

LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée

Calcul selon les standards IERS 2003 en suivant le formalisme NRO

À l'attention de : M. J. C. MARTY, CNES
M. R. BIANCALE, CNES

	Fonction	Nom	Signature	Date
Préparé par	Ingénieur scientifique	Rosario RUILOBA		
Vérifié par	Chef de projet	Sylvain LOYER		
Autorisé par	Président Directeur Général	Richard BRU		





LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	3		

Bordereau d'indexation

Client	CNES	N° Contrat / Marché			
Classes de confidentialité			Gestion de configuration		
Société / Programme		Défense			
Non protégé	<input type="checkbox"/>	Non-protégé	<input checked="" type="checkbox"/>	Sans	<input checked="" type="checkbox"/>
Réservé	<input checked="" type="checkbox"/>	Diffusion restreinte	<input type="checkbox"/>	Interne	<input type="checkbox"/>
Confidentiel	<input type="checkbox"/>	Confidentiel défense	<input type="checkbox"/>	Client	<input type="checkbox"/>
Document contractuel		Code projet / Affaire		Lot de travaux	
Oui	<input checked="" type="checkbox"/>	Non	<input type="checkbox"/>	-	
LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée					
Calcul selon les standards IERS 2003 en suivant le formalisme NRO					
Résumé					
Ce document présente la librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée. Cette librerie sera par la suite intégrée dans GINS.					
Document					
Nom du fichier		NOV-3240-NT-3287.pdf		Nb de pages	
				25	
Projet		-		Nb de tableaux	
				2	
Logiciel		pdf _T E _X		Nb de figures	
				1	
Langue		Français		Nb d'annexes	
				1	
Référence document					
Interne		NOV-3420-NT-3287		Édition	1
				Date	30/09/05
Externe		-		Révision	1
				Date	13/10/05
Auteur(s)		Vérifié par		Autorisé par	
Rosario RUILOBA		Sylvain LOYER		Richard BRU	



LIBNRO : librairie de calcul de la
matrice de rotation de la Terre et de sa
dérivée

Réf.	NOV-3420-NT-3287		
Édition	1	Date	30/09/05
Révision	1	Date	13/10/05
Page	4		

Liste de diffusion

Interne	Externe	
Prénom NOM	Prénom NOM	Société / Organisme
Richard Bru	J. C. MARTY	CNES
Documentation NOVELTIS	R. BIANCALE	CNES



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée

Réf.	NOV-3420-NT-3287		
Édition	1	Date	30/09/05
Révision	1	Date	13/10/05
Page	5		

État du document

LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée
Calcul selon les standards IERS 2003 en suivant le formalisme NRO

Édition	Révision	Date	Raison de la révision
1	1	13/10/05	Version initiale

Suivi des modifications

Éd.	Rév.	État*	Pages modifiées	Raison de la modification
1	0	I	Toutes	Version initiale
1	1	M	14	Ajouter la correction sur xp,yp et ut1 dans iaunro.interp
1	1	M	16	Correction des dérivées du tableau
1	1	M	20	Changer l'ordre du paramètre optionel
1	1	M	20-25	Indiquer les paramètres optionels

* I=Inséré, S=Supprimé, M=Modifié.



Réf.	NOV-3420-NT-3287		
Édition	1	Date	30/09/05
Révision	1	Date	13/10/05
Page	7		

Sommaire

1. INTRODUCTION	9
2. CALCUL DE LA MATRICE ET SES DÉRIVÉES	10
2.1. CALCUL DE LA MATRICE DE ROTATION DE LA TERRE	10
2.2. CALCUL DE LA DÉRIVÉE DE LA MATRICE DE ROTATION	10
2.2.1. $\delta M(t)/\delta x_p$	10
2.2.2. $\delta M(t)/\delta y_p$	11
2.2.3. $\delta M(t)/\delta \theta$	11
2.2.4. $\delta M(t)/\delta(\delta X)$	12
2.2.5. $\delta M(t)/\delta(\delta Y)$	12
3. LIBRAIRIE LIBNRO	14
3.1. PRINCIPALES ROUTINES	14
3.1.1. <i>Unité et échelle des dates</i>	14
3.2. ROUTINES DE CALCUL ET LECTURE DE PARAMÈTRES	14
3.3. ROUTINE DE CALCUL DE LA MATRICE DE ROTATION ET DE SES DÉRIVÉES PARTIELLES	15
4. VALIDATION	16
4.1. VÉRIFICATION DU CALCUL DE LA MATRICE DE ROTATION	16
4.2. VÉRIFICATION DU CALCUL DES DÉRIVÉES PARTIELLES	16
4.3. TABULATION/INTERPOLATION DE X ET Y (MODÈLE DE NUTATION)	16
5. CODAGE	18
5.1. ACCÈS AU CODE	18
5.2. EXEMPLE D'UTILISATION	18
A. ANNEXE	20
A.1. PROPRIÉTÉS DES AFINEURS ET DES MATRICES DE ROTATION	20
A.2. LECTURE DES PARAMÈTRES $x_p, y_p, \delta X$ ET δY : IAUNRO_READ	20
A.3. TABULATION DES PARAMÈTRES X ET Y : IAUNRO_TABUL_XY	21
A.4. INTERPOLATION DES PARAMÈTRES LUS $x_p, y_p, \delta X$ ET δY : IAUNRO_INTERP	22
A.5. OBTENTION DE X ET Y : IAUNRO_GET_XY	23
A.6. TRANSFORMATION DES UNITÉS : IAUNRO_CONVERTUNITPARAM-4MDM	24
A.7. CALCUL DE LA MATRICE DE ROTATION ET DES DÉRIVÉES PARTIELLES : IAUNRO_MDM	24



