

MSLIB Fortran 90

CS SI

Nomenclature : **M-MU-0-113-CIS**

Edition : 03 Date: 27/05/2004

Révision: 00 Date: 27/05/2004

Volume E

Extrapolation d'orbite

Rédigé par : Véronique LÉPINE Guylaine PRAT avec la participation de: Bruno REVELIN	le : CS (SI/Espace/FDS)	
Validé par : Guylaine PRAT Francis OLIVIÉ (ingénieur qualité)	le : CS (SI/Espace/FDS) CS (SI/Espace)	
Pour application : Franck REINQUIN Hervé MADIEU	le : CNES (DCT/SB/OI)	

DIFFUSION INTERNE CNES**Observations**

Voir la note nomenclaturée M-NT-0-18-CN:
"Liste de diffusion de la documentation utilisateur MSLIB".

DIFFUSION EXTERNE CNES**Observations**

Voir la note nomenclaturée M-NT-0-18-CN:
"Liste de diffusion de la documentation utilisateur MSLIB".

BORDEREAU D'INDEXATION**CONFIDENTIALITE :** NC**MOTS-CLES :****TITRE :** Volume E - Extrapolation d'orbite**AUTEUR :** Véronique LÉPINE Guylaine PRAT avec la participation de: Bruno REVELIN**RESUME :**

Ce document rassemble les notices d'utilisation des routines du thème "Extrapolation d'orbite".

SITUATION DU DOCUMENT : Création**VOLUME :****PAGES :** 37**PLANCHES :****FIGURES :****LANGUES :** F**CONTRAT :** Marché 779/Cnes/2001/8929 BC4500009860**SYSTEME HOTE :** Frame6/MSLIB

MODIFICATION

ETAT DOCUMENT				PAGES REVISEES	
ED.	REV.	DATE	REFERENCE ORIGINE (pour chaque édition)	ETAT PAGE *	NUMERO DES PAGES
01	00	25/08/98	M-MU-0-113-CIS Rédacteur : V. Lépine avec la participation de G. Prat		Création
02	00	16/08/99	M-MU-0-113-CIS Rédacteur : S. Vresk avec la participation de G. Prat		Modifications de toutes les pages
03	00	27/05/04	M-MU-0-113-CIS Rédacteur: V. Lépine, G. Prat avec la participation de B. Revelin	I M	Ajout des pages liées aux nouvelles routines pour la MSLIB90 V6.0 Ajout de tests dans: me_brouwer, me_brouwer_moy, me_eck_hech, me_eck_hech_moy

* I = Inséré

S = Supprimé

M = Modifié

Sommaire

Présentation du thème E :	<i>page 1</i>
Notations	<i>page 2</i>
Index.	<i>page 3</i>

Liste des routines du thème E: *voir pages suivantes du sommaire.*

Liste des routines du thème E:

me_brouwer :	<i>page 4</i>
“Modèle analytique d’extrapolation d’orbite de Brouwer”.	
me_brouwer_moy :	<i>page 8</i>
“Calcul des paramètres moyens du modèle d’extrapolation d’orbite de Brouwer”.	
me_deriv_secul_j2 :	<i>page 13</i>
“Calcul des dérivées séculaires des éléments képlériens, dues au J2”.	
me_eck_hech :	<i>page 16</i>
“Modèle analytique d’extrapolation d’orbite de Eckstein-Hechler”.	
me_eck_hech_moy :	<i>page 20</i>
“Calcul des paramètres moyens du modèle d’extrapolation d’orbite de Eckstein-Hechler”.	
me_lyddane :	<i>page 24</i>
“Modèle analytique d’extrapolation d’orbite de Lyddane”.	
me_lyddane_moy :	<i>page 28</i>
“Calcul des paramètres moyens du modèle d’extrapolation d’orbite de Lyddane”.	

Présentation du thème E

Le thème “*Extrapolation d'orbite*” regroupe une série de *modèles analytiques* destinés à extrapoler les paramètres caractérisant l’orbite d’un satellite, ainsi que certains utilitaires associés (calcul des paramètres moyens, par exemple).

Ces modèles sont, en général, spécifiques à certains types d’orbite (elliptique, circulaire, ...), avec des contraintes sur les excentricités et inclinaisons possibles, et prennent en compte des perturbations diverses (J_2 , coefficients zonaux, ...).

On entend par *paramètres osculateurs*, les paramètres définissant l’orbite que suivrait le satellite si toutes les perturbations s’annulaient (attraction képlérienne seule).

Les *paramètres moyens* représentent l’orbite moyenne au sens du modèle utilisé, expurgée de tout ou partie des termes périodiques. Ces paramètres moyens n’ont de sens, bien sûr, que relativement au modèle concerné.

Notations

Sans objet.

Index

M

modèles analytiques *I*

P

paramètres moyens *I*

paramètres osculateurs *I*

Routine me_brouwer

Identification

“Modèle analytique d’extrapolation d’orbite de **Brouwer**”.

Rôle

Passage des paramètres moyens à t_1 (au sens du modèle analytique d’extrapolation de Brouwer) aux paramètres moyens à une date t_2 . Les paramètres osculateurs à t_2 sont calculés en option.

Le modèle analytique d’extrapolation de Brouwer est basé sur la théorie hamiltonienne et les transformations de Von Zeipel pour le mouvement képlérien perturbé par les 5 premiers termes zonaux du potentiel terrestre.

Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_brouwer (mu, r_equa, cn0, t1, moy_t1, t2, moy_t2, code_retour [, osc_t2])

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	mu	constante de la gravitation μ ($\text{m}^3.\text{s}^{-2}$)
pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel(2:5)	cn0	coefficients harmoniques zonaux $C20$ à $C50$ dénormalisés.
tm_jour_sec	t1	date t_1 (jours, s)
tm_orb_kep	moy_t1	paramètres moyens à t_1 , $(\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M})_{t_1}$ (m, rad)
tm_jour_sec	t2	date t_2 (jours, s)

• Sorties obligatoires

tm_orb_kep	moy_t2	paramètres moyens à t_2 , $(\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M})_{t_2}$ (m, rad)
tm_code_retour	code_retour	

• Sorties facultatives

tm_orb_kep	osc_t2	paramètres osculateurs à t_2 , $(a, e, i, \omega, \Omega, M)_{t_2}$ (m, rad)
------------	---------------	--

Conditions sur les arguments

- Les zonaux $CN0$ doivent être tous non nuls.

