

**MSLIB Fortran 90**

**CS SI**

Nomenclature : **M-MU-0-119-CIS**

Edition : 02      Date: 08/09/1998

Révision: 03      Date: 15/09/2003

**Volume T**

**changement de variables et de repères pour la  
Trajectographie**

<b>Rédigé par :</b> Bruno REVELIN	le : CS (SI/Espace/MS/EC)	
<b>Validé par :</b> Guylaine PRAT Christine MAURY (ingénieur qualité)	le : CS (SI/Espace/MS/EC) CS (SI/Espace)	
<b>Pour application :</b> Franck REINQUIN Hervé MADIEU	le : CNES (DTS/MID/MS/CMS)	

**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 T - changement de variables et de repères pour la Trajectographie**AUTEUR :** Bruno REVELIN**RESUME :**

Ce document rassemble les notices d'utilisation des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie".

**SITUATION DU DOCUMENT :** Création**VOLUME :****PAGES :** 83**PLANCHES :****FIGURES :****LANGUES :** F**CONTRAT :** Marché 779/Cnes/2001/8929**SYSTEME HOTE :** Frame6/MSLIB

**MODIFICATION**

ETAT DOCUMENT				PAGES REVISEES	
ED.	REV.	DATE	REFERENCE ORIGINE (pour chaque édition)	ETAT PAGE *	NUMERO DES PAGES
01	00	16/04/98	M-MU-0-119-CIS Rédacteur : G. Prat		Création
02	00	08/09/98	M-MU-0-119-CIS Rédacteur : V. Lépine avec la participation de G. Prat		Modification de toutes les pages.
02	01	27/01/00	M-MU-0-119-CIS Rédacteur : S. Vresk avec la participation de G. Prat	M	17, 18, 19, 20, 21,22
02	02	03/03/03	M-MU-0-119-CIS Rédacteur : G. Prat avec la participation de B. Revelin	M	17, 18, 19, 26, 27, 28
02	03	15/09/03	M-MU-0-119-CIS Rédacteur : B. Revelin	M	Évolutions de mt_car_geod et mt_geod_car (jacobien)

\* I = Inséré

S = Supprimé

M = Modifié

## Sommaire

<b>Présentation du thème T :</b>	<i>page 1</i>
<b>Notations</b>	<i>page 2</i>
<b>Index</b>	<i>page 3</i>
<b>1 Géoïde et systèmes de référence</b>	<i>page 4</i>
1.1 Définition du géoïde	<i>page 4</i>
1.2 Représentation du géoïde - notion d'ellipsoïde	<i>page 4</i>
1.3 Définition des termes altitudes et hauteur	<i>page 5</i>
1.4 Définition des systèmes de référence et du repère terrestre de référence	<i>page 5</i>
<b>2 Définition des repères liés à la Terre</b>	<i>page 6</i>
2.1 Définition du repère terrestre de référence	<i>page 6</i>
2.2 Définition des repères topocentriques Nord et Est - lien avec les repères instrumentaux	<i>page 7</i>
2.3 Définition des repères inertiels "H0-n"	<i>page 7</i>
2.4 Définition des repères inertiels Gamma 50 moyen et J2000	<i>page 7</i>
<b>3 Définition des formes</b>	<i>page 8</i>
3.1 Définition des formes dans un repère terrestre de référence (pour un point quelconque)	<i>page 8</i>
3.1.1 Coordonnées cartésiennes	<i>page 8</i>
3.1.2 Coordonnées géodésiques	<i>page 8</i>
3.1.3 Coordonnées géocentriques	<i>page 9</i>
3.2 Définition des formes dans un repère topocentrique	<i>page 10</i>
3.2.1 Forme cartésienne	<i>page 10</i>
3.2.1.1 Forme cartésienne dans un repère topocentrique Nord	<i>page 10</i>
3.2.1.2 Forme cartésienne dans un repère topocentrique Est	<i>page 10</i>
3.2.2 Forme site/gisement/distance	<i>page 11</i>
3.2.2.1 Forme (s, g, d) dans un repère topocentrique Nord	<i>page 11</i>
3.2.2.2 Forme (s, g, d) dans un repère topocentrique Est	<i>page 12</i>
<b>4 Utilisation des routines du thème</b>	<i>page 13</i>
4.1 Utilisation des routines du thème pour effectuer des changements de repères	<i>page 13</i>
4.2 Utilisation des routines du thème pour effectuer des changements de formes	<i>page 14</i>
4.2.1 Changement de formes dans un repère terrestre de référence (pour un point quelconque)	<i>page 14</i>
4.2.2 Changement de formes dans un repère topocentrique	<i>page 14</i>

