

DEVELOPPEMENT D'UNE CHAINE D'ANALYSE ASTRO-GEODESIQUE "LOPAG"

B. GHEZALI, C. SAHEL, S. ABROUCHE

Centre National des Techniques Spatiales

Laboratoire de Géodésie - CNTS B.P. 13 ARZEW 31 200.

ملخص

إن العمل المقدم في هذا المقال ينص على تنمية سلسلة علاج وتحليل للبيانات الفلكية - الجيوديزية المسماة "لوباق" (برنامج حاسوبي لتحديد المواقع فلكي - جيوديزي).
إن هذا البرنامج الحاسوبي الذي تم تطويره على مستوى المركز الوطني للتقنيات الفضائية يتألف من قسمين :
القسم الأول يركز على حساب الجداول الفلكية.
والقسم الثاني يتعلق بتصحيح الثوابت الفلكية الجيوديزية.

RESUME :

Le travail présenté dans cet article porte sur le développement d'une chaîne de traitement et d'analyse de données astro-géodésiques dénommée **LOPAG** "Logiciel de Positionnement Astro-Géodésique". Le logiciel **LOPAG**, développé au niveau du Centre National des Techniques Spatiales (CNTS), est constitué de deux parties: la première partie est consacrée au calcul d'éphémérides astronomiques et la deuxième partie porte sur l'ajustement des paramètres astro-géodésiques.

ABSTRACT :

The work presented on this paper concerns an astro -geodetic data analysis and processing chain development named **LOPAG** "An Astro-Geodetic Positioning Software". The software, developed at the National Center of Space techniques (NCST), is composed of two parts :
the first part focuses on the calculation of astronomic ephemeris and the second part concerns the adjustment of astro -geodetic parameters .

MOTS-CLES: Aberration, BDA, Ephémérides, FK5, LOPAG, Mouvement propre, Précession, Nutation.

Introduction :

Les principales fonctionnalités de **LOPAG** sont les suivantes :

- Edition des éphémérides des étoiles fondamentales basées sur le FK5.
- Edition des éphémérides des corps du système solaire (soleil, planètes et lune) basées sur le FK5.
- Calcul des événements astronomiques (lever, passage au méridien et coucher).
- Edition des catalogues d'observations astronomiques (hauteurs égales).
- Ajustement des paramètres astro-géodésiques par la méthode de moindres carrés (azimut et direction de la verticale physique dans un repère terrestre instantané).
- Réductions des paramètres astro-géodésiques au repère terrestre conventionnel.

Les différents paramètres que peut fournir le programme **LOPAG** présentent un grand intérêt

pour la géodésie (phénomène des Marées, système de référence dynamique, contrôle et/ou amélioration de l'orientation de réseaux géodésiques, géoïde local...), l'astronomie fondamentale (phénomène des éclipses, théorie des perturbations, ...), les besoins civils (instants du lever et du coucher des astres, calendriers,...), les observations physiques des astres et l'établissement d'éphémérides nautiques.

I Schéma général d'analyse de données astro-géodésiques "LOPAG" :

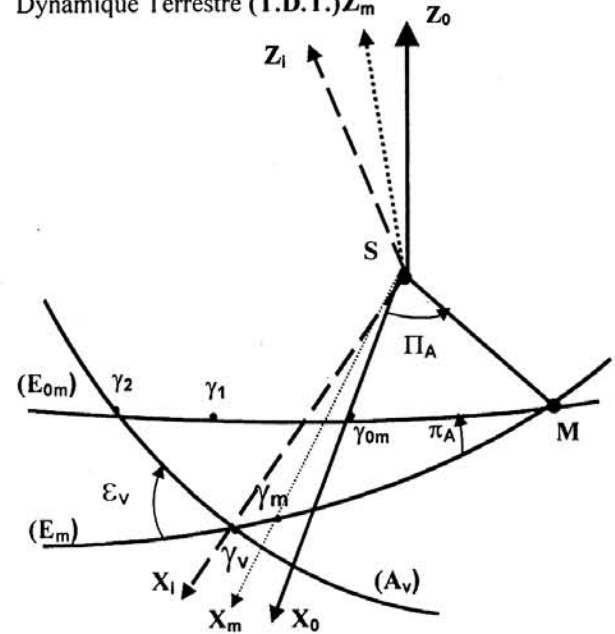
La version actuelle du logiciel "**LOPAG**" est basée sur le système de référence du catalogue **FK5**. Les formules de précession utilisées sont celles de J. Lieske et al., 1977 et les formules de la nutation sont celles de Wahr, 1981.