- L'excentricité \bar{e} doit appartenir à $[10^{-4}, 0.9[$.

Si $\bar{e} \in [10^{-4}, 10^{-2}[$, la précision est dégradée.

Si $\bar{e} \in [10^{-2}, 0.9[$, domaine d'utilisation du modèle.

- L'inclinaison \bar{i} doit appartenir à $]0, \pi[$.

- L'inclinaison \bar{i} ne doit être ni proche de l'inclinaison critique non rétrograde (environ 1.107 rad ou 63 deg), ni proche de l'inclinaison critique rétrograde (environ 2.034 rad ou 116 deg). Pour éviter tout problème, nous avons pris une marge de 10 mrad (environ 0.5 deg) de part et d'autre des valeurs des inclinaisons critiques. Pour plus d'informations sur ce sujet, nous vous conseillons de consulter le thème "Constantes" (routines mc_phys et mc_test).

Si $\bar{i} < 0.018$ rad, la précision est dégradée.

Notes d'utilisation

Le champ "jour" des structures donnant les dates t_1 et t_2 en entrée représente un nombre de jours par rapport à une origine quelconque (par exemple: pour les dates juliennes CNES, il s'agira du 1er janvier 1950) pourvu que celle-ci soit identique pour t_1 et t_2 .

En effet, seul l'écart entre t_1 et t_2 est utilisé dans les calculs. On pourra en particulier prendre 0 jour 0. secondes pour t_1 et affecter à t_2 la durée en jours et secondes séparant t_1 de t_2 .

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour (voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_mu_negatif	(-1001) : La constante gravitationnelle est négative.
pm_err_mu_nul	(-1002) : La constante gravitationnelle est proche de 0.
pm_err_cn0_nul	(-1005) : Un des coefficients zonaux (CN0) est proche de 0.
pm_err_a_negatif	(-1101) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est négatif.

pm_err_a_nul	(-1102) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est proche de 0 .
pm_err_e_negatif	(-1201) : L'excentricité (e) est négative.
pm_err_e_grand_brouwer	(-1204) : L'excentricité (e) est supérieure à 0,9 ; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_e_faible_brouwer	(-1211) : L'excentricité (e) est inférieure à 0,0001; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_i_negatif	(-1301) : L'inclinaison (i) est négative.
pm_err_i_equa	(-1302) : $\sin(i)$ est proche de 0 ; l'orbite est équatoriale ($i=0$ ou $i=\pi$).
pm_err_i_critique	(-1304) : L'inclinaison (i) a une valeur proche d'une des deux valeurs de l'inclinaison critique (pour plus d'informations voir la routine mc_phys du thème "Constantes").
pm_err_i_sup_pi	(-1305) : L'inclinaison (i) est supérieure à π .
pm_err_conv_kepler_ellip	(-1902) : L'algorithme itératif utilisé pour la résolution de l'équation de Kepler (orbite elliptique) n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_err_cni	(-1999) : Problème numérique. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_warn_e_faible_brouwer	(+1203) : L'excentricité (e) est inférieure à 0,01 ; la précision est dégradée dans les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER.
pm_warn_i_faible_brouwer	(+1303) : L'inclinaison (i) est inférieure à 0,018 radian ; la précision est dégradée dans les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER.

Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```

program EXTRAPOLATION
  use mslib

  real(pm_reel)                :: MU
  real(pm_reel)                :: R_EQUA
  real(pm_reel), dimension(2:5) :: CN0
  type(tm_jour_sec)            :: T1
  type(tm_orb_kep)             :: MOY_T1
  type(tm_jour_sec)            :: T2
  type(tm_orb_kep)             :: MOY_T2

```

```
type(tm_code_retour)      :: CODE_RETOUR
type(tm_orb_kep)          :: OSC_T2
```

```
MU      = 3.9860047e+14_pm_reel
R_EQUA  = .6378137e+7_pm_reel
CN0(2)  = -1.08263e-3_pm_reel
CN0(3)  = 2.54e-6_pm_reel
CN0(4)  = 1.62e-6_pm_reel
CN0(5)  = 2.3e-7_pm_reel
```

```
T1%jour  = 12584_pm_entier
T1%sec   = 0._pm_reel
```

```
MOY_T1%a = 7209668._pm_reel
MOY_T1%e = .02_pm_reel
MOY_T1%i = 1.722841_pm_reel
MOY_T1%pom = 1.15207899_pm_reel
MOY_T1%gom = 2.90958_pm_reel
MOY_T1%M = 5.13220402_pm_reel
```

```
T2%jour  = 12587_pm_entier
T2%sec   = 0._pm_reel
```

```
call me_brouwer ( MU, R_EQUA, CN0, T1, MOY_T1,           &
                  T2, MOY_T2, CODE_RETOUR,               &
                  osc_t2 = OSC_T2)
```

```
! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
call WRITE_RESULTATS (MOY_T2, OSC_T2, CODE_RETOUR)
```

end program EXTRAPOLATION

Résultats attendus:

```
MOY_T2%a = .721 10+7
MOY_T2%e = .200 10-1
MOY_T2%i = .172 10+1
MOY_T2%pom = .100 10+1
MOY_T2%gom = .296 10+1
MOY_T2%M = .212 10+1
```

```
OSC_T2%a = .722 10+7
OSC_T2%e = .207 10-1
OSC_T2%i = .172 10+1
OSC_T2%pom = .105 10+1
OSC_T2%gom = .296 10+1
OSC_T2%M = .207 10+1
```