4.3 Utilisation des routines du thème pour calculer les coordonnées (exprimées dans un repère terrestre de référence) des vecteurs directeurs d'un repère topocentrique Nord .....	<i>page 15</i>
<b>5 Documents de référence du thème .....</b>	<b><i>page 16</i></b>

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

## Liste des routines du thème T:

<b>mt_car_geoc</b> : .....	<i>page 17</i>
“Passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées géocentriques”.	
<b>mt_car_geod</b> : .....	<i>page 20</i>
“Passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées géodésiques”.	
<b>mt_def_topo_N</b> : .....	<i>page 23</i>
“Définition des cosinus directeurs d’un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord)”.	
<b>mt_geoc_car</b> : .....	<i>page 26</i>
“Passage des coordonnées géocentriques aux coordonnées cartésiennes”.	
<b>mt_geod_car</b> : .....	<i>page 29</i>
“Passage des coordonnées géodésiques aux coordonnées cartésiennes”.	
<b>mt_iner_ref</b> : .....	<i>page 32</i>
“Passage d’un repère géocentrique inertiel lié à un mobile (du type «H0-9») au repère terrestre de référence”.	
<b>mt_ref_iner</b> : .....	<i>page 36</i>
“Passage du repère terrestre de référence à un repère géocentrique inertiel lié à un mobile (du type «H0-9»)”.	
<b>mt_ref_topo_N</b> : .....	<i>page 40</i>
“Passage du repère terrestre de référence à un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord) ”.	
<b>mt_topo_E_car_sgd</b> : .....	<i>page 44</i>
“Dans un repère topocentrique Est (convention axe Ox vers l’Est), passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées site/gisement/distance”.	
<b>mt_topo_E_sgd_car</b> : .....	<i>page 48</i>
“Dans un repère topocentrique Est (convention axe Ox vers l’Est), passage des coordonnées site/gisement/distance aux coordonnées cartésiennes”.	
<b>mt_topo_N_car_sgd</b> : .....	<i>page 52</i>
“Dans un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord), passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées site/gisement/ distance”.	

<b>mt_topo_N_ref :</b> .....	<i>page 56</i>
“Passage d’un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord) au repère terrestre de référence”.	
<b>mt_topo_N_sgd_car :</b> .....	<i>page 60</i>
“Dans un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord), passage des coordonnées site/gisement/distance aux coordonnées cartésiennes”.	
<b>mt_topo_car_E_N :</b> .....	<i>page 64</i>
“Passage d’un repère topocentrique Est (convention axe Ox vers l’Est) au repère topocentrique Nord associé (convention axe Ox vers le Nord) en coordonnées cartésiennes”.	
<b>mt_topo_car_N_E :</b> .....	<i>page 67</i>
“Passage d’un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord) au repère topocentrique Est associé (convention axe Ox vers l’Est) en coordonnées cartésiennes”.	
<b>mt_topo_sgd_E_N :</b> .....	<i>page 70</i>
“Passage d’un repère topocentrique Est (convention axe Ox vers l’Est) au repère topocentrique Nord associé (convention axe Ox vers le Nord) en coordonnées site/gisement/distance”.	
<b>mt_topo_sgd_N_E :</b> .....	<i>page 73</i>
“Passage d’un repère topocentrique Nord (convention axe Ox vers le Nord) au repère topocentrique Est associé (convention axe Ox vers l’Est) en coordonnées site/gisement/distance”.	



## Présentation du thème T

Dans un même système de référence, il est possible d'effectuer des changements de repères ou de formes. Le thème “*changement de variables et de repères pour la Trajectographie*” regroupe un ensemble de routines permettant d'effectuer ces transformations.

Le but de cette présentation est, d'une part, de définir les termes et les notations employés par la MSLIB dans ce thème, et, d'autre part, de présenter les routines du thème.

A noter:

on appelle “*forme*”, un type de jeu de coordonnées (coordonnées géodésiques, coordonnées site/gisement/distance, ...).

