.data*, *subsat160aster11001.data*, *subura160aster11001.data* et *subnep160aster11001.data*.

- *Remarque*

Comme expliqué dans le ALIRE de ce sous-répertoire (fichier ALIRE-ASTEROIDES.txt), nous avons fait une erreur dans le programme *harmopremieroastmar.f*, lors de la construction de VSOP2013. Cette erreur était inférieure à la précision de la solution du mouvement de Mars. Nous l'avons corrigée ici. Il en résulte que la solution du mouvement de Mars que nous allons obtenir sera légèrement différente de celle de VSOP2013.

### 1.3. LE SOUS-RÉPERTOIRE 2\_PROCESSUS\_ITERATIF

Le sous-répertoire 2.PROCESSUS\_ITERATIF contient les programmes qui permettent de calculer, à partir de l'itération 7, l'itération 8 qui est la dernière effectuée dans la construction de la solution VSOP2013. Les calculs sont décrits dans le paragraphe 7.1 de la note scientifique de l'IMCCE S103. Le résultat de l'itération 8 est écrit dans le fichier *pr2.iter8*.

La méthode itérative pour construire les théories VSOP est due à P. Bretagnon (*cf.* Bretagnon, 1982 ; Moisson et Bretagnon, 2001). Initialement, elle s'appliquait aux 14 corps : Mercure, Vénus, Barycentre Terre-Lune (BTL), Mars, Vesta, Iris, Bamberga, Cérès, Pallas, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton. Mais l'impossibilité de construire une théorie du mouvement de Pluton par cette méthode a conduit à prendre la masse de Pluton égale à zéro. Par ailleurs, on ne prend pas en compte les perturbations des cinq gros astéroïdes entre eux. On n'a donc que 81 couples de planètes à étudier (68 sans Pluton).

Ce sous-répertoire contient également les programmes correspondant au processus itératif restreint où les perturbations des planètes telluriques sur les quatre grosses planètes ne sont pas prises en compte. Ces programmes ne concernent pas la solution VSOP2013 mais ils sont utilisés pour la construction de la solution TOP2013

Ce sous-répertoire contient les programmes suivants.

- Programme *pr0.f*.

Ce programme calcule les précisions pour les 81 couples des 14 corps. Ce programme est lancé avec la commande : *pr0 < pr0.in > pr0.out*.

Le fichier d'entrée *pr0.in* contient, pour chaque couple de planètes les fréquences (rad/1000) des "petits diviseurs" et les précisions de départ choisies par P. Bretagnon. Les précisions calculées sont données dans le fichier *pr0.out*. Leurs valeurs figurent dans le BLOCK DATA du programme *pr1.f* et sont

introduites dans le programme *pr2.f*. Si on veut changer la précision correspondant à un couple de planètes, il suffit de changer dans le fichier d'entrée *pr0.in* la valeur de la précision de départ pour le couple. On peut aussi changer globalement la précision pour tous les couples en changeant, dans le programme, le facteur de précision global *fact*.

- Programme *pr1.f*.

Ce programme calcule et sauvegarde 27 séries intermédiaires correspondant aux 13 corps étudiés (Pluton n'étant pas pris en compte) qui vont servir au calcul des perturbations. Ces 27 séries sont décrites dans les paragraphes 4.3.6 et 7.1 de la note scientifique S103.

Ce programme est lancé avec la commande : *pr1 > pr1.outiter8*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *../0\_FICHIERS\_INITIAUX/pr2.iter7*,
- *../0\_FICHIERS\_INITIAUX/constant.es.iter7*.

Ce programme utilise aussi le fichier de manœuvre : *pr1.man*.

Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier : *pr1.paracomm*.

Les fichiers créés sont :

- *pr1.appriter8* : 27 séries intermédiaires pour l'itération 8,
- *pr1.itabiter8* : table des numéros d'enregistrement des 27 séries de Poisson du fichier *pr1.appriter8*.

Sauf modification, les calculs sont faits avec des précisions obtenues à partir des tableaux *div* et *sdm* issus de *pr0.in* et des tableaux *dpre*, *dpra*, *dpr* et *dphk* issus de *pr0.out*. Nous avons été amenés à faire quelques corrections pour Uranus suivant les indications données dans le BLOCK DATA.

- Programme *pr2.f*.

Ce programme calcule les perturbations des 68 couples correspondant aux 13 corps étudiés en utilisant les 27 séries intermédiaires calculées par *pr1.f*.

Il est lancé avec la commande :

*pr2 < pr0.in > pr2.outiter8*, où *pr0.in* est le fichier créé par le programme *pr0.f*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *../0\_FICHIERS\_INITIAUX/pr2.iter7*,
- *../0\_FICHIERS\_INITIAUX/constant.es.iter7*,
- *pr1.appriter8* et *pr1.itabiter8* créés par *pr1.f*.

Ce programme utilise aussi le fichier de manœuvre *pr2.man*.

Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier : *pr2.paracomm*.

Les fichiers créés sont :

- *pr2.iter8* : itération 8,
- *pr2.dterreiter8* : séries 1/DeltaTP pour chaque couple Terre-Planète.

- Programme *pr2sansptel.f*.

Ce programme est une version du programme *pr2.f*, où les perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes ne sont pas prises en compte.

Il est lancé avec la commande : *pr2sansptel < pr0.in > pr2sansptel.outiter8*.

Les fichiers d'entrée sont les mêmes que dans le programme *pr2.f*.

Les fichiers de sortie sont :

- *pr2.iter8sansptel* : itération 8, sans les perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes,
- *pr2.dterreiter8sansptel* : séries 1/DeltaTP pour chaque couple Terre-Planète. Ce fichier ne sert à rien car, les perturbations de la Lune sur les grosses planètes étant très petites et inférieures à la précision de la théorie, on ne les prend pas en compte dans la construction de TOP2013.

- Programme *pr3.f*.

Ce programme calcule les perturbations de la Lune sur les huit planètes.

Il est lancé avec la commande : *pr3 > pr3.outiter8*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *../0\_FICHIERS\_INITIAUX/pr2.iter7*,

- .././0\_FICHIERS\_INITIAUX/*constantes.iter7*,
- .././0\_FICHIERS\_INITIAUX/*lunexyz85403.j2000*
- *pr1.appriter8* et *pr1.itabiter8* créés par *pr1.f*,
- *pr2.dterreiter8* créé par *pr2.f*.

Ce programme envoie aussi des résultats intermédiaires sur le fichier de manœuvre *pr3.man*.

Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier *pr3.paracomm*.

Le fichier créé est : *pr3.luneiter8* (perturbations de la Lune).

- Programme *pr4.f*.

Ce programme :

- additionne les perturbations de la Lune sur les huit planètes calculées par *pr3.f*, aux perturbations calculées par *pr2.f*,
- calcule les perturbations de la longitude moyenne provenant de la double intégration des perturbations du moyen mouvement.

Il est lancé avec la commande : *pr4 > pr4.outiter8*.

Les fichiers d'entrée sont :

- .././0\_FICHIERS\_INITIAUX/*pr2.iter7*,
- .././0\_FICHIERS\_INITIAUX/*constantes.iter7*,
- *pr2.iter8* créé par *pr2.f*,
- *pr3.luneiter8* créé par *pr3.f*.

Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier *pr4.paracomm*.

Le fichier de sortie est *pr2.iter8*, fichier créé par *pr2.f* et donc modifié par *pr4.f*.

- Programme *pr4sansptel.f*.

Ce programme est une version du programme *pr4.f*, où les perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes ne sont pas prises en compte.

Il est lancé avec la commande : *pr4sansptel > pr2sansptel.outiter8*.

Les fichiers d'entrée sont les mêmes que dans le programme *pr4.f*.

Le fichier de sortie est *pr2.iter8sansptel* qui représente donc le résultat de l'itération 8 pour la solution du mouvement des grosses planètes sans les perturbations par les planètes telluriques.

- Programme *pr6.f*.

Ce programme calcule les différences entre l'itération n et l'itération n-1, en l'occurrence, ici, entre l'itération 8 et l'itération 7.

Il est lancé avec la commande : *pr6 > pr6.outiter8prov*.

Les fichiers d'entrée sont :

- .././0\_FICHIERS\_INITIAUX/*pr2.iter7*,
- .././0\_FICHIERS\_INITIAUX/*constantes.iter7*,
- *pr2.iter8*, issu de *pr4.f*.

Le fichier de sortie *pr6.outiter8prov* est un fichier provisoire. Il correspond aux termes des séries de Poisson qu'il faut ajouter à ceux du fichier *pr2.iter7* pour obtenir ceux du fichier *pr2.iter8*.

Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier *pr6.paracomm*.

- Programme *pr6sansptel.f*.

Ce programme est analogue au programme *pr6.f*, mais on calcule les différences entre l'itération 8 sans les perturbations des planètes telluriques sur les quatre grosses planètes, créé dans *pr4sansptel.f* et l'itération 7 en se limitant uniquement aux grosses planètes.

Il est lancé avec la commande : *pr6sansptel > pr6sansptel.outiter8prov*.

Les deux premiers fichiers d'entrée sont les mêmes que dans le programme *pr6.f*.

Le troisième est le fichier *pr2.iter8sansptel* issu du programme *pr4sansptel.f*.

- Programme *difprov.f*.

Ce programme calcule la différence entre deux fichiers *.prov* successifs, en l'occurrence le fichier *pr6.outiter7prov* de l'itération 7 et le fichier *pr6.outiter8prov* de l'itération 8.

Il est lancé avec la commande : *difprov > difprov.out*.

- Les fichiers d'entrée sont :
- ../0.FICHIERS\_INITIAUX/*pr6.outiter7prov* ,
  - *pr6.outiter8prov* ,
- Le fichier de sortie est *fiter8.dif* .
- Ce fichier de sortie donne, pour chaque puissance du temps, chaque variable et chaque corps :
- les composantes des termes,
  - la période du terme,
  - les coefficients des sinus et cosinus  $s_n$  et  $c_n$  pour l'itération n,
  - les rapports  $r_s = s_n/s_{n-1}$  et  $r_c = c_n/c_{n-1}$ .
- Quand le terme de l'itération n n'existe pas dans l'itération n-1, ces rapports sont remplacés par la mention "nouveau".
- Programme *difprovsansptel.f*.  
Ce programme est analogue au programme *difprov.f* mais effectue les comparaisons uniquement pour les quatre grosses planètes.  
Il est lancé avec la commande : *difprovsansptel > difprovsansptel.out*.  
Les fichiers d'entrée sont :
    - ../0.FICHIERS\_INITIAUX/*pr6.outiter7prov*,
    - *pr6sansptel.outiter8prov*,
 Le fichier de sortie est *fiter8sansptel.dif*.
  - *Création des fichiers des différences*  
À partir des fichiers *pr6.outiter8prov* et *fiter8.dif* et des fichiers *pr6.outiter8provsansptel* et *fiter8sansptel.dif*, on crée, respectivement, les nouveaux fichiers des différences *pr6.outiter8* et *pr6sansptel.outiter8*, comme expliqué dans la rubrique *Correction manuelle du fichier des différences* du ALIRE du sous-répertoire 2.PROCESSUS\_ITERATIF (fichier ALIRE-PROCESSUS\_ITERATIF.txt).
  - Programme *proverif.f*  
Ce programme compare *pr6.outiter8* avec *pr6.outiter8prov* pour vérifier que les corrections manuelles effectuées sur le fichier des différences entre deux itérations successives, créé par *pr6.f* (*pr6.outiter8*) ont été faites correctement.  
Il est lancé avec la commande : *proverif > proverif.out*.  
Les fichiers d'entrée sont :
    - *pr6.outiter8prov*, différences avant correction manuelle,
    - *pr6.outiter8*, différences après correction manuelle.
 Le programme crée deux fichiers de sortie :
    - *fiter8.bil* qui signale les termes gardés ou supprimés, ces derniers étant repérés par \$\$\$ en fin de ligne,
    - *fiter8.inc* qui indique qu'il y a dans *pr6.outiter8* des arguments inconnus dans le fichier *pr6.outiter8prov* ce qui signifie qu'il y a une erreur dans la création du fichier *pr6.outiter8* et qu'il faut revoir la correction manuelle de ce fichier.
  - Programme *pr7.f*  
Ce programme soustrait les corrections figurant dans le fichier *pr6.outiter8* aux résultats de l'itération 8 pour obtenir la version finale du fichier *pr2.iter8* correspondant à cette itération.  
Il est lancé avec la commande : *pr7 > pr7.outiter8*.  
Les fichiers d'entrée sont :
    - *pr2.iter8*, fichier créé par *pr4.f*
    - *pr6.outiter8*, fichier créé manuellement à partir du fichier *pr6.outiter8prov* créé dans *pr6.f*.
 Le fichier de sortie est *pr2.iter8*, fichier créé par *pr4.f* et modifié par *pr7.f*.  
Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier : *pr7.paracomm*.
  - Programme *pr7sansptel.f*  
Ce programme est une version de *pr7.f*, où on ne soustrait les corrections que pour les grosses planètes.  
Les fichiers d'entrée sont :

- *pr2.iter8sansptel*, fichier créé par *pr4sansptel.f*,
- *pr6sansptel.outiter8*, fichier créé manuellement à partir du fichier *pr6sansptel.outiter8prov* créé par *pr6sansptel.f*.

Le fichier de sortie est *pr2.iter8sansptel*.

- Programme *pr8.f*

Ce programme substitue le temps dans le fichier *pr2.iter8*, pour 2001 dates sur l'intervalle [1890,2000].

Cette substitution du temps permet de déterminer ensuite, avec le programme *ctevsop.f*, les constantes d'intégration et les moyens mouvements moyens des planètes.

Ce programme est exécuté deux fois, en alternance avec le programme *ctevsop.f* et est lancé avec les commandes :

- 1) au premier passage : `pr8 > pr8.outiter81`,
- 2) au deuxième passage : `pr8 > pr8.outiter82`.

Les fichiers d'entrée sont :

- 1) au premier passage :
  - `../0_FICHIERS_INITIAUX/pr2.iter7`,
  - `../0_FICHIERS_INITIAUX/constantes.iter7`,
  - *pr2.iter8* : fichier créé par *pr7.f*.
- 2) au deuxième passage :
  - *constantes.iter8prov*, fichier créé par *ctevsop.f* lors du premier passage,
  - *pr2.iter8*, fichier créé par *pr7.f*.

Les fichiers de sortie sont :

- 1) au premier passage : *pr8.subs81*,
- 2) au deuxième passage : *pr8.subs82*.

Un certain nombre de paramètres et de communs sont donnés dans le fichier : *pr8.paracomm*.

- Programme *ctevsop.f*

Ce programme détermine les constantes d'intégration et les moyens mouvements moyens des planètes, conformément aux indications du paragraphe 7.6.2 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

Il est exécuté deux fois, en alternance avec le programme *pr8.f* et est lancé avec les commandes :

- 1) au premier passage : `ctevsop > ctevsop.outiter81`,
- 2) au deuxième passage : `ctevsop > ctevsop.outiter82`.

Les fichiers d'entrée sont :

- 1) au premier passage seulement :
  - `../0_FICHIERS_INITIAUX/constantes.iter7`,
  - *pr8.subs81*, fichier créé lors du premier passage de *pr8.f*.
- 2) au deuxième passage seulement :
  - *constantes.iter8prov* créé lors du premier passage de *ctevsop.f*,
  - *pr8.subs82* : fichier créé lors du deuxième passage de *pr8.f*.
- 3) lors des deux passages :
  - deux fichiers issus du sous-répertoire `../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/` : *inpop10ell14corps2001.data* correspondant à la substitution numérique dans INPOP10a sur [1890, 2000] et *subgppplumu.data* correspondant à la substitution numérique des perturbations de Pluton sur les quatre grosses planètes sur ce même intervalle ;
  - les huit fichiers du sous-répertoire `../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/3_ASTEROIDES` correspondant aux perturbations des 160 petits astéroïdes sur les huit planètes ;
  - les perturbations dues au  $J_2$  solaire sont rentrées en clair dans le programme.

Les fichiers de sortie correspondent aux constantes et aux moyens mouvements moyens. Ce sont :

- au premier passage, *constantes.iter8prov*,
- au deuxième passage, *constantes.iter8*.

- Programme *difiteptel.f*

Ce programme calcule les perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes en faisant la différence entre une itération complète et l'itération effectuée sans prendre en compte les perturbations

des planètes telluriques sur les grosses planètes.

Il est lancé avec la commande : `difiteptel > difiteptel.outiter8`.

Les fichiers d'entrée sont :

- *constantes.iter8*, constantes d'intégration et moyens mouvements moyens correspondant à l'itération 8,
- *pr2.iter8*, correspondant à l'itération 8 complète,
- *pr2.iter8sansptel*, correspondant à l'itération 8 sans les perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes.

Le fichier de sortie est *perptel.data* qui donne les perturbations des planètes telluriques sous la forme classique des séries de Poisson des solutions VSOP.

- Programme *convdifiteptel.f*

Ce programme convertit le fichier *perptel.data* créé par *difiteptel.f*, en séries de Poisson de l'argument  $\mu$  de TOP2013.

Il est lancé avec la commande : `convdifiteptel > convdifiteptel.outiter8`.

Les fichiers d'entrée sont :

- *constantes.iter8*, constantes de l'itération 8,
- *perptel.data*, créé par *difiteptel.f*.

Le fichier de sortie est *perptel.datamu*. Ce fichier donne une estimation des perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes que l'on utilisera pour la construction de la solution TOP2013 comme expliqué dans le paragraphe 8.1.3 de la note IMCCE S103. Ce fichier est envoyé dans le sous-répertoire : `CONSTRUCTION.TOP/1.GROSSESPLANETES/1.AVANT.PROCESSUS.ITERATIF/`.

#### 1.4. LE SOUS-RÉPERTOIRE 3\_SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE

Le sous-répertoire 3\_SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE permet de compléter l'itération 8 et de la corriger conformément aux paragraphes 7.3, 7.4, 7.5 et 7.6 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

Il contient les 5 sous-répertoires suivants.

- 1.SOLUTION\_COMPLETE
- 2.MOINDRES\_CARRES
- 3.CORRIGVSOP
- 4.CORRIGVSOPJSTOP
- 5.FINALISATION

##### 1.4.1. Le sous-répertoire 1\_SOLUTION\_COMPLETE

Comme indiqué dans le préambule du ALIRE de ce sous-répertoire (fichier ALIRE-SOLUTIONCOMPLETE.txt), nous distinguerons deux formes différentes de représentation pour les séries de Poisson de VSOP :

- *La forme classique*

C'est celle qui correspond aux anciennes théories VSOP où les perturbations ont la forme de séries de Poisson des 16 arguments suivants (*cf.* le paragraphe 5.1 de la note scientifique de l'IMCCE S103) :

- les quatre longitudes moyennes moyennes des planètes telluriques,
- les cinq longitudes moyennes moyennes des cinq gros astéroïdes,
- les quatre longitudes moyennes moyennes des quatre grosses planètes,
- les trois arguments lunaires de Delaunay  $D, F, l$ .

- *La forme VSOP-Pluton*

Nous intégrons dans VSOP, les perturbations par les petits astéroïdes et Pluton ainsi que la théorie du mouvement de Pluton. Ce sont des séries de Poisson de l'argument  $\mu$  de TOP2013. Les nouvelles théories VSOP seront donc représentées par des séries de Poisson de 17 arguments, l'argument  $\mu$ , quatorzième argument, s'intercalant entre les quatre longitudes moyennes moyennes des grosses planètes et les trois arguments de Delaunay.

Ce sous-répertoire permet de construire la solution VSOP complète correspondant à une itération donnée. Cette construction se fait avec les étapes suivantes.

1) *Conversion sous la forme “VSOP-Pluton” de la solution VSOP sous la forme “classique”*

L'intégration de l'argument  $\mu$  dans la représentation des perturbations se fait en changeant le codage des arguments des séries par le

- Programme *codevsopluton.f*.  
Le fichier d'entrée est *pr2.iter8*, issu du sous repertoire *../2\_PROCESSUS\_ITERATIF*.  
Le fichier de sortie est *pr2.iter8plu* (solution sous la forme “VSOP-Pluton”).  
Ce programme est lancé avec la commande : *codevsopluton > codevsopluton.outiter8*.

2) *Conversion sous la forme “VSOP-Pluton” des perturbations dues aux petits astéroïdes*

Cette conversion se fait par le

- Programme *codeast.f*  
Les fichiers d'entrée sont les huit fichiers du sous-répertoire *../1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/3\_ASTEROIDES* correspondant aux perturbations des 160 petits astéroïdes sur les huit planètes.  
Le fichier de sortie est : *pr2.peraster*, perturbations dues aux astéroïdes sous la forme “VSOP-Pluton”.  
Ce sont des séries de Poisson des 17 arguments définis plus haut où, seuls, les multiples du quatorzième argument,  $\mu$ , sont différents de 0.

3) *Ajout des perturbations par les astéroïdes et le  $J_2$  solaire à la solution sous la forme “VSOP-Pluton”*

Cet ajout s'effectue par le

- Programme *addvsopasterj2s.f*  
On copie d'abord *pr2.iter8plu* en *pr2.iter8totalast*.  
Les fichiers d'entrée sont  
- *pr2.iter8plutotalast*,  
- *pr2.peraster*, issu du programme *codeast.f*.  
Les perturbations par le  $J_2$  solaire de INPOP10a sont écrites en clair dans le programme.  
Le fichier de sortie est : *pr2.iter8totalast*.  
Ce programme est lancé avec la commande : *addvsopasterj2s>addvsopasterj2s.outite8*.