LIBNRO : librairie de calcul de la
matrice de rotation de la Terre et de sa
dérivée

Réf.	NOV-3420-NT-3287		
Édition	1	Date	30/09/05
Révision	1	Date	13/10/05
Page	9		

1. Introduction

La librairie **libnro** réalise le calcul de la matrice de rotation de la Terre selon les standards IERS 2003 (IERS Technical Note No.32-[2]). Elle fournit également les routines haut niveau qui facilitent l'obtention des paramètres de calcul de ces matrices (lecture des paramètres, tabulation, interpolation, etc.). Elle réalise aussi le calcul des dérivées partielles par rapport aux 5 paramètres de rotation de la Terre : x_p , y_p , $ut1$, δX et δY .

Cette librairie est basée sur les routines SOFA pour le calcul de la matrice de rotation et les corrections sur les paramètres, en suivant le formalisme de la **NRO (Non Rotation Origin)**.

LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	10		

2. Calcul de la matrice et ses dérivées

2.1. Calcul de la matrice de rotation de la Terre

Suivant la note [2], la relation entre le système de référence terrestre et le système de référence spatial est donnée par l'équation 1, où M est la *matrice de rotation de la Terre*.

$$[CRS] = M(t)[TRS] = Q(t).R(t).W(t)[TRS] \quad (1)$$

$$W(t) = R_3(-s').R_2(x_p).R_1(y_p) \quad (2)$$

$$R(t) = R_3(-\theta) \quad (3)$$

$Q(t)$ est remplacé par \tilde{Q} dans les standards (voir [2] page 42) :

$$\begin{aligned} \tilde{Q} &= \Delta Q(\delta X, \delta Y).Q_{IAU}(X, Y) \\ &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & \delta X \\ 0 & 1 & \delta Y \\ -\delta X & -\delta Y & 1 \end{pmatrix}.Q_{IAU}(X, Y) \end{aligned} \quad (4)$$

Les 5 paramètres de rotation sont : $x_p, y_p, \theta, \delta X$ et δY . Ce sont ces paramètres qui doivent être obtenus pour le calcul de la matrice et sur lesquels nous allons calculer la dérivée.

2.2. Calcul de la dérivée de la matrice de rotation

libnro calcule les dérivées partielles de M par rapport aux paramètres $x_p, y_p, \theta, \delta X, \delta Y$. Le calcul utilise les affineurs tels qu'ils sont définis dans [1].

Les paramètres varient en fonction du temps, mais cette dépendance n'a pas été représentée dans les équations qui suivent pour simplifier leur écriture.

2.2.1. $\delta M(t)/\delta x_p$

Pour le calcul de la dérivée, nous avons négligé la dépendance de s' par rapport à x_p , car elle est insignifiante au premier ordre (voir équation 2 et [2]).

Afin de simplifier les calculs, en employant les produits de matrices directes et inverses, nous partons du calcul de $\delta M^{-1}/\delta x_p$.

$$\frac{\delta M^{-1}(t)}{\delta x_p} = R_1^{-1}(y_p). \frac{\delta R_2^{-1}(x_p)}{\delta x_p}. R_3^{-1}(-s'). R_3^{-1}(\theta). \tilde{Q}(X, Y, \delta X, \delta Y) \quad (5)$$

$$\frac{\delta M^{-1}(t)}{\delta x_p}. M = R_1^{-1}(y_p). \frac{\delta R_2^{-1}(x_p)}{\delta x_p}. R_2(x_p). R_1(y_p) \quad (6)$$

LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	11		

En appliquant successivement les propriétés 26, 27 et 29 des matrices de rotation et des affineurs :

$$\begin{aligned}\frac{\delta M^{-1}(t)}{\delta x_p} \cdot M &= R_1^{-1}(y_p) \cdot (-[\vec{u}_2]) \cdot R_1(y_p) \\ &= -[R_1^{-1}(y_p) \vec{u}_2]\end{aligned}\quad (7)$$

En appliquant 24 et en multipliant par M :

$$\frac{\delta M(t)}{\delta x_p} = M \cdot [R_1^{-1}(y_p) \vec{u}_2] \quad (8)$$

2.2.2. $\delta M(t)/\delta y_p$

Pour le calcul de cette dérivée, nous procédons de la même façon que nous l'avons fait pour le calcul de la dérivée partielle sur x_p (voir section 2.2.1). Nous avons négligé la dépendance de s' par rapport à y_p , car elle est insignifiante au premier ordre (voir équation 2).