L'origine des temps ou *époque standard* est le 1^{er} Janvier 2000 à 12 heures (**J2000.0**) qui correspond au jour Julien 2451545,0.

I. Traitements et précision des résultats:

II.1. Calcul des éphémérides :

Les éphémérides des corps célestes (étoiles, planètes, etc.) sont rapportées au système de référence du catalogue **FK5**. Dans les réductions aux positions apparentes les constantes de précession, nutation et aberration sont celles adoptées par l'Union Astronomique Internationale (I.A.U.) en 1976 et 1982. L'époque standard est l'origine **J2000.0** et l'échelle de temps utilisée est l'échelle de Temps Dynamique Terrestre (**T.D.T.**) Z_m .



Précession et Nutation

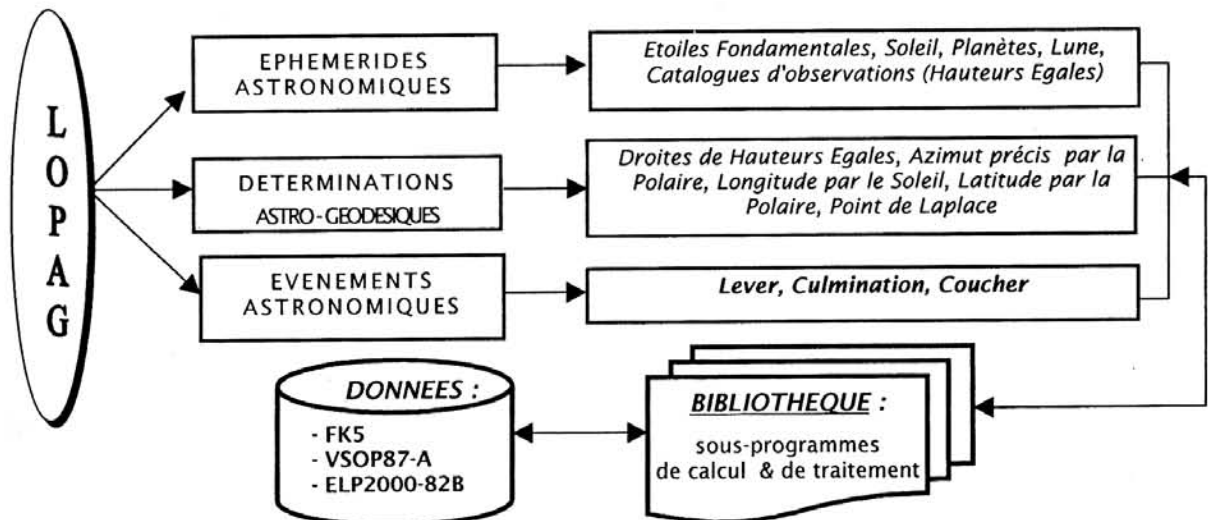


Schéma Général d'Analyse "LOPAG"

(E_{0m}): Ecliptique moyen de l'époque t_0 (J2000.0)

(E_m): Ecliptique moyen de la date t

(A_v): Equateur vrai de la date t

($SX_0Y_0Z_0$) : Repère céleste conventionnel [RCC] (repère écliptique moyen héliocentrique de l'époque t_0)

($SX_mY_mZ_m$): Repère céleste moyen [RCM] (repère écliptique moyen héliocentrique de la date t)

($SX_iY_iZ_i$) : Repère céleste instantané [RCI] (repère écliptique vrai héliocentrique de la date t)

Pour entreprendre un calcul de précession et de nutation, il est nécessaire de connaître les valeurs numériques des quantités suivantes :

Ψ_A : arc $\gamma_{0m} \gamma_1$: précession luni-solaire en longitude comptée sur (E_{0m})

$\Delta\Psi_A$: arc $\gamma_1 \gamma_2$: nutation luni-solaire en longitude comptée sur (E_{0m})