```
CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1013
```

Routine me_brouwer_moy

Identification

“Calcul des paramètres **moyens** du modèle d’extrapolation d’orbite de **Brouwer**”.

Rôle

Passage des paramètres osculateurs aux paramètres moyens (au sens du modèle analytique d’extrapolation de Brouwer) à la même date.

Le modèle analytique d’extrapolation de Brouwer est basé sur la théorie hamiltonienne et les transformations de Von Zeipel pour le mouvement képlérien perturbé par les 5 premiers termes zonaux du potentiel terrestre.

Méthode

Le modèle analytique donne explicitement les formules de passage des éléments moyens $(\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M})$ aux éléments osculateurs $(a, e, i, \omega, \Omega, M)$.

La transformation:

$$(a, e, i, \omega, \Omega, M) \Rightarrow (\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M})$$

est la transformation canonique éliminant les termes périodiques.

Seule la transformation:

$$(\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M}) \Rightarrow (a, e, i, \omega, \Omega, M)$$

est explicite: $(a, e, i, \omega, \Omega, M) = (\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M}) + \phi[(\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M})]$

Trouver les paramètres moyens $(\bar{a}, \bar{e}, \bar{i}, \bar{\omega}, \bar{\Omega}, \bar{M})$ correspondant aux paramètres osculateurs $(a, e, i, \omega, \Omega, M)$ revient à inverser la fonction ϕ . On procède itérativement en utilisant le modèle analytique et en utilisant les seuils de convergence représentés par les écarts admissibles donnés en entrée sur chaque paramètre orbital.

Le nombre maximum d’itérations est fixé à 50.

Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_brouwer_moy (r_equa, cn0, ecart_admi, osc, moy, code_retour)

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel(2:5)	cn0	coefficients harmoniques zonaux C20 à C50 dénormalisés.

tm_orb_kep	ecart_admi	écarts admissibles sur les paramètres orbitaux (Δa , Δe , Δi , $\Delta \omega$, $\Delta \Omega$, ΔM) (m, rad)
tm_orb_kep	osc	paramètres osculateurs (a , e , i , ω , Ω , M) (m, rad)

• Sorties obligatoires

tm_orb_kep	moy	paramètres moyens (\bar{a} , \bar{e} , \bar{i} , $\bar{\omega}$, $\bar{\Omega}$, \bar{M}) (m, rad)
tm_code_retour	code_retour	

Conditions sur les arguments

- Les zonaux *CN0* doivent être tous non nuls.
- Pour les écarts admissibles, il est conseillé de prendre les valeurs suivantes:

$$\begin{aligned}\Delta a &= 0.01 \\ \Delta e &= \Delta a / 2a \\ \Delta i &= \Delta a / a \\ \Delta \omega &= \Delta a / a \\ \Delta \Omega &= \Delta a / a \\ \Delta M &= \Delta a / a\end{aligned}$$

- L'excentricité \bar{e} doit appartenir à $[10^{-4}, 0.9[$.

Si $\bar{e} \in [10^{-4}, 10^{-2}[$, la précision est dégradée.

Si $\bar{e} \in [10^{-2}, 0.9[$, domaine d'utilisation du modèle.

- L'inclinaison \bar{i} doit appartenir à $]0, \pi[$.
- L'inclinaison \bar{i} ne doit être ni proche de l'inclinaison critique non rétrograde (environ 1.107 rad ou 63 deg), ni proche de l'inclinaison critique rétrograde (environ 2.034 rad ou 116 deg). Pour éviter tout problème, nous avons pris une marge de 10 mrad (environ 0.5 deg) de part et d'autre des valeurs des inclinaisons critiques. Pour plus d'informations sur ce sujet, nous vous conseillons de consulter le thème "Constantes" (routines *mc_phys* et *mc_test*).

Si $\bar{i} < 0.018$ rad, la précision est dégradée.

Notes d'utilisation

Sans objet.

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_mu_negatif	(-1001) : La constante gravitationnelle est négative.
pm_err_mu_nul	(-1002) : La constante gravitationnelle est proche de 0.
pm_err_cn0_nul	(-1005) : Un des coefficients zonaux (CN0) est proche de 0.
pm_err_a_negatif	(-1101) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est négatif.
pm_err_a_nul	(-1102) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est proche de 0 .
pm_err_e_negatif	(-1201) : L'excentricité (e) est négative.
pm_err_e_grand_brouwer	(-1204) : L'excentricité (e) est supérieure à 0,9 ; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_e_faible_brouwer	(-1211) : L'excentricité (e) est inférieure à 0,0001; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_i_negatif	(-1301) : L'inclinaison (i) est négative.
pm_err_i_equa	(-1302) : $\sin(i)$ est proche de 0 ; l'orbite est équatoriale ($i=0$ ou $i=\pi$).
pm_err_i_critique	(-1304) : L'inclinaison (i) a une valeur proche d'une des deux valeurs de l'inclinaison critique (pour plus d'informations voir la routine mc_phys du thème "Constantes").
pm_err_i_sup_pi	(-1305) : L'inclinaison (i) est supérieure à π .
pm_err_conv_kepler_ellip	(-1902) : L'algorithme itératif utilisé pour la résolution de l'équation de Kepler (orbite elliptique) n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_err_conv_brouwer	(-1905) : L'algorithme itératif utilisé pour le calcul des paramètres moyens pour le modèle de Brouwer n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Vous pouvez essayer d'autres valeurs pour les écarts admissibles, ou bien contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_err_cni	(-1999) : Problème numérique. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.

pm_warn_e_faible_brouwer (+1203) : L'excentricité (e) est inférieure à 0,01 ; la précision est dégradée dans les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER.

pm_warn_i_faible_brouwer (+1303) : L'inclinaison (i) est inférieure à 0,018 radian ; la précision est dégradée dans les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER.

Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```
program EXTRAPOLATION
  use mslib
  real(pm_reel)                                :: R_EQUA
  real(pm_reel), dimension(2:5)               :: CN0
  type(tm_orb_kep)                             :: ECART_ADMI
  type(tm_orb_kep)                             :: OSC
  type(tm_orb_kep)                             :: MOY
  type(tm_code_retour)                         :: CODE_RETOUR

  R_EQUA = .6378137e+7_pm_reel
  CN0(2) = -1.08263e-3_pm_reel
  CN0(3) = 2.54e-6_pm_reel
  CN0(4) = 1.62e-6_pm_reel
  CN0(5) = 2.3e-7_pm_reel

  OSC%a      = 24400000._pm_reel
  OSC%e      = 0.73_pm_reel
  OSC%i      = 0.122173_pm_reel
  OSC%pom    = 3.106686_pm_reel
  OSC%gom    = 0.191986_pm_reel
  OSC%M      = 0._pm_reel

  ECART_ADMI%a = .01_pm_reel
  ECART_ADMI%e = ECART_ADMI%a / (2*OSC%a)
  ECART_ADMI%i = ECART_ADMI%a / OSC%a
  ECART_ADMI%pom = ECART_ADMI%a / OSC%a
  ECART_ADMI%gom = ECART_ADMI%a / OSC%a
  ECART_ADMI%M = ECART_ADMI%a / OSC%a

  call me_brouwer_moy ( R_EQUA, CN0, ECART_ADMI, OSC,           &
                      MOY, CODE_RETOUR)

  ! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
  call WRITE_RESULTATS (MOY, CODE_RETOUR)

end program EXTRAPOLATION
```

Résultats attendus:

MOY%a = .243 10⁺⁸
MOY%e = .729
MOY%i = .122
MOY%pom = .310 10⁺¹
MOY%gom = .196
MOY%M = .628 10⁺¹
CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1012

Routine me_deriv_secul_j2

Identification

“Calcul des **dérives séculaires** des éléments képlériens, dues au **J₂**”.