---

## Notations

$a_e$	rayon équatorial terrestre ( $\cong 6\,378.137$ km)
$d$	distance géocentrique centre Terre
$1/f$	inverse de l'aplatissement terrestre ( $1/f \cong 298.257$ )
$h$	hauteur (géodésique)
$(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$	vecteurs directeurs d'un repère topocentrique Nord
$(s, g, d)$	position en coordonnées site, gisement, distance
$(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})$	vitesse en coordonnées site, gisement, distance
$(x, y, z)$	position en coordonnées cartésiennes
$(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$	vitesse en coordonnées cartésiennes
$\lambda$	longitude = longitude géodésique = longitude géocentrique
$\phi$	latitude géodésique
$\phi_c$	latitude géocentrique
$(\phi, \lambda, h)$	coordonnées géodésiques
$(\phi_c, \lambda, d)$	coordonnées géocentriques

## Index

### A

altitude, *voir hauteur*.  
aplatissement 5  
azimut, *voir gisement Est*.

### C

CIO-BIH 5  
coordonnées cartésiennes (terrestres) 8  
coordonnées cartésiennes (topocentriques) 10  
coordonnées géocentriques 9  
coordonnées géodésiques 8  
coordonnées site/gisement/distance (Est) 12  
coordonnées site/gisement/distance (Nord) 11

### D

distance centre Terre, *voir coordonnées géo-  
centriques*.  
distance, *voir coordonnées site/gisement/dis-  
tance*.

### E

ellipsoïde 4

### F

forme 1

### G

géοïde 4  
gisement, *voir coordonnées site/gisement/dis-  
tance*.

### H

hauteur 5  
*voir aussi coordonnées géodésiques*.

### I

inverse de l'aplatissement 5

### L

latitude géocentrique 9  
latitude géodésique, *voir coordonnées géodé-  
siques*.  
longitude, *voir coordonnées géocentriques ou  
géodésiques*.

### M

méridien origine 5

### R

radars 7  
rayon équatorial 4  
rayon polaire, *voir aplatissement*.  
repère inertiel Gamma 50 moyen 7  
repère inertiel J2000 7  
repère terrestre de référence 5  
repères inertiels "H0-n" 7  
repères instrumentaux 7  
repères topocentriques (Nord ou Est) 7, 10

### S

site, *voir coordonnées site/gisement/distance*.  
système de référence 5

### V

vecteurs directeurs d'un repère topocentrique  
Nord 6

### W

WGS 84 5

# 1 Géoïde et systèmes de référence

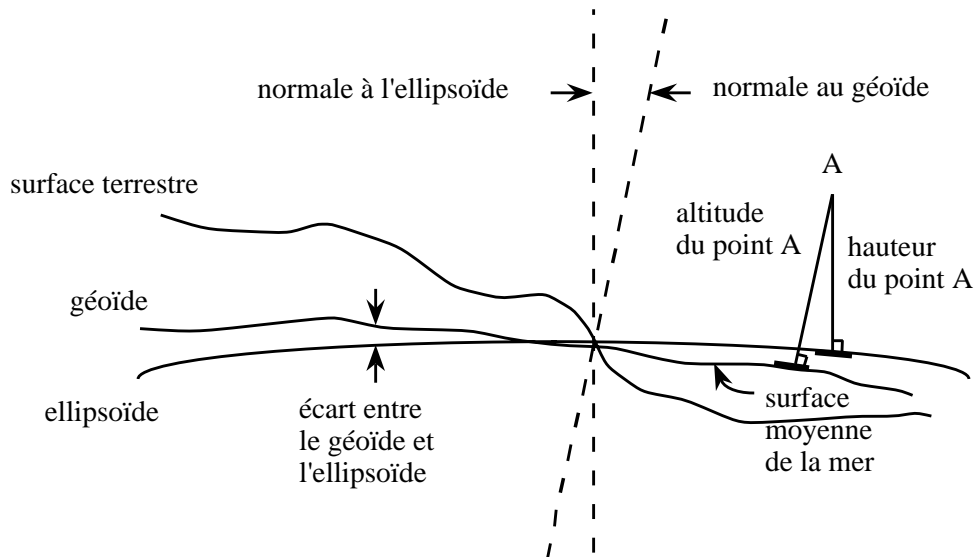
## 1.1 Définition du géoïde

Le *géoïde* est la surface équipotentielle de pesanteur qui correspond au niveau moyen des mers. La pesanteur est la résultante de la force de gravitation exercée par la Terre, et de l'accélération centrifuge de la Terre. En tout point du géoïde, la direction du fil à plomb donne la normale au géoïde.