Π_A : arc $\gamma_{0m} M$: longitude du nœud ascendant M

π_A : précession en latitude

P_A : arc $\gamma_m M$ - arc $\gamma_{0m} M$: précession générale en longitude

λ_1 : arc $\gamma_m M$: $P_A + \text{arc } \gamma_{0m} M$: $P_A + \Pi_A$

N : arc $\gamma_m \gamma_v$: nutation en longitude

Φ : arc $\gamma_m \gamma_v + \text{arc } \gamma_m M$: $N + \lambda_1$: $N + P_A + \Pi_A$

W : nutation en obliquité

ε_m : obliquité moyenne

ε_v : $\varepsilon_m + W$: obliquité vraie

II.1.1 Ephémérides des étoiles :

La méthode, que nous exposons ci-dessous, permet de calculer les éphémérides d'étoiles en utilisant le système de repère écliptique et la transformation matricielle (changement de coordonnées rectangulaires), en formules finies qui ont l'avantage de la rigueur et de la généralité. En dehors de tout calcul machine, les formules de changement d'axes cartésiens constituent les méthodes de calcul les plus rigoureuses, par définition même, auxquelles on peut se référer pour contrôler toutes autres méthodes de calcul. Elles sont en outre valables pour toutes les catégories d'étoiles, en particulier les circumpolaires et fournissent une bonne précision numérique dans la mesure où les programmes de calcul sont simples (essentiellement lignes trigonométriques : rotations et translations d'axes). De même les coordonnées écliptiques paraissent s'imposer comme "véhicule" le plus commode pour le calcul des coordonnées des étoiles.

Les données nécessaires au calcul des éphémérides des étoiles sont celles du catalogue FK5. Ce catalogue contient 3522 étoiles (3417 étoiles non-circumpolaires et 105 étoiles circumpolaires) et fournit :

- les positions moyennes héliocentriques (α_0, δ_0) rapportées à l'équinoxe et à l'équateur moyens de l'époque J2000.0,
- les composantes du mouvement propre ($\mu_{\alpha}, \mu_{\delta}$) rapportées à l'équinoxe et à l'équateur moyens de l'époque J2000.0,

- les parallaxes annuelles (Π),
- et les vitesses radiales (V_r).

Le calcul se divise en trois parties :

1^{ère} Partie : Passage de (α_0, δ_0) aux coordonnées rectangulaires moyennes (X_0, Y_0, Z_0) rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens de J2000.0.

2^{ème} Partie : Passage de ($\mu_{\alpha}, \mu_{\delta}$) aux composantes rectangulaires ($\mu_{\alpha x}, \mu_{\alpha y}, \mu_{\alpha z}$) rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens de J2000.0.

3^{ème} Partie :

Calcul des coordonnées sphériques équatoriales apparentes (α, δ) de la date à partir de (X_0, Y_0, Z_0) et ($\mu_{\alpha x}, \mu_{\alpha y}, \mu_{\alpha z}$) : correction du mouvement propre, correction de la précession et de la nutation, correction de la parallaxe annuelle et correction de l'aberration annuelle.

- Correction à apporter à (α, δ) due à la variation du mouvement propre : effet du déplacement radial de l'étoile.

II.1.2. Ephémérides du Soleil :

Les éphémérides du Soleil sont calculées à partir des coefficients obtenus par la solution analytique du mouvement de la Terre VSOP 87-A. Cette solution est représentée par le type de coordonnées héliocentriques rectangulaires (X, Y, Z) rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques de J2000.0. Ces coordonnées sont des fonctions du temps T compté en milliers d'années Juliennes à partir de J2000.0 et sont mises sous la forme de séries périodiques et de séries de Poisson telles que :

$$X = \sum_i^n A_i T^\alpha \cos(B_i + C_i \cdot T)$$

$$Y = \sum_j^n A_j T^\alpha \cos(B_j + C_j \cdot T)$$

$$Z = \sum_k^n A_k T^\alpha \cos(B_k + C_k \cdot T)$$

A : Amplitude ; B : Phase ; C : Fréquence ;
 α : degré compris entre 0 et 5.