En appliquant la propriété 27, il résulte :

$$\frac{\delta M^{-1}(t)}{\delta y_p} \cdot M = -\frac{\delta R_1^{-1}(y_p)}{\delta y_p} \cdot R_1(y_p) = -[\vec{u}_1] \quad (9)$$

En appliquant 24 et en multipliant par M :

$$\frac{\delta M(t)}{\delta y_p} = M \cdot [\vec{u}_1] \quad (10)$$

2.2.3. $\delta M(t)/\delta \theta$

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} = \tilde{Q} \cdot \frac{\delta R_3(-\theta)}{\delta \theta} \cdot W \quad (11)$$

Nous multiplions par M^{-1} pour éliminer les matrices qui ne dépendent pas de θ . En appliquant la propriété 27 nous obtenons :

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} \cdot M^{-1} = \tilde{Q} \cdot \frac{\delta R_3(-\theta)}{\delta \theta} \cdot R_3^{-1} \cdot \tilde{Q}^{-1} \quad (12)$$

$$= -\tilde{Q} \cdot [\vec{u}_3] \cdot \tilde{Q}^{-1} \quad (13)$$

En appliquant 29 et en multipliant par M :

$$\frac{\delta M}{\delta \theta} = -[\tilde{Q} \cdot \vec{u}_3] \cdot M \quad (14)$$

LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	12		

2.2.3.1 $\delta M(t)/\delta ut1$

Souvent, le calcul de $\delta M(t)/\delta ut1$ est préférable à celui de $\delta M(t)/\delta\theta$. La relation entre ces deux dérivées partielles est la suivante :

$$\frac{\delta M}{\delta ut1} = \frac{\delta M}{\delta\theta} \cdot \frac{\delta\theta}{\delta ut1} \quad (15)$$

$$= \frac{\delta M}{\delta\theta} \cdot 2.\pi.1,00273781191135448 \quad (16)$$

La relation ente θ et $ut1$ est donnée dans l'équation (13) de la page 38 du document [2].

2.2.4. $\delta M(t)/\delta(\delta X)$

Nous multiplions par M^{-1} pour éliminer les matrices qui ne dépendent pas de θ . En appliquant la propriété 25 nous obtenons :

$$\begin{aligned} \frac{\delta M}{\delta(\delta X)} \cdot M^{-1} &= \frac{\delta \Delta Q}{\delta(\delta X)} \cdot \Delta Q^{-1} \\ &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -\delta X \\ 0 & 1 & -\delta Y \\ \delta X & \delta Y & 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \delta X & \delta Y & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & \delta X \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (17)$$

En multipliant par M le résultat, nous obtenons :

$$\frac{\delta M}{\delta(\delta X)} = \begin{pmatrix} \delta X & \delta Y & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & \delta X \end{pmatrix} \cdot M \quad (18)$$

Puisque δX et δY sont très petits, nous pourrions également considérer l'équation 19. Cependant, nous n'avons pas utilisé cette approximation pour le calcul de la dérivée.

$$\frac{\delta M}{\delta(\delta X)} \cdot M^{-1} \approx \frac{\Delta Q}{\delta(\delta X)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	13		

2.2.5. $\delta M(t)/\delta(\delta Y)$

Nous procédons de la même façon que pour le calcul de la dérivée par rapport à δX (voir section 2.2.4).

$$\begin{aligned}
 \frac{\delta M}{\delta(\delta Y)} \cdot M^{-1} &= \frac{\delta \Delta Q}{\delta(\delta Y)} \cdot \Delta Q^{-1} \\
 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -\delta X \\ 0 & 1 & -\delta Y \\ \delta X & \delta Y & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \delta X & \delta Y & 0 \\ 0 & -1 & \delta Y \end{pmatrix} \tag{20}
 \end{aligned}$$

En multipliant par M nous obtenons :

$$\frac{\delta M}{\delta(\delta Y)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \delta X & \delta Y & 0 \\ 0 & -1 & \delta Y \end{pmatrix} \cdot M \tag{21}$$



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	14		

3. Librairie LIBNRO

3.1. Principales routines

Les routines haut niveau sont organisées en deux groupes :

1. Routines de calcul et de lecture de paramètres :
 - Routines de tabulation des paramètres.
 - Routines d'interpolation
2. Routine de calcul de la matrice de rotation et de sa dérivée.

Les routines d'obtention de paramètres passent d'abord par une tabulation des valeurs afin de réduire le temps d'accès et de calcul de paramètres lorsqu'on souhaite calculer la matrice M pour des dates multiples.