## 1.2 Représentation du géoïde - notion d'ellipsoïde

De nombreux modèles mathématiques permettent de représenter le géoïde, les plus couramment utilisés sont les *ellipsoïdes* de révolution. Il s'avère que le géoïde est très proche d'un ellipsoïde (à quelques dizaines de mètres près).

Le schéma ci-dessous présente diverses définitions.



**Figure 1.**

Un ellipsoïde est parfaitement défini par la connaissance de :

- son centre,
- son axe de révolution,
- son *rayon équatorial* (noté  $a_e$  ici),
- son aplatissement ou son *rayon polaire* (noté  $R_{pol}$  ici).

Dans un trièdre direct ( $OXYZ$ ), un ellipsoïde de révolution de centre  $O$  et d'axe de révolution  $OZ$  a pour équation :

$$\frac{x^2 + y^2}{a_e^2} + \frac{z^2}{R_{pol}^2} = 1$$

avec la donnée de l'aplatissement:

$$f = \frac{a_e - R_{pol}}{a_e}$$

On notera que dans la MSLIB, on utilise plus couramment :

$$\frac{1}{f} = \frac{a_e}{a_e - R_{pol}}$$

l'inverse de l'aplatissement (donnée supérieure à 1).

### 1.3 Définition des termes altitudes et hauteur

La distance entre un point *A* et sa projection sur le géoïde selon la normale au géoïde est appelée *altitude* du point *A* [voir la Figure 1. en page 4]. L'altitude est positive pour un point au-dessus du géoïde, elle est négative sinon.

La distance entre un point *A* et sa projection sur l'ellipsoïde selon la normale à l'ellipsoïde est appelée *hauteur* du point *A* [voir la Figure 1. en page 4]. La hauteur est positive pour un point au-dessus de l'ellipsoïde, elle est négative sinon.

*Par abus de langage, on emploie souvent le terme “altitude” au lieu de “hauteur” (ce qui ne sera pas fait ici).*

### 1.4 Définition des systèmes de référence et du repère terrestre de référence

Un *système de référence* est un ensemble de données permettant de définir le centre de la Terre, le plan équatorial, l'axe des pôles géographiques, le plan *méridien origine*, le rayon équatorial et la vitesse de rotation de la Terre ...

A chaque système de référence est rattaché un *repère terrestre de référence* (*OXYZ*) défini par :

- (*OXYZ*) est un trièdre direct ;
- l'origine *O* est la position du centre de la Terre dans le système de référence ;
- l'axe *OZ* est l'axe des pôles géographiques dans le système de référence (orienté vers le pôle Nord) ;
- le plan *OXY* est le plan équatorial dans le système de référence ;
- l'axe *OX* est contenu dans le plan méridien origine du système de référence.

On associe habituellement à chaque système de référence, un ellipsoïde de référence de centre *O* et d'axe de révolution *OZ*, tels que définis pour le repère terrestre de référence.

A noter:

- On appelle plan méridien, un plan contenant l'axe des pôles géographiques.
  - Dans la plupart des systèmes de référence, le méridien origine est le méridien de Greenwich.
- Par exemple: WGS 84 , CIO-BIH .