Rôle

Calcul des dérivées séculaires ($\Delta\omega_s$, $\Delta\Omega_s$, ΔM_s) des éléments képlériens (ω , Ω , M) pour le mouvement perturbé par le premier harmonique zonal J_2 .

Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_deriv_secul_j2 (mu, r_equa, c20, a, e, i, deriv_pom, deriv_gom, deriv_M, code_retour)

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	mu	constante de la gravitation ($\text{m}^3.\text{s}^{-2}$)
pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel	c20	coefficient zonal $C20$ (dénormalisé), i.e. $-J_2$
pm_reel	a	demi-grand axe a (m)
pm_reel	e	excentricité e
pm_reel	i	inclinaison i (rad)

• Sorties obligatoires

pm_reel	deriv_pom	dérive de l'argument du périée $\Delta\omega_s$ (rad.s^{-1})
pm_reel	deriv_gom	dérive de l'ascension droite du nœud ascendant $\Delta\Omega_s$ (rad.s^{-1})
pm_reel	deriv_M	dérive de l'anomalie moyenne ΔM_s (rad.s^{-1})
tm_code_retour	code_retour	

Conditions sur les arguments

- Applicable uniquement aux orbites elliptiques (ou circulaires).

Notes d'utilisation

Sans objet.

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour *(voir explications dans le volume 3)*

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_mu_negatif	(-1001) : La constante gravitationnelle est négative.
pm_err_a_negatif	(-1101) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est négatif.
pm_err_a_nul	(-1102) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est proche de 0 .
pm_err_e_non_ellip	(-1208) : L'excentricité (e) n'appartient pas à l'intervalle [0, 1 [; l'orbite n'est pas elliptique.

Exemple en Fortran 90 portable *(voir explications dans le volume 3)*

```
program EXTRAPOLATION
  use mslib

  real(pm_reel)      :: MU
  real(pm_reel)      :: R_EQUA
  real(pm_reel)      :: C20
  real(pm_reel)      :: A
  real(pm_reel)      :: E
  real(pm_reel)      :: I
  real(pm_reel)      :: DERIV_POM
  real(pm_reel)      :: DERIV_GOM
  real(pm_reel)      :: DERIV_M
  type(tm_code_retour) :: CODE_RETOUR

  MU      = 3.9860064e+14_pm_reel
  R_EQUA  = .6378160e+7_pm_reel
  C20     = -1.0829e-3_pm_reel
  A       = 24435100._pm_reel
  E       = .73054_pm_reel
```

```
I          = 1.570796_pm_reel

call me_deriv_secul_j2                                &
      (MU, R_EQUA, C20, A, E, I,                      &
      DERIV_POM, DERIV_GOM, DERIV_M, CODE_RETOUR)
```

! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
call WRITE_RESULTATS (DERIV_POM, DERIV_GOM, DERIV_M, CODE_RETOUR)

end program EXTRAPOLATION

Résultats attendus:

DERIV_POM = $-.421 \cdot 10^{-7}$
DERIV_GOM = $-.275 \cdot 10^{-13}$
DERIV_M = $.165 \cdot 10^{-3}$

CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1047

Routine me_eck_hech

Identification

“Modèle analytique d’extrapolation d’orbite de **Eckstein-Hechler**”.

Rôle

Passage des paramètres moyens (au sens du modèle analytique d’extrapolation de Eckstein-Hechler) à t_1 ($\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M$) $_{t_1}$ aux paramètres moyens ($\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M$) $_{t_2}$ à une date t_2 . Les paramètres osculateurs à t_2 sont calculés en option.

Le modèle développé par Eckstein et Hechler est basé sur une intégration en 2 itérations des équations de Lagrange pour le mouvement képlérien perturbé par les 6 premiers termes zonaux du potentiel terrestre. Ce modèle est spécialisé dans les orbites de faibles excentricités.

Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_eck_hech (mu, r_equa, cn0, t1, moy_t1, t2, moy_t2, code_retour [, osc_t2])

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	mu	constante de la gravitation μ ($\text{m}^3.\text{s}^{-2}$)
pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel(2:6)	cn0	coefficients zonaux $C20$ à $C60$ (dénormalisés)
tm_jour_sec	t1	date t_1 (jours, s)
tm_orb_cir	moy_t1	paramètres moyens à t_1 ($\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M$) $_{t_1}$ (m,rad)
tm_jour_sec	t2	date t_2 (jours, s)

• Sorties obligatoires

tm_orb_cir	moy_t2	paramètres moyens à t_2 ($\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M$) $_{t_2}$ (m,rad)
tm_code_retour	code_retour	

• Sorties optionnelles

tm_orb_cir	osc_t2	paramètres osculateurs à t_2 ($a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M$) $_{t_2}$ (m,rad)
------------	---------------	--

Conditions sur les arguments

- Les zonaux $CN0$ doivent être tous non nuls.

Posons $\bar{e} = \sqrt{\bar{e}_x^2 + \bar{e}_y^2}$.

Applicable uniquement aux orbites faiblement elliptiques et non équatoriales avec les contraintes suivantes :

- L'excentricité \bar{e} doit appartenir à $[0., 0.1[$.

Si $\bar{e} \in [0., 5 \times 10^{-3}[$, domaine d'utilisation du modèle.

Si $\bar{e} \in [5 \times 10^{-3}, 0.1[$, la précision est dégradée.

- L'inclinaison \bar{i} doit appartenir à $]0., \pi[$.

- L'inclinaison \bar{i} ne doit être ni proche de l'inclinaison critique non rétrograde (environ 1.107 rad ou 63 deg), ni proche de l'inclinaison critique rétrograde (environ 2.034 rad ou 116 deg).