Ces routines pourraient encapsuler davantage de calculs. Le niveau d'encapsulation a été défini en tenant compte de l'intégration de ces routines dans GINS.

3.1.1. Unité et échelle des dates

Les dates manipulées par les routines haut niveau de **libnro** sont en jours juliens CNES et secondes TAI.

3.2. Routines de calcul et lecture de paramètres

Certains des paramètres de M sont présents dans des fichiers de données ($x_p, y_p, (ut1 - utc)$), utilisé pour calculer $\theta, \delta X$ et δY), d'autres (X et Y) doivent être calculés. Lors du calcul de la matrice de rotation pour des dates différentes et afin de réduire le temps de calcul, ces paramètres sont lus ou calculés et tabulés par la librairie **libnro**. Après, les routines d'interpolation utilisent ces tableaux pour obtenir les valeurs des paramètres à une date précise (voir annexe pour le détail des arguments et des unités).

Les routines de remplissage des tableaux :

- `iaunroi_read` : lit dans le fichier de paramètres ceux qui seront utilisés pour le calcul de la matrice de rotation. La routine récupère tous les paramètres entre deux dates données (en jours juliens CNES) et elle stocke les dates (en jour juliens) et les paramètres dans les tableaux d'un module de données (`common_iaunro_data.f90`). Ce module contient également la taille des tableaux.
- `iaunro_tabul_xy` : calcule et tabule les valeurs des paramètres X et Y non présents dans le fichier de paramètres et définis dans [2]. X et Y sont calculés entre deux dates (en jour juliens) avec un pas d'échantillonnage choisi. Les résultats et les dates (en jours juliens et fractions de jours TT) sont stockés dans les tableaux du module de données `common_iaunro_data`.

Les routines de calcul des paramètres pour une date précise sont :

- `iaunro_interp` : calcule les paramètres à la date de calcul de la matrice de rotation. Elle réalise une interpolation de Lagrange des paramètres lus, avec par défaut 8 points, et applique la correction sur le mouvement des océans et les effets lunaire et solaire.



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	15		

- `iaunro_get_XY` : calcule les paramètres X et Y à la date de calcul de la matrice de rotation. Elle réalise une interpolation de Lagrange, avec par défaut 6 points, des paramètres X , Y tabulés, ou le calcul exact si demandé.
- `iaunro_convertUnitParam4mdm` : change les unités des paramètres obtenus pour les adapter aux entrées de la routine de calcul de la matrice et de sa dérivée (voir section 3.3).

3.3. Routine de calcul de la matrice de rotation et de ses dérivées partielles

Une seule sous-routine, `iaunro_mdm` permet de calculer la matrice de rotation et, de façon optionnelle, ses dérivées partielles : $\frac{\delta M}{\delta x_p}$, $\frac{\delta M}{\delta y_p}$, $\frac{\delta M}{\delta ut1}$, $\frac{\delta M}{\delta(\delta X)}$, $\frac{\delta M}{\delta(\delta Y)}$; telles qu'elles sont définies dans la section 2.2. Les unités des paramètres sont :

- x_p , y_p , δX , δY , X , Y : radians
- $ut1$: secondes

Cette routine utilise **SOFA** pour le calcul de la matrice de rotation.

3.3.0.1 Modification de SOFA

Le calcul de $\frac{\delta M}{\delta \theta}$ utilise la matrice Q_{IAU} déjà calculée pour l'obtention de la matrice de rotation. Afin d'éviter la répétition du calcul, nous avons ajouté une nouvelle routine dans SOFA : `iau_C2TPE_nro` (fichier `c2tpe.for`). Cette nouvelle routine est une copie de la routine `iau_C2TPE`, à laquelle nous avons ajouté un paramètre de retour : la matrice Q_{IAU} (R_{BPN} dans la routine).

Même si le changement est minime, nous avons décidé de créer une nouvelle routine pour garder celle de SOFA inchangée. Cela assure le bon fonctionnement du code utilisant cette librairie puis simplifie la maintenance des modifications réalisées lors de l'apparition de nouvelles versions de SOFA.

Lors des implantations futures de nouvelles versions de SOFA, il suffira de refaire la même opération que ci-dessus.

4. Validation

4.1. Vérification du calcul de la matrice de rotation

Le programme *valid_matrice.f90* permet de tester la routine de calcul de la matrice de rotation de **libnro**. Il compare le résultat de cette routine avec celui du programme développé et validé par Jean-Charles MARTY sur 30 jours pour les 100 premiers intervalles de 30 secondes (100 échantillons sur 8h et demie). Les écarts entre les deux calculs sont très faibles (voir tableau 1), de l'ordre de la précision de calcul de la machine. Nous pouvons considérer que les deux résultats sont équivalents.

x_p interp.(rad.)	y_p interp (rad.)	$ut1$ interp. (sec.)	$Max(M - M_{JCM})$	$Max((M.M_{JCM}^{-1}) - ID)$
6.10^{-20}	$2,5.10^{-20}$	3.10^{-15}	8.10^{-15}	8.10^{-15}

Tableau 1. Ecarts entre les paramètres calculés par libnro et le code validé de J.C. Marty

Dans le tableau, M est la matrice de rotation de la Terre calculée par la librairie libnro et M_{JMC} est la matrice calculée par le code de Jean-Charles Marty (*iau2000.f90*).