## 2 Définition des repères liés à la Terre

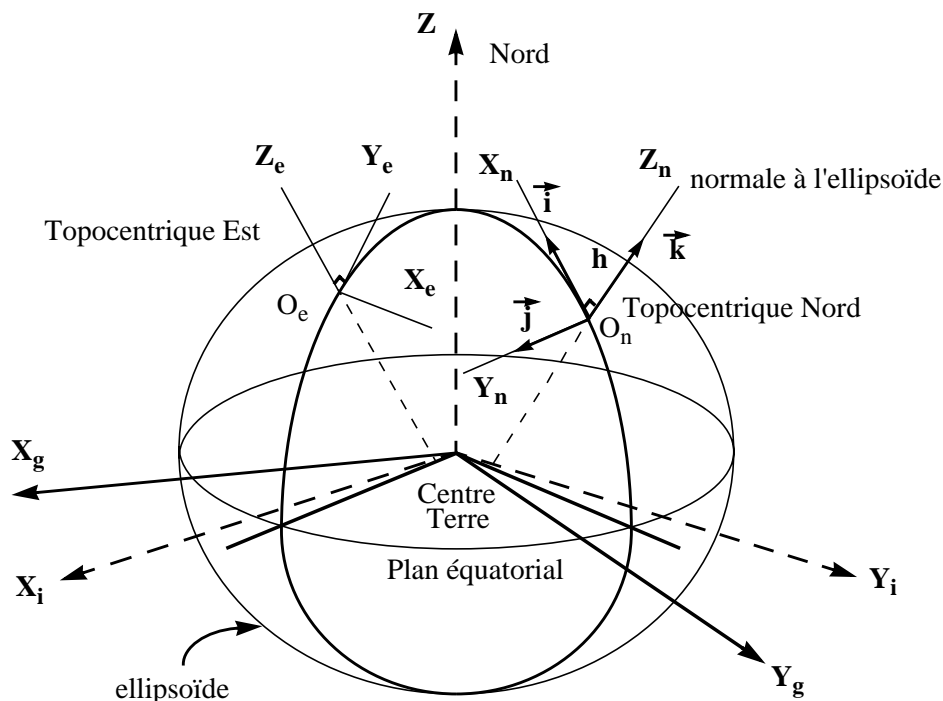


Figure 2.

Avec:

$(X_i \ Y_i \ Z_i)$	Repère géocentrique inertiel, type "H0-n"
$(X_n \ Y_n \ Z_n)$	Repère topocentrique Nord
$(X_e \ Y_e \ Z_e)$	Repère topocentrique Est
$(X_g \ Y_g \ Z_g)$	Repère terrestre de référence
$(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$	vecteurs directeurs du repère topocentrique Nord

et avec  $Z = Z_g = Z_i$

### 2.1 Définition du repère terrestre de référence

Voir le paragraphe 1.4 en page 5.

## 2.2 Définition des repères topocentriques Nord et Est - lien avec les repères instrumentaux

Les *repères instrumentaux* sont des repères locaux. Ils sont définis par rapport au géoïde:

- l'origine  $O$  du repère est donné par la position de l'instrument (antenne, radar);
- l'axe  $OZ$  est porté par la normale au géoïde passant par le point  $O$ ;
- l'axe  $OY$  est donné par le Nord géographique;
- l'axe  $OX$  est tel que le trièdre ( $OXYZ$ ) soit orthonormé direct.

Les *radars*, par exemple, fournissent leurs informations de localisation dans des repères de type “repère instrumental”. Mais ces repères étant peu adaptés pour effectuer des changements de repères simples, il est préférable d'utiliser des repères liés à un ellipsoïde : on définit alors les repères topocentriques.

Les *repères topocentriques* sont des repères locaux. Contrairement aux repères instrumentaux, les repères topocentriques sont définis par rapport à un ellipsoïde. Le centre  $O$  du repère peut être donné, par exemple, par la position d'un instrument. Ils sont entièrement définis par les données de la position de l'origine ( $\phi, \lambda, h$ ) [voir le paragraphe 3.1.2 en page 8] et des caractéristiques de l'ellipsoïde associé ( $a_e, 1/f$ ) [voir paragraphe 1.2 en page 4] : l'axe  $OZ$  est porté par la normale à l'ellipsoïde passant par le point  $O$ , et le trièdre ( $OXYZ$ ) est orthonormé direct.

Il existe deux types de repères topocentriques selon l'orientation de l'axe  $OX$  :

- le repère topocentrique Nord (axe  $OX$  dirigé vers le Nord géographique);
- le repère topocentrique Est (axe  $OX$  dirigé vers l'Est).

Avec un bon choix de système de référence et d'ellipsoïde, il est possible d'approximer les repères instrumentaux par des repères topocentriques Est.