Pour éviter tout problème, nous avons pris une marge de 10 mrad (environ 0.5 deg) de part et d'autre des valeurs des inclinaisons critiques. Pour plus d'informations sur ce sujet, nous vous conseillons de consulter le thème "Constantes" (routines *mc_phys* et *mc_test*).

Notes d'utilisation

Le champ "jour" des structures donnant les dates t_1 et t_2 en entrée représente un nombre de jours par rapport à une origine quelconque (par exemple: pour les dates juliennes CNES, il s'agira du 1er janvier 1950) pourvu que celle-ci soit identique pour t_1 et t_2 .

En effet, seul l'écart entre t_1 et t_2 est utilisé dans les calculs. On pourra en particulier prendre 0 jour 0. secondes pour t_1 et affecter à t_2 la durée en jours et secondes séparant t_1 de t_2 .

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm_OK (0) : Retour normal.

pm_err_mu_negatif (-1001) : La constante gravitationnelle est négative.

pm_err_mu_nul (-1002) : La constante gravitationnelle est proche de 0.

pm_err_cn0_nul	(-1005) : Un des coefficients zonaux (CN0) est proche de 0.
pm_err_e_negatif	(-1201) : L'excentricité (e) est négative.
pm_err_e_grand_eck_hech	(-1210) : L'excentricité (e) est supérieure ou égale à 0,1; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de ECKSTEIN-HECHLER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_i_negatif	(-1301) : L'inclinaison (i) est négative.
pm_err_i_equa	(-1302) : $\sin(i)$ est proche de 0 ; l'orbite est équatoriale ($i=0$ ou $i=\pi$).
pm_err_i_critique	(-1304) : L'inclinaison (i) a une valeur proche d'une des deux valeurs de l'inclinaison critique (pour plus d'informations voir la routine mc_phys du thème "Constantes").
pm_err_i_sup_pi	(-1305) : L'inclinaison (i) est supérieure à π .
pm_warn_e_grand_eck_hech	(+1202) : L'excentricité (e) est supérieure à 0,005; la précision est dégradée dans les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de ECKSTEIN-HECHLER.

Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```

program EXTRAPOLATION
  use mslib

  real(pm_reel)           :: MU
  real(pm_reel)           :: R_EQUA
  real(pm_reel), dimension(2:6) :: Cn0
  type(tm_jour_sec)       :: T1
  type(tm_orb_cir)        :: MOY_T1
  type(tm_jour_sec)       :: T2
  type(tm_orb_cir)        :: MOY_T2
  type(tm_orb_cir)        :: OSC_T2
  type(tm_code_retour)    :: CODE_RETOUR

  MU          = 3.9860047e+14_pm_reel
  R_EQUA      = 6.378137e+6_pm_reel
  Cn0(2)      = -1.08263e-3_pm_reel
  Cn0(3)      = 2.54e-6_pm_reel
  Cn0(4)      = 1.62e-6_pm_reel
  Cn0(5)      = 2.3e-7_pm_reel
  Cn0(6)      = -5.5e-7_pm_reel
  T1%jour     = 12584_pm_entier
  T1%sec      = 0._pm_reel
  MOY_T1%a    = 7209668._pm_reel
  MOY_T1%ex   = 0.406588932e-4_pm_reel
  MOY_T1%ey   = 0.913611168e-4_pm_reel

```



```
MOY_T1%i      = 1.722841_pm_reel
MOY_T1%gom     = 2.90958_pm_reel
MOY_T1%pso_M   = 6.284283010_pm_reel
T2%jour        = 12587_pm_entier
T2%sec         = 0._pm_reel
```

```
call me_eck_hech(MU, R_EQUA, Cn0, T1, MOY_T1, T2,           &
                  MOY_T2, CODE_RETOUR, osc_t2=OSC_T2)
```

```
! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
call WRITE_RESULTATS (MOY_T2, OSC_T2, CODE_RETOUR)
```

```
end program EXTRAPOLATION
```

Résultats attendus:

```
MOY_T2%a      = .721 107
MOY_T2%ex     = -.110 10-3
MOY_T2%ey     = .966 10-4
MOY_T2%i      = .172 101
MOY_T2%gom    = .296 101
MOY_T2%pso_M  = .312 101
OSC_T2%a      = .722 107
OSC_T2%ex     = -.552 10-3
OSC_T2%ey     = .125 10-3
OSC_T2%i      = .172 101
OSC_T2%gom    = .296 101
OSC_T2%pso_M  = .312 101
```