4.2. Vérification du calcul des dérivées partielles

Le programme *valid_dmatrice.f90* permet de tester la routine de calcul des dérivées partielles de **libnro**. Pour une date donnée, le programme compare le résultat de la routine avec une estimation de la dérivée donnée par l'expression suivante :

$$\frac{\delta M(t_0)}{\delta P} = \frac{M(t_0, P + \Delta P) - M(t_0, P - \Delta P)}{2.\Delta P} \quad (22)$$

P étant un des paramètres de la matrice de rotation.

Les écarts obtenus sont représentés sur le tableau 2. Les valeurs des écarts ne sont pas significatives car la comparaison est réalisée avec une estimation pas suffisamment précise. Cependant, cette comparaison nous a permis de valider le signe et la correction des ordres de grandeur des résultats.

$\delta M/\delta x_p$ (rad.)	$\delta M/\delta y_p$ (rad.)	$\delta M/\delta ut1$ interp. (sec.)	$\delta M/\delta(\delta X)$	$\delta M/\delta(\delta Y)$
$4,5.10^{-9}$	5.10^{-9}	2.10^{-12}	5.10^{-11}	1.10^{-10}

Tableau 2. Ecarts maxima entre les dérivées partielles calculées par libnro et estimées selon l'équation 22

4.3. Tabulation/Interpolation de X et Y (modèle de nutation) :

La figure suivante présente les écarts entre les valeurs réelles et les valeurs obtenues par les étapes de tabulation et interpolation de lagrange (6 points) pour différentes valeurs de pas (0.3 à 0.5 jours) et pour une trentaine de jours.

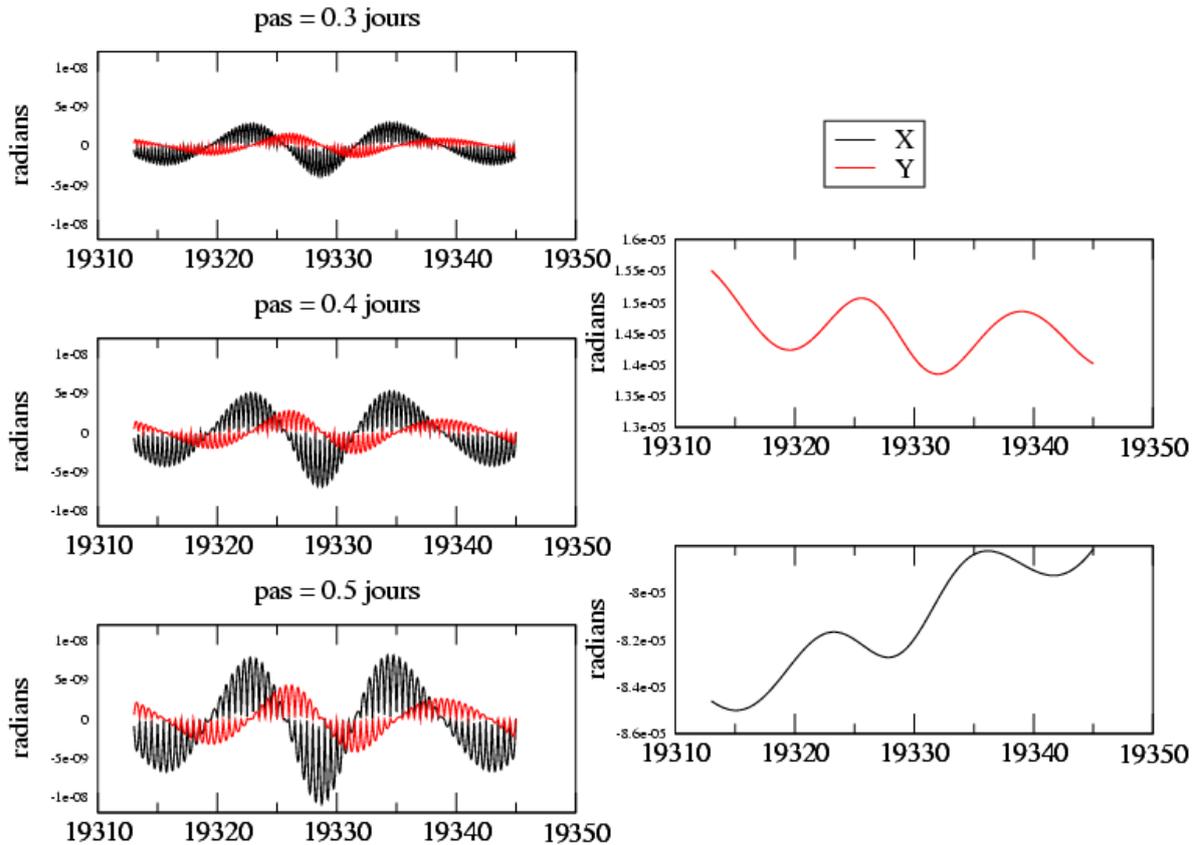


Figure 1. A gauche, écarts entre interpolation et valeur issue du modèle pour les paramètres X et Y du modèle de nutation pour des pas de tabulation de 0.2 à 0.5 jours. A droite, valeurs interpolées.