4) *Conversion sous la forme “VSOP-Pluton” des perturbations dues à Pluton*

Cette conversion se fait par le

- Programme *codepluton.f*  
Le fichier d'entrée est *gpplutonmu.data*, issu du sous-répertoire *../0\_FICHIERS\_INITIAUX*. Il correspond aux perturbations de Pluton sur les quatre grosses planètes obtenues lors de la construction de TOP2013.  
Le fichier de sortie est : *pr2.gppluton*, perturbations dues à Pluton sous la forme “VSOP-Pluton”. Ce sont des séries de Poisson des 17 arguments définis plus haut où, seuls, les multiples du quatorzième argument,  $\mu$ , sont différents de 0.  
Ce programme est lancé avec la commande : *codepluton>codepluton.out*.

5) *Ajout des perturbations dues à Pluton, des constantes et des moyens mouvements moyens*

Cet ajout s'effectue par le

- Programme *addvsopluton.f*  
Les fichiers d'entrée sont :  
- *pr2iter8totalast*, créé par *addvsopasterj2s.f*,  
- *constantes.iter8* : constantes et moyens mouvements moyens correspondant à l'itération 8, issues du sous-répertoire *../2\_PROCESSUS\_ITERATIF*,  
- *pr2.gppluton*, créé par *codepluton.f*.

Le fichier de sortie est : *pr2.iter8totalpluast* qui représente la solution complète sous la forme “VSOP-Pluton”.

Ce programme est lancé avec la commande : `addvsoppluton>addvsoppluton.outite8`.

6) *Conversion sous la forme “VSOP-Pluton” de la solution du mouvement de Pluton issue de TOP2013*

Cette conversion est effectuée par le

- Programme *codethpluton.f*

Ce programme est lancé avec la commande : `codepthluton<in.codethpluton>codethpluton.out`.

Les noms des fichiers d’entrée (*pplutontop2013.data* et *iplutontop2013.data*) sont dans le fichier *in.codethpluton*. Ces fichiers sont issus de TOP2013.

Le fichier de sortie est : *vsop2013.pluton*. C’est la solution du mouvement de Pluton, sous la forme “VSOP-Pluton”. Elle est représentée par des séries de Poisson des 17 arguments définis plus haut où, seuls, les multiples du quatorzième argument,  $\mu$ , sont différents de 0.

7) *Substitution numérique dans la solution complète sur [1890, 2000]*

On substitue numériquement la solution pour 2001 dates de l’intervalle [1890, 2000] par le

- Programme *pr8vsoptotal.f*

Les fichiers d’entrée sont :

- *constantes.iter8* (constantes de l’itération 8),
- *pr2.iter8totalpluast* (solution complète).

Le fichier de sortie est *pr8.subs8totalpluast*.

Ce programme est lancé avec la commande : `pr8vsoptotal>pr8vsoptotal.out`.

8) *Comparaison de la solution complète à INPOP10a sur [1890, 2000]*

On compare la solution à INPOP10a sur l’intervalle [1890, 2000] avec le

- Programme *ctevsoptotal.f*

Les fichiers d’entrée sont :

- *pr8.subs8totalpluast*, substitution numérique issue de *pr8vsoptotal.f*,
- *constantes.iter8*, constantes de l’itération 8,
- *../1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/inpop10ell14corps2001.data*, substitution numérique dans INPOP10a.

Le fichier de sortie est *constantes.iter8new*. Il est très proche de *constantes.iter8*. Nous ne changeons donc pas les constantes de la solution qui restent représentées par le fichier *constantes.iter8*.

9) *Substitution numérique dans la solution complète sur [-4000, +8000]*

On substitue numériquement la solution pour 11001 dates de l’intervalle [-4000, +8000] par le

- Programme *pr8vsoptotal11001.f*

Les fichiers d’entrée sont :

- *constantes.iter8*,
- *pr2.iter8totalpluast*.

Le fichier de sortie est *pr8.subs8totalpluast11001*.

Ce programme est lancé avec la commande : `pr8vsoptotal11001>pr8vsoptotal11001.out`.

10) *Comparaison de la solution complète à INPOP10a sur [-4000, +8000]*

On compare la solution à INPOP10a sur l’intervalle [-4000, +8000] avec le

- Programme *difvsopinpop1011001.f*

Les fichiers d’entrée sont :

- *pr8.subs8totalpluast11001*, substitution numérique issue de *pr8vsoptotal11001.f*,
- *../1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/inpop10ell11001.data*, substitution numérique dans INPOP10a.

Les fichiers de sortie sont les fichiers séquentiels :

*merite8m6mp6msequ, venite8m6mp6msequ, terite8m6mp6msequ, marite8m6mp6msequ, jupite8m6mp6msequ, satite8m6mp6msequ, uraite8m6mp6msequ, nepite8m6mp6msequ.*

Ils vont être utilisés pour corriger certains termes séculaires par moindres carrés, dans le repertoire `../2_MOINDRE_CARRES`.

#### 11) Insertion de la solution du mouvement de Pluton dans VSOP

On insère la solution du mouvement de Pluton dans VSOP2013 par le

- Programme *inserplutonvsop.f*

On copie d'abord *pr2.iter8totalpluast* en *pr2.iter8totalvsoppluton*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *pr2.iter8totalvsoppluton*,
- *vsop2013.pluton*, issu de *codethpluton.f*.

Le fichier de sortie garde le même nom : *pr2.iter8totalvsoppluton*.

Ce programme est lancé avec la commande : `inserplutonvsop>inserplutonvsop.out`.

Notons que bon nombre de ces programmes utilisent des paramètres et des communs donnés dans les fichiers *addvsop.paracomm* ou *pr8.paracomm*.

### 1.4.2. Le sous-répertoire 2\_MOINDRES\_CARRES

Le sous-répertoire `2_MOINDRES_CARRES` contient les programmes permettant de corriger empiriquement certains termes séculaires par moindres carrés, à partir des comparaisons de la solution à INPOP10a sur  $[-4000, +8000]$ .

Ces programmes sont les suivants.

- Programme *mcardifmercure.f*

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques de Mercure :

- les termes en  $t^5, t^6$  de la longitude moyenne, ces corrections reviennent pratiquement à annuler les résultats trouvés lors du processus itératif ;
- les termes en  $t^4, t^5$  des variables  $k, h, q, p$ .

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/merite8m6mp6m.sequ`.

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifmercure>mcardifmercure.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifmercure.out*.

- Programme *mcardifvenus.f*

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques de Vénus :

- les termes en  $t^5, t^6$  du demi-grand axe ;
- les termes en  $t^5, t^6, t^7, t^8, t^9$  de la longitude moyenne, ces corrections reviennent pratiquement à annuler les résultats trouvés lors du processus itératif ;
- les termes en  $t^5, t^6$  des variables  $k, h, q$ .

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/venite8m6mp6m.sequ`.

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifvenus>mcardifvenus.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifvenus.out*.

- Programme *mcardifbt.f*

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques du barycentre Terre-Lune :

- le terme en  $t^8$  du demi-grand axe, cette correction revient pratiquement à annuler le terme trouvé lors du processus itératif ;
- les termes en  $t^5, t^6, t^7, t^8$  de la longitude moyenne, ces corrections reviennent pratiquement à annuler les résultats trouvés lors du processus itératif ;
- les termes en  $t^5, t^6, t^7$  des variables  $k, h, q$ .

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/terite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifbtl>mcardifbtl.out.`

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie `mcardifbtl.out.`

- Programme `mcardifmars.f`

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques de Mars :

- les termes en  $t^3, t^4, t^5, t^6, t^7, t^8, t^9$  de la longitude moyenne ;
- les termes en  $t^3, t^4$  des variables k et h ;
- les termes en  $t^4, t^5$  des variables q et p.

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/marite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifmars>mcardifmars.out.`

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie `mcardifmars.out.`

- Programme `mcardifjupiter.f`

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques de Jupiter :

- les termes en  $t^6, t^7$  de la variable k ;
- les termes en  $t^5, t^6$  de la variable h.

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/jupite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifjupiter>mcardifjupiter.out.`

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie `mcardifjupiter.out.`

- Programme `mcardifsaturne.f`

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques de Saturne :

- les termes en  $t^9, t^{10}$  de la variable k ;
- les termes en  $t^6, t^7, t^8$  de la variable h.

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/satite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifsaturne>mcardifsaturne.out.`

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie `mcardifsaturne.out.`

- Programme `mcardifuranus.f`

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques d'Uranus :

- les termes en  $t^3, t^4, t^5, t^6, t^7, t^8, t^9$  de la longitude moyenne.

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/uraite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifuranus>mcardifuranus.out.`

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie `mcardifuranus.out.`

- Programme `mcardifneptune.f`

Ce programme corrige quelques termes séculaires d'éléments elliptiques de Neptune :

- les termes en  $t^5, t^6, t^7$  de la longitude moyenne ;
- les termes en  $t^5, t^6$  des variables k, h, q, p.

Le fichier d'entrée est : `../1_SOLUTION_COMPLETE/nepite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifneptune>mcardifneptune.out.`

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie `mcardifneptune.out.`

Deux autres programmes permettent de corriger les longitudes moyennes de Jupiter et Saturne après la prise en compte des corrections provenant de TOP2013.

- Programme `mcardifjupiter2.f`

Ce programme corrige les termes en  $t^8, t^9, t^{10}, t^{11}$  de la longitude moyenne de Jupiter.

Le fichier d'entrée est : `../4_CORRIGVSOPJSTOP/jupite8m6mp6m.sequ.`

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifjupiter2>mcardifjupiter2.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifjupiter2.out*.

- Programme *mcardifsaturne2.f*

Ce programme corrige les termes en  $t^9, t^{10}, t^{11}, t^{12}$  de la longitude moyenne de Saturne.

Le fichier d'entrée est : `../4.CORRIGVSOPJSTOP/satite8m6mp6m.sequ`.

Le programme est lancé avec la commande : `mcardifsaturne2>mcardifsaturne2.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifsaturne2.out*.

### 1.4.3. Le sous-répertoire 3\_CORRIGVSOP

Le sous-répertoire 3\_CORRIGVSOP concerne l'introduction dans les séries de VSOP2013 des corrections de termes séculaires déterminées dans le sous-répertoire `../2.MOINDRES.CARRES`.

On copie d'abord la solution `../1.SOLUTION_COMPLETE/pr2.iter8totalvsopluton` dans le fichier *pr2.iter8totalvsop*.

On introduit ensuite les corrections issues de `../2.MOINDRES.CARRES` par le

- Programme *corrigvsoptotal.f*

*pr2.iter8totalvsop* est à la fois fichier d'entrée et de sortie.

Le programme est lancé par la commande : `corrigvsoptotal>corrigvsoptotal.out`.

Il utilise un certain nombre de paramètres et de communs donnés dans le fichier *addvsop.paracomm*.

Les corrections sont rentrées en clair dans le programme. Ce sont les corrections déterminées par les programmes *mcardifmercure.f*, *mcardifvenus.f*, *mcardifbtl.f*, *mcardifmars.f*, *mcardifjupiter.f*, *mcardifsaturne.f*, *mcardifuranus.f*, *mcardifneptune.f*, du sous-répertoire `../2.MOINDRES.CARRES`.

Ce sous-répertoire contient aussi les

- Programmes *pr8vsoptotal11001.f* et *difvsopinpop1011001.f*

Ces programmes sont analogues à ceux du même nom du sous-répertoire `../1.SOLUTION_COMPLETE`.

Ils substituent le temps dans le fichier *pr2iter8totalvsopt20* sur l'intervalle  $[-4000, +8000]$  et effectuent les comparaisons à la substitution numérique de INPOP10a sur ce même intervalle (voir les paragraphes 9 et 10 de la section 1.4.1).

La comparaison des résultats donnés par le programme *difvsopinpop1011001.f* avec ceux donnés par le programme du même nom du repertoire `../1.SOLUTION_COMPLETE` donne une estimation des améliorations apportées par ces corrections.

### 1.4.4. Le sous-répertoire 4\_CORRIGVSOPJSTOP

Le sous-répertoire 4\_CORRIGVSOPJSTOP contient les programmes permettant d'améliorer les développements de Poisson correspondant à certains arguments à moyenne période des demi-grands axes et longitudes moyennes de Jupiter et Saturne à partir des résultats de TOP2013 conformément au paragraphe 7.5 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

- Programme *cherarg.f*

Ce programme recherche les développements de Poisson issus de VSOP2013 pour les demi-grands axes et les longitudes moyennes de Jupiter et Saturne pour les 13 arguments considérés dans le paragraphe 7.5.5 de la note scientifique S103.

Le fichier d'entrée est le fichier *pr2.iter8totalvsop* du sous-répertoire `../3_CORRIGVSOP`.

Les 13 fichiers de sortie correspondant aux 13 arguments sont :

*aljs4m11p3.data*, *aljs2m6p3.data*, *aljs2m5.data*, *aljs6m16p3.data*, *aljs4m10.data*, *aljs8m21p3.data*,  
*aljs6m15.data*, *aljs8m20.data*, *aljs7m17.data*, *aljs5m12.data*, *aljs6m14.data*, *aljs4m9.data*,  
*aljs4m11p2p2.data*.

Le programme est lancé par la commande : `cherarg>cherarg.out`.

- Programme *lecargitealjs.f*

Ce programme lit les arguments multiples de  $\mu$  de TOP2013 correspondant aux 13 arguments considérés dans *cherarg.f*.

Les séries correspondant à TOP2013 sont représentées par les fichiers *ite37.data* et *jte37.data* du sous-répertoire 1\_GROSSES\_PLANETES/2\_PROCESSUS\_ITERATIF du répertoire CONSTRUCTION\_TOP. Les noms de ces fichiers et la liste des multiples de  $\mu$  à rechercher sont dans le fichier d'entrée : *in.lecargitealjs*.

Le fichier de sortie est : *argmualjstop2013.data*.

Le programme est lancé par la commande : `lecargitealjs<in.lecargitealjs>lecargitealjs.out`.

- Programme *convmuthclas.f*

Ce programme convertit les développements de TOP2103 en  $\mu$  en développements de Poisson en arguments classiques. Ces développements de Poisson vont jusqu'en  $t^{20}$ .

Le fichier d'entrée est *argmualjstop2013.data* créé par *lecargitealjs.f*.

Les 13 fichiers de sortie sont :

*aljstop4m11p3.data, aljstop2m6p3.data, aljstop2m5.data, aljstop6m16p3.data, aljstop4m10.data, aljstop8m21p3.data, aljsv6m15.data, aljsv8m20.data, aljstop7m17.data, aljstop5m12.data, aljstop6m14.data, aljstop4m9.data, aljstop4m11p2p2.data.*

Le programme est lancé par la commande : `convmutheclas>convmutheclas.out`.

- Programme *corriganjupsat.f*

Ce programme

- calcule les corrections sur les 13 arguments VSOP2013 considérés ;
- substitue numériquement ces corrections sur l'intervalle  $[-4000,+8000]$  ;
- ajoute ces substitutions numériques aux substitutions numériques de l'itération 8.

Les fichiers d'entrée sont

- les 13 fichiers correspondant aux développements provenant de VSOP2013, issus de *lecargitealjs.f*,
- les 13 fichiers correspondant aux développements provenant de TOP2013, issus de *convmuthclas.f*,
- les fichiers *jupite8m6mp6m.sequ* et *satite8m6mp6m.sequ*, issus du sous-répertoire *../3-CORRIGVSOP*.

Le fichier de sortie est le fichier séquentiel *aljscortop-6m+6m.sequ* qui donne les écarts avec INPOP10a des différences corrigées pour les 4 variables  $a_J, \lambda_J, a_S, \lambda_S$ .

Les valeurs des puissances du temps à partir desquelles on prend en compte les différences entre les développements provenant de TOP et ceux provenant de VSOP dépendent des 13 arguments et des 4 variables considérées. Elles sont données dans le tableau *itarg(13,4)*. Elles ont été choisies après de nombreux passages du programme en faisant varier les valeurs de ce tableau.

Le programme est lancé par la commande : `corriganjupsat>corriganjupsat.out`.

- Programme *writevsopttotalt20.f*

Ce programme met VSOP2013 sous la forme de séries de Poisson en  $t^{20}$ .

Le fichier d'entrée est *../3-CORRIGVSOP/pr2.iter8totalvsop*.

Le fichier de sortie est *pr2.iter8totalvsopt20*.

Le programme est lancé par la commande : `writevsopttotalt20>writevsopttotalt20.out`.

- Programme *difftopvsopargjupsat.f*

Ce programme met les corrections issues de TOP2013 sous forme de séries de Poisson en  $t^{20}$  dans le codage VSOP.

Les fichiers d'entrée sont

- les 13 fichiers correspondant aux développements provenant de VSOP2013, issus de *lecargitealjs.f*,
- les 13 fichiers correspondant aux développements provenant de TOP2013, issus de *convmuthclas.f*.

Le fichier de sortie est *pr2.aljupsatcortop*.

- Programme *addvsopcortopjs.f*

Ce programme ajoute à VSOP2013 les corrections provenant de TOP2013 pour les demi-grands axes et les longitudes moyennes de Jupiter et Saturne.

Les fichiers d'entrée sont *pr2.iter8totalvsopt20*, issu de *writevsopttotalt20.f* et *pr2.aljupsatcortop*, issu de *difftopvsopargjupsat.f*.

Le fichier de sortie garde le même nom, *pr2.iter8totalvsopt20*.

Le programme est lancé par la commande : `addvsopcortopjs>addvsopcortopjs.out`.

Ce sous-répertoire contient aussi les

- Programmes *pr8vsopttotal11001.f* et *difvsopinpop1011001.f*

Ils sont analogues à ceux du même nom des sous-répertoires `../3.CORRIGVSOP` et `../1.SOLUTION_COMPLETE`. Ils substituent le temps dans le fichier *pr2.iter8totalvsopt20* sur l'intervalle  $[-4000, +8000]$  et effectuent les comparaisons à la substitution numérique dans INPOP10a sur ce même intervalle.

Le programme *pr8vsopttotal11001.f* donne en sortie le fichier *pr8.substotalvsopt2011001*.

Le programme *difvsopinpop1011001.f* est lancé par la commande :

`difvsopinpop1011001>difvsopinpop1011001.out`.

Il donne en sortie un certain nombre de fichiers séquentiels dont les fichiers *jupite8m6mp6m.sequ* et *satite8m6mp6m.sequ*.

- Programme *corrigtsecjs.f*

Ce programme introduit les corrections des termes séculaires des longitudes moyennes de Jupiter et Saturne, calculées par les programmes *mcardifjupiter2.f* et *mcardifsaturne2.f* du sous-répertoire

`../2.MOINDRES_CARRES`, à partir des fichiers séquentiels *jupite8m6mp6m.sequ* et *satite8m6mp6m.sequ* issus du programme *difvsopinpop1011001.f*. Ces corrections sont introduites en clair dans le programme.

*pr2.iter8totalvsopt20* est, à la fois, fichier d'entrée et de sortie.

On passe ensuite une deuxième fois les programmes *pr8vsopttotalt11001.f* et *difvsopinpop1011001.f*.

- Lors de son deuxième passage, le programme *pr8vsopttotalt11001.f* est limité aux deux planètes Jupiter et Saturne.

Le fichier d'entrée est *pr2.iter8totalvsopt20* corrigé par le programme *corrigtsecjs.f*.

Le fichier de sortie reste *pr8.substotalvsopt2011001* qui diffère du fichier de sortie issu du premier passage uniquement pour les substitutions numériques correspondant à Jupiter et Saturne.

- Lors de son deuxième passage, le programme *difvsopinpop1011001.f* est lancé par la commande : `difvsopinpop1011001>difvsopinpop1011001.outjs`. La comparaison de *difvsopinpop1011001.outjs* avec *difvsopinpop1011001.out* pour les sorties correspondant à Jupiter et Saturne permet de voir les améliorations apportées par les corrections issues de *corrigtsecjs.f*.

Notons que bon nombre des programmes décrits ci-dessus utilisent des paramètres et des communs donnés dans les fichiers *addvsop20.paracomm*, *pr8.paracomm* ou *pr8t20.paracomm*.

#### 1.4.5. Le sous-répertoire 5\_FINALISATION

Le sous-répertoire 5\_FINALISATION finalise la construction de VSOP213. Cette finalisation s'effectue en suivant les 5 étapes suivantes.

##### 1) Corrections de la solution *pr2.iter8totalvsopt20*

Les corrections de la solution *pr2.iter8totalvsopt20* s'effectuent en la comparant à INPOP10a sur  $[1890, 2000]$ .

Pour les variables  $a$ ,  $k$ ,  $h$ ,  $q$ ,  $p$ , les modifications éventuelles de constantes sont très faibles et il n'est pas nécessaire de les prendre en compte.

Pour les moyens mouvements moyens et les constantes  $\varepsilon_0$  des variables  $\lambda$ , elles peuvent être légèrement plus fortes. On les prend en compte quand la variation de moyen mouvement moyen est  $> 5.d-11$  rad/1000ans.

On les introduit alors dans la solution (qui garde le nom de *pr2.iter8totalvsopt20*) et on crée un nouveau fichier de constantes. On ne modifie pas les constantes des cinq gros astéroïdes.

Comme indiqué dans le ALIRE de ce sous-répertoire (fichier ALIRE-FINALISATION.txt), on a effectué quatre substitutions numériques et comparaisons à INPOP10a et trois corrections de la solution et des constantes, créant trois nouveaux fichiers de constantes :

- *constantes.vsopt1* (après corrections des moyens mouvements moyens et des  $\varepsilon_0$  de Mars, Saturne et Uranus) ;
- *constantes.vsopt2* (après corrections des moyens mouvements moyens et des  $\varepsilon_0$  de Jupiter et - de nouveau-Saturne).
- *constantes.vsopt3* (après de nouvelles corrections des moyens mouvements moyens et des  $\varepsilon_0$  de Jupiter et Saturne).

Ces corrections s'effectuent à l'aide des programmes suivants.