```
CODE_RETOUR%valeur  = 0
CODE_RETOUR%routine = 1097
```

Routine me_eck_hech_moy

Identification

“Calcul des paramètres **moyens** du modèle d’extrapolation d’orbite de **Eckstein-Hechler**”.

Rôle

Passage des paramètres osculateurs aux paramètres moyens à la même date.

Le modèle analytique d’extrapolation de Eckstein et Hechler est basé sur une intégration en 2 itérations des équations de Lagrange pour le mouvement képlérien perturbé par les 6 premiers termes zonaux du potentiel terrestre.

Méthode

Le modèle analytique donne explicitement les formules de passage des éléments moyens

$(\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M)$ aux éléments osculateurs $(a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M)$.

La transformation:

$$(a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M) \Rightarrow (\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M)$$

est la transformation canonique éliminant les termes périodiques.

Seule la transformation:

$$(\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M) \Rightarrow (a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M)$$

est explicite: $(a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M) = (\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M) + \phi[(\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M)]$

Trouver les paramètres moyens $(\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + M)$ correspondant aux paramètres osculateurs $(a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M)$ revient à inverser la fonction ϕ . On procède itérativement en utilisant le modèle analytique et en utilisant les seuils de convergence représentés par les écarts admissibles donnés en entrée sur chaque paramètre orbital.

Le nombre maximum d’itérations est fixé à 50.

Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_eck_hech_moy (r_equa, cn0, ecart_admi, osc, moy, code_retour)

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel(2:6)	cn0	coefficients zonaux C20 à C60 (dénormalisés)

tm_orb_cir	ecart_admi	écarts admissibles sur les paramètres orbitaux ($\Delta a, \Delta e_x, \Delta e_y, \Delta i, \Delta \Omega, \Delta(\omega+M)$) (m, rad)
tm_orb_cir	osc	paramètres osculateurs ($a, e_x, e_y, i, \Omega, \omega + M$) (m, rad)

• Sorties obligatoires

tm_orb_cir	moy	paramètres moyens ($\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}, \bar{\Omega}, \bar{\omega} + \bar{M}$) (m, rad)
tm_code_retour	code_retour	

Conditions sur les arguments

- Les zonaux *CN0* doivent être tous non nuls.
- Pour les écarts admissibles, il est conseillé de prendre les valeurs suivantes:

$$\begin{aligned}
 \Delta a &= 0.01 \\
 \Delta e_x &= \Delta a / 2a \\
 \Delta e_y &= \Delta a / 2a \\
 \Delta i &= \Delta a / a \\
 \Delta \Omega &= \Delta a / a \\
 \Delta(\omega+M) &= \Delta a / a
 \end{aligned}$$

Posons $\bar{e} = \sqrt{\bar{e}_x^2 + \bar{e}_y^2}$.

Applicable uniquement aux orbites faiblement elliptiques et non équatoriales avec les contraintes suivantes :

- L'excentricité \bar{e} doit appartenir à $[0., 0.1[$.

Si $\bar{e} \in [0., 5 \times 10^{-3}[$, domaine d'utilisation du modèle.

Si $\bar{e} \in [5 \times 10^{-3}, 0.1[$, la précision est dégradée.

- L'inclinaison \bar{i} doit appartenir à $]0., \pi[$.
- L'inclinaison \bar{i} ne doit être ni proche de l'inclinaison critique non rétrograde (environ 1.107 rad ou 63 deg), ni proche de l'inclinaison critique rétrograde (environ 2.034 rad ou 116 deg).
Pour éviter tout problème, nous avons pris une marge de 10 mrad (environ 0.5 deg) de part et d'autre des valeurs des inclinaisons critiques. Pour plus d'informations sur ce sujet, nous vous conseillons de consulter le thème "Constantes" (routines mc_phys et mc_test).

Notes d'utilisation

Sans objet.

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour (voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_mu_negatif	(-1001) : La constante gravitationnelle est négative.
pm_err_mu_nul	(-1002) : La constante gravitationnelle est proche de 0.
pm_err_cn0_nul	(-1005) : Un des coefficients zonaux (CN0) est proche de 0.
pm_err_e_negatif	(-1201) : L'excentricité (e) est négative.
pm_err_e_grand_eck_hech	(-1210) : L'excentricité (e) est supérieure ou égale à 0,1; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de ECKSTEIN-HECHLER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_i_negatif	(-1301) : L'inclinaison (i) est négative.
pm_err_i_equa	(-1302) : $\sin(i)$ est proche de 0 ; l'orbite est équatoriale ($i=0$ ou $i=\pi$).
pm_err_i_critique	(-1304) : L'inclinaison (i) a une valeur proche d'une des deux valeurs de l'inclinaison critique (pour plus d'informations voir la routine mc_phys du thème "Constantes").
pm_err_i_sup_pi	(-1305) : L'inclinaison (i) est supérieure à π .
pm_err_conv_eck_hech	(-1906) : L'algorithme itératif utilisé pour le calcul des paramètres moyens pour le modèle de Eckstein-Hechler n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Vous pouvez essayer d'autres valeurs pour les écarts admissibles, ou bien contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_warn_e_grand_eck_hech	(+1202) : L'excentricité (e) est supérieure à 0,005; la précision est dégradée dans les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de ECKSTEIN-HECHLER.

Exemple en Fortran 90 portable (voir explications dans le volume 3)

```

program EXTRAPOLATION
  use mslib

  real(pm_reel)                :: R_EQUA
  real(pm_reel), dimension(2:6) :: Cn0
  type(tm_orb_cir)              :: ECART_ADMI

```

```
type(tm_orb_cir)      :: OSC
type(tm_orb_cir)      :: MOY
type(tm_code_retour)  :: CODE_RETOUR
```

```
R_EQUA                = 6.378137e+6_pm_reel
Cn0(2)                = -1.08263e-3_pm_reel
Cn0(3)                = 2.54e-6_pm_reel
Cn0(4)                = 1.62e-6_pm_reel
Cn0(5)                = 2.3e-7_pm_reel
Cn0(6)                = -5.5e-7_pm_reel
OSC%a                 = 7200000._pm_reel
OSC%ex                 = 0.00009848_pm_reel
OSC%ey                 = 0.000017367_pm_reel
OSC%i                 = 1.710423_pm_reel
OSC%gom                = 1.919862_pm_reel
OSC%pso_M              = 0.5236193_pm_reel
ECART_ADMI%a           = .01_pm_reel
ECART_ADMI%ex           = ECART_ADMI%a / (2*OSC%a)
ECART_ADMI%ey           = ECART_ADMI%a / (2*OSC%a)
ECART_ADMI%i           = ECART_ADMI%a / OSC%a
ECART_ADMI%gom          = ECART_ADMI%a / OSC%a
ECART_ADMI%pso_M        = ECART_ADMI%a / OSC%a
```

```
call me_eck_hech_moy ( R_EQUA, Cn0, ECART_ADMI, OSC, &
                      MOY, CODE_RETOUR )
```

```
! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
call WRITE_RESULTATS (MOY, CODE_RETOUR)
```

```
end program EXTRAPOLATION
```

Résultats attendus:

```
MOY%a                 = .720 107
MOY%ex                 = .348 10-3
MOY%ey                 = -.256 10-3
MOY%i                 = .171 101
MOY%gom                = .192 101
MOY%pso_M              = .523
```