Etapas de calcul :

- Calcul des coordonnées rectangulaires héliocentriques moyennes (X, Y, Z) de la date rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques de J2000.0 à partir des coefficients obtenus par la solution VSOP 87-A

- Corrections d'équinoxe ($\gamma_{\text{dyna}} \gamma_{\text{FK5}} = 0''.0990$) et d'obliquité ($\varepsilon_{\text{dyna}} \varepsilon_{\text{FK5}} = -0''.0389$)..

- Corrections de la précession et de la nutation en coordonnées écliptiques rectangulaires.

- correction de la parallaxe annuelle.
- correction de l'aberration annuelle..

II.13. Ephémérides des Planètes :

Les éphémérides des planètes sont calculées à partir des éléments héliocentriques moyens (a, λ, K, H, Q, P) tenant compte des principales perturbations à longue période pour les grosses planètes Jupiter, Saturne, Neptune et de quelques termes à courte période pour la planète Saturne. Ces éléments, fournis par la *Connaissance des Temps* du Bureau des Longitudes, sont rapportés à l'équinoxe et l'écliptique dynamiques de la date et sont issus de la théorie des variations séculaires des orbites planétaires (VSOP 82).

Etapas de calcul :

- Calcul des éléments orbitaux moyens ($a, e, i, \Omega, \omega, \lambda$) rapportés à l'équinoxe et l'écliptique dynamiques de la date à partir des éléments (a, λ, K, H, Q, P).
- Passage de ($a, e, i, \Omega, \omega, \lambda$) aux coordonnées moyennes héliocentriques écliptiques sphériques (l, β) de la date.
- Correction de la parallaxe annuelle.
- Correction de la nutation.
- Correction de l'aberration annuelle.

II.1.4. Ephémérides de la Lune :

Les éphémérides de la Lune sont calculées à partir des coefficients obtenus par la solution ELP2000_82B.

Type d'éphéméride	Coordonnées	Précision
Etoiles non-circumpolaires	Ascension droite	10^{-3} s
	Déclinaison	10^{-2} "
	Nutation en longitude	10^{-3} "
	Nutation en obliquité	10^{-3} "
Etoiles circumpolaires	Ascension droite	10^{-2} s
	Déclinaison	10^{-2} "
Soleil	Ascension droite	10^{-2} s
	Déclinaison	10^{-1} "
Planètes	Ascension droite	1 s
	Déclinaison	5 "
Lune	Ascension droite	10^{-3} s
	Déclinaison	10^{-2} "
Catalogue d'observations astronomiques	Heure Sidérale Locale	1 s
	Azimut	1 '
	Calage	1 grade
Orientation de la terre dans l'espace	Heure sidérale de Greenwich	10^{-3} s

Cette solution est représentée par des séries périodiques et de séries de Poisson en coordonnées sphériques géocentriques écliptiques moyennes (r, l, β) rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques de J2000.0.

Etapas de calcul :

- Passage des coordonnées (r, l, β) aux coordonnées rectangulaires géocentriques écliptiques moyennes (X, Y, Z) rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques de J2000.0.
- Correction d'équinoxe et d'obliquité.
- Corrections de la précession et de la nutation en coordonnées écliptiques rectangulaires.
- Correction d'aberration annuelle.

II.1.5. Catalogue d'observations astronomiques :

Le catalogue d'observations astronomiques sert essentiellement pour la méthode des droites de hauteurs égales; Il permet, à l'aide d'instruments de mesure d'angles et de temps, de déterminer à un instant donné les coordonnées locales (HSL, AZ, Z) et le calage d'arrivée (S) d'une étoile. Ce catalogue est établi pour une époque donnée et les coordonnées des étoiles varient dans le temps, d'où la nécessité de le renouveler périodiquement (03 ans). Le programme d'édition des catalogues n'est valable que pour les régions de latitude comprises entre -60° et $+60^\circ$ et des étoiles non-circumpolaires de distance zénithale limitée entre 20° et 45° . L'établissement des catalogues d'observations astronomiques est basé sur l'utilisation des données du catalogue fondamental FK5.