- Programme *pr8vsopttotal20npart.f*

Ce programme substitue le temps dans la solution sur l'intervalle [1890, 2000], en retirant d'abord les moyens mouvements moyens, puis en les rajoutant à la fin de la substitution pour optimiser celle-ci..

Les fichiers d'entrée sont :

- le fichier *pr2.iter8totalvsopt20*,
- les fichiers correspondant aux constantes de l'itération, soit successivement : *constantes.iter8*, *constantes.vsopt1*, *constantes.vsopt2*, *constantes.vsopt3*.

Les fichiers de sortie sont ceux correspondant à la substitution numérique, soit successivement : *pr8.subs8totalvsopt20npart1*, *pr8.subs8totalvsopt20npart2*, *pr8.subs8totalvsopt20npart3*, *pr8.subs8totalvsopt20npart4*.

Le programme est lancé par les commandes : *pr8vsopttotal20npart>pr8vsopttotal20npart.outn*, où n vaut, successivement, 1, 2, 3 ,4.

- Programme *ctevsopttotal.f*

Ce programme compare la substitution numérique dans la solution à INPOP10a sur l'intervalle [1890, 2000].

Les fichiers d'entrée sont :

- les fichiers correspondant aux substitutions numériques dans la solution, calculées par le programme *pr8vsopttotal20npart.f*,
- le fichier des substitutions numériques issues de INPOP10a,   
 *../1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/inpop10ell14corps2001.data*,
- les fichiers des constantes de l'itération, soit successivement : *constantes.iter8*, *constantes.vsopt1*, *constantes.vsopt2*, *constantes.vsopt3*.

La plupart des constantes ne change presque pas. On ne crée pas de fichier de sortie. On se contente d'examiner les résultats et de corriger éventuellement les constantes par le programme *corvsopttotal20.f*.

Le programme est lancé par les commandes : *ctevsopttotal>ctevsopttotal.outn*, où n vaut successivement 1, 2, 3 ,4.

- Programme *corvsopttotal20.f*

Ce programme corrige les constantes d'intégration, intègre ces corrections dans la solution et crée de nouveaux fichiers de constantes.

Les fichiers d'entrée sont :

- le fichier *pr2.iter8totalvsopt20*,
- les fichiers des constantes de l'itération, soit successivement : *constantes.iter8*, *constantes.vsopt1*, *constantes.vsopt2*.

Les fichiers de sortie sont :

- le fichier *pr2.iter8totalvsopt20*,
- les fichiers des constantes de l'itération, soit successivement : *constantes.vsopt1*, *constantes.vsopt2*, *constantes.vsopt3*.

Le programme est lancé par les commandes : `corvsopttotal20>corvsopttotal20.outn`, où `n` vaut successivement 1, 2, 3, 4.

## 2) Création et lecture de la solution VSOP2013

VSOP2013 est créé par le

- Programme *writevsop2013.f*

Ce programme crée la solution VSOP2013 à partir du fichier *pr2.iter8totalvsopt20* en ne gardant que les huit planètes et Pluton.

Le fichier d'entrée est : *pr2.iter8totalvsopt20*.

Le fichier de sortie est : *vsop2013.data*.

Le programme est lancé par la commande : `writevsop2013>writevsop2013.out`.

Les constantes et moyens mouvements moyens de la solution sont dans le fichier *constantes.vsop2013* qui est une copie du fichier *constantes.vsop3*.

On lit la solution VSOP2013 par le

- Programme *lecvvsop2013.f*

Les fichiers d'entrée sont *vsop2013.dat* et *constantes.vsop2013*.

Le fichier de sortie est : *lecvvsop2013.out*.

Le programme est lancé par la commande : `lecvvsop2013>lecvvsop2013.out`.

## 3) Comparaison de VSOP2013 à INPOP10a

On compare VSOP2013 à INPOP10a sur un intervalle de temps donné en effectuant d'abord une substitution numérique de la solution sur cet intervalle puis en calculant les écarts entre cette substitution numérique et celle, correspondante, de INPOP10a.

Sur l'intervalle [1890, 2000], on utilise les programmes suivants.

- Programme *subvsop2013.f*

Ce programme est une version du programme *pr8vsopttotal20napart.f*, où la substitution numérique dans les séries correspondant aux astéroïdes a été supprimée.

Les fichiers d'entrée sont : *vsop2013.data* et *constantes.vsop2013*.

Le fichier de sortie est : *subnumvsop2013.data*. Ce fichier est identique à la partie du fichier *pr8.subs8totalvsopt20napart4* concernant les huit planètes et Pluton.

Le programme est lancé par la commande : `subvsop2013>subvsop2013.out`.

- Programme *difvsopinpop10a.f*

Ce programme est issu du programme *ctevsopttotal.f*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *subnumvsop2013.data*, créé par le programme précédent,
- *constantes.vsop2013*
- *../1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/inpop10ell14corps2001.data*.

Le fichier de sortie est le fichier d'impression *difvsopinpop10a.out*.

Le programme est lancé par la commande : `difvsopinpop10a>difvsopinpop10a.out`.

Les résultats sont pratiquement identiques à ceux obtenus en 2013 en construisant VSOP2013 (sauf pour Mars), les très petits écarts s'expliquant par le changement de compilateur. Pour Mars, les écarts sur les longitudes moyennes s'expliquent par la correction de l'erreur commise dans le calcul des perturbations des astéroïdes.

Sur l'intervalle [-4000, +8000], on utilise les programmes suivants.

- Programme *subvsop201311001.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans la solution pour 11001 dates par pas de 400 jours.

Les fichiers d'entrée sont : *vsop2013.data* et *constantes.vsop2013*.

Le fichier de sortie est *subnumvsop201311001.data*.

Le programme est lancé par la commande : `subvsop201311001>subvsop201311001.out`.

- Programme *difvsopinpop10a11001.f*

Ce programme compare VSOP2013 à INPOP10a pour les 11001 dates considérées.

Les fichiers d'entrée sont :

- *subnumvsop201311001.data*, créé par le programme précédent,
- *constantes.vsop2013*,
- `../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/inpop10ell11001.data`.

Le fichier de sortie est le fichier d'impression *difvsopinpop10a11001.out*.

Le programme est lancé par la commande : `difvsopinpop10a11001>difvsopinpop10a11001.out`.

Les résultats sont pratiquement identiques à ceux obtenus en 2013 en construisant VSOP2013.

On compare également la solution à INPOP10a sur les intervalles [0, 4000] et [900, 3100] par les

- Programmes *difvsopinpop10a3655.f* (différences pour 3655 dates de l'intervalle [0, 4000]) et *difvsopinpop10a2011.f* (différences pour 2011 dates) de l'intervalle [900, 3100].

Pour les deux programmes, les fichiers d'entrée sont :

- *subnumvsop201311001.data*,
- *constantes.vsop2013*,
- `../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/inpop10ell11001.data`.

Les fichiers de sortie sont *difvsopinpop10a3655.out* et *difvsopinpop10a2011.out*.

Les programmes sont lancés par les commandes :

- `difvsopinpop10a3655>difvsopinpop10a3655.out`,
- `difvsopinpop10a2011>difvsopinpop10a2011.out`.

Notons que bon nombre de ces programmes utilisent des paramètres et des communs donnés dans le fichier *pr8t20.paracomm*.

## 1.5. LE SOUS-RÉPERTOIRE 4\_VSOP2013

Le sous-répertoire 4\_VSOP2013 contient les fichiers ou programmes suivants, provenant de copies des fichiers et programmes du même nom du sous-répertoire `../3_SOLUTION_COMPLETE_CORRIGEE/5_FINALISATION`.

- *vsop2013.data*

C'est le fichier correspondant à la solution VSOP2013 pour les six éléments a,  $\lambda$ , k, h, q, p des huit planètes et Pluton. Notons que ce fichier a été transféré par la commande *move* et n'existe donc plus dans le sous-répertoire `../3_SOLUTION_COMPLETE_CORRIGEE/5_FINALISATION`.

- *constantes.vsop2013*

C'est le fichier des constantes d'intégration et des moyens mouvements moyens de la solution VSOP2013.

- *difvsopinpop10a.out*

C'est le fichier des différences entre VSOP2013 et INPOP10a sur [1890, 2000]

- *difvsopinpop10a11001.out*

C'est le fichier des différences entre VSOP2013 et INPOP10a sur [-4000, 8000].

- *lecvso2013.f*

C'est le programme de lecture du fichier *vsop2013.data*.

- *lecvso2013.out*

C'est une sortie du programme *lecvso2013.f*. Elle donne les trois premiers termes de chaque série des développements de Poisson correspondant aux six éléments elliptiques des huit planètes et de Pluton.

- *pr8t20.paracomm*

Ce fichier contient les paramètres et commons utilisés dans le programme lecv2013.f.

Les programmes de substitution numérique de la solution VSOP2013 (fichier vsop2013.data) sont dans le sous-répertoire ../3.SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE/5.FINALISATION

## 2. LE RÉPERTOIRE CONSTRUCTION\_TOP

Le répertoire CONSTRUCTION\_TOP contient les deux sous-répertoires :

- 1\_GROSSES\_PLANETES
- 2\_PLUTON

### 2.1. LE SOUS-RÉPERTOIRE 1\_GROSSES\_PLANETES

Le sous-répertoire 1\_GROSSES\_PLANETES contient toutes les étapes permettant de passer d'une itération  $n - 1$  à une itération  $n$ . On l'applique ici au passage de l'avant-dernière itération (itération 36) à la dernière itération (itération 37) du processus itératif utilisé pour construire TOP2013 et aboutir ainsi à la forme finale de la solution TOP2013 des quatre grosses planètes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Ces étapes sont décrites dans les chapitres 5 et 8 de la note scientifique et technique de l'IMCCE S103.

Rappelons que, comme indiqué dans le paragraphe 5.2.1 de cette note, les solutions des théories TOP ont la forme de séries de Poisson d'un seul argument  $\mu$  de période environ égale à 17485 ans.

Ce sous-répertoire contient 4 sous-répertoires :

- 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF
- 2\_PROCESSUS\_ITERATIF
- 3\_SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE
- 4\_TOP2013

#### 2.1.1 Le sous-répertoire 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF

Le sous-répertoire 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF se rapporte aux calculs faits antérieurement au processus itératif qui sont décrits dans le paragraphe 8.6.1 de la note scientifique S103. Il contient le sous-répertoire 1\_RELATIVITE que nous décrirons plus loin.

Il contient également les fichiers :

- *platel.data*, copie du fichier *perptel.datamu* du sous-répertoire :  
CONSTRUCTION\_VSOP/2\_PROCESSUS\_ITERATIF, qui représente les perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes ;
- *jsunrel.data*, créé par le programme *convpiso.f* du sous-répertoire 1\_RELATIVITE ;
- les fichiers correspondant aux perturbations des 165 astéroïdes de INPOP10a sur les grosses planètes, issus du sous-répertoire CONSTRUCTION\_VSOP/1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/3\_ASTEROIDES :
  - *jup165aster.data* et *ijup165aster.data*,
  - *sat165aster.data* et *isat165aster.data*,

- *ura165aster.data* et *iura165aster.data*,
- *nep165aster.data* et *inep165aster.data*.
- *jsunpluton.data*, fichier correspondant aux perturbations de Pluton sur les grosses planètes issu du sous-répertoire `../PLUTON/1.PREMIER.ORDRE`.

Notons que tous ces fichiers ont été construits avec la valeur de l'argument  $\mu$  correspondant à l'itération 19 du processus itératif de TOP. La construction avec la valeur finale de  $\mu$  donnerait pratiquement les mêmes résultats.

Ce sous-répertoire contient enfin un certain nombre de programmes.

- *corrigplatel.f*

Ce programme corrige les perturbations par les planètes telluriques en reprenant des valeurs des perturbations au troisième ordre des masses pour certains termes séculaires ou de Poisson. On a constaté au cours des itérations que ces corrections améliorent les résultats. Elles sont effectuées pour les variables  $\lambda$ ,  $k$ ,  $h$  de Jupiter et Saturne, et la variable  $\lambda$  de Uranus et Neptune.

Le fichier d'entrée est *platel.data*,

Le fichier de sortie est *platel.datacor*.

Le programme est lancé par la commande : `corrigplatel>corrigplatel.out`.

- *addtelrelcor.f*

Ce programme ajoute les perturbations relativistes aux perturbations par les planètes telluriques corrigées.

Les fichiers d'entrée sont *platel.datacor* et *jsunrel.data*.

Le fichier de sortie est *telreldata.cor*.

Le programme est lancé par la commande : `addtelrelcor>addtelrelcor.out`.

- *addtelrelplucor.f*

Ce programme ajoute au fichier *telreldata.cor* les perturbations par Pluton.

Les fichiers d'entrée sont *telreldata.cor* et *jsunpluton.data*, Le fichier de sortie est *telrelplu.datacor*.

Le programme est lancé par la commande : `addtelrelplucor>addtelrelplucor.out`.

- *addtelrelpluastcor.f*

Ce programme ajoute au fichier *telrelplu.cor* les perturbations par les astéroïdes de INPOP10a.

Les fichiers d'entrée sont :

- *telrelplu.datacor*,

- les huit fichiers correspondant aux perturbations des astéroïdes décrits plus haut.

Les fichiers de sortie sont *percompcor.data* et *jpercompcor.data*.

Le programme est lancé par la commande : `addtelrelpluastcor>addtelrelpluastcor.out`.

- *convmu1mu2.f*

Ce programme convertit une solution en séries de Poisson de  $\mu_1$  en une solution en séries de Poisson de  $\mu_2$ .

On l'applique aux perturbations complémentaires représentées par les fichiers d'entrée *percompcor.data* et *jpercompcor.data*, construits avec la valeur de l'argument  $\mu$  de l'itération 19.

Le programme va être passé deux fois, la première fois pour une conversion en solution de l'argument  $\mu$  de l'itération 37 et la deuxième fois pour une conversion en solution de l'argument  $\mu$  final. Ce  $\mu$  final est l'argument correspondant à l'itération 37 corrigée par le fichier *corrigeite373* du sous-répertoire `../2.PROCESSUS_ITERATIF` puis légèrement modifiée suite à la conversion faite dans le sous-répertoire `../3.SOLUTION_COMPLETEE_CORRIGEE/2.CONVSU`.

Les fichiers de sortie sont :

- *percompcor.datamu37* et *jpercompcor.datamu37* (premier passage),

- *percompcor.datamu37corrige*e et *jpercompcor.datamu37corrige*e (deuxième passage).

Les valeurs de  $\mu$  sont :

$$\begin{aligned}\mu_1 &= 0.359536230020685 t(\text{itération } 19), \\ \mu_2 &= 0.359536228592488 t(\text{itération } 37, \text{ premier passage}), \\ \mu_2 &= 0.359536228490183 t(\mu \text{ final, deuxième passage}),\end{aligned}$$

où  $t$  est mesuré en milliers d'années à partir de J2000.

- *subpercompcor.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans les perturbations complémentaires sur l'intervalle de temps [1890, 2000], pour 2001 dates par pas de -20 jours à partir de J2000.

Les fichiers d'entrée sont : *percompcor.datamu37* et *jpercompcor.datamu37* ou bien *percompcor.datamu37corrige*e et *jpercompcor.datamu37corrige*e.

Les fichiers de sortie sont les substitutions numériques *subpercomp.datacormu37* ou *subpercomp.datacormu37corrige*e.

Le programme est lancé par la commande :

`subpercompcor>subpercompcor.out`, ou `subpercompcor>subpercompcor.outcorrige`e.

- *subpercomp11001cor.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans les perturbations complémentaires sur l'intervalle de temps [-4000, 8000], pour 11001 dates par pas de 400 jours à partir du jour julien 251545.

Les fichiers d'entrée sont *percompcor.datamu37* et *jpercompcor.datamu37* ou bien *percompcor.datamu37corrige*e et *jpercompcor.datamu37corrige*e.

Les fichiers de sortie sont les substitutions numériques *subpercomp11001.datacormu37* ou bien *subpercomp11001.datacormu37corrige*e.

Le programme est lancé par la commande :

`subpercomp11001cor>subpercomp11001cor.out`, ou  
`subpercomp11001cor>subpercomp11001cor.outcorrige`e.

### 2.1.1.1. Le sous-répertoire 1\_RELATIVITE

Ce sous-répertoire permet de convertir les perturbations relativistes isotropiques issues de Lestrade et Bretagnon (1982) en séries de  $\mu$ , l'argument des séries de Poisson de TOP2013..

Il contient

- le fichier *jsunrel.datalb*, perturbations relativistes issues de Lestrade et Bretagnon
- le programme *convpiso.f* qui effectue la conversion.

Le fichier d'entree est *jsunrel.datalb*.

Le fichier de sortie est *./jsunrel.data*, perturbations relativistes converties en séries de  $\mu$  et envoyé dans le sous-répertoire 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF

Le programme est lancé par la commande : `convpiso>convpiso.out`.

La valeur de  $\mu$  est celle obtenue lors de l'itération 19 du processus itératif de TOP2013.

### 2.1.2 Le sous-répertoire 2\_PROCESSUS\_ITERATIF

Ce sous-répertoire contient les quatre sous-répertoires suivants.

- 1\_NAVECPTTEL-NSANSPTTEL
- 2\_MOINDRES\_CARRES
- 3\_CTE
- 4\_SUBNUM

Il contient, de plus,

- les fichiers *ite36.data* et *jte36.data* correspondant à l'itération 36,
- les fichiers *ite37.data* et *jte37.data* correspondant à l'itération 37,
- le fichier *inpop10ell14corps2001.data* correspondant à la substitution numérique du temps dans INPOP10a sur [1890, 2000],
- le fichier *inpop10ell11001.data* correspondant à la substitution numérique du temps dans INPOP10a sur [-4000, 8000],
- le fichier *corrigeite36* correspondant aux corrections empiriques utilisées pour l'itération 36,
- le fichier *platel3eordre.data* correspondant aux perturbations du troisième ordre des planètes telluriques sur les grosses planètes, issues de VSOP82 et converties en séries de  $\mu$ . Ce fichier ne devrait plus servir si l'on construisait une nouvelle version de TOP (voir la remarque plus loin),
- le fichier *navecptel-nsansptel.data* calculé dans le sous-répertoire 1.NAVECPTEL-NSANSPTEL,
- les programmes de base du processus itératif décrits dans la note scientifique de l'IMCCE S103,
- les fichiers *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373* correspondant aux corrections empiriques calculées pour l'itération 37, obtenus en ajoutant à *corrigeite36* les corrections calculées dans 2.MOINDRES\_CARRES, conformément à ce qui est expliqué plus loin.

Les programmes de base du processus itératif sont les programmes :

- Programme *stepa.f*

Ce programme effectue des substitutions numériques dans les éléments elliptiques des quatre grosses planètes correspondant à l'itération 36 pour des valeurs discrètes de  $\mu$  (de 0 à  $(2KP - 1) \times \frac{\pi}{2KP}$ , avec  $KP = 524288$ ) et pour 13 valeurs du temps, avec un pas de 1.2 millier d'années.

Les fichiers d'entrée sont : *ite36.data*, *jte36.data*, et *platel3eordre.data*.

Le programme commence par additionner les perturbations par les planètes telluriques aux résultats de l'itération 36 puis effectue la substitution numérique.

Le fichier de sortie *subtotmu.data* correspondant à cette substitution numérique est très volumineux et est sauvegardé sur une unité de grande capacité.

Le programme est lancé par la commande : `stepa<in.stepa>stepa.out`, où le fichier *in.stepa* contient les noms des fichiers d'entrée.

- Programme *stepb.f*

Ce programme calcule les deuxièmes membres des équations de Lagrange, à partir du fichier d'entrée *subtotmu.data* créé par *stepa.f*.

Le fichier de sortie *subfmu.data* correspondant aux deuxièmes membres des équations de Lagrange est très volumineux et est sauvegardé sur une unité de grande capacité.

Le programme est lancé par la commande : `stepb>stepb.out`.

- Programme *stepc.f*

Ce programme intègre les équations de Lagrange.

Les fichiers d'entrée sont :

- *subfmu.data* créé par *stepb.f*,

- *moymouv moy.iter36* correspondant aux moyens mouvements moyens des quatre grosses planètes de l'itération 36,

- *navecptel-nsansptel.data*, calculé dans le sous-répertoire 1.NAVECPTEL-NSANSPTEL, et qu'il faut retrancher aux  $\lambda$  des quatre grosses planètes comme expliqué dans le *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-NAVECPTEL-NSANSPTEL.txt*).

Les fichiers de sortie sont les fichiers correspondant à l'itération 37 : *ite37.data* et *jte37.data*.

Le programme est lancé par la commande : `stepc<out.stepc>stepc.out`, où le fichier *out.stepc* contient les noms des fichiers de sortie.

*Remarque.* Le fichier d'entrée de *stepa.f* correspondant aux perturbations par les planètes telluriques

devrait être le fichier *platel.datacor* du sous-répertoire `../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF`, qui donne une meilleure estimation de ces perturbations que le fichier *platel3eordre.data*. Mais cette introduction modifierait sensiblement les résultats et rendrait nécessaire de faire plusieurs itérations après l'itération 37 pour faire converger la solution. Nous avons donc préféré introduire dans *stepa.f* les perturbations par les planètes telluriques données par *platel3eordre.data* pour rester au plus près de TOP2013. Mais si on construisait une nouvelle version de TOP, c'est bien `../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/platel.datacor` qu'il faudrait introduire. Il est probable que la précision de la solution sur [1890, 2000] en serait améliorée.

Notons que l'on trouve à la fin du *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-PROCESSUS\_ITERATIF.txt*) une description détaillée des étapes à suivre pour construire la solution finale.