Les écarts présentent les deux caractéristiques usuelles des erreurs liées à l'interpolation de Lagrange :

- valeur exacte pour les points de tabulation et erreurs maximales au centre du peigne de tabulation (ondulation de petite période),
- erreur maximale pour les sommets des sinusoides de plus courte période dans le signal (ici 13.66 jours).

L'erreur maximale obtenue pour X avec une tabulation de 0.5 jours (cas de GINS) est de environ $1.e-8$ radians.



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	18		

5. Codage

5.1. Accès au code

Le code est disponible sur la machine *calc-gen3-ci* :

- LIBNRO : /data/xxgrgs/geodev/LIBNRO_10_10_05
- SOFA : /data/xxgrgs/geodev/SOFA_MODIF_10_10_05

5.2. Exemple d'utilisation

Plusieurs exemples d'utilisation sont disponibles pour la librairie : les programmes de validation (*valid_matrice.f90*, *valid_dmatrice.f90* et *valid_interp.f90*) mais aussi un programme plus général qui utilise toutes les principales fonctions de libnro : *testlibnro.f90*. Voici un extrait de *testlibnro.f90* montrant l'utilisation des principales routines :

```
!Read parameters between start and last dates for
!which matrix results will be compared
!The number of Lagrange points that will be used on interpolation
!phase must be given now (nb_points_lagread (9 by default))
!Last date must be >= than first date
call iaunro_read(xjulcnes,xjulcnes+15._S,read_unitl,nb_interp_pts=9)
!Previous command is equivalent to:
!call iaunro_read(xjulcnes_orig,xjulcnes_orig+15._S,read_unitl)
close(read_unitl)

!Compute X and Y parameters and write them in common_iaunro_data
!The sampling step is giving by "xpas" and the number of Lagrange points
!by nb_interp_pts (7 by default)
call iaunro_tabul_XY(xjulcnes,xjulcnes+15._S,xpas,nb_interp_pts=7)
!Previous command is equivalent to:
!call iaunro_tabul_XY(xjulcnes_orig,xjulcnes_orig+15._S,xpas)

!Compute interpolation of read parameters and apply corrections
!(oceans motion and lunisolar effects) on them : xp_intl,yp_intl,
!ut1_intl,deltax_intl,deltay_intl
call iaunro_interp(xjulcnes,xsec_tai, xp_intl,yp_intl, ut1_intl, &
deltax_intl,deltay_intl)

!Interpolate X and Y parameters at the given date: x_nrol,y_nrol
call iaunro_get_XY(xjulcnes,xsec_tai,x_nrol,y_nrol,linterp=.true.)
```



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	19		

```
!Transform units of parameters from arc seconds into radians  
call iaunro_convertUnitParam4mdm(xp_intl,yp_intl,deltax_intl,deltay_intl,&  
xp_intl_rad,yp_intl_rad,deltax_intl_rad,deltay_intl_rad)
```

```
!Compute Matrice(mnrol) and its partial derivates (dmnro)  
call iaunro_mdm(xjulcnes,xsec_tai,xp_intl_rad,yp_intl_rad,&  
ut1_intl,deltax_intl_rad,deltay_intl_rad,x_nrol,y_nrol,mnrol,DMNRO=dmnro)
```

Bibliographie

- [1] Sylvain Loyer. Techniques dynamiques d'observation de la rotation de la terre. *Thèse de doctorat*, 1, 1997.
- [2] Dennis D. McCarthy and Gérard Petit. Iers technical note no. 32. *IERS Conventions*, 1(NO.32) :33–56, 2003.

A. Annexe

A.1. Propriétés des afineurs et des matrices de rotation

$$M.M^{-1} = Id$$

$$\frac{\delta M}{\delta P}.M^{-1} + M.\frac{\delta M^{-1}}{\delta P} = 0 \quad (23)$$

$$M^{-1}.\frac{\delta M}{\delta P} + \frac{\delta M^{-1}}{\delta P}.M = 0 \quad (24)$$

$$R^{-1}(\alpha) = R^T(\alpha) \quad (25)$$

$$R(\alpha) = R^{-1}(-\alpha) \quad (26)$$

$$\frac{\delta R_i(\alpha_i)}{\delta \alpha_i}.R_i^{-1}(\alpha_i) = [\vec{u}_i] \quad (27)$$

$$\vec{v} = (v_1, v_2, v_3)$$

$$\text{Afineur de } \vec{v} = [\vec{v}] = \begin{pmatrix} 0 & v_3 & -v_2 \\ -v_3 & 0 & v_1 \\ v_2 & -v_1 & 0 \end{pmatrix} \quad (28)$$

$$A.[\vec{x}].A^{-1} = [A.\vec{x}] \quad (29)$$

où : A, M : sont des matrices quelconques de rotation.