Le passage de l'angle à l'astre (S) à la division micrométrique (calage d'arrivée) dépend du choix de la lunette d'observation. Dans notre cas, on cite l'exemple du Théodolite "Wild T3 A" qui nous fournit deux cas de figures :

Calage d'arrivée = $100^G - S$ [Passage Est (PE)]
 Calage d'arrivée = $100^G + S$ [Passage Ouest (PO)]

II.1.6. Précision des éphémérides :

Ici, la précision ne traduit qu'un écart entre les résultats obtenus par le logiciel "LOPAG" élaboré au CNTS et ceux publiés par la *Connaissance des Temps* du Bureau des Longitudes pour les Planètes, le Soleil et la Lune, et ceux publiés par "APFS" pour les étoiles.

Le tableau récapitulatif suivant, fournit les types de coordonnées des différents astres dont nous éditons les éphémérides avec leur précision :

II.2. Ajustement des paramètres astro-géodésiques :

II.2.1. Détermination de la direction de la verticale physique d'un lieu :

Les techniques de détermination des coordonnées géographiques astronomiques (ϕ, λ) d'un lieu utilisées lors de l'élaboration du programme LOPAG sont les droites de hauteurs égales, la longitude par le soleil et la latitude par la polaire.

La méthode précise de détermination de la direction de la verticale physique d'un lieu d'observations est celle des droites de hauteurs égales. Elle repose sur la datation des passages des étoiles par une distance zénithale constante Z , dont on connaît qu'une valeur approximative Z_0 . En résumé, elle consiste à mesurer à un instant t , la distance zénithale d'une étoile E identifiée de coordonnées équatoriales (α, δ) connues.

La linéarisation de la relation fondamentale liant les mesures (TU, Z_{obs}) et les inconnues (ϕ, λ) nous conduit à l'expression suivante :

$$dZ_i = -\cos(AZ_i)dY - \sin(AZ_i)dX$$

Avec :

$$\begin{aligned} dY &= d\phi & \text{et} & & d\phi &= \phi_{\text{def}} - \phi_0 \\ dX &= \cos(\phi_0)d\lambda & \text{et} & & d\lambda &= \lambda_{\text{def}} - \lambda_0 \end{aligned}$$

$i = 1, N$ (N : nombre d'observations).

AZ_i : Azimut de l'étoile calculé à partir des coordonnées approchées (λ_0, ϕ_0).

$$dZ_i = Z_{iobs} - Z_{ical} + V_i$$

Comme on observe à une distance zénithale constante (30°), on obtient :

$$Z_{iobs} = 30^\circ + \Delta Z_{NIV} + \Delta Z_{REF} + \rho + Z_0$$

Avec :

ΔZ_{NIV} : correction de niveau

ΔZ_{REF} : correction de réfraction

ρ : erreur de réfraction et de niveau due aux variations de température et de pression

Z_0 : Z_0 de l'appareil

$$dZ_i = \Delta Z_{NIV} + \Delta Z_{REF} + \rho + Z_0 + (30^\circ - Z_{ical}) + V_i$$

On obtient finalement, avec $R = \rho + Z_0$ et $\Delta Z_i = \Delta Z_{NIV} + \Delta Z_{REF} + (30^\circ - Z_{ical})$:

$$\cos(AZ_i)dY + \sin(AZ_i)dX + R = -\Delta Z_i + V_i$$

C'est un système linéaire de la forme :

$$AX = L + V$$

Où X est le vecteur des inconnues, A est la matrice de configuration, L est le vecteur des mesures et V étant le vecteur des résidus.

La méthode de résolution utilisée est celle des moindres carrées qui consiste à minimiser la quantité $(AX - L)$ en norme L_2 ($\sum V_i^2$ ou 'VV minimum'). Si 'AA est non singulière, ceci nous conduit à l'expression suivante :

$$\bar{X} = ('AA)^{-1} ('AL)$$

II.2.2. Calcul d'un Azimut précis d'un repère : Azimut par l'heure.

La détermination de l'azimut sera la plus précise lorsque l'azimut variera peu en fonction de l'heure. L'étoile polaire dont l'azimut varie peu au cours du mouvement diurne sera un astre très favorable, à condition que le lieu d'observation soit tel que sa distance zénithale ne soit pas trop faible (à cause de l'erreur due à l'inclinaison des tourillons). La relation fondamentale de l'azimut du repère est la suivante :

$$AZ_R = AZ_E + (L_E + C) - L_R$$

Avec :

AZ_R : Azimut du repère terrestre

AZ_E : Azimut de l'étoile polaire (Azimut par l'heure)

L_R : Lecture horizontale sur le repère

L_E : Lecture horizontale sur la polaire

C : Correction d'inclinaison des Tourillons

La principale source d'erreur sur l'azimut du repère, AZ_R , provient de l'erreur due à l'inclinaison, C , de l'axe principal dans le plan des tourillons qui entraîne l'axe des tourillons.