### 2.1.2.1 Le sous-répertoire 1\_NAVECPTTEL-NSANSPTTEL

Le sous-répertoire 1\_NAVECPTTEL-NSANSPTTEL contient les programmes permettant de calculer les différences entre les moyens mouvements  $n$  obtenus en tenant compte de la contribution des planètes telluriques et les moyens mouvements  $n$  obtenus sans tenir compte de la contribution des planètes telluriques.

On explique en détail dans le *ALIRE* du sous-répertoire (fichier *ALIRE-NAVECPTTEL-NSANSPTTEL.txt*) la raison de ce calcul. Disons, pour résumer, que lorsque l'on introduit les perturbations par les planètes telluriques dans le programme *stepa.f* du sous-répertoire `/2_PROCESSUS_ITERATIF`, suite à la double intégration du demi-grand axe, la différence entre les  $n$  obtenus en tenant compte de la contribution des planètes telluriques et les  $n$  obtenus sans tenir compte de la contribution des planètes telluriques apparaît deux fois dans l'équation correspondant à la longitude moyenne  $\lambda$ . Il faudra donc la retrancher de  $\lambda$  dans le programme *stepc.f* du sous-répertoire `2_PROCESSUS_ITERATIF`.

- *Calcul des moyens mouvements*

- On calcule d'abord les moyens mouvements obtenus en tenant compte de la contribution des planètes telluriques par la séquence

```
stepa<in.stepa>stepa.out  stepb>stepb.out  stepc<out.stepc>stepc.out.
```

Les programmes *stepa.f*, *stepb.f* et *stepc.f* sont décrits dans le sous-répertoire `2_PROCESSUS_ITERATIF`.

Mais, ici :

- dans *stepa.f* on ne fait la substitution numérique que pour les demi-grands axes,
- dans *stepb.f* on calcule uniquement les deuxièmes membres des équations correspondant aux moyens mouvements,
- dans *stepc.f* on n'intègre donc que les moyens mouvements.

Le fichier *in.stepa* contient les noms des fichiers d'entrée : *ite36.data* et *jte.36.data* correspondant à l'itération 36, ainsi que le fichier *platel3eordre.data* correspondant aux perturbations totales du troisième ordre par les planètes telluriques

Le fichier *out.stepc* contient le nom des fichiers de sortie *inite37.avecptel* et *jnite37.avecptel*.

Les fichiers résultats de *stepa.f* (*subamu.data*) et de *stepb.f* (*subnmu.data*) sont envoyés sur un disque de grande capacité.

- On calcule ensuite les moyens mouvements obtenus sans tenir compte de la contribution des planètes telluriques par la séquence

```
stepasansptel<in.stepasansptel>stepasansptel.out  stepb>stepb.outsansptel
stepc<out.stepcsansptel>stepcsansptel.out.
```

Le programme *stepasansptel.f* est une version de *stepa.f* dans laquelle on a supprimé les contributions des planètes telluriques,

Le fichier *in.stepasansptel* ne contient que les noms des fichiers correspondant à l'itération 36, *ite36.data* et *jte.36.data*,

Le fichier *out.stepcsansptel* contient le nom des fichiers de sortie *inite37.sansptel* et *jnite37.sansptel*.

Les fichiers résultats de *stepasansptel.f* et *stepb.f* portent le même nom que dans la séquence précédente

et sont envoyés sur un disque de grande capacité.

- *Calcul des différences entre les moyens mouvements*

Les différences : moyens mouvements calculés avec les contributions dues aux planètes telluriques - moyens mouvements calculés sans les contributions dues aux planètes telluriques sont obtenues par le

Programme *difn.f*

Ce programme s'appelle par la commande `difn<in.difn>difn.out`.

Le fichier *in.difn* contient :

- les noms des fichiers correspondant aux moyens mouvements, *inite37.avecptel*, *inite37.sansptel*, *jnite37.avecptel*, *jnite37.sansptel*,
- le nom du fichier résultat *navecptel-nsansptel.data*, fichier qui est envoyé dans le sous-répertoire 2.PROCESSUS\_ITERATIF/.

### 2.1.2.2 Le sous-répertoire 2\_MOINDRES\_CARRES

Le sous-répertoire 2\_MOINDRES\_CARRES contient les programmes permettant de corriger empiriquement certains termes séculaires ou à longue période de l'itération 37 par moindres carrés, à partir de la comparaison de la solution à INPOP10a sur les intervalles de temps [-4000, +8000], [0, 4000] ou [900, 3100].

Pour l'itération 37, les corrections empiriques ne concernent que les longitudes moyennes.

Ces programmes sont les suivants.

- Programme *mcardifjupiter.f*

Ce programme corrige le terme en  $t^7$  de la longitude moyenne de Jupiter à partir de la différence TOP-INPOP10a sur [-4000, +8000].

Le fichier d'entrée est le fichier *jupite37m4mp8m.sequ* du sous-répertoire ../3.CTE, obtenu lors du premier passage du programme *difftop11001.f*.

Le programme est lancé par la commande : `mcardifjupiter>mcardifjupiter.out`.

Le résultat est lu dans le fichier de sortie *mcardifjupiter.out*.

- Programme *mcardifsaturne.f*

Ce programme corrige les termes en  $t^6, t^7, t^8$  de la longitude moyenne de Saturne à partir de la différence TOP-INPOP10a sur [-4000, +8000].

Le fichier d'entrée est le fichier *satite37m4mp8m.sequ* du sous-répertoire ../3.CTE, obtenu lors du premier passage du programme *difftop11001.f*.

Le programme est lancé par la commande : `mcardifsaturne>mcardifsaturne.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifsaturne.out*.

- Programme *mcardifuranus.f*

Ce programme corrige les termes en  $t^5, t^6, t^7$  de la longitude moyenne d'Uranus à partir de la différence TOP-INPOP10a sur [-4000, +8000].

Le fichier d'entrée est le fichier *uraite37m4mp8m.sequ* du sous-répertoire /3.CTE, obtenu lors du premier passage du programme *difftop11001.f*.

Le programme est lancé par la commande : `mcardifuranus>mcardifuranus.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifuranus.out*.

- Programme *mcardifneptune.f*

Ce programme corrige les termes en  $t^5, t^6, t^7, t^8, t^9$  de la longitude moyenne de Neptune à partir de la différence TOP-INPOP10a sur [-4000, +8000].

Le fichier d'entrée est le fichier *nepite37m4mp8m.sequ* du sous-répertoire ../3.CTE, obtenu lors du premier passage du programme *difftop11001.f*.

Le programme est lancé par la commande : `mcardifneptune>mcardifneptune.out`.

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardifneptune.out*.

Les corrections apportées par les quatre programmes précédents seront enregistrées dans le fichier de corrections *corrigeite371* du sous-répertoire 2.PROCESSUS.ITERATIF.

- Programme *mcardif2011saturnecorrige.f*

Ce programme corrige les termes de Poisson en  $t \cos 3\mu$  et  $t \sin 3\mu$  de la longitude moyenne de Saturne, à partir de la différence TOP2013 - INPOP10a sur [900, 3100], où TOP2013 a été corrigée des corrections *corrigeite371*.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers du sous-répertoire ../3.CTE suivants.

- *satite379003100.sequcor*, obtenu par le deuxième passage du programme *difftop2011.f* de ce même sous-répertoire,
- *satite37m4mp8m.sequcor* obtenu par le deuxième passage du programme *difftop11001.f*.

Le programme est lancé par la commande :

```
mcardif2011saturnecorrige>mcardif2011saturnecorrige.outt3mu.
```

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardif2011saturnecorrige.outt3mu*.

Ces corrections seront enregistrées dans le fichier de corrections *corrigeite372* du sous-répertoire 2.PROCESSUS.ITERATIF.

- Programme *mcardif2011uranuscorrige2.f*

Ce programme corrige les termes périodiques en  $\cos 3\mu$  et  $\sin 3\mu$  ainsi que les termes de Poisson en  $t \cos 3\mu$  et  $t \sin 3\mu$  de la longitude moyenne d'Uranus, à partir de la différence TOP2013 - INPOP10a sur [900, 3100], où TOP2013 a été corrigée des corrections *corrigeite371* et *corrigeite372*.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers du sous-répertoire ../3.CTE suivants.

- *uraite379003100.sequcor2* obtenu par le troisième passage du programme *difftop2011.f*,
- *uraite37m4mp8m.sequcor2* obtenu par le troisième passage du programme *difftop11001.f*.

Le programme est lancé par la commande :

```
mcardif2011uranuscorrige2>mcardif2011uranuscorrige2.out3mut3mu.
```

Les résultats sont lus dans le fichier de sortie *mcardif2011saturnecorrige.out3mut3mu*.

Ces corrections seront enregistrées dans le fichier de corrections *corrigeite373* du sous-répertoire 2.PROCESSUS.ITERATIF.

### 2.1.2.3 Le sous-répertoire 3.CTE

Le sous-répertoire 3.CTE contient les fichiers et programmes permettant :

- 1) le calcul des constantes d'intégration et des moyens mouvements moyens de la solution complète du mouvement des quatre grosses planètes par comparaison à INPOP10a sur l'intervalle de temps [1890, 2000] ;
- 2) le calcul des écarts entre la solution complète du mouvement des quatre grosses planètes et INPOP10a sur les intervalles de temps [-4000, 8000], [0, 4000] et [900, 3100].

Les programmes permettant de déterminer les constantes d'intégration et les moyens mouvements moyens sont les suivants.

- Programme *ctetop.f*

Ce programme détermine les constantes d'intégration et les moyens mouvements moyens de l'itération 37 non corrigée, conformément aux indications du paragraphe 8.5.2 de la note scientifique S103.

Il est exécuté deux fois, en alternance avec le programme *subitetop.f* du sous-répertoire ../4.SUBNUM et est lancé avec les commandes :

- 1) au premier passage : `ctevsop > ctevsop.outiter81,`
- 2) au deuxième passage : `ctevsop > ctevsop.outiter82.`

Les fichiers d'entrée sont :

- 1) au premier passage seulement :
  - *constantes.iter36* et *moymouvmoy.iter36*, fichiers correspondant aux constantes d'intégration et aux moyens mouvements moyens de l'itération 36,
  - *subitetop.371*, fichier créé lors du premier passage du programme *subitetop.f*.
- 2) au deuxième passage seulement :
  - *constantes.iter37prov* et *moymouvmoy.iter37prov*, fichiers correspondant aux constantes d'intégration et aux moyens mouvements provisoires de l'itération 37,
  - *subitetop.372*, fichier créé lors du deuxième passage du programme *subitetop.f*.
- 3) lors des deux passages :
  - *../inpop10ell14corps2001.data*, fichier correspondant à la substitution numérique du temps dans INPOP10a sur [1890, 2000].

Les fichiers de sortie sont :

- au premier passage, *constantes.iter37prov* et *moymouvmoy.iter37prov*
- au deuxième passage, *constantes.iter37* et *moymouvmoy.iter37* qui correspondent aux constantes d'intégration et aux moyens mouvements moyens de l'itération 37 non corrigée.

- Programmes *ctetopcorrige.f*, *ctetopcorrige2.f*, *ctetopcorrige3.f*

Ces programmes sont identiques au précédent mais s'appliquent à la solution complète corrigée des corrections empiriques *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373* du sous-répertoire 2.PROCESSUS-ITERATIF.

Le programme *ctetopcorrige.f* n'est passé qu'une fois car les corrections *corrigeite371* ne diffèrent des corrections *corrigeite36* que par l'ajout de termes séculaires d'ordre élevé dans les longitudes moyennes des quatre planètes. Il en résulte que les constantes et moyens mouvements moyens ne changent pratiquement pas.

Les programmes *ctetopcorrige2.f* et *ctetopcorrige3.f* sont, comme le programme *ctetop.f*, exécutés deux fois, en alternance avec les programmes *subitetopcorrige2.f* et *subitetopcorrige3.f* du sous-répertoire ../4.SUBNUM.

Les constantes et les moyens mouvements moyens issus du programme *ctetopcorrige.f* sont donnés par les fichiers *constantes.iter37corrige* et *moymouvmoy.iter37corrige*.

Les constantes et les moyens mouvements moyens issus des deuxièmes passages des programmes *ctetopcorrige2.f* et *ctetopcorrige3.f* sont donnés par, respectivement, les fichiers *constantes.iter37corrige2* et *moymouvmoy.iter37corrige2* et les fichiers *constantes.iter37corrige3* et *moymouvmoy.iter37corrige3*.

Les programmes permettant de calculer les écarts entre TOP21013 et INPOP10a sur différents intervalles de temps sont les suivants.

- Programme *difftop11001.f*

Ce programme calcule les différences TOP2013 - INPOP10a sur l'intervalle [-4000, 8000]. Il est exécuté plusieurs fois.

- Lors de son premier passage, le programme calcule les écarts entre la substitution numérique dans l'itération 37, *subitetop11001.ite37data*, effectuée dans le sous-répertoire ../4.SUBNUM par le programme *subitetop11001.f* et la substitution dans INPOP10a, *../inpop10ell11001.data*. Ces deux substitutions numériques ont été effectuées pour 11001 dates sur [-4000, 8000].

Les fichiers de sortie sont les fichiers séquentiels *jupite37m6mp6m.sequ*, *satite37m6mp6m.sequ*, *urait37m6mp6m.sequ*, *nepite37m6mp6m.sequ*, correspondant aux éléments elliptiques de chaque planète. Ils serviront à calculer des corrections empiriques que l'on appliquera à la solution.

Le programme est lancé par la commande : `difftop11001>difftop11001.out`.

- Ce programme sera lancé trois autres fois pour calculer les écarts avec INPOP10a de la solution corrigée des corrections empiriques *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373*. Les noms des fichiers d'entrée et de sortie seront modifiés en conséquence.

- Programme *difftop3655.f*

Ce programme calcule les différences TOP2013 - INPOP10a pour 3655 dates sur l'intervalle [0, 4000]. Il est

exécuté plusieurs fois.

- Lors de son premier passage, il crée les fichiers séquentiels *jupite3704000.sequ*, *satite3704000.sequ*, *urait04000.sequ*, *nepite04000.sequ*, correspondant aux écarts entre TOP2013 et INPOP10a pour les éléments elliptiques de chaque planète. Ces fichiers séquentiels pourront servir à calculer d'éventuelles corrections empiriques à apporter à la solution.  
Ce programme s'appelle avec la commande : `difftop3655>difftop3655.out`.
- Ce programme sera lancé trois autres fois pour calculer les écarts avec INPOP10a de la solution corrigée des corrections empiriques *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373*. Les noms des fichiers d'entrée et de sortie seront modifiés en conséquence.
- Programme *difftop2011.f*  
Ce programme calcule les différences TOP2013 - INPOP10a pour 2011 dates sur l'intervalle [900, 3100]. Il est exécuté plusieurs fois.
- Lors de son premier passage, il crée les fichiers séquentiels *jupite379003100.sequ*, *satite379003100.sequ*, *urait9003100.sequ*, *nepite9003100.sequ*, correspondant aux écarts entre TOP2013 et INPOP10a pour les éléments elliptiques de chaque planète. Ces fichiers séquentiels pourront servir à calculer d'éventuelles corrections empiriques à apporter à la solution.  
Ce programme s'appelle avec la commande : `difftop2011>difftop2011.out`.
- Ce programme sera lancé trois autres fois pour calculer les écarts avec INPOP10a de la solution corrigée des corrections empiriques *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373*. Les noms des fichiers d'entrée et de sortie seront modifiés en conséquence.

#### 2.1.2.4 Le sous-répertoire 4\_SUBNUM

Le sous-répertoire 4.SUBNUM contient les fichiers et programmes permettant d'effectuer les substitutions numériques dans la solution du mouvement des quatre grosses planètes sur divers intervalles de temps.

Les programmes de substitution numérique sont les suivants.

- Programme *subitetop.f*  
Ce programme substitue numériquement le temps dans l'itération 37 du mouvement des quatre grosses planètes pour 2001 dates sur [1890 - 2000] et y ajoute la substitution numérique des perturbations complémentaires (perturbations relativistes, perturbations par les planètes telluriques, Pluton et les astéroïdes) sur ce même intervalle.  
Ce programme est passé deux fois, en alternance avec le programme *ctetop.f* du sous-répertoire `../3_CTE` :
  - la première fois avec, comme fichiers d'entrée, la solution du mouvement des quatre grosses planètes corrigée des corrections *../corrigeite36* et les constantes et les moyens mouvements moyens de l'itération 36, donnés par les fichiers *../constantes.iter36* et *../moymouv moy.iter36*,
  - la deuxième fois avec, comme fichiers d'entrée, la solution du mouvement des quatre grosses planètes corrigée des corrections *../corrigeite36* et les constantes et les moyens mouvements moyens *constantes.iter37prov* et *moymouv moy.iter37prov* donnés par le programme `../3_CTE/ctetop.f`.
 Ce programme crée successivement les substitutions numériques *subitetop.371* et *subitetop.372* (fichiers de sortie).  
Il est lancé par les commandes :  
`subitetop<in.subitetop>subitetop.out371` (premier passage)  
`subitetop<in.subitetop>subitetop.out372` (deuxième passage)  
 où *in.subitetop* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.
- Programmes *subitetopcorrigeite.f*, *subitetopcorrigeite2.f*, *subitetopcorrigeite3.f*  
Ces programmes sont identiques au précédent mais s'appliquent à la solution complète corrigée des corrections empiriques *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373*, du sous-répertoire 2\_PROCESSUS\_ITERATIF.  
Le programme *subitetopcorrige.f* n'est passé qu'une fois car les corrections *corrigeite371* ne diffèrent des

corrections *corrigeite36* que par l'ajout de termes séculaires d'ordre élevé dans les longitudes moyennes des quatre planètes. Il en résulte que les constantes et moyens mouvements moyens ne changent pratiquement pas.

Les programmes *subitetopcorrige2.f* et *subitetopcorrige3.f* sont, comme le programme *subitetop.f*, exécutés deux fois en alternance avec les programmes *ctetopcorrige2.f* et *ctetopcorrige3.f* du sous-répertoire *../3.CTE*.

La substitution numérique issue du programme *subitetopcorrige.f* est le fichier *subitetopcorrige.37*.

Les substitutions numériques issues des deuxièmes passages des programmes *subitetopcorrige2.f* et *subitetopcorrige3.f* sont, respectivement, les fichiers *subitetopcorrige2.372* et *subitetopcorrige3.372*.

- Programme *subitetop11001.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans l'itération 37 du mouvement des quatre grosses planètes pour 11001 dates sur [-4000, 8000] et y ajoute la substitution numérique des perturbations complémentaires sur ce même intervalle.

Ce programme crée la substitution numérique *subitetop11001.ite37data*.

Il est lancé par la commande : *subitetop11001<in.subitetop11001>subitetop11001.out37*, où *in.subitetop11001* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

- Programmes *subitetop11001corrigeite.f*, *subitetop11001corrigeite2.f*, *subitetop11001corrigeite3.f*

Ces programmes sont identiques au précédent mais s'appliquent à la solution complète corrigée des corrections empiriques *corrigeite371*, *corrigeite372*, *corrigeite373*, du sous-répertoire *2\_PROCESSUS\_ITERATIF*.

Ces programmes créent, respectivement, les substitutions numériques *subitetop11001corrige.ite37data*, *subitetop11001corrige2.ite37data*, *subitetop11001corrige3.ite37data*

### 2.1.3 Le sous-répertoire *3\_SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE*

Ce sous-répertoire permet de compléter l'itération 37 et de la corriger conformément aux explications du paragraphe 8.6.3 de la note scientifique de l'IMCCE S103. Il contient les quatre sous-répertoires suivants.

- 1\_SOLUTION\_COMPLETEE
- 2\_CONVSU
- 3\_EPIIOMEGA
- 4\_FINALISATION

#### 2.1.3.1 Le sous-répertoire *1\_SOLUTION\_COMPLETEE*

Le sous-répertoire *1\_SOLUTION\_COMPLETEE* contient les programmes et fichiers permettant de construire la solution TOP complète correspondant à une itération donnée.

Cette construction se fait avec les étapes suivantes (dans un ordre légèrement différent de celui indiqué au paragraphe 8.6.3 de la note scientifique de l'IMCCE S103).

1) *Insertion du fichier corrigeite373 obtenu à la fin du processus itératif*

Programme *corrigeite.f*

Ce programme introduit dans la solution :

- les corrections empiriques *corrigeite373* calculées dans le sous-répertoire *../2\_PROCESSUS\_ITERATIF*,
- les constantes et moyens mouvements moyens, *constantes.iter37corrige3* et *moymouv moy.iter37corrige3* copies des fichiers du même nom calculés dans *../2\_PROCESSUS\_ITERATIF*.

Les fichiers d'entrée sont :

- les fichiers correspondant à l'itération 37, *../2\_PROCESSUS\_ITERATIF/ite37.data* et *../2\_PROCESSUS\_ITERATIF/jte37.data*,
- les fichiers *constantes.iter37corrige3* et *moymouv moy.iter37corrige3*,

- les corrections *corrigeite373* sont rentrées en clair dans le programme.

Les fichiers de sortie sont les fichiers correspondant à l'itération 37 corrigée, *ite37corrige.data* et *jte37corrige.data*.

Le programme est lancé par la commande : `corrigeite<in.corrigeite>corrigeite.outite37`, où le fichier *in.corrigeite* contient les noms des fichiers correspondant à l'itération 37 et à l'itération 37 corrigée.

## 2) Addition des perturbations complémentaires à l'itération 37

Programme *additercomp.f*

Ce programme introduit dans la solution les perturbations complémentaires.

Les fichiers d'entrée sont :

- les fichiers correspondant aux séries à compléter, *ite37corrige.data* et *jte37corrige.data*,
- les fichiers correspondant aux perturbations complémentaires :  
`../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/percompcor.datamu37corrige` et  
`../1_AVANT_PROCESSUS_ITERATIF/jpercompcor.datamu37corrige`,
- les fichiers correspondant aux constantes et moyens mouvements de l'itération 37 corrigée  
*constantes.iter37corrige3* et *moymouv moy.iter37corrige3*.