## 2.3 Définition des repères inertiels “H0-n”

Les *repères inertiels* “H0-n” sont des repères géocentriques. Ils sont associés à un pas de tir, et à une date (date de libération de la centrale inertielle). Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- l'origine  $O$  est le centre de la Terre ;
- l'axe  $OZ$  est l'axe des pôles géographiques ;
- le plan  $OXY$  est le plan équatorial terrestre ;
- l'axe  $OX$  est contenu dans le plan méridien passant par le pas de tir considéré à la date “H0-n” de libération de la centrale,  $H0$  étant la date de tir et  $n$  le nombre moyen de secondes qui sépare la date de libération de la centrale inertielle, de la date de tir.

A noter:

Les données position-vitesse issues des centrales inertielles sont fournies dans ce type de repère. Compte tenu de sa définition, ce type de repère n'est pas fixe dans le temps par rapport à la Terre.

## 2.4 Définition des repères inertiels Gamma 50 moyen et J2000

Les repères inertiels  $\hat{\gamma}_{50}$  et J2000 ne seront pas utilisés ici. Pour leur définition se reporter à l'introduction du thème R.

## 3 Définition des formes

### 3.1 Définition des formes dans un repère terrestre de référence (pour un point quelconque)

Pour définir la position d'un point quelconque dans le repère de référence, il faut connaître trois paramètres permettant de situer ce point dans le repère choisi.

#### 3.1.1 Coordonnées cartésiennes

Les *coordonnées cartésiennes* ( $x, y, z$ ) sont telles que définies naturellement dans tout repère.

#### 3.1.2 Coordonnées géodésiques

Les *coordonnées géodésiques* ( $\phi, \lambda, h$ ) d'un point  $M$  sont liées à un système de référence et à un ellipsoïde de révolution.

L'ellipsoïde a pour centre et axe de révolution : le centre  $O$  et l'axe  $OZ$  du repère de référence.

On définit le plan méridien du point  $M$  comme le plan contenant l'axe  $OZ$  et le point  $M$ .

Les coordonnées géodésiques sont définies par :

- la *latitude géodésique* ( $\phi \in [-\pi/2, +\pi/2]$ ) qui correspond à l'angle que fait la normale à l'ellipsoïde passant par le point  $M$  avec le plan équatorial ;
- la *longitude géodésique* ( $\lambda \in [0, 2\pi]$ ) qui correspond à l'angle entre le plan méridien au point  $M$  et le plan méridien origine ;
- la *hauteur géodésique* qui correspond à la distance entre le point  $M$  et sa projection sur l'ellipsoïde selon la normale à l'ellipsoïde [voir aussi la Figure 1. en page 4].;

A noter:

Les longitudes sont comptées positivement vers l'Est.

Les latitudes sont comptées positivement vers le Nord.

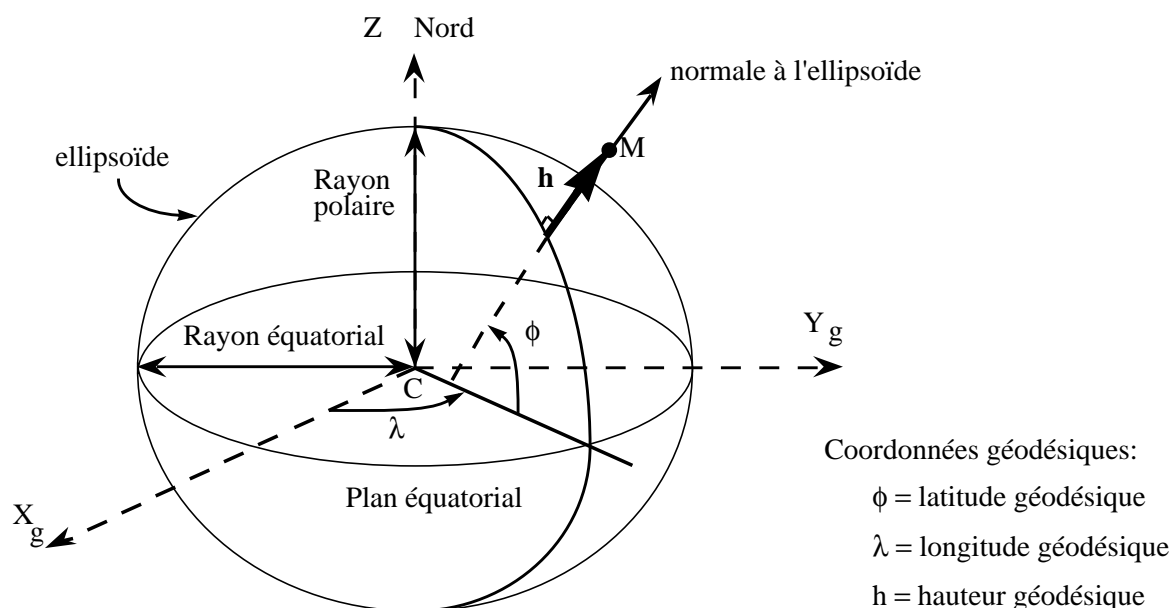


Figure 3.