```
CODE_RETOUR%valeur    = 0
CODE_RETOUR%routine    = 1098
```

Routine me_lyddane

Identification

“Modèle analytique d’extrapolation d’orbite de **Lyddane**”.

Rôle

Passage des paramètres moyens (au sens du modèle analytique d’extrapolation de Lyddane) à t_1 aux paramètres moyens à une date t_2 . Les paramètres osculateurs à t_2 sont calculés en option.

Le modèle de Lyddane est une adaptation du modèle de Brouwer pour éliminer les singularités au voisinage de zéro en excentricité et en inclinaison.

Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_lyddane (mu, r_equa, cn0, t1, moy_t1, t2, moy_t2, code_retour [, osc_t2])

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	mu	constante de la gravitation μ ($\text{m}^3.\text{s}^{-2}$)
pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel(2:5)	cn0	coefficients harmoniques zonaux $C20$ à $C50$ dénormalisés
tm_jour_sec	t1	date t_1 (jours, s)
tm_orb_cir_equa	moy_t1	paramètres moyens à t_1 , $(\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}_x, \bar{i}_y, \overline{\omega + \Omega + M})_{t_1}$ (m, rad)
tm_jour_sec	t2	date t_2 (jours, s)

• Sorties obligatoires

tm_orb_cir_equa	moy_t2	paramètres moyens à t_2 , $(\bar{a}, \bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{i}_x, \bar{i}_y, \overline{\omega + \Omega + M})_{t_2}$ (m, rad)
tm_code_retour	code_retour	

• Sorties facultatives

tm_orb_cir_equa	osc_t2	paramètres osculateurs à t_2 , $(a, \tilde{e}_x, \tilde{e}_y, i_x, i_y, \omega + \Omega + M)_{t_2}$ (m, rad)
-----------------	---------------	---

Conditions sur les arguments

- Les unités des entrées et sorties indiquées doivent impérativement être respectées. L'unité de distance notamment est obligatoirement le mètre.
- Les zonaux $CN0$ doivent être tous non nuls.
- L'excentricité \bar{e} doit appartenir à $[0., 0.9[$
- L'inclinaison \bar{i} doit appartenir à $[0., \pi]$
- L'inclinaison \bar{i} ne doit être ni proche de l'inclinaison critique non rétrograde (environ 1.107 rad ou 63 deg), ni proche de l'inclinaison critique rétrograde (environ 2.034 rad ou 116 deg).
Pour éviter tout problème, nous avons pris une marge de 10 mrad (environ 0.5 deg) de part et d'autre des valeurs des inclinaisons critiques. Pour plus d'informations sur ce sujet, nous vous conseillons de consulter le thème "Constantes" (routines mc_phys et mc_test).

Notes d'utilisation

Le champ "jour" des structures donnant les dates t_1 et t_2 en entrée représente un nombre de jours par rapport à une origine quelconque (par exemple: pour les dates juliennes CNES, il s'agira du 1er janvier 1950) pourvu que celle-ci soit identique pour t_1 et t_2 .

En effet, seul l'écart entre t_1 et t_2 est utilisé dans les calculs. On pourra en particulier prendre 0 jour 0. secondes pour t_1 et affecter à t_2 la durée en jours et secondes séparant t_1 de t_2 .

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_mu_negatif	(-1001) : La constante gravitationnelle est négative.
pm_err_mu_nul	(-1002) : La constante gravitationnelle est proche de 0.
pm_err_cn0_nul	(-1005) : Un des coefficients zonaux (CN0) est proche de 0.
pm_err_a_negatif	(-1101) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est négatif.
pm_err_a_nul	(-1102) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est proche de 0.

pm_err_e_negatif	(-1201) : L'excentricité (e) est négative.
pm_err_e_grand_brouwer	(-1204) : L'excentricité (e) est supérieure à 0,9 ; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_i_negatif	(-1301) : L'inclinaison (i) est négative.
pm_err_i_sup_pi	(-1305) : L'inclinaison (i) est supérieure à pi.
pm_err_i_critique	(-1304) : L'inclinaison (i) a une valeur proche d'une des deux valeurs de l'inclinaison critique (pour plus d'informations voir la routine mc_phys du thème "Constantes").
pm_err_ix_iy_sup_2	(-1306) : La norme du vecteur inclinaison est trop grande (supérieure à 2).
pm_err_conv_kepler_ellip	(-1902) : L'algorithme itératif utilisé pour la résolution de l'équation de Kepler (orbite elliptique) n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_err_cni	(-1999) : Problème numérique. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_warn_i_equa	(+1302) : sin(i) est proche de 0; l'orbite est équatoriale (i=0 ou i=pi).
pm_warn_e_circul	(+1204) : L'excentricité (e) est proche de 0; l'orbite est circulaire.
pm_warn_e_circul_i_equa	(+1201) : L'excentricité (e) est proche de 0 et sin(i) est proche de 0;l'orbite est circulaire et équatoriale (i=0 ou i=pi).

Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```

program EXTRAPOLATION
  use mslib

  real(pm_reel)                :: MU, R_EQUA
  real(pm_reel), dimension(2:5) :: CN0
  type(tm_orb_cir_equa)        :: MOY_T1, MOY_T2, OSC_T2
  type(tm_jour_sec)            :: T1, T2
  type(tm_code_retour)         :: CODE_RETOUR

  MU      = 3.9860047e+14_pm_reel
  R_EQUA = pm_r_equa_GRS1980
  CN0(2) = -1.08263e-3_pm_reel
  CN0(3) = 2.54e-6_pm_reel
  CN0(4) = 1.62e-6_pm_reel

```


CN0(5) = 2.3e-7_pm_reel

T1%jour = 12584_pm_entier

T1%sec = 0._pm_reel

MOY_T1%a = 42166712._pm_reel

MOY_T1%ex = -7.900e-03_pm_reel

MOY_T1%ey = 1.100e-03_pm_reel

MOY_T1%ix = 1.200e-03_pm_reel

MOY_T1%iy = -1.16e-03_pm_reel

MOY_T1%pso_M = 5.300_pm_reel

T2%jour = 12587_pm_entier

T2%sec = 0._pm_reel

call me_lyddane (MU, R_EQUA, CN0, T1, MOY_T1, &
T2, MOY_T2, CODE_RETOUR, &
osc_t2 = OSC_T2)

! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats

call WRITE_RESULTATS (MOY_T2, OSC_T2, CODE_RETOUR)

end program EXTRAPOLATION

Résultats attendus:

MOY_T2%a = .422 10⁺⁸

MOY_T2%ex = -.790 10⁻²

MOY_T2%ey = .109 10⁻²

MOY_T2%ix = .120 10⁻²

MOY_T2%iy = -.116 10⁻²

MOY_T2%pso_M = .535 10⁺¹

OSC_T2%a = .422 10⁺⁸

OSC_T2%ex = -.788 10⁻²

OSC_T2%ey = .107 10⁻²

OSC_T2%ix = .120 10⁻²

OSC_T2%iy = -.116 10⁻²

OSC_T2%pso_M = .535 10⁺¹

CODE_RETOUR%valeur = 0

CODE_RETOUR%routine = 1152

Routine me_lyddane_moy

Identification

“Calcul des paramètres **moyens** du modèle d’extrapolation d’orbite de **Lyddane**”.