Les fichiers de sortie sont :

- les fichiers correspondant aux séries complétées, *ite37corrigecomp.data* et *jte37corrigecomp.data*,
- les fichiers correspondant aux constantes de l'itération 37 complétée, *constantes.iter37corrigecomp*.

Le programme est lancé par la commande : `additercomp < in.additercomp > additercomp.outite37`, où le fichier *in.additercomp* contient les noms des fichiers correspondant aux séries à compléter, aux perturbations complémentaires et aux séries complétées.

## 3) Amélioration de la convergence des perturbations correspondant au couple Saturne-Uranus

L'amélioration de la convergence des perturbations correspondant au couple Saturne-Uranus est décrite dans la section 2.1.3.2. Nous appellerons *solution convertie SU* la solution ainsi améliorée. Elle est représentée par les fichiers *ite37corrigecompconvsu.data* et *jte37corrigecompconvsu.data* obtenus par le programme *convsutop.f* du sous-répertoire `../2_CONVSU`.

## 4) Substitution numérique sur l'intervalle de temps [1890, 2000]

Programme *subcorrigecomp.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans différentes versions de la solution sur l'intervalle de temps [1890, 2000] et compare les résultats avec la substitution numérique de référence

`../2_PROCESSUS_ITERATIF/4.SUBNUM/subitetopcorrige.372`.

- On passe d'abord ce programme avec la solution complétée représentée par les fichiers *ite37corrigecomp.data* et *jte37corrigecomp.data*. Le programme est alors lancé par la commande : `subcorrigecomp<in.subcorrigecomp>subcorrigecomp.outite37`, où le fichier *in.subcorrigecomp* contient les noms des fichiers correspondant à la substitution numérique de référence, à la solution complétée, au moyen mouvement moyen correspondant à cette solution et au résultat de la substitution numérique (ici le fichier *subcorrigecompnonconvsu.iter37*).
- On passe ensuite deux fois ce programme avec la *solution convertie SU*
  - la première fois avec les fichiers *ite37corrigecompconvsu.data* et *jte37corrigecompconvsu.data*,
  - la deuxième fois avec les fichiers du même nom mais dans lesquels on a introduit les constantes et moyens mouvements moyens obtenus par comparaison de la substitution numérique précédente avec INPOP10a, sur [1890,2000], par le programme *ctecorrigecomp.f*, décrit plus loin.

Le programme est lancé par les commandes :

`subcorrigecomp<in.subcorrigecomp>subcorrigecomp.outite37convsu`

ou : `subcorrigecomp<in.subcorrigecomp>subcorrigecomp.outite37convsu2`.

Les fichiers correspondant aux substitutions numériques, dont les noms sont donnés dans le fichier *in.subcorrigecomp* sont, respectivement, *subcorrigecompconvsu1.iter37* et *subcorrigecompconvsu2.iter37*.

Les écarts avec la substitution numérique de référence sont satisfaisants (inférieurs à 2.d-13 rad pour les

longitudes moyennes de Jupiter et Neptune, inférieurs à 7.d-10 rad et 9.d-10 rad pour celles de Saturne et Uranus), la *conversion SU* modifiant légèrement les substitutions numériques correspondant à ces deux planètes.

5) *Comparaison à INPOP10a sur l'intervalle de temps [1890, 2000]*

Programme *ctecorrigecomp.f*

Ce programme donne les écarts entre les substitutions numériques obtenues par le programme *subcorrigecomp.f* et INPOP10a sur [1890, 2000], détermine les constantes et moyens mouvements moyens de la solution et vérifie qu'ils sont bien pratiquement identiques à ceux obtenus par le programme *ctetopcorrige.f* du repertoire *../2.PROCESSUS.ITERATIF/3.CTE*. Il y a quelques petites différences pour Saturne et Uranus dues à la *conversion SU*, ce qui nous conduit à passer deux fois le programme.

Lors du premier passage on détermine les fichiers *constantes.iter37corrigecompconvsu1* et *moymouvmoy.iter37corrigecompconvsu1*. Ils sont très proches des fichiers *constantes.ite37corrigecomp* et *moymouvmoy.iter37corrige*, avec, toutefois, des petites différences pour Saturne et Uranus. On introduit ces nouvelles constantes et moyens mouvements moyens dans la solution par le programme *corrigeiteconvsu.f* décrit plus loin.

On substitue de nouveau le temps dans la solution sur [1890, 2000] par le programme *subcorrigecomp.f* puis on passe une deuxième fois le programme *ctecorrigecomp.f* et on vérifie que les nouvelles constantes et moyens mouvements moyens *iter37corrigecompconvsu2* et *moymouvmoy.iter37corrigecompconvsu2* sont pratiquement identiques aux précédents.

La solution finale du mouvement des quatre grosses planètes est donc celle représentée par les fichiers *ite37corrigecompconvsu.data* et *jte37corrigecompconvsu.data* obtenus après le passage du programme *corrigeiteconvsu.f*. Les constantes d'intégration et les moyens mouvements moyens de la solution sont représentés par les fichiers *constantes.iter37corrigecompconvsu1* et *moymouvmoy.iter37corrigecompconvsu1* que l'on copie en *../4.FINALISATION/constantestopfinal.data* et en *../4.FINALISATION/ntopfinal.data*.

6) *Insertion dans la solution des constantes et moyens mouvements finaux*

Programme *corrigeiteconvsu.f*

Ce programme insert dans la solution les fichiers *constantes.iter37corrigecompconvsu1* et *moymouvmoy.iter37corrigecompconvsu1*.

Il est lancé par la commande : *corrigeiteconvsu<in.corrigeiteconvsu>corrigeiteconvsu.outite37*.

Le fichier *in.corrigeiteconvsu* contient les noms des séries à corriger, *ite37corrigecompconvsu.data* et *jte37corrige compconvsu.data*. On garde les mêmes noms pour les fichiers correspondant à la solution corrigée.

7) *Substitution numérique sur l'intervalle de temps [-4000, 8000]*

Programme *subcorrigecomp11001.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans la solution finale sur l'intervalle de temps [-4000, 8000], et compare à la substitution numérique de référence *../2.PROCESSUS.ITERATIF/4.SUBNUM/subitetop11001corrige.ite37data*.

On passe d'abord le programme avec la *solution non convertie SU*, puis avec la *solution convertie SU*.

Ce programme est lancé par la commande :

*subcorrigecomp11001<in.subcorrigecomp11001>subcorrigecomp11001.outite37nonconvsu*

ou bien : *subcorrigecomp11001<in.subcorrigecomp11001>subcorrigecomp11001.outite37convsu*, où

*in.subcorrigecomp11001* contient les noms des fichiers correspondant à :

- la substitution numérique de référence,
- la solution finale du mouvement des quatre grosses planètes,
- les moyens mouvements moyens de cette solution,
- la substitution numérique dans la solution finale, *subcorrigecompnonconvsu11001.data* ou *subcorrigecompconvsu11001.data*.

Les écarts avec la substitution numérique de référence sont satisfaisants (inférieurs à 3.d-11 rad pour les longitudes moyennes de Jupiter et Neptune, et à 3.d-7 rad pour celles de Saturne et Uranus), la *conversion SU* modifiant légèrement les substitutions numériques correspondant à ces deux planètes.

### 2.1.3.2 Le sous-répertoire 2\_CONVSU

Le sous-répertoire 2.CONVSU contient les programmes et fichiers permettant d'améliorer la représentation des perturbations correspondant au couple Saturne-Uranus conformément aux explications du paragraphe 8.4 de la note scientifique S103. Cette amélioration s'effectue à l'aide du

Programme *convstup.f*

Ce programme est lancé par la commande : `convstup<in.convstup>convstup.outite37`, où le fichier *in.convstup* contient :

- les noms des fichiers à convertir,  
   *./1.SOLUTION\_COMPLETE/ite37corrigecomp.data* et  
   *./1.SOLUTION\_COMPLETE/jte37corrigecomp.data* ;
- les noms des fichiers modifiés  
   *./1.SOLUTION\_COMPLETE/ite37corrigecompconvsu.data* et  
   *./1.SOLUTION\_COMPLETE/jte37corrigecompconvsu.data* ;
- le nom du fichier donnant les listes des arguments à remplacer et de leurs remplaçants, *argsu.data*.

### 2.1.3.3 Le sous-répertoire 3\_EPIOMEGA

Le sous-répertoire 3.EPIOMEGA contient :

- le programme *epiomega.f* permettant la construction des séries de Poisson correspondant aux éléments elliptiques :  $e$  (excentricité),  $\varpi$  (longitude du périhélie),  $i$  (inclinaison),  $\Omega$  (longitude du nœud ascendant) des quatre grosses planètes et de Pluton. Ce programme permet aussi de calculer les éléments moyens de ces variables.
- les fichiers résultats donnés par ce programme.

Programme *epiomega.f*

Les fichiers d'entrée sont les fichiers suivants, issus du sous-répertoire *../4\_FINALISATION* :

- *ptop5pla2013.data* et *itop5pla2013.data*,
- *ntopfinal.data* et *constantestopfinal.data*.

Les fichiers de sortie sont :

- *epiomega5pla2013.data* et *iepiomega5pla2013.data*, correspondant aux séries des variables  $e$ ,  $\varpi$ ,  $i$ ,  $\Omega$ ,
- *termsecuepiomega.txt*, fichier séquentiel correspondant aux éléments moyens de ces variables.

Ce programme est lancé par la commande : `epiomega>epiomega.out`.

Le fichier *termsecuepiomega.txt* est recopié dans le sous-répertoire *../4\_FINALISATION*.

On se reportera aux remarques données à la fin du ALIRE de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-EPIOMEGA.txt*) pour obtenir des informations supplémentaires sur le calcul de ces éléments elliptiques.

### 2.1.3.4 Le sous-répertoire 4\_FINALISATION

Le sous-répertoire *../4\_FINALISATION* finalise la construction de TOP213, en suivant les étapes suivantes.

#### 1) Troncature à 1.d-14 des séries correspondant à Pluton TOP2013

Programme *corrigplutontop.f*

Ce programme effectue la troncature à 1.d-14 des séries correspondant à la solution du mouvement de Pluton issue de TOP2013. Cette troncature facilite l'intégration de cette solution dans VSOP2013 et ne modifie pas sa précision.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers *plutontop2013data* et *jlutontop2013.data* du sous-répertoire : *2\_PLUTON/2\_THEORIE/3\_PROCESSUS\_ITERATIF/6\_CONV/*.

Les fichiers de sortie sont les fichiers *plutontop2013.datad-14* et *jlutontop2013.datad-14*.

Le programme est lancé par la commande : `corrigplutontop<in.corrigplutontop>corrigplutontop.out`, où *in.corrigplutontop* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

2) *Constitution de TOP2013*

Programme *writetop.f*

Ce programme construit la solution TOP2013 pour le mouvement des quatre grosses planètes et de Pluton.

Les fichiers d'entrée sont :

- *ite37corrigecompconvsu.data* et *jte37corrigecompconvsu.data* issus du sous-répertoire :  
     *..1.SOLUTION.COMPLETE*,
- *plutontop2013.datad-14* et *jlutontop2013.datad-14*, créés par le programme *corrignplutontop.f*.

Les fichiers de sortie sont les fichiers *ptop5pla2013.data* et *itop5pla2013.data*.

Le programme est lancé par la commande : `writetop<in.writetop>writetop.out`, où *in.writetop* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

3) *Comparaison de TOP2013 à INPOP10a*

- Sur l'intervalle [1890, 2000]

La comparaison de TOP2013 à INPOP10a sur l'intervalle de temps [1890, 2000] s'effectue en lançant successivement les programmes *subtop18902000.f* et *diftopinpop18902000.f*.

Programme *subtop18902000.f*

Ce programme substitue le temps dans TOP2013 pour 2001 dates sur [1890, 2000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subcorrigecompconvsu2.iter37*, issu du sous-répertoire *..1.SOLUTION.COMPLETE* (substitution numérique de référence),
- *ptop5pla2013.data* et *itop5pla2013.data* créés par *writetop.f*.

Le fichier de sortie est le fichier *subtop189020005pla.data*.

Le programme est lancé par la commande : `subtop18902000<in.subtop18902000>subtop18902000.out`, où *in.subtop18902000* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

Le programme vérifie également que, pour les quatre grosses planètes, le résultat est identique à la substitution numérique de référence.

Programme *diftopinpop18902000.f*

Ce programme effectue la différence entre la substitution numérique créée par *subtop18902000.f* et INPOP10a sur [1890, 2000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subtop189020005pla.data*, substitution numérique créée par *subtop18902000.f*,
- *inpop10ell14corps2001.data*, substitution numérique du temps dans INPOP10a sur [1890, 2000] issue du sous-répertoire *.././2.PROCESSUS.ITERATIF*.

Le programme est lancé par la commande : `diftopinpop18902000>diftopinpop18902000.out`.

Les résultats sont très proches de ceux obtenus en construisant TOP2013, donnés dans la table 10 de la note scientifique de l'IMCCE S103, les petits écarts s'expliquant par le changement de compilateur et le fait que les diverses corrections n'ont pas toujours été faites dans le même ordre.

- Sur l'intervalle [-4000, 8000]

La comparaison de TOP2013 à INPOP10a sur l'intervalle de temps [-4000, 8000] s'effectue en lançant successivement les programmes *subtop-4000+8000.f* et *diftopinpop-4000+8000.f*.

Programme *subtop-4000+8000.f*

Ce programme substitue le temps dans TOP2013 pour 11001 dates sur [-4000, 8000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subcorrigecompconvsu11001.iter37*, issu du sous-répertoire *..1.SOLUTION.COMPLETE* (substitution numérique de référence),
- *ptop5pla2013.data* et *itop5pla2013.data* créés par *writetop.f*.

Le fichier de sortie est le fichier *subtop-4000+80005pla.data*.

Le programme est lancé par la commande :

`subtop-4000+8000<in.subtop-4000+8000>subtop-4000+8000.out`, où *in.subtop-4000+8000* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

Le programme vérifie également que, pour les quatre grosses planètes, le résultat est identique à la substitution numérique de référence.

Programme *diftopinpop-4000+8000.f*

Ce programme effectue la différence entre la substitution numérique créée par *subtop-4000+8000.f* et INPOP10a sur [1890, 2000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subtop-4000+8000pla.data*, substitution numérique créée par *subtop-4000+8000.f*,
- *inpop10ell14corps11001.data*, substitution numérique du temps dans INPOP10a sur [-4000, 8000] issue du sous-répertoire *../2.PROCESSUS\_ITERATIF*.

Le programme est lancé par la commande : *diftopinpop-4000+8000>diftopinpop-4000+8000.out*.

Les résultats sont très proches de ceux obtenus en construisant TOP2013, donnés dans la table 12 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

- Sur les intervalles [0, 4000] et [900, 3100]

Programmes *diftopinpop04000.f* et *diftopinpop9003100.f*

Ces programmes comparent TOP2013 à INPOP10a pour, respectivement, 3655 dates sur l'intervalle [0, 4000] et 2011 dates sur l'intervalle [900, 3100].

Les fichiers d'entrée de ces programmes sont : *subtop-4000+80005pla.data* et *inpop10ell14corps11001.data*.

Les programmes sont lancés par les commandes :

*diftopinpop04000>diftopinpop04000.out* et *diftopinpop9003100>diftopinpop9003100.out*.

Les résultats sont très proches de ceux obtenus en construisant TOP2013, donnés dans la table 12 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

#### 4) Construction des séries de Poisson correspondant aux variables sphériques et rectangulaires des quatre grosses planètes

- Variables héliocentriques sphériques  $L, B, R$

Programme *lbrmu.f*

Ce programme calcule les séries de Poisson correspondant aux variables héliocentriques sphériques  $L, B, R$ .

Les fichiers d'entrée sont :

- *ptop5pla2013.data* et *itop5pla2013.data* créés par *writetop.f*
- *ntopfinal.data* et *constantestopfinal.data* correspondant aux moyens mouvements moyens et aux constantes d'intégration de TOP2013 pour les quatre grosses planètes.

Les fichiers de sortie sont *lbr4pla2013.data* et *ilbr4pla2013.data*.

Le programme est lancé par la commande : *lbrmu>lbrmu.out*.

- Variables héliocentriques rectangulaires  $X, Y, Z$

Programme *xyzmu.f*

Ce programme calcule les séries de Poisson correspondant aux variables héliocentriques rectangulaires  $X, Y, Z$ .

Les fichiers d'entrée sont les mêmes que dans le programme précédent.

Les fichiers de sortie sont *xyz4pla2013.data* et *ixyz4pla2013.data*.

Le programme est lancé par la commande : *xyzmu>xyzmu.out*.

- Substitution numérique des variables  $L, B, R, X, Y, Z$  sur [-4000,+8000]

Programme *sublbrxyzmu.f*

Ce programme substitue le temps dans les séries correspondant aux variables  $L, B, R, X, Y, Z$  pour 11001 dates sur [-4000, 8000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *lbr4pla2013.data* et *ilbr4pla2013.data*, correspondant aux variables  $L, B, R$ ,
- *xyz4pla2013.data* et *ixyz4pla2013.data*, correspondant aux variables  $X, Y, Z$ ,
- *ntopfinal.data*, moyens mouvements moyens des quatre grosses planètes.

Le fichier de sortie est *sublbrxyzmu4pla.sequ12000*, fichier séquentiel correspondant à la substitution numérique.

Le programme est lancé par la commande : `sublbrxyzmu>sublbrxyzmu.out`.

- Différence entre *sublbrxyzmu4pla.sequ12000* et INPOP10a

Programme *diftopinpoplbrxyz-4000+8000.f*

Ce programme effectue la différence, sur  $[-4000,+8000]$ , entre la substitution numérique issue du programme *sublbrxyzmu.f* et INPOP10a.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers

- *sublbrxyzmu4pla.sequ12000*, substitution numérique issue de *sublbrxyzmu.f*,
- *.././2\_PROCESSUS\_ITERATIF/inpop10ell11001.data*, substitution numérique du temps dans INPOP10a sur  $[-4000,+8000]$ .

Le programme est lancé par : `diftopinpoplbrxyz-4000+8000>diftopinpoplbrxyz-4000+8000.out`.

Les résultats sont très voisins de ceux donnés, pour ces variables, par le programme *diftopinpop-4000+8000.f*, ce qui prouve que la précision avec laquelle ont été calculés les séries  $L, B, R, X, Y, Z$  est correcte.

## 5) Construction des séries TOP2013

- Construction des séries correspondant aux éléments elliptiques

Programme *buildell.f*

Ce programme construit les séries TOP2013 correspondant aux éléments elliptiques des quatre grosses planètes et de Pluton.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers correspondant à TOP2013, *ptop5pla2013.data* et *itop5pla2013.data*.

Les fichiers de sortie sont des fichiers séquentiels de la forme

- *TOP2013ELL-ii.dat*, où -ii indique le niveau de troncature,
- *buildell.txt*, fichier texte donnant le nombre de termes des séries et leur niveau de troncature.

Le programme est lancé par la commande : `buildell>buildell.out`, où *buildell.out* donne le numéro de la planète et le niveau de troncature choisi.

Le fichier *TOP2013ELL-50.dat* donné ici correspond donc à un passage pour les quatre grosses planètes et Pluton, avec la troncature 1.d-50, ce qui revient à conserver tous les termes des séries.

- Construction des séries correspondant aux variables sphériques et rectangulaires des quatre grosses planètes

Programmes *buildlbr.f* et *buildxyz.f*

Ces programmes construisent les séries TOP2013 correspondant aux variables sphériques et rectangulaires des quatre grosses planètes. Ils sont très semblables au programme *buildell.f*.

On obtient les fichiers *TOP2013LBR-50.dat* et *TOP2013XYZ-50.dat*.

## 6) Édition des éléments moyens

- Éléments moyens des variables elliptiques

Les éléments moyens (ou termes séculaires) des variables  $a, \lambda, k, h, q, p$  pour les quatre grosses planètes et Pluton par rapport à l'équinoxe et l'écliptique J2000, sont donnés par le

Programme *termsecu.f*

Le fichier d'entrée est *TOP2013ELL-50.dat*.

Le fichier de sortie, *termsecu.txt*, donne ces éléments moyens.

Le programme s'appelle simplement par la commande : `termsecu`.

- Éléments moyens de l'ensemble des variables  $a, \lambda, k, h, q, p, e, \varpi, i, \Omega$ .

Les éléments moyens des variables  $a, \lambda, k, h, q, p, e, \varpi, i, \Omega$ , pour les quatre grosses planètes et Pluton par rapport à l'équinoxe et l'écliptique J2000, sont donnés par le

Programme *elmoy.f*

Les fichiers d'entrée sont les fichiers *termsecu.txt*, issu de *termsecu.f* et *termsecuepiomega.txt* copie du fichier du même nom issu du programme *epiomega.f* du sous-répertoire *../\_EPIOMEGA*.

Le fichier de sortie, *elmoy.txt*, donne ces éléments moyens.

Le programme s'appelle simplement par la commande : `elmoy`.

## 7) Envoi de fichiers dans .././4\_TOP2013

On envoie dans le sous-répertoire .././4\_TOP2013

- les séries de Poisson correspondant aux éléments elliptiques, aux variables héliocentriques sphériques et rectangulaires *TOP2013ELL-50.dat*, *TOP2013LBR-50.dat*, *TOP2013XYZ-50.dat*, que l'on renomme *TOP2013.dat*, *TOP2013LBR.dat*, *TOP2013XYZ.dat*,
- le fichier des éléments moyens *elmoy.txt*, issu de *elmoy.f*.