II.2.3. Calcul des composantes de la Déviation de la Verticale :

Le passage des quantités astronomiques aux quantités géodésiques nécessite la connaissance des composantes de la verticale physique du lieu considéré et s'effectue à l'aide des équations généralisées de Laplace développées au premier ordre.

II.2.4. Corrections à apporter aux éléments calculés :

- **Réduction au pôle moyen** : Les éléments calculés ou ajustés (λ, ϕ, AZ) sont rapportés au pôle instantané. Il faut les réduire au pôle moyen (pôle conventionnel). Les coordonnées (x, y) du pôle instantané par rapport au pôle moyen sont déterminées par le Service International de la Rotation de la Terre (IERS) et publiées dans le bulletin annuel.

- **Correction d'aberration diurne en longitude:** D'une manière générale, l'aberration est un effet optique; C'est un changement apparent de la direction de l'astre, dû au mouvement relatif de l'observateur par rapport à l'astre et à la vitesse finie de la lumière. C'est un phénomène analogue à l'inclinaison apparente de la direction de chute des gouttes de pluie qui dépend de votre vitesse de marche.

- **Correction due à la courbure de la verticale physique :** Pour des applications géodésiques, la latitude astronomique doit être réduite à la surface de référence appelée "géoïde". Les verticales physiques sont en réalité des courbes dont la concavité est toujours dirigée vers l'axe de rotation de la terre ce qui entraîne une correction $\Delta\phi_{cv}$ négative.

II.3. Détermination et précision des événements astronomiques :

Pour calculer l'instant des événements astronomiques tels que lever, passage au méridien supérieur et coucher d'un astre dont on suppose connues les coordonnées (α , δ) au moment du phénomène considéré, il est nécessaire de connaître la valeur de l'angle horaire de l'astre à ces différents instants. Pour le passage au méridien supérieur la valeur de l'angle horaire est toujours nulle.

Le calcul de l'heure TU des événements astronomiques nécessite la connaissance des coordonnées équatoriales (α , δ) et de la parallaxe à ces mêmes instants.

Pour les corps célestes de longs mouvements tels que le Soleil, les étoiles et les planètes, le passage par un TU approché est suffisant pour le calcul de (α , δ).

Pour le cas de la Lune dont la variation des coordonnées est très importante, l'utilisation d'une interpolation parabolique de ces coordonnées ainsi qu'une itération s'avère nécessaire pour l'obtention d'un résultat précis. Ici, la précision ne traduit qu'un écart entre les résultats obtenus par le logiciel "LOPAG" et ceux publiés par l'annuaire du Bureau des Longitudes. Les événements astronomiques (Lever, passage au méridien et coucher) des astres sont calculés pour leur centre et ils sont fournis à la minute près.

III. Structuration des observations Astro-Géodésiques :

Les actions permettant la saisie et l'édition des observations astro-géodésiques (Azimut précis et Hauteurs Egales) ont été intégrées dans la Base des Données Astro-géodésiques (BDA) développée au niveau du laboratoire de géodésie. Ce système de BDA présente un caractère évolutif, dans la mesure où il peut être aisément enrichi par d'autres actions selon la dynamique des applications.

La manipulation, l'interrogation, la saisie et la mise à jour de la BDA s'effectuent par la création des objets tables, requêtes, formulaires, etc.) offerts par "Access" le SGBD utilisé.

Les actions réalisées dans le cadre de ce travail portent sur l'édition des éphémérides, des catalogues d'étoiles et des fiches signalétiques des points astronomiques, et sur la saisie des observations astro-géodésiques (azimut précis et hauteurs égales).

Conclusion

Le programme d'analyse et de traitement de données astro-géodésiques dénommé LOPAG "LOGiciel de Positionnement Astro-Géodésique" est implanté sur Micro Ordinateur, sous système MS-DOS et écrit en langage Fortran version 6.0.