Rôle

Passage des paramètres osculateurs aux paramètres moyens (au sens du modèle analytique d’extrapolation de Lyddane) à la même date.

Le modèle analytique d’extrapolation de Lyddane est un modèle de Brouwer étendu aux orbites circulaires et équatoriales.

Méthode : même méthode que pour **me_brouwer_moy** ou **me_eck_hech_moy**.

Par contre, le processus itératif utilisé pour **me_lyddane_moy** ne nécessite pas la donnée, en entrée, d’écarts admissibles sur chacun des paramètres orbitaux. L’algorithme les détermine automatiquement.

Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call me_lyddane_moy (r_equa, cn0, osc, moy, code_retour)

Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

• Entrées obligatoires

pm_reel	r_equa	rayon équatorial terrestre a_e (m)
pm_reel(2:5)	cn0	coefficients harmoniques zonaux C_{20} à C_{50} dénormalisés
tm_orb_cir_equa	osc	paramètres osculateurs $(a, \tilde{e}_x, \tilde{e}_y, \tilde{i}_x, \tilde{i}_y, \omega + \Omega + M)$ (m, rad)

• Sorties obligatoires

tm_orb_cir_equa	moy	paramètres moyens $(\bar{a}, \bar{\tilde{e}}_x, \bar{\tilde{e}}_y, \bar{\tilde{i}}_x, \bar{\tilde{i}}_y, \overline{\omega + \Omega + M})$ (m, rad)
tm_code_retour	code_retour	

Conditions sur les arguments

- Les unités des entrées et sorties indiquées doivent impérativement être respectées. L’unité de distance notamment est obligatoirement le mètre.

- Les zonaux $CN0$ doivent être tous non nuls.
- L'excentricité \bar{e} doit appartenir à $[0, 0.9]$
- L'inclinaison \bar{i} doit appartenir à $[0, \pi]$
- L'inclinaison \bar{i} ne doit être ni proche de l'inclinaison critique non rétrograde (environ 1.107 rad ou 63 deg), ni proche de l'inclinaison critique rétrograde (environ 2.034 rad ou 116 deg).
Pour éviter tout problème, nous avons pris une marge de 10 mrad (environ 0.5 deg) de part et d'autre des valeurs des inclinaisons critiques. Pour plus d'informations sur ce sujet, nous vous conseillons de consulter le thème "Constantes" (routines mc_phys et mc_test).

Notes d'utilisation

Sans objet.

Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "Extrapolation d'orbite" de la MSLIB; B. Revelin et G. Prat (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-93-CIS.

Code retour (voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_mu_negatif	(-1001) : La constante gravitationnelle est négative.
pm_err_mu_nul	(-1002) : La constante gravitationnelle est proche de 0.
pm_err_cn0_nul	(-1005) : Un des coefficients zonaux (CN0) est proche de 0.
pm_err_a_negatif	(-1101) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est négatif.
pm_err_a_nul	(-1102) : Le demi-grand axe (a) ou le paramètre (p) de la parabole est proche de 0.
pm_err_e_negatif	(-1201) : L'excentricité (e) est négative.
pm_err_e_grand_brouwer	(-1204) : L'excentricité (e) est supérieure à 0,9 ; les routines de calcul liées au modèle d'extrapolation de BROUWER n'autorisent pas ces valeurs de l'excentricité.
pm_err_i_negatif	(-1301) : L'inclinaison (i) est négative.
pm_err_i_sup_pi	(-1305) : L'inclinaison (i) est supérieure à pi.

pm_err_i_critique	(-1304) : L'inclinaison (i) a une valeur proche d'une des deux valeurs de l'inclinaison critique (pour plus d'informations voir la routine mc_phys du thème "Constantes").
pm_err_ix_iy_sup_2	(-1306) : La norme du vecteur inclinaison est trop grande (supérieure à 2).
pm_err_conv_kepler_ellip	(-1902) : L'algorithme itératif utilisé pour la résolution de l'équation de Kepler (orbite elliptique) n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_err_conv_lyddane	(-1907) : L'algorithme itératif utilisé pour le calcul des paramètres moyens pour le modèle de LYDDANE n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Contactez l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_err_cni	(-1999) : Problème numérique. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_warn_i_equa	(+1302) : $\sin(i)$ est proche de 0; l'orbite est équatoriale ($i=0$ ou $i=\pi$).
pm_warn_e_circul	(+1204) : L'excentricité (e) est proche de 0; l'orbite est circulaire.
pm_warn_e_circul_i_equa	(+1201) : L'excentricité (e) est proche de 0 et $\sin(i)$ est proche de 0; l'orbite est circulaire et équatoriale ($i=0$ ou $i=\pi$).

Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```

program EXTRAPOLATION
  use mslib

  real(pm_reel)                                :: R_EQUA
  real(pm_reel), dimension(2:5)              :: CN0
  type(tm_orb_cir_equa)                       :: OSC, MOY
  type(tm_code_retour)                        :: CODE_RETOUR

  R_EQUA = pm_r_equa_GRS1980
  CN0(2) = -1.08263e-3_pm_reel
  CN0(3) = 2.54e-6_pm_reel
  CN0(4) = 1.62e-6_pm_reel
  CN0(5) = 2.3e-7_pm_reel

  OSC%a      = 42166712._pm_reel
  OSC%ex     = -7.9e-6_pm_reel
  OSC%ey     = 1.1e-4_pm_reel
  OSC%ix     = 1.2e-4_pm_reel

```

```
OSC%iy      =  -1.16e-4_pm_reel  
OSC%pso_M   =           5.3_pm_reel
```

```
call me_lyddane_moy ( R_EQUA, CN0, OSC, MOY, CODE_RETOUR)
```

```
! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats  
call WRITE_RESULTATS (MOY, CODE_RETOUR)
```

```
end program EXTRAPOLATION
```

Résultats attendus:

```
MOY%a      = .422 10+8  
MOY%ex     = -.285 10-4  
MOY%ey     = .141 10-3  
MOY%ix     = .120 10-3  
MOY%iy     = -.116 10-3  
MOY%pso_M = .530 10+1
```

```
CODE_RETOUR%valeur = 0  
CODE_RETOUR%routine = 1153
```