**2.1.4 Le sous-répertoire 4\_TOP2013**

Le sous-répertoire 4\_TOP2013 contient :

- les séries de Poisson correspondant aux variables elliptiques pour les quatre grosses planètes et Pluton, *TOP2013.dat*,
- les séries de Poisson correspondant aux variables héliocentriques sphériques pour les quatre grosses planètes, *TOP2013LBR.dat*,
- les séries de Poisson correspondant aux variables héliocentriques rectangulaires pour les quatre grosses planètes *TOP2013XYZ.dat*.
- les éléments moyens pour les variables  $a, \lambda, k, h, q, p, e, \varpi, i, \Omega$  des quatre grosses planètes et Pluton, *elmoy.txt*
- les programmes *top2013.f*, *top2013LBR.f*, *top2013XYZ.f* qui calculent, respectivement, les éléments elliptiques, les variables  $L, B, R$  et les variables  $X, Y, Z$  entre 1890 et 2000 à partir des séries de Poisson correspondantes, pour des dates données.

Programme *top2013.f*

Dans la version proposée ici à titre d'exemple, ce programme calcule, pour 11 dates sur l'intervalle [1890, 2000], par pas de 4000 jours, la date initiale étant le 26 juin 1890 à 12h (jour julien 2411545.0d0), pour les quatre grosses planètes et Pluton :

- les éléments elliptiques  $a$  (ua),  $\lambda$  (radian),  $k, h, q, p$ , par rapport à l'écliptique dynamique J2000,
- les coordonnées écliptiques héliocentriques rectangulaires  $X, Y, Z$  (ua),  $X', Y', Z'$  (ua/jour), par rapport à l'écliptique dynamique J2000,
- les coordonnées équatoriales héliocentriques rectangulaires  $X, Y, Z$  (ua),  $X', Y', Z'$  (ua/jour), par rapport à l'ICRS J2000,
- les coordonnées écliptiques héliocentriques sphériques  $L$  (radian),  $B$  (radian),  $R$  (ua), par rapport à l'écliptique dynamique J2000,
- les coordonnées équatoriales héliocentriques sphériques  $L$  (radian),  $B$  (radian),  $R$  (ua), par rapport à l'équateur INPOP J2000.

Le fichier d'entrée est TOP2013.dat.

Le programme est lancé en faisant simplement la commande top2013.

Les résultats sont lus dans le fichier TOP2013.out.

Programme *top2013LBR.f*

Ce programme calcule, pour les mêmes dates que le programme précédent, pour les quatre grosses planètes :

- les coordonnées écliptiques héliocentriques sphériques  $L$  (radian),  $B$  (radian),  $R$  (ua), par rapport à l'écliptique dynamique J2000.

Le fichier d'entrée est TOP2013LBR.dat.

Le programme est lancé en faisant simplement la commande top2013LBR.

Les résultats sont lus dans le fichier TOP2013LBR.out.

On constatera qu'ils sont très proches de ceux donnés par le programme *top2013.f* pour les variables considérées.

Programme *top2013XYZ.f*

Ce programme calcule, pour les mêmes dates que les programmes précédents, pour les quatre grosses planètes :

- les coordonnées écliptiques héliocentriques rectangulaires  $X, Y, Z$  (ua) par rapport à l'écliptique dynamique J2000.

Le fichier d'entrée est TOP2013XYZ.dat.

Le programme est lancé en faisant simplement la commande top2013xyz.

Les résultats sont lus dans le fichier TOP2013XYZ.out.

On constatera qu'ils sont très proches de ceux donnés par le programme *top2013.f* pour les variables considérées.

## 2.2. LE SOUS-RÉPERTOIRE 2\_PLUTON

Le sous-répertoire 2\_PLUTON contient toutes les étapes permettant de passer d'une itération  $n - 1$  à une itération  $n$ . On l'applique ici au passage de l'avant-dernière itération (itération 6) à la dernière itération (itération 7) du processus itératif utilisé pour construire les solutions de TOP2013 correspondant au mouvement de Pluton.

Ces étapes sont décrites dans le chapitre 9 de la note scientifique de l'IMCCE S103.

Ce sous-répertoire contient deux sous-répertoires :

- 1.PREMIERORDRE
- 2.THEORIE

### 2.2.1 Le sous-répertoire 1\_PREMIERORDRE

Le sous-répertoire 1\_PREMIERORDRE se rapporte au calcul des perturbations au premier ordre des masses des couples grosses planètes - Pluton. Ce calcul s'effectue conformément aux indications des paragraphes 9.1 et 9.2.4 de la note scientifique S103.

#### 1) Calcul des perturbations du premier ordre grosses planètes-Pluton en fonction de l'argument $\nu$

Les perturbations au premier ordre des masses des couples grosses planètes - Pluton ont d'abord la forme de séries de Poisson d'un argument  $\nu$ , fonction linéaire du temps.

- L'argument  $\nu$

L'argument utilisé pour construire la théorie du mouvement de Pluton est l'argument  $\nu$ , défini par :  $\nu = n_8/105$ , où  $n_8$  est le moyen mouvement moyen de Neptune.

Il est légèrement différent de l'argument  $\mu$  utilisé pour la construction de TOP2013 et permet de représenter la grande inégalité Neptune-Pluton par des termes séculaires (argument  $0\nu$ ), comme expliqué dans le paragraphe 5.2.4 de la note scientifique S103.

Une fois les perturbations calculées sous forme de séries de Poisson de  $\nu$ , on les convertira en séries de Poisson de l'argument  $\mu$  de TOP pour les introduire dans TOP2013 et VSOP2013.

- Programmes de calcul

Le calcul des premiers ordres grosses planètes - Pluton se fait en lançant les programmes :

*runpremierojupplu*, *runpremierosatplu*, *runpremierouraplu*, *runpremieronepplu*.

Ces *run* exécutent successivement les programmes *stepbpremierordre.f* et *stepcpremierordre.f*, de la façon suivante :

```

- runpremierordrejupplu :
stepbpremierordre<in.jupplu> runpremierordrejupplu.out
stepcpremierordre<in.jupplu> runpremierordrejupplu.out
- runpremierordresatplu :
stepbpremierordre<in.satplu> runpremierordresatplu.out
stepcpremierordre<in.satplu> runpremierordresatplu.out
- runpremierordreuraplu :
stepbpremierordre<in.uraplu> runpremierordreuraplu.out
stepcpremierordre<in.uraplu> runpremierordreuraplu.out
- runpremierordrenepplu :
stepbpremierordre<in.nepplu> runpremierordrenepplu.out
```

stepcpremierordre<in.nepplu> runpremierordrenepplu.out.

Les programmes *stepbpremierordre.f* et *stepcpremierordre.f* sont analogues aux programmes *stepb.f* et *stepc.f* décrits dans le sous-répertoire `../1_GROSSES_PLANETES/2_PROCESSUS_ITERATIF`.

- *stepbpremierordre.f* calcule les deuxièmes membres des équations de Lagrange à partir des données des fichiers d'entrée *in.jupplu*, *in.satplu*, *in.uraplu*, *in.nepplu*. Le fichier de sortie, *premiero.DATA* est envoyé sur une unité de grande capacité.
- *stepcpremierordre.f* intègre les équations de Lagrange à partir de *premiero.DATA* et des fichiers d'entrée *in.jupplu*, *in.satplu*, *in.uraplu*, *in.nepplu*.

Le fichier de sortie est *jsunpluton.datanu*.

On se reportera au paragraphe 9.1 de la note scientifique S103 ou au *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-PREMIERORDRE.txt*) pour la description du contenu des fichiers d'entrée *in.jupplu*, *in.satplu*, *in.uraplu* et *in.nepplu*.

## 2) Conversion des séries de Poisson de $\nu$ en séries de Poisson de $\mu$

La conversion du premier ordre grosses planètes-Pluton en séries de Poisson de  $\mu$  s'effectue par le Programme : *convnumujsunplu.f*

Ce programme est lancé par : `convnumujsunplu>convnumujsunplu.out`.

Le fichier d'entrée est *jsunpluton.datanu*, le fichier de sortie est *jsunpluton.data*.

### 2.2.2 Le sous-répertoire 2\_THEORIE

Le sous-répertoire 2\_THEORIE contient les étapes permettant de construire la théorie du mouvement de Pluton conformément aux indications des paragraphes 9.2 à 9.7 de la note scientifique de l'IMCCE S103. Il contient les trois sous-répertoires suivants :

- 1\_EXTRAIT\_VSOP
- 2\_PLANETES\_TELLURIQUES
- 3\_PROCESSUS\_ITERATIF

#### 2.2.2.1 Le sous-répertoire 1\_EXTRAIT\_VSOP

Le sous-répertoire 1\_EXTRAIT\_VSOP contient les fichiers et programmes permettant d'extraire les 50 premiers termes de VSOP2013 pour chacune des variables elliptiques des planètes telluriques et de les convertir ensuite en séries de Poisson de  $\nu$ . Ces séries serviront à construire les perturbations au deuxième ordre des masses des planètes telluriques sur Pluton.

- Extraction des termes de VSOP2013

Programme *extraitvsop.f*

Ce programme extrait les 50 premiers termes de VSOP2013 pour chaque variable elliptique des planètes telluriques.

Les fichiers d'entrée sont :

- *pr2.iter8*, copie du fichier du même nom du répertoire `CONSTRUCTION_VSOP/2_PROCESSUS_ITERATIF`, correspondant à la dernière itération de VSOP2013 ;
- *constantes.iter8*, copie du fichier du même nom du même répertoire, correspondant aux constantes et moyens mouvements moyens de cette itération.

Les fichiers de sortie seront successivement :

- *mer50.data*, correspondant à Mercure obtenu en faisant `ip=1` dans le programme,
- *ven50.data*, correspondant à Venus (`ip=2`),
- *btl50.data*, correspondant au Barycentre Terre-Lune (`ip=3`),
- *mar50.data*, correspondant à Mars (`ip=4`).

Le programme est lancé en faisant successivement : `extraitvsop>extraitvsop.outmercure (ip=1)`, `>extraitvsop.outvenus (ip=2)`, `>extraitvsop.outbtl (ip=3)`, `>extraitvsop.outmar (ip=4)`.

- Conversion en séries de  $\nu$

Programme *convvsopnu.f*

Ce programme convertit en séries de  $\nu$  les fichiers créés par le programme *extraitvsop.f*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *constantes.iter8*,
- pour chaque passage successif correspondant aux quatre planètes telluriques, le fichier créé par *extraitvsop.f* pour la planète considérée.

Les fichiers de sortie seront successivement : *mer50nu.data*, *ven50nu.data*, *btl50nu.data*, *ven50nu.data*.

Le programme est lancé en faisant successivement : *convvsopnu>convvsopnu.outmercure*,

*>convvsopnu.outvenus*, *>convvsopnu.outbtl*, *>convvsopnu.outmars*.

Notons que  $\nu$  est calculé à partir du moyen mouvement moyen de Neptune  $n_8$  issu de la 19<sup>e</sup> itération du processus itératif de TOP2013 mais que le calcul de  $\nu$  à partir d'un  $n_8$  issu d'itérations ultérieures n'entraînerait que de très faibles modifications.

### 2.2.2.2 Le sous-répertoire 2\_PLANETES\_TELLURIQUES

Le sous-répertoire 2\_PLANETES\_TELLURIQUES contient deux sous-répertoires.

#### 1) 1.PERTURBATIONS\_PREMIERORDRE

- Programmes de calcul

On calcule les perturbations du premier ordre des planètes telluriques sur Pluton, conformément aux indications du paragraphe 9.2.3 de la note scientifique S103, en lançant les programmes :

*runpremieromerplu*, *runpremierovenplu*, *runpremieroterplu*, *runpremiermarplu*.

Ces *run* exécutent successivement les programmes *stepbpremierordre.f* et *stepcpremierordre.f*, d'une façon tout à fait semblable à celle présentée dans le paragraphe 2.2.1 concernant les perturbations du premier ordre des grosses planètes sur Pluton.

Les fichiers d'entrée sont *in.merplu*, *in.venplu*, *in.terplu* et *in.marplu*. Ils ont une forme analogue à celle des fichiers d'entrée des programmes décrits dans le paragraphe 2.2.1. On se reportera au *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-PERTURBATIONS\_PREMIERORDRE.txt*) pour la description détaillée de ces fichiers d'entrée.

Le fichier de sortie est *plutonmvtm.data*.

Ce fichier a quatre parties correspondant aux quatre planètes telluriques que l'on rassemble en un fichier *plutonptel.data* à l'aide du programme *addplutoptel1eor.f*.

#### 2) 2.PERTURBATIONS\_DEUXIEMEORDRE

- Programmes de calcul

On calcule les perturbations du deuxième ordre des planètes telluriques sur Pluton, conformément aux indications du paragraphe 9.2.3 de la note scientifique S103, en lançant les programmes : *runp2eomerplu*,

*runp2eovenplu*, *run2eobtlplu*, *run2eomarplu*.

Ces *run* exécutent successivement trois programmes de la façon suivante :

- *run2eomerplu* :

*stepa2eomerplu<in.stepamerplu>run2eomerplu.out*

*stepb2eomerplu<in.merplu>run2eomerplu.out*

*stepc2eomerplu<in.merplu>run2eomerplu.out*

- *run2eovenplu* :

*stepa2eovtmplu<in.stepavenplu>run2eovenplu.out*

*stepb2eovtmplu<in.venplu>run2eovenplu.out*

*stepc2eovtmplu<in.venplu>run2eovenplu.out*

- *run2eobtlplu* :

*stepa2eovtmplu<in.stepabtlplu>run2eobtlplu.out*

*stepb2eovtmplu<in.btlplu>run2eobtlplu.out*

*stepc2eovtmplu<in.btlplu>run2eobtlplu.out*

– run2eomarplu :  
 stepa2eovtmplu<in.stepamarplu>run2eomarplu.out  
 stepb2eovtmplu<in.marplu>run2eomarplu.out  
 stepc2eovtmplu<in.marplu>run2eomarplu.out.

La période de la longitude moyenne de Mercure étant nettement plus petite que celle des autres planètes telluriques, les arguments des séries correspondant aux perturbations dues à cette planète peuvent atteindre des multiples de  $\nu$  plus élevés que pour Vénus, le barycentre Terre-Lune (BTL) et Mars. C'est la raison pour laquelle nous avons deux séries de programmes : *stepa2eomerplu.f*, *stepb2eomerplu.f*, *stepc2eomerplu.f* utilisés pour calculer les perturbations dues à Mercure, dans lesquels le paramètre  $KP$  qui correspond au multiple maximum de  $\nu$  est égal à 524 288, et *stepa2eovtmplu.f*, *stepb2eovtmplu.f*, *stepc2eovtmplu.f* utilisés pour calculer les perturbations dues aux autres planètes telluriques, dans lesquels  $KP = 262\,144$ .

Ces six programmes sont très semblables aux programmes *stepa.f*, *stepb.f* et *stepc.f* décrits dans le sous-répertoire `../1.GROSSES.PLANETES 2.PROCESSUS.ITERATIF`.

Les fichiers d'entrée du type *in.stepplapla* (ou le suffixe *pla* est *mer*, *ven*, *btl* ou *mar*) donnent :

- les noms des fichiers correspondant à l'avant-dernière itération de la théorie du mouvement de Pluton,
- le nom du fichier correspondant à l'extrait de VSOP pour la planète tellurique concernée.

Les fichiers d'entrée du type *in.plaplu* (où le suffixe *pla* est *mer*, *ven*, *btl* ou *mar*) ont une forme analogue à celle des fichiers d'entrée des programmes décrits dans le paragraphe 2.2.1. On se reportera au *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-PERTURBATIONS.DEUXIEMEORDRE.txt*) pour la description détaillée de ces fichiers d'entrée.

Les fichiers de sortie correspondant aux quatre planètes telluriques, sont, respectivement, *plutonmer2eor.data* et *jlutonmer2eor.data*, *plutonven2eor.data* et *jlutonven2eor.data*, *plutonbtl2eor.data* et *jlutonbtl2eor.data*, *plutonmar2eor.data* et *jlutonmar2eor.data*.

Programme *addplutontel2eor.f*

Ce programme rassemble les perturbations au deuxième ordre des masses en deux fichiers *plutontel2eor.data* et *jlutontel2eor.data*

Les fichiers d'entrée sont les fichiers créés par les programmes de calcul des perturbations.

Les fichiers de sortie sont *plutontel2eor.data* et *jlutontel2eor.data*.

Le programme est lancé par la commande : `addplutontel2eor>addplutontel2eor.out`.

### 2.2.2.3 Le sous-répertoire 3.PROCESSUS.ITERATIF

Le sous-répertoire 3.PROCESSUS.ITERATIF contient :

- *Les fichiers suivants*
  - *ite04gp.data* et *jte04gp.data*, correspondant à la dix-neuvième itération de la construction de TOP2013, convertie en séries de Poisson de  $\nu$ ,
  - *modifite04*, correspondant aux corrections à apporter à cette itération,
  - *ite65pla.data* et *jte65pla.data* correspondant à l'itération 6 du processus itératif de la construction de la solution du mouvement de Pluton,
  - *modif6*, correspondant aux corrections à apporter à cette sixième itération,
  - *constantesite65pla.data* et *moymouvmoyite65pla.data* correspondant, respectivement, aux constantes d'intégration et aux moyens mouvements moyens de l'itération 6,
  - *ite75pla.data* et *jte75pla.data* correspondant à l'itération 7,
  - *platel.datacor* correspondant à l'estimation des perturbations des planètes telluriques sur les grosses planètes issues du sous-répertoire `CONSTRUCTION.TOP/1.GROSSES.PLANETES/1.AVANT.PROCESSUS.ITERATIF`,
  - *platel3eordre.data* correspondant aux perturbations au troisième ordre des masses des planètes telluriques sur les grosses planètes,
  - *navcptel-nsansptel.datanu*, calculé dans le sous-répertoire `1.NAVECPTTEL-NSANSPTTEL` décrit plus loin,
  - *platel.datanu* et *platel3eordre.datanu* obtenus par les programmes de conversion *communupertel.f* et

- communuperptel3eo.f* décrits plus loin,
- *plutonptel.data* correspondant aux perturbations du premier ordre des planètes telluriques sur Pluton, issues du sous-répertoire `../2.THEORIE/2.PLANETES.TELLURIQUES/1.PERTURBATIONS-PREMIERORDRE`
  - *Les programmes de conversion communuperptel.f et communuperptel3eo.f*  
Ces programmes convertissent en séries de Poisson de  $\nu$ , respectivement, *platel.datacor* et *platel3eordre.data* (fichiers d'entrée).  
Les fichiers de sortie sont, respectivement, *platel.datanu* et *platel3eordre.datanu*.  
Ils sont lancés par les commandes :  
`communuperptel>communuperptel.out` et `communuperptel3eo>communuperptel3eo.out`.
  - *Les programmes de base du processus itératif*  
Ils sont décrits dans le paragraphe 9.2.1 de la note scientifique S103. Ce sont les Programmes *stepa5pla.f*, *stepb5pla.f*, *stepc5pla.f*  
Ces programmes sont très semblables aux programmes *stepa.f*, *stepb.f* et *stepc.f* décrits dans le sous-répertoire `../1.GROSSES.PLANETES/2.PROCESSUS.ITERATIF`, à ceci près qu'il y a cinq corps au lieu de quatre et que l'argument des séries de Poisson est  $\nu$  au lieu de  $\mu$ . On se reportera au paragraphe 2.1.2 ainsi qu'au *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-PROCESSUS.ITERATIF.txt*) pour des informations détaillées sur ces programmes. Indiquons simplement que :
    - *stepa5pla.f* additionne les perturbations par les planètes telluriques aux résultats de l'itération 6 pour les quatre grosses planètes et Pluton puis effectue des substitutions numériques dans les éléments elliptiques pour des valeurs discrètes de  $\nu$ , le résultat étant envoyé sur une unité de grande capacité.
    - *stepb5pla.f* calcule les deuxièmes membres des équations de Lagrange à partir du fichier créé par *stepa5pla.f*, le résultat étant envoyé sur une unité de grande capacité.
    - *stepc5pla.f* intègre les équations de Lagrange à partir du fichier créé par *stepb5pla.f*. Les résultats sont les fichiers correspondant à l'itération 7 : *ite75pla.data* et *jte75pla.data*.
  - *Le programme corplutonmodifite7.f*  
Ce programme corrige certains termes obtenus dans le processus itératif comme on l'explique dans le paragraphe 9.3.1 de la note scientifique S103. Nous avons estimé que les corrections à apporter à l'itération 7 étaient les mêmes que pour l'itération 6. Ce sont les corrections *modif6* qui sont rentrées en clair dans le programme.  
Par ailleurs ce programme fixe la solution pour le mouvement des grosses planètes à *ite04gp.data* et *jte04gp.data* comme on l'explique dans le paragraphe 9.2.2 de la note scientifique IMCCE S103. Cette solution doit être corrigée par les corrections *modifite04* qui sont rentrées en clair dans le programme.  
Les fichiers d'entrée sont *ite75pla.data* et *jte75pla.data*, *ite04gp.data* et *jte04gp.data*.  
Les fichiers de sortie correspondent à l'itération 7 corrigée : *ite75pla.datamodif6* et *jte75pla.datamodif6*.  
Le programme est lancé par la commande :  
`corplutonmodifite7<in.corplutonmodifite7>corplutonmodifite7.out`, où *in.corplutonmodifite7* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

Le sous-répertoire 3.PROCESSUS.ITERATIF contient en outre six sous-répertoires :

- 1\_NAVECPTEL-NSANSPTEL,
- 2\_MOINDRES-CARRES,
- 3\_CTE,
- 4\_SUBNUM,
- 5\_ADD,
- 6\_CONV.