P : est un paramètre quelconque dont dépend M .

$R_i, i = 1, 2, 3$: sont des matrices élémentaires autour des axes respectifs X, Y et Z .

R : est une matrice élémentaire quelconque.

α, α_i : sont des angles quelconques en radians.

$\vec{u}_i, i = 1, 2, 3$: sont des vecteurs unitaires respectivement dirigés le long des axes X, Y et Z .

$\vec{v} = (v_1, v_2, v_3)$: est un vecteur quelconque.

A.2. Lecture des paramètres $x_p, y_p, \delta X$ et δY : `iaunro_read`

```
subroutine iaunro_read(datejulcnes_init,datejulcnes_end,read_unit, nb_interp_pts)
!
!   This subroutine reads the parameters associated to dates between
!   input dates from a file of earth observation parameters from
!   EOP (IERS). The number of Langrange interpolation elements
!   (nb_interp_pts) is optional.
!
!   The file to read is composed of columns, the first column being
```



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	21		

```
! the date in UTC.
!
! The parameters will be saved on the data module "common_iaunro_data":
! -date : (date_read) in julian CNES days and TAI.
! -xp, yp, UT1-UTC, dX and dY: xp,yp,tulmtuc, delta_x,delta_y
! arrays in common_iaunro_data
!
! parameters are:
! -datejulcnes_init : first date in julian CNES days whose the
! parameters have to be read
! -datejulcnes_end : last date in julian CNES days whose the
! parameters have to be read
! -read_unit : logical unit of the file to read
! -nb_interp_pts : number of points to be used for Lagrange
! interpolation. It must be an odd number
! (ex. nb_interp_pts=7 for 6 points Lagrange
! interpolation). This parameter is optional.
! If it is not present the default value is
! read from common_iaunro_params.f90
! (default_lagr_pts_params_read=9).This para-
! meter is necessary to take supplementary
! dates before and after datejulcnes_init and
! datejulcnes_end to make interpolation later.
!
!
! USED DATA MODULES :
!
! -common_iaunro_data: to write the read parameters.
!
```

A.3. Tabulation des paramètres X et Y : `iaunro_tabul_xy`

```
subroutine iaunro_tabul_xy(datejulcnes_init,datejulcnes_end, step_date,&
nb_interp_pts)
```

```
!
! This routine computes a serie od X and Y (as defined in
! IERS - Note No. 32) for a range of dates. The number of
! Langrange interpolation elements (nb_interp_pts) is optional.
!
! The parameters X,Y will be saved on the data module
! "common_iaunro_data":
! -dateXY : in julian days and tt.
! -tabX, tabY : to save X and Y
! -step_date_tab : to save step_date input parameter
! -size_params_tab : size of arrays dateXY,tabX and tabY
```



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	22		

```
!  
!  
! parameters are :  
! -datejulcnes_init : first date in julian CNES days whose  
! parameters will be computed  
! -datejulcnes_end : first date in julian CNES days whose  
! parameters will be computed  
! -step_date : sampling step in day fraction for which  
! parameters X and Y will be computed  
! -nb_interp_pts : number of points to be used for Lagrange  
! interpolation. It must be an odd number  
! (ex.nb_interp_pts=7 for 6 points Lagrange  
! interpolation). This parameter is optional.  
! If it is not present the default value is  
! read from common_iaunro_params.f90  
! (default_lagr_pts_params_tab=7).This para-  
! meter is necessary to take supplementary  
! dates before and after datejulcnes_init and  
! datejulcnes_end to make interpolation later.  
!  
!  
! CALLED SUBROUTINE : iau_NUTOOA: from SOFA  
!
```

A.4. Interpolation des paramètres lus x_p , y_p , δX et δY : iaunro_interp

```
subroutine iaunro_interp(datejjulcnes_int,sectai_int, &  
  xp_int,yp_int, ut1_int, delta_x_int,delta_y_int)  
!  
! This subroutine done the next steps:  
! 1. Interpolation.  
! 2. Oceans motion correction.  
! 3. Lunisolar effects correction.  
!  
! The interpolation takes a series of xp, yp, UT1-UTC, deltaX and  
! deltaY values and interpolates them to an epoch of choice. This  
! routine assumes that the values of xp, yp, deltaX and deltaY are  
! in seconds of arc and that UT1-UTC is in seconds of time. At  
! least one point before and one point after the epoch of the  
! interpolation point are necessary for the Langrange interpolation  
! scheme to work.  
!  
! The series used to interpolation are read from the data module
```