Les résultats obtenus, cas des éphémérides des étoiles, sont identiques à ceux fournis par les volumes "APFS" ce qui conforte le choix de la méthode de calcul adoptée. La méthode de calcul d'éphémérides du soleil utilise la solution analytique VSOP 87A qui assure une précision de 0.01 seconde sur un intervalle de temps de l'ordre d'un siècle de part et d'autre de l'époque origine J2000.0. Le programme de calcul d'éphémérides des planètes est destiné aux utilisateurs qui se contenteraient d'une précision limitée (± 1 seconde). La position de la lune, obtenue à partir de la solution semi-analytique ELP2000_82B, est assurée avec une précision de $\approx \pm 0.001$ seconde. Ici, la précision ne traduit qu'un écart entre les résultats obtenus par le logiciel LOPAG et ceux publiés par la Connaissance des Temps du Bureau des Longitudes pour les planètes, le soleil, la lune et ceux publiés par " APFS " pour les étoiles.

La précision sur les paramètres astro-géodésiques dépend essentiellement de la technique d'observation, du type de matériel utilisé, des moments d'observations et de la qualité des données à priori.

L'intérêt essentiel de l'élaboration de LOPAG est de faire preuve d'autonomie et de disponibilité afin de satisfaire, à la demande et à tout moment, les utilisateurs qui se contenteraient de cette précision (géodésie, navigation spatiale ou marine, cadastre, génie-civil, télédétection, observations physiques des astres, etc.).

Le CNTS est prêt à fournir à ceux qui en feraient la demande, des éphémérides (étoiles, planètes, soleil, lune), sous forme de listings ou de disquettes et à effectuer des traitements d'observations astro-géodésiques.

Bibliographie

- [1] **ABROUCHE** Said, 1997 : *Etablissement d'une base de données astro-géodésiques*. Mémoire d'ingénieur, C.N.T.S (ARZEW).
- [2] **ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES**, *Ephémérides Astronomiques 1987* Edition GAUTHIER VILLARS (PARIS).
- [3] **BOUDRAA** Djamel, 1988 : *Etablissement d'un programme FORTRAN d'édition des catalogues d'observations astronomiques*. Mémoire d'ingénieur, C.N.T.S (ARZEW).
- [4] **BUREAU DES LONGITUDES**, *Connaissances des temps, "Ephémérides Astronomiques 1985 "* Observatoire de (PARIS).
- [5] **CHEMAA** Boualem, 1983 : *Déterminations astronomiques d'azimut*, Mémoire d'ingénieur, E.N.S.G (ARZEW).
- [6] **DANJON** André, 1980 : *Astronomie générale*. Librairie scientifique et technique, Seconde édition Albert MARCHAND (PARIS).
- [7] **GHEZALI** Boualem, 1993 : *Comparaison des différentes méthodes de calcul des coordonnées des étoiles*, C.N.T.S (ARZEW).
- [8] **IVAN I. MUELLER**, 1977 : *Spherical and pratical astronomy as applied to Geodesy*, Seconde édition FREDERICK UNGAR (NEW YORK).
- [9] **LAURENCE G. TAFF**, 1981 : *Computational spherical astronomy*, Edition JOHN WILLEY & SONS (NEW YORK).
- [10] **LEVALLOIS Jean Jacques & KOVALEVSKI J.**, 1971 : *Géodésie générale (Tome 4 Géodésie Spatiale)* Edition EYROLLES (PARIS).
- [11] **MEHENNI Abdelhak**, 1993 : *Ephémérides des planètes*, Mémoire d'ingénieur, C.N.T.S (ARZEW).
- [12] **MORANDO B.**, 1986 *Le système solaire Amélioration de la connaissance du système (Article)* Bureau des Longitudes (PARIS).
- [13] **SAHEL Chérif**, 1998 : *Etablissement d'un programme d'édition des éphémérides de la Lune*. Rapport technique, C.N.T.S (ARZEW).
- [14] **Union Astronomique Internationale U.A.I** *Apparent Place Of Fundamental Stars, "A.P.O.F.S 1980 "*.
- [15] **WOOLARD Edgar W. & CLEMENCE Gerald M.**, 1966 : *Spherical Astromomy* Edition ACADEMIC PRESS (NEW YORK).