#### 1) 1\_NAVECPTEL-NSANSPTEL

Ce sous-répertoire contient les programmes permettant de calculer les différences entre les moyens mouvements  $n$  obtenus en tenant compte de la contribution des planètes telluriques et les moyens mouvements  $n$  obtenus sans tenir compte de la contribution des planètes telluriques.

Ce calcul s'effectue exactement comme pour les quatre grosses planètes en suivant la méthode décrite

au paragraphe 2.1.2.1. On se reportera donc à ce paragraphe et au *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE\_NAVECPTTEL-NSANSPTTEL.txt*) pour le détail du calcul. Indiquons simplement que :

- Les fichiers correspondant au moyen mouvement calculé avec les contributions des planètes telluriques *inite75pla.avecptel* et *jnite75pla.avecptel* sont obtenus par la séquence :  
`stepa5pla<in.stepa5pla>stepa5pla.out stepb5pla>stepb5pla.out`  
`stepc5pla<out.stepc5pla>stepc5pla.out.`
- Les fichiers correspondant au moyen mouvement calculé sans les contributions des planètes telluriques *inite75pla.sansptel* et *jnite75pla.sansptel* sont obtenus par la séquence :  
`stepa5plasansptel<in.stepa5plasansptel>stepa5plasansptel.out stepb5pla>stepb5pla.outsansptel`  
`stepc5pla<out.stepc5plasansptel>stepc5plasansptel.out.`
- La différence entre ces deux moyens mouvements est calculée par le programme *difn.f*, lancé par la commande : `difn<in.difn>difn.out`. Le fichier résultat *../navecptel-nsansptel.datanu* est envoyé dans le sous-répertoire *../3-PROCESSUS\_ITERATIF*

## 2) 2\_MOINDRES\_CARRES

Ce sous-répertoire contient les programmes permettant de calculer, par moindres carrés, un certain nombre de corrections empiriques à apporter à la solution du mouvement de Pluton à partir de la comparaison de cette solution à INPOP10a sur différents intervalles de temps.

- Programme *mcardifplutoncor1.f*

Ce programme calcule les corrections à apporter aux coefficients des termes périodiques et des termes de Poisson en *tcost* et *tsint* de l'argument  $4\nu$  pour les variables  $a$ ,  $\lambda$ ,  $k$ ,  $h$  de Pluton (corrections *cor1*).

Le fichier d'entrée est le fichier séquentiel *plutonite07.sequsanscorrection* du sous-répertoire *../3-CTE*, créé par le programme *cteplutonsanscorrection.f* du même sous-répertoire et qui correspond aux différences entre les éléments de Pluton issus de la théorie et ceux issus d'INPOP10a pour 4001 dates sur l'intervalle [1890, 2110].

Le fichier de sortie est le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor1* correspondant aux différences entre les éléments de Pluton, corrigés des corrections *cor1* et ceux issus d'INPOP10a, pour 4001 dates sur [1890, 2110].

Le programme est lancé par la commande : `mcardifplutoncor1>mcardifplutoncor1.out`.

Les corrections *cor1* sont lues dans le fichier d'impression *mcardifplutoncor1.out*.

- Programme *mcardifplutoncor2.f*

Ce programme est passé deux fois.

Il calcule les corrections à apporter aux coefficients des termes périodiques et des termes de Poisson en *tcost*

*tsint* de l'argument  $1388\nu$  pour les variables  $a$  et  $\lambda$  de Pluton et de l'argument  $1318\nu$  pour les variables  $k$  et  $h$  (premier passage, corrections *cor2a*), puis aux coefficients des termes périodiques et des termes de Poisson en *tcost* et *tsint* de l'argument  $1318\nu$  pour  $a$  et  $\lambda$  et de l'argument  $1388\nu$  pour  $k$  et  $h$  (deuxième passage, corrections *cor2b*).

Le fichier d'entrée est :

- au premier passage, le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor1* créé par *mcardifplutoncor1.f*,
- au deuxième passage, le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor2a* issu du premier passage du programme.

Le fichier de sortie est :

- au premier passage, le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor2a*,
- au deuxième passage, le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor2b* qui correspond donc aux différences entre les éléments de Pluton issus de la théorie, corrigés des corrections *cor1*, *cor2a* et *cor2b* et ceux issus d'INPOP10a pour 4001 dates sur [1890, 2110].

Le programme est lancé par les commandes : `mcardifplutoncor2>mcardifplutoncor2.outa` (premier passage),

`mcardifplutoncor2>mcardifplutoncor2.outb` (deuxième passage).

Les corrections *cor2a* et *cor2b* sont lues dans les fichiers d'impression *mcardifplutoncor2.outa* et *mcardifplutoncor2.outb*.

L'ensemble des corrections *cor2a* et *cor2b* constitue les corrections *cor2*.

- Programme *mcadifplutoncor3t.f*

Ce programme calcule les corrections à apporter aux termes en (corrections *cor3*) :

- $t^3 \cos 4\nu, t^3 \sin 4\nu, t^4 \cos 4\nu, t^4 \sin 4\nu, t^5 \cos 4\nu, t^5 \sin 4\nu$  pour les variables a et  $\lambda$ ,
- $t^2 \cos 4\nu, t^2 \sin 4\nu, t^3 \cos 4\nu, t^3 \sin 4\nu, t^4 \cos 4\nu, t^4 \sin 4\nu$ , pour les variables k et h.

Le fichier d'entrée est le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor204000* du sous-répertoire *../3-CTE*, créé par le programme *difplutontopcor204000.f* du même sous-répertoire, correspondant aux différences sur  $[0, 4000]$  entre la solution du mouvement de Pluton, corrigée des corrections *cor1* et *cor2* et INPOP10a.

Le fichier de sortie est le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor304000* correspondant aux différences entre les éléments de Pluton issus de la théorie, corrigés des corrections *cor1*, *cor2* et *cor3* et ceux issus d'INPOP10a pour 3655 dates sur  $[0, 4000]$ .

Le programme est lancé par la commande : *mcadifplutoncor3t>mcadifplutoncor3t.out*.

Les corrections *cor3* sont lues dans le fichier d'impression *mcadifplutoncor3t.out*.

- Programme *mcadifplutoncor4.f*

Ce programme calcule les corrections à apporter aux coefficients du terme périodique correspondant à l'argument  $70\nu$  pour la variable  $\lambda$ .

Le fichier d'entrée est le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor3* du sous-répertoire *../3-CTE*, créé par le programme *cteplutoncor3.f* du même sous-répertoire, correspondant aux différences sur  $[1890, 2110]$  entre la solution du mouvement de Pluton, corrigée des corrections *cor1*, *cor2*, et *cor3* et INPOP10a.

Le fichier de sortie est le fichier séquentiel *plutonite07.sequcor4* correspondant aux différences entre les éléments de Pluton issus de la théorie, corrigés des corrections *cor1*, *cor2*, *cor3* et *cor4* et ceux issus d'INPOP10a pour 4001 dates sur  $[1890, 2110]$ .

Le programme est lancé par la commande : *mcadifplutoncor4>mcadifplutoncor4.out70nu*.

Les corrections *cor4* sont lues dans le fichier d'impression *mcadifplutoncor4.out70nu*.

### 3) 3-CTE

Ce sous-répertoire contient les programmes permettant :

- la détermination des constantes d'intégration et du moyen mouvement moyen de la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7 et non corrigée, par comparaison à INPOP10a sur l'intervalle de temps  $[1890, 2110]$  ; cette solution contient les perturbations par les planètes telluriques et les astéroïdes et est obtenue par le programme *addplutontotalsanscorrection.f* du sous-répertoire *../5-ADD* ;
- la détermination des constantes d'intégration et du moyen mouvement moyen de la solution complète du mouvement de Pluton corrigée successivement par *cor1*, *cor1* et *cor2*, *cor1*, *cor2* et *cor3*, *cor1, cor2*, *cor3* et *cor4*.
- le calcul des écarts entre ces solutions et INPOP10a sur les intervalles de temps  $[-4000, 8000]$ ,  $[0, 4000]$  et  $[900, 3100]$ .

Il contient, de plus, les fichiers *inpop10ell4001.data* et *inpop10ell11001.data* (substitutions numériques du temps dans les éléments elliptiques des planètes et de Pluton issus de INPOP10a, sur, respectivement,  $[1890, 2110]$  et  $[-4000, 8000]$ ). Ces fichiers sont des copies des fichiers du même nom créés dans le sous-répertoire CONSTRUCTION.VSOP/1.AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/1.INPOP10a.

- Programmes de détermination des constantes

- Programme *cteplutonsanscorrection.f*

Ce programme détermine les constantes d'intégration et le moyen mouvement moyen de la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, non corrigée, obtenue par le programme *addplutontotalsans correction.f* du sous-répertoire *../5-ADD*, par comparaison à INPOP10a pour 4001 dates sur  $[1890, 2110]$ .

Ce programme est exécuté deux fois en alternance avec le programme *subiteplutonsanscorrection.f* du sous-répertoire *../4-SUBNUM*.

Les fichiers d'entrée sont :

- 1) au premier passage seulement :

- *constantesplutonite6.data*, correspondant aux constantes et au moyen mouvement moyen de Pluton pour l'itération 6,
- *subplutonite7sanscorrection.data1*, fichier créé lors du premier passage de *subiteplutonsanscorrection.f*.
- 2) au second passage seulement :
- *constantesplutonite7.datasanscor1*, fichier créé lors du premier passage de *cteplutonsanscorrection.f*,
- *subplutonite7sanscorrection.data2*, fichier créé lors du deuxième passage de *subiteplutonsanscorrection.f*.
- 3) au premier et deuxième passage :
- *inpop10ell4001.data*, substitution numérique du temps dans INPOP10a sur [1890, 2110].

Les fichiers de sortie sont :

- au premier passage : *constantesplutonite7.datasanscor1*,
- au deuxième passage : *constantesplutonite7.datasanscor2*, fichier correspondant aux constantes d'intégration et au moyen mouvement moyen de Pluton, pour l'itération7 non corrigée.

Ce programme est lancé avec les commandes :

- 1) au premier passage : `cteplutonsanscorrection>cteplutonsanscorrection.out1`,
- 2) au deuxième passage : `cteplutonsanscorrection>cteplutonsanscorrection.out2`.

Ce programme construit aussi le fichier séquentiel *plutonite07.sequsanscorrection* correspondant aux différences entre les éléments de Pluton issus de la théorie et ceux issus d'INPOP10a pour les 4001 dates de l'intervalle [1890, 2110].

– Programmes *cteplutoncor2.f*, *cteplutoncor3.f*, *cteplutoncor4.f*

Ces programmes sont identiques au précédent mais s'appliquent à la solution complète, corrigée des corrections empiriques *cor1*, *cor2* (*cteplutoncor2.f*), *cor1*, *cor2*, *cor3* (*cteplutoncor3.f*) et *cor1*, *cor2*, *cor3*, *cor4* (*cteplutoncor4.f*).

Ils sont, comme le programme *cteplutonsanscorrection.f*, exécutés deux fois, en alternance avec les programmes du sous-répertoire `../4.SUBNUM`, *subiteplutoncor2.f*, *subiteplutoncor3.f* et *subiteplutoncor4.f*. Les constantes d'intégration et le moyen mouvement moyen issus du deuxième passage de ces trois programmes sont, respectivement, les fichiers *constantesplutonite7.datacor22*, *constantesplutonite7.datacor32*, *constantesplutonite7.datacor42*.

Ils construisent aussi les fichiers séquentiels *plutonite07.sequcor2*, *plutonite07.sequcor3* et *plutonite07.sequcor4* correspondant aux différences entre les éléments de Pluton issus de la solution corrigée des corrections correspondant aux programmes et ceux issus d'INPOP10a pour les 4001 dates de l'intervalle [1890, 2110].

• Programmes de calcul des écarts entre la solution du mouvement de Pluton et INPOP10a sur différents intervalles de temps

– Programme *difplutontopsanscorrection11001.f*

Ce programme calcule les différences entre la solution complète du mouvement de Pluton issue de la septième itération, non corrigée et INPOP10a pour 11001 dates, sur l'intervalle [-4000, 8000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subplutonite7sanscorrection11001.data*, substitution numérique du temps dans la solution du mouvement de Pluton sur [-4000, 8000] issue du programme *subiteplutonsanscorrection11001.f* du sous-répertoire `../4.SUBNUM`,
- *inpop10ell11001.data*.

Le fichier de sortie est le fichier séquentiel *plutonite07.sequsanscorrection11001* qui contient les différences entre la solution du mouvement de Pluton non corrigée et INPOP10a pour 11001 dates de l'intervalle [-4000, 8000].

Le programme est lancé par la commande :

`difplutontopsanscorrection11001>difplutontopsanscorrection11001.out`.

– Programmes *difplutontopsanscorrection04000.f* et *difplutontopsanscorrection9003100.f*

Ces programmes calculent les différences entre la solution du mouvement de Pluton issue de la septième itération complète et non corrigée et INPOP10a pour, respectivement, 3655 dates sur l'intervalle [0, 4000]

et 2011 dates sur l'intervalle [900, 3100].

Les fichiers d'entrée sont *subplutonite7sanscorrection11001.data* et *inpop10ell11001.data*.

Les fichiers de sortie sont les fichiers séquentiels :

- *plutonite07.sequsanscorrection04000* (programme *difplutontopsanscorrection04000.f*),
- *plutonite07.sequsanscorrection9003100* (programme *difplutontopsanscorrection9003100.f*).

Les programmes sont lancés par les commandes :

`difplutontopsanscorrection04000>difplutontopsanscorrection04000.out,`

ou : `difplutontopsanscorrection9003100>difplutontopsanscorrection9003100.out.`

- Programmes *difplutontopcor211001.f*, *difplutontopcor204000.f* et *difplutontopcor29003100.f*

Ces programmes sont identiques aux précédents mais s'appliquent à la solution complète du mouvement de Pluton issue de la septième itération mais corrigée des corrections *cor1* et *cor2*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *subplutonite7cor211001.data*, substitution numérique du temps dans la solution du mouvement de Pluton corrigée des corrections *cor1* et *cor2*, sur [-4000, 8000], issue du programme *subiteplutoncor211001.f* du sous-répertoire `../4.SUBNUM`,
- *inpop10ell11001.data*.

Les fichiers de sortie sont les fichiers séquentiels suivants :

- *plutonite07.sequcor211001* qui contient les différences entre la solution du mouvement de Pluton corrigée par *cor1* et *cor2* et *Inpop10a* pour 11001 dates de l'intervalle [-4000, 8000] (programme *difplutontopcor211001.f*),
- *plutonite07.sequcor204000* (programme *difplutontopcor204000.f*),
- *plutonite07.sequcor29003100* (programme *difplutontopcor29003100.f*).

Les programmes sont lancés par les commandes :

`difplutontopcor211001>difplutontopcor211001.out` ou : `difplutontopcor204000>difplutontopcor204000.out`

ou : `difplutontopcor29003100>difplutontopcor29003100.out.`

- Programmes *difplutontopcor311001.f*, *difplutontopcor304000.f* et *difplutontopcor39003100.f*

Ces programmes sont identiques aux précédents mais s'appliquent à la solution complète du mouvement de Pluton issue de la septième itération mais corrigée, respectivement, des corrections *cor1*, *cor2* et *cor3*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *subplutonite7cor311001.data*, substitution numérique du temps dans la solution du mouvement de Pluton corrigée des corrections *cor1*, *cor2* et *cor3*, sur [-4000, 8000], issue du programme *subiteplutoncor311001.f* du sous-répertoire `../4.SUBNUM`,
- *inpop10ell11001.data*.

Les fichiers de sortie sont les fichiers séquentiels suivants :

- *plutonite07.sequcor311001* qui contient les différences entre la solution du mouvement de Pluton corrigée par *cor1*, *cor2* et *cor3* et *INPOP10a* pour 11001 dates de l'intervalle [-4000, 8000] (programme *difplutontopcor311001.f*),
- *plutonite07.sequcor304000* (programme *difplutontopcor304000.f*),
- *plutonite07.sequcor39003100* (programme *difplutontopcor39003100.f*).

Les programmes sont lancés par les commandes :

`difplutontopcor311001>difplutontopcor311001.out` ou : `difplutontopcor304000>difplutontopcor304000.out`

ou : `difplutontopcor39003100>difplutontopcor39003100.out.`

- Programmes *difplutontopcor411001.f*, *difplutontopcor404000.f* et *difplutontopcor49003100.f*

Ces programmes sont identiques aux précédents mais s'appliquent à la solution complète du mouvement de Pluton issue de la septième itération mais corrigée des corrections *cor1*, *cor2*, *cor3* et *cor4*.

Les fichiers d'entrée sont :

- *subplutonite7cor411001.data*, substitution numérique du temps dans la solution du mouvement de Pluton corrigée des corrections *cor1*, *cor2*, *cor3* et *cor4* sur [-4000, 8000], issue du programme *subiteplutoncor411001.f* du sous-répertoire `../4.SUBNUM`,
- *inpop10ell11001.data*.

Les fichiers de sortie sont les fichiers séquentiels suivants :

- *plutonite07.sequcor411001* qui contient les différences entre la solution du mouvement de Pluton corrigée par *cor1*, *cor2*, *cor3* et *cor4* et INPOP10a pour 11001 dates de l'intervalle [-4000, 8000] (programme *difplutontopcor411001.f*),
- *plutonite07.sequcor404000* (programme *difplutontopcor404000.f*),
- *plutonite07.sequcor49003100* (programme *difplutontopcor49003100.f*).

Les programmes sont lancés par les commandes :

difplutontopcor411001>difplutontopcor411001.out ou : difplutontopcor404000>difplutontopcor404000.out  
ou : difplutontopcor49003100>difplutontopcor49003100.out.

Notons que :

- 1) Les fichiers séquentiels créés par les programmes décrits ci-dessus pourront servir à :
  - examiner les différences entre les solutions du mouvement de Pluton et INPOP10a sur divers intervalles de temps,
  - construire des courbes illustrant ces différences,
  - calculer des corrections empiriques à l'aide des programmes du sous-répertoire *../2\_MOINDRES\_CARRES* comme ce sera le cas pour les fichiers *plutonite07.sequanscorrection*, *plutonite07.sequcor204000*, *plutonite07.sequcor3*.
- 2) La précision de la solution du mouvement de Pluton se dégrade rapidement sur des intervalles de temps supérieurs à [0, 4000]. On peut donc considérer que [0, 4000] représente l'intervalle de validité de notre solution.

#### 4) 4.SUBNUM

Ce sous-répertoire contient les fichiers et programmes permettant d'effectuer les substitutions numériques du temps dans la solution du mouvement de Pluton sur divers intervalles de temps.

Les programmes de substitution numérique sont les suivants.

- Programme *subiteplutonsanscorrection.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7 et non corrigée, pour 4001 dates sur l'intervalle [1890, 2110].

Il est exécuté deux fois, en alternance avec le programme *cteplutonsanscorrection.f* du sous-répertoire *../3\_CTE*.

Les fichiers d'entrée sont les fichiers *../ite75pla.datamodif6sanscorrection* et *../jte75pla.datamodif6sanscorrection*, correspondant à la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7 et non corrigée, créés par le programme *addplutontotalsanscorrection.f* du sous-répertoire *../5\_ADD*.

Lors du premier passage, la solution complète contient les constantes d'intégration et le moyen mouvement moyen correspondant à l'itération 6, issus du fichier *constantesplutonite6.data*.

Lors du deuxième passage, on remplace ces constantes et ce moyen mouvement moyen par les valeurs issues du fichier *../3\_CTE/constantesplutonite7.datasanscor1* obtenu lors du premier passage du programme *cteplutonsanscorrection.f*.

Les fichiers de sortie sont, successivement, les substitutions numériques *subplutonite7sanscorrection.data1* et *subplutonite7sanscorrection.data2*

Le programme est lancé par les commandes :

subiteplutonsans correction<in.subiteplutonsanscorrection> subiteplutonsanscorrection.out1 (premier passage),

subiteplutonsans correction<in.subiteplutonsanscorrection> subiteplutonsanscorrection.out2 (deuxième passage), où le fichier *in.subiteplutonsanscorrection* contient les noms des fichiers correspondant à la solution considérée.

- Programme *subiteplutonsanscorrection11001.f*

Ce programme substitue numériquement le temps dans la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7 et non corrigée, pour 11001 dates sur l'intervalle [-4000, 8000].

Les fichiers d'entrée sont les mêmes que dans le programme précédent.

Le fichier de sortie est la substitution numérique *subplutonite7sanscorrection11001.data*.

Le programme est lancé par la commande :

subiteplutonsanscorrection11001<in.subiteplutonsanscorrection> subiteplutonsanscorrection11001.out.

- Programmes *subiteplutoncor2.f*, *subiteplutoncor3.f* et *subiteplutoncor4.f*

Ces programmes sont identiques au programme *subiteplutonsanscorrection.f* mais ils s'appliquent à :

- la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, corrigée par les corrections *cor1* et *cor2*, représentée par les fichiers *../ite75pla.datamodif6cor2* et *../jte75pla.datamodif6cor2* (programme *subiteplutoncor2.f*).
- la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, corrigée par les corrections *cor1*, *cor2* et *cor3*, représentée par les fichiers *../ite75pla.datamodif6cor3* et *../jte75pla.datamodif6cor3* (programme *subiteplutoncor3.f*).
- la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, corrigée par les corrections *cor1*, *cor2*, *cor3* et *cor4*, représentée par les fichiers *../plutonite7.data* et *../jplutonit7.data* (programme *subiteplutoncor4.f*).

Les fichiers représentant les diverses versions de la solution sont créés dans le sous-répertoire *../5\_ADD*.

Ces trois programmes sont passés deux fois, en alternance avec les programmes du sous-répertoire *../3\_CTE*, *cteplutoncor2.f*, *cteplutoncor3.f* et *cteplutoncor4.f*.