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	23		

```
! "common_iaunro_data"
!
! parameters are :
! -datejjulcnes_int : date in julians CNES days
! -sectai_int       : seconds of the date in TAI
! -xp_int           : interpolated value of xp (arcsec)
! -yp_int           : interpolated value of yp (arcsec)
! -ut1_int          : interpolated value of ut1-utc (sec)
! -delta_x_int      : interpolated value of deltaX (arcsec)
! -delta_y_int      : interpolated value of deltaY (arcsec)
!
! USED DATA MODULES :
! -common_iaunro_data: to read parameters series.
!
! CALLED SUBROUTINE : IAUNRO_LAGINT (Lagrange interpolation)
!                     IAUNRO_PMUT1_OCEANS (Diurnal and semidiurnal
!                                         oceanic effects)
!                     IAUNRO_PM_GRAVI (Diurnal Lunisolar effects)
!
```

A.5. Obtention de X et Y : `iaunro_get_XY`

```
subroutine iaunro_get_XY(datejjulcnes,datesectai,x,y,linterp)
!
! This subroutine gives the value of X and Y (as defined in IERS
! Note No. 32) for an epoch of choice. The parameter "linterp" is
! optional. If "linterp" is present the routine will search
! series of X and Y in data module (common_iaunro_data) and will
! interpolate on them. Else, X and Y will be computed.
!
!
! The series used to interpolation are read from the data module
! "common_iaunro_data":
! -dateXY           : date in julian days and tt.
! -tabX, tabY       : arrays with values of X and Y
! -step_date_tab    : sampling step in day fraction for which
!                   parameters X and Y will be computed
! -size_params_tab  : size of arrays dateXY,tabX and tabY
!
! parameters are :
! -datejjulcnes : date in julians CNES days
! -datesectai   : seconds of the date in TAI
! -x            : value of X (rad)
```



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	24		

```
!      -y          : value of Y (rad)
!      -linterp   : logical value. It indicates if X and Y values
!                  will be interpolated
!
!
!      CALLED SUBROUTINE : iau_NUT00A: from SOFA
!                  iaunro_interp_xy(X,Y interpolation)
!
```

A.6. Transformation des unités : iaunro_convertUnitParam4mdm

```
subroutine iaunro_convertUnitParam4mdm(xp_asec,yp_asec,dx_asec,dy_asec,&
  xp_rad,yp_rad,dx_rad,dy_rad)
!
!      This subroutine transforms arrays values from arc seconds to radians.
!
!      parameters are:
!      -xp_asec : xp (arc sec)
!      -yp_asec : yp (arc sec)
!      -dx_asec : delta X (arc sec)
!      -dy_asec : delta Y (arc sec)
!      -xp_rad  : xp (rad)
!      -yp_rad  : yp (rad)
!      -dx_rad  : delta X (rad)
!      -dy_rad  : delta Y (rad)
!
```

A.7. Calcul de la matrice de rotation et des dérivées partielles : iaunro_mdm

```
subroutine iaunro_mdm(datejjulcnes,datesectai,xp_int,yp_int, ut1_int, &
  deltax_int,deltay_int,x_nro,y_nro,mnro,dmnro)
!
!      This routine computes earth rotation matrix (M) and its partial
!      derivate (optionally) based in matrix definition given in
!      IERS Note No.32.
!
!      Where M is: CelestialRefSys=M. TerrestrialRefSys
```



LIBNRO : librairie de calcul de la matrice de rotation de la Terre et de sa dérivée	Réf.	NOV-3420-NT-3287		
	Édition	1	Date	30/09/05
	Révision	1	Date	13/10/05
	Page	25		

```

!
! parameters are :
! -datejulcnes      : day in julian CNES days to compute earth rotation
!                   : matrix
! -datesectai      : seconds for "datejulcnes" day first
! -xp_int, yp_int  : parameters xp,yp (rad) to compute matrix.
! -ut1_int         : parameter ut1 (sec) to compute matrix.
! -dx,dy, x_nro,y_nro : parameters delta X, delta Y, X and Y (all in rad)
!                   : to compute matrix.
! -mnro           : earth rotation matrix (3x3)
! -dmrno         : matrix (5x3) containing partial derivates of mnro:
!                   | dM/dxp   |
!                   | dM/dyp   |
!                   | dM/dtheta |
!                   | dM/ddeltaX |
!                   | dM/ddeltaY |
!                   Partial derivates are only computed if this matrix
!                   is present among routine parameters
!
! CALLED SUBROUTINE : iaunro_matdeltaQ (Compute Delta Q)
!                   iau_ct2pe_nro : from SOFA (Compute M)
!                   iau_RXR      : from SOFA (Matrix product)
!                   iaunro_dm    : partial derivate of M
!

```