### 3.1.3 Coordonnées géocentriques

Les *coordonnées géocentriques* ( $\phi_c, \lambda, h$ ) d'un point  $M$  sont liées à un système de référence.

Les coordonnées géocentriques sont définies par :

- la *latitude géocentrique* ( $\phi_c \in [-\pi/2, +\pi/2]$ ) qui correspond à l'angle que fait la droite joignant le centre Terre et le point  $M$ , avec le plan équatorial ;
- la *longitude géocentrique* ( $\lambda \in [0, 2\pi]$ ) qui est égale à la longitude géodésique ;
- la *distance centre Terre - point  $M$* .

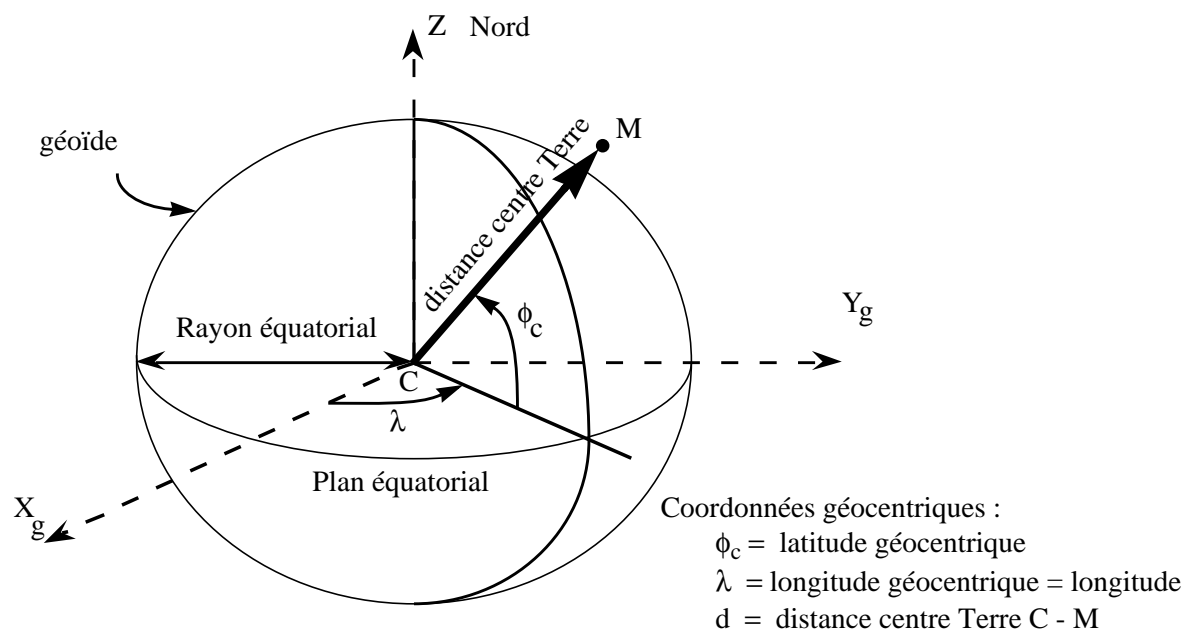


Figure 4.