Les fichiers de sortie issus du deuxième passage de ces programmes sont, respectivement, les substitutions numériques *subplutonite7cor2.data2*, *subplutonite7cor3.data2* et *subplutonite7cor4.data2*.

- Programmes *subiteplutoncor211001.f*, *subiteplutoncor311001.f* et *subiteplutoncor411001.f*

Ces programmes sont identiques au programme *subiteplutonsanscorrection11001.f* mais ils s'appliquent à, respectivement, la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, corrigée par les corrections *cor1* et *cor2*, la solution corrigée par *cor1*, *cor2* et *cor3*, la solution corrigée par *cor1*, *cor2*, *cor3* et *cor4*.

Ils créent, respectivement, les substitutions numériques *subplutonite7cor211001.data*, *subplutonite7cor311001.data* et *subplutonite7cor411001.data*.

## 5) 5\_ADD

Ce sous-répertoire contient les fichiers et programmes permettant de construire la solution complète du mouvement de Pluton avec les constantes, les moyens mouvements moyens, les perturbations par les astéroïdes, les perturbations par les planètes telluriques et les différentes corrections que nous avons apportées.

- *Les fichiers*

- *plu165aster.data* et *iplu165aster.data*

Ils représentent les perturbations des 165 astéroïdes de INPOP10a sur Pluton en séries de  $\nu$ . Ce sont des copies des fichiers *plu165asternu.data* et *iplu165asternu.data* construits dans le sous-répertoire *1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF/3\_ASTEROIDES* du répertoire *CONSTRUCTION\_VSOP*.

- *plutontel2eor.data* et *jplutontel2eor.data*

Ils sont issus du sous-répertoire *../2\_PLANETES\_TELLURIQUES/2\_PERTURBATIONS\_DEUXIEME\_ORDRE* et représentent les perturbations du deuxième ordre des masses des planètes telluriques sur Pluton en séries de  $\nu$ .

- *Les programmes d'addition*

- Programme *addplutontotalsanscorrection.f*

Ce programme extrait de la solution du mouvement des grosses planètes et de Pluton issue de l'itération 7, la solution du mouvement de Pluton et lui ajoute les perturbations par les planètes telluriques et les astéroïdes, ainsi que les constantes d'intégration et le moyen mouvement moyen de l'itération 6. La solution ainsi obtenue est appelée solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, non corrigée.

Les fichiers d'entrée sont :

- *../ite75pla.datamodif6* et *../jte75pla.datamodif6*, correspondant à la solution du mouvement des grosses planètes et de Pluton issue de l'itération 7,

- *plu165aster.data* et *iplu165aster.data*,
- *plutontel2eor.data* et *jlutontel2eor.data*,
- *../moymouvmoite65pla.data*, correspondant aux moyens mouvements moyens des grosses planètes et de Pluton pour l'itération 6.

Les fichiers de sortie sont :

- *../ite75pla.datamodif6sanscorrection* et *../jte75pla.datamodif6sanscorrection*, correspondant à la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7 et non corrigée,
- *../constantesplutonite6.data*, correspondant aux constantes d'intégration et au moyen mouvement moyen de Pluton pour l'itération 6.

Le programme est lancé par la commande :

`addplutontotalsanscorrection<in.addplutontotalsanscorrection> addplutontotalsanscorrection.out`, où *in.addplutontotalsanscorrection* contient les noms des fichiers correspondant à l'itération 7 obtenue dans le processus itératif et à l'itération 7 complète non corrigée.

- Programme *addplutontotalcor2.f*

Ce programme ajoute les corrections *cor1* et *cor2* à la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7 et non corrigée. Il est passé deux fois.

Les fichiers d'entrée sont :

- *../ite75pla.datamodif6sanscorrection* et *../jte75pla.datamodif6sanscorrection*,
- les fichiers correspondant aux constantes d'intégration et au moyen mouvement moyen de Pluton :
  - \* lors du premier passage : *constantesplutonite7.datasanscor2*, fichier issu du deuxième passage du programme *cteplutonsanscorrection.f* du repertoire *../3-CTE* ;
  - \* lors du deuxième passage : *constantesplutonite7.datacor21*, fichier issu du premier passage du programme *cteplutoncor2.f* du sous-repertoire *../3-CTE*.

Les fichiers de sortie gardent le même nom lors des deux passages : *../plutonite7.datamodif6cor2* et *../jlutonite7.datamodif6cor2*. Ils correspondent à la solution complète du mouvement de Pluton issue de l'itération 7, corrigée des corrections *cor1* et *cor2*.

Ce programme est lancé avec les commandes :

`addplutontotalcor2<in.addplutontotalcor2>addplutontotalcor2.out1`,  
 puis : `addplutontotalcor2<in.addplutontotalcor2>addplutontotalcor2.out2`,  
 où *in.addplutontotalcor2* contient les noms des fichiers correspondant aux solutions complètes du mouvement de Pluton, non corrigées et corrigées par *cor1* et *cor2*.

- Programmes *addplutontotalcor3.f* et *addplutontotalcor4.f*

Ces programmes sont identiques au précédent. Ils ajoutent les corrections *cor3* à la solution issue du programme *addplutontotalcor2.f* puis les corrections *cor4* à la solution issue du programme *addplutontotalcor3.f*.

La solution obtenue après le deuxième passage du programme *addplutontotalcor4.f*, représentée par les fichiers *../plutonite7.data* et *../jlutonite7.data*, correspond à la solution finale du mouvement de Pluton exprimée en séries de Poisson de  $\nu$ .

## 6) 6\_CONV

Ce sous-répertoire contient le programme permettant de convertir en séries de Poisson de l'argument  $\mu$  de TOP2013, la solution du mouvement de Pluton exprimée en séries de Poisson de l'argument  $\nu$  utilisé lors de la construction de cette solution. Il contient aussi les programmes de substitution numérique et les programmes calculant les différences entre la solution du mouvement de Pluton et INPOP10a sur différents intervalles de temps.

- Programme *convnumupluto.f*

Ce programme convertit en séries de Poisson de  $\mu$ , la solution du mouvement de Pluton exprimée en séries de  $\nu$ , la précision de conversion étant,

- sur 1000 ans :  $4.8 \cdot 10^{-13}$  ua pour a,  $4.8 \cdot 10^{-13}$  rad pour  $\lambda$  et  $4.8 \cdot 10^{-13}$  pour k, h, q, p ;
- sur 3000 ans :  $4.8 \cdot 10^{-11}$  ua pour a,  $4.8 \cdot 10^{-11}$  rad pour  $\lambda$  et  $4.8 \cdot 10^{-11}$  pour k, h, q, p.

Les fichiers d'entrée, correspondant à la solution du mouvement de Pluton en séries de  $\nu$ , sont *../plutonite7.data* et *../jplutonite7.data*.

Les fichiers de sortie, correspondant à la solution du mouvement de Pluton en séries de  $\mu$ , sont *plutontop2013.data* et *jplutontop2013.data*.

Le programme est lancé par la commande :

`convnumupluto<in.convnumupluto>convnumupluto.out`, où *in.convnumupluto* contient les noms des fichiers d'entrée et de sortie.

- Programme *subplutontop4001.f*

Ce programme substitue le temps dans la solution du mouvement de Pluton exprimée en séries de  $\mu$  pour 4001 dates sur [1890, 2110] et la compare avec la substitution numérique de référence effectuée avec la solution en  $\nu$ .

Les fichiers d'entrée sont :

- les fichiers *plutontop2013.data* et *jplutontop2013.data*,
- le fichier correspondant à la substitution numérique de référence *../4\_SUBNUM/subplutonite7cor4.data2*.

Le fichier de sortie est la substitution numérique *subplutontop4001.data*.

Le programme est lancé par la commande :

`subplutontop4001<in.subpluton>subplutontop4001.out`, où *in.subpluton* contient les noms des fichiers correspondant à la solution.

Les écarts avec la substitution numérique de référence sur l'intervalle [1890, 2110] sont inférieurs à  $2.5 \cdot 10^{-12}$  ua pour a,  $2.5 \cdot 10^{-12}$  rad pour  $\lambda$  et  $2.5 \cdot 10^{-12}$  pour k, h, q, p. Ils sont très largement inférieurs aux écarts entre la solution du mouvement de Pluton et INPOP10a, ce qui valide la précision de la conversion.

- Programme *subplutontop11001.f*

Ce programme substitue le temps dans la solution du mouvement de Pluton exprimée en séries de  $\mu$  pour 11001 dates sur [-4000, 8000] et la compare avec la substitution numérique de référence effectuée avec la solution en  $\nu$ .

Les fichiers d'entrée sont :

- les fichiers *plutontop2013.data* et *jplutontop2013.data*,
- le fichier correspondant à la substitution numérique de référence *../4\_SUBNUM/subplutonite7cor411001.data*.

Le fichier de sortie est la substitution numérique *subplutontop11001.data*.

Le programme est lancé par la commande :

`subplutontop11001<in.subpluton>subplutontop11001.out`.

Les écarts avec la substitution numérique de référence sur les intervalles [900, 3100] et [0, 4000] sont très largement inférieurs aux écarts entre la solution du mouvement de Pluton et INPOP10a, ce qui valide la précision de la conversion sur ces intervalles.

- Programme *difplutontop18902110.f*

Ce programme calcule les différences entre notre solution du mouvement de Pluton et INPOP10a pour 4001 dates sur l'intervalle [1890, 2110].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subplutontop4001.data*, substitution numérique du temps dans la solution du mouvement de Pluton issue du programme *subplutontop4001.f*,
- *../3\_CTE/inpop10ell4001.data*, substitution numérique du temps dans INPOP10a .

Le fichier de sortie est le fichier séquentiel *plutontop2013.sequ*. Ce fichier, qui correspond aux différences entre la solution du mouvement de Pluton et INPOP10a sur [1890, 2110], pourra être utilisé pour tracer des graphes de ces différences.

Le programme est lancé par la commande : `difplutontop18902110>difplutontop18902110.out`.

Les résultats sont identiques à ceux obtenus avec le programme *../3\_CTE/ctepulutoncor4.f* (sortie *ctepulutoncor4.out2*).

- Programmes *difplutontop9003100.f* et *difplutontop04000.f*

Ces programmes calculent les différences entre notre solution du mouvement de Pluton et INPOP10a pour, respectivement, 2011 dates sur [900, 3100] et 3655 dates sur [0, 4000].

Les fichiers d'entrée sont :

- *subplutontop11001.data*, substitution numérique dans la solution du mouvement de Pluton issue du programme *subplutontop11001.f*,
- *../3\_CTE/inpop10ell11001.data*, substitution numérique dans INPOP10a .

Les fichiers de sortie sont, respectivement, les fichiers séquentiels *plutontop20139003100.sequ* et *plutontop201304000.sequ*. Ils pourront être utilisés pour tracer des graphes représentant ces différences sur les intervalles [900, 3100] et [0, 4000].

Les programmes sont lancés par les commandes :

`difplutontop9003100 > difplutontop9003100.out`, ou : `difplutontop04000 > difplutontop04000.out`.

Les résultats sont identiques à ceux obtenus avec les programmes *../3\_CTE/difplutoncor49003100.f* (sortie *difplutoncor49003100.out*), ou *../3\_CTE/difplutoncor404000.f* (sortie *difplutoncor404000.out*).

Ces résultats sont très voisins de ceux obtenus lors de la construction de TOP2013.

Notons que l'on trouve à la fin du *ALIRE* de ce sous-répertoire (fichier *ALIRE-PROCESSUS\_ITERATIF.txt*) une description détaillée des étapes à suivre pour construire la solution finale du mouvement de Pluton.

### 3. CONSTRUCTION DE NOUVELLES THÉORIES PLANÉTAIRES

Les programmes que nous venons de décrire peuvent être utilisés pour construire de nouvelles solutions VSOP ou TOP ajustées à de nouvelles versions de INPOP.

#### 3.1. CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE SOLUTION VSOP

Pour construire une nouvelle solution VSOP ajustée à une nouvelle version de INPOP, il faut effectuer les étapes suivantes.

- 1) Mettre la nouvelle version de INPOP sous la forme d'éphémérides semblables à celles décrites dans le sous-répertoire 0.FICHIERS\_INITIAUX du répertoire CONSTRUCTION\_VSOP.
- 2) Effectuer les calculs à faire avant d'enclencher le processus itératif, comme indiqué dans le sous-répertoire 1.AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF de CONSTRUCTION\_VSOP :
  - calcul des coordonnées elliptiques des planètes et de Pluton issues de INPOP et de l'orientation du repère de INPOP à partir des programmes du sous-répertoire 1.INPOP10a de 1.AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF,
  - calcul des perturbations dues au  $J_2$  solaire par les programmes du sous-répertoire 2.J2\_SOLAIRE de 1.AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF,
  - calcul des perturbations au premier ordre des masses des astéroïdes de la nouvelle version de INPOP sur les planètes par les programmes du sous-répertoire 3.ASTEROIDES de 1.AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF.
- 3) Utiliser comme solution de départ l'itération 8, dernière itération du processus itératif de la construction de la solution VSOP2013.

- 4) Effectuer une première itération à partir de cette solution de départ, de la même manière que l'itération 8 a été obtenue à partir de l'itération 7.
- 5) Construire par itérations successives une nouvelle solution jusqu'à ce que la différence entre deux itérations successives se stabilise à la précision souhaitée.

Les étapes 4) et 5) s'effectuent à l'aide des programmes décrits dans le sous-répertoire 2\_PROCESSUS\_ITERATIF du répertoire CONSTRUCTION\_VSOP.

- 6) Compléter la solution, comme indiqué dans le sous-répertoire de CONSTRUCTION\_VSOP : 3\_SOLUTION\_COMPLETEE\_CORRIGEE/1\_SOLUTION\_COMPLETEE.
- 7) Corriger cette solution complète, comme expliqué dans les sous-répertoires de CONSTRUCTION\_VSOP/3\_SOLUTION\_COMPLETEE\_CORRIGEE :
  - 3\_CORRIGVSOP, corrections de termes séculaires déterminées dans le sous-répertoire 2\_MOINDRES\_CARRES du répertoire précédent, à partir des écarts entre VSOP et INPOP sur différents intervalles de temps.
  - 4\_CORRIGVSOPJSTOP, amélioration des développements de Poisson correspondant à quelques arguments à moyenne période des variables  $a$  et  $\lambda$  de Jupiter et Saturne, à partir de la nouvelle solution TOP.
- 8) Finaliser la solution, comme indiqué dans le sous-répertoire de CONSTRUCTION\_VSOP : 3\_SOLUTION\_COMPLETEE\_CORRIGEE/5\_FINALISATION .

## 3.2. CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE SOLUTION TOP

### 3.2.1. Grosses planètes

On suppose que l'on dispose des coordonnées elliptiques des grosses planètes, de Pluton et des astéroïdes, issues de la nouvelle version d'INPOP, calculées lors de la construction de la nouvelle solution VSOP.

Pour construire une nouvelle solution du mouvement des quatre grosses planètes ajustée à INPOP, il faut :

- 1) Effectuer les calculs à faire avant d'enclencher le processus itératif, comme indiqué dans le sous-répertoire 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/1\_GROSSES\_PLANETES :
  - calcul des perturbations relativistes en séries de  $\mu$ , comme expliqué dans le sous-répertoire 1\_RELATIVITE de 1\_AVANT\_PROCESSUS\_ITERATIF,
  - construction des fichiers correspondant à l'ensemble des perturbations complémentaires (perturbations par les planètes telluriques + perturbations relativistes + perturbations par Pluton + perturbations par les astéroïdes),
  - substitution numérique du temps dans ces perturbations complémentaires sur divers intervalles de temps.
- 2) Utiliser comme solution de départ l'itération 37, dernière itération du processus itératif de la construction de la solution TOP2013.
- 3) Effectuer une première itération à partir de cette solution de départ, de la même manière que l'itération 37 a été obtenue à partir de l'itération 36.
- 4) Construire par itérations successives une nouvelle solution jusqu'à ce que la différence entre deux itérations successives se stabilise à la précision souhaitée.

Les étapes 3) et 4) s'effectuent à l'aide des programmes décrits dans le sous-répertoire 2\_PROCESSUS\_ITERATIF du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/1\_GROSSES\_PLANETES.

- 5) Calculer les corrections empiriques à apporter aux itérations à l'aide des programmes du sous-répertoire 2\_MOINDRES\_CARRES du répertoire : CONSTRUCTION\_TOP/1\_GROSSES\_PLANETES/2\_PROCESSUS\_ITERATIF, à partir des écarts entre TOP et INPOP sur différents intervalles de temps.
- 6) Construire la solution TOP complète correspondant à une itération donnée, conformément aux indications du sous-répertoire 1\_SOLUTION\_COMPLETE du répertoire : CONSTRUCTION\_TOP/1\_GROSSES\_PLANETES/3\_SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE.  
Au cours de cette construction, on pourra éventuellement améliorer la convergence des perturbations correspondant au couple Saturne - Uranus, comme indiqué dans le sous-répertoire 2\_CONVSU de ce même répertoire.
- 7) Finaliser la solution, comme indiqué dans le sous-répertoire : 3\_SOLUTION\_COMPLETE\_CORRIGEE/4\_FINALISATION, du répertoire : CONSTRUCTION\_TOP/1\_GROSSES\_PLANETES.

### 3.2.2. Pluton

Pour construire une nouvelle solution du mouvement de Pluton ajustée à INPOP, il faut :

- 1) Calculer les perturbations au premier ordre des masses des grosses planètes sur Pluton, comme expliqué dans le sous-répertoire 1\_PREMIER\_ORDRE du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/2\_PLUTON.
- 2) Extraire les plus gros termes de la nouvelle solution VSOP pour chacune des variables elliptiques des planètes telluriques et les convertir en séries de  $\nu$  en suivant les indications du sous-répertoire 1\_EXTRAIT\_VSOP du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/2\_PLUTON/2\_THEORIE.
- 3) Calculer les perturbations au premier et au deuxième ordre des masses des planètes telluriques, comme expliqué dans le sous-répertoire 2\_PLANETES\_TELLURIQUES du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/2\_PLUTON/2\_THEORIE.
- 4) Utiliser comme solution de départ l'itération 7, dernière itération du processus itératif de la construction de la solution du mouvement de Pluton dans TOP2013.
- 5) Effectuer une première itération à partir de cette solution de départ, de la même manière que l'itération 7 a été obtenue à partir de l'itération 6.
- 6) Construire par itérations successives une nouvelle solution du mouvement de Pluton jusqu'à ce que la différence entre deux itérations successives se stabilise à la précision souhaitée.  
Notons que, pour accélérer la convergence, on sera probablement amené à fixer le mouvement des quatre grosses planètes en utilisant une solution obtenue à un état avancé de la construction de TOP.

Les étapes 5) et 6) s'effectuent à l'aide des programmes décrits dans le sous-répertoire 3\_PROCESSUS\_ITERATIF du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/2\_PLUTON/2\_THEORIE.

- 7) Construire la solution complète du mouvement de Pluton, comme expliqué dans le sous-répertoire 5\_ADD du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/2\_PLUTON/2\_THEORIE/3\_PROCESSUS\_ITERATIF.
- 8) Convertir la solution du mouvement de Pluton en séries de Poisson de l'argument  $\mu$  de TOP, suivant les indications du sous-répertoire 6\_CONV du répertoire CONSTRUCTION\_TOP/2\_PLUTON/2\_THEORIE/3\_PROCESSUS\_ITERATIF.
- 9) Introduire la solution obtenue dans les théories VSOP et TOP.

## Conclusion

Les répertoires CONSTRUCTION\_VSOP et CONSTRUCTION\_TOP que nous venons de décrire sont disponibles sur le serveur Web de l'IMCCE. Ils permettront à d'éventuels utilisateurs, soit de reproduire les théories VSOP2013 et TOP2013, soit de construire de nouvelles théories analytiques du mouvement des planètes ajustées à de nouvelles intégrations numériques.

Précisons que les programmes que nous avons présentés ont été écrits en Fortran77 et Fortran90. Ils sont pour la plupart assez anciens et peuvent paraître rustiques pour les programmeurs d'aujourd'hui. Nous laissons aux nouveaux utilisateurs le soin de les améliorer.

### *Remerciements*

Nous remercions vivement :

Mickaël Gastineau qui, comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, a récupéré nos programmes perdus lors du plantage du système informatique de l'IMCCE ;

Sylvie Lemaître et Nicolas Rambaux pour leur relecture attentive et critique de notre manuscrit ;

Jérôme Berthier qui a revisité les codes de nos programmes et s'est occupé de l'archivage numérique de nos répertoires et de leur mise à disposition sur le Web ;

Stéphane Vaillant pour sa précieuse assistance informatique.

## Bibliographie

- Bretagnon, P. : 1982, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. Solution VSOP82, *Astron. Astrophys.* **114**, 278.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP 2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Fienga, A., Laskar, J., Kuchynka, P., Manche, H., Desvignes, G., Gastineau, M., Cognard, I., Theureau, G. : 2011, The INPOP10a planetary ephemeris and its applications in fundamental physics, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **111**, 363.
- Lainey, V. : 2002, Théorie dynamique des satellites galiléens, thèse de doctorat en astronomie astrophysique, Observatoire de Paris, 2002.
- Lestrade, J.-F., Bretagnon, P. : 1982, Perturbations relativistes pour l'ensemble des planètes, *Astron. Astrophys.* **105**, 42.
- Manche, H. : 2012, communication privée.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical Planetary Solution VSOP2000, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **80**, 205.
- Simon, J.-L., Francou, G. : 2016, Constructions des théories planétaires analytiques de l'IMCCE, *Notes scientifiques et techniques de l'Institut de mécanique céleste* **S103**.
- Simon, J.-L., Francou, G., Fienga, A., Manche, H. : 2013, New analytical planetary theories VSOP2013 and TOP2013, *Astron. Astrophys.* **557**, A49.