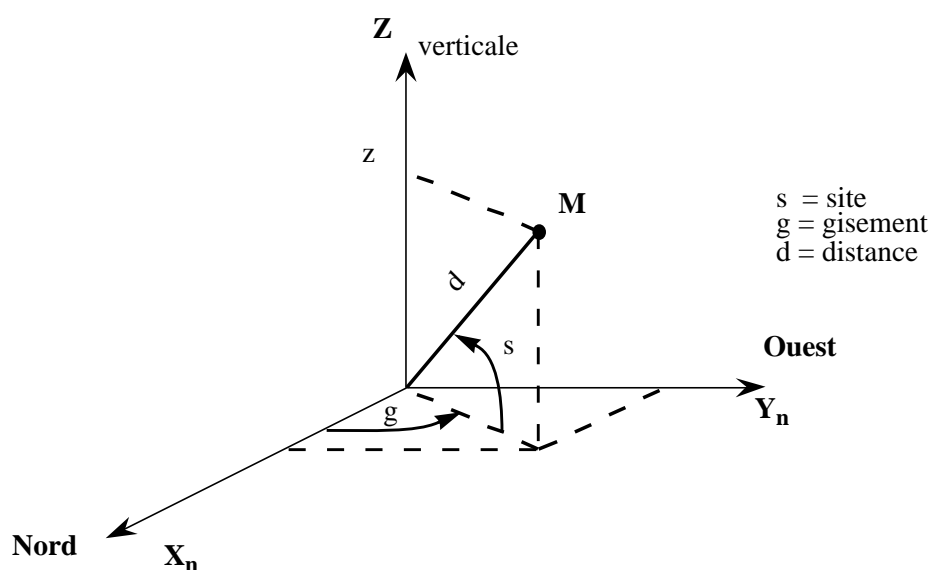


### 3.2.2 Forme site/gisement/distance

#### 3.2.2.1 Forme (s, g, d) dans un repère topocentrique Nord

Dans un repère topocentrique Nord, les *coordonnées (s,g,d) site/gisement/distance* sont comme décrites dans le schéma ci-après, avec:

- le site  $\in [-\pi/2, +\pi/2]$  ;
- le gisement  $\in [0, 2\pi[$ , et est compté depuis l'axe Nord vers l'axe Ouest ;
- la distance est comptée depuis l'origine du repère topocentrique.



*Figure 6.*

### 3.2.2.2 Forme (s, g, d) dans un repère topocentrique Est

Dans un repère topocentrique Est, les *coordonnées (s,g,d) site/gisement/distance* sont comme décrites dans le schéma ci-après, avec:

- le site  $\in [-\pi/2, +\pi/2]$ ;
- le gisement  $\in [0, 2\pi[$ , et est compté depuis l'axe Nord vers l'axe Est ;
- la distance est comptée depuis l'origine du repère topocentrique.

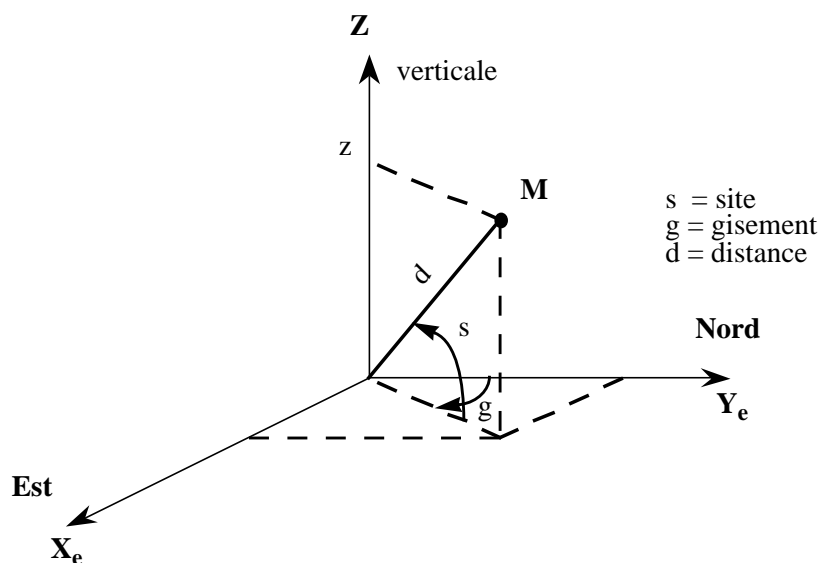


Figure 7.

A noter:

Chez certains auteurs, on parle d' *azimut*. On peut le relier au gisement Est car :  
azimut = gisement Est

## 4 Utilisation des routines du thème

Nous vous proposons dans ce paragraphe une représentation schématique des transformations disponibles dans le thème. Les notations et les définitions utilisées dans ce paragraphe ont déjà été explicitées auparavant et ne seront donc pas répétées ici.

### 4.1 Utilisation des routines du thème pour effectuer des changements de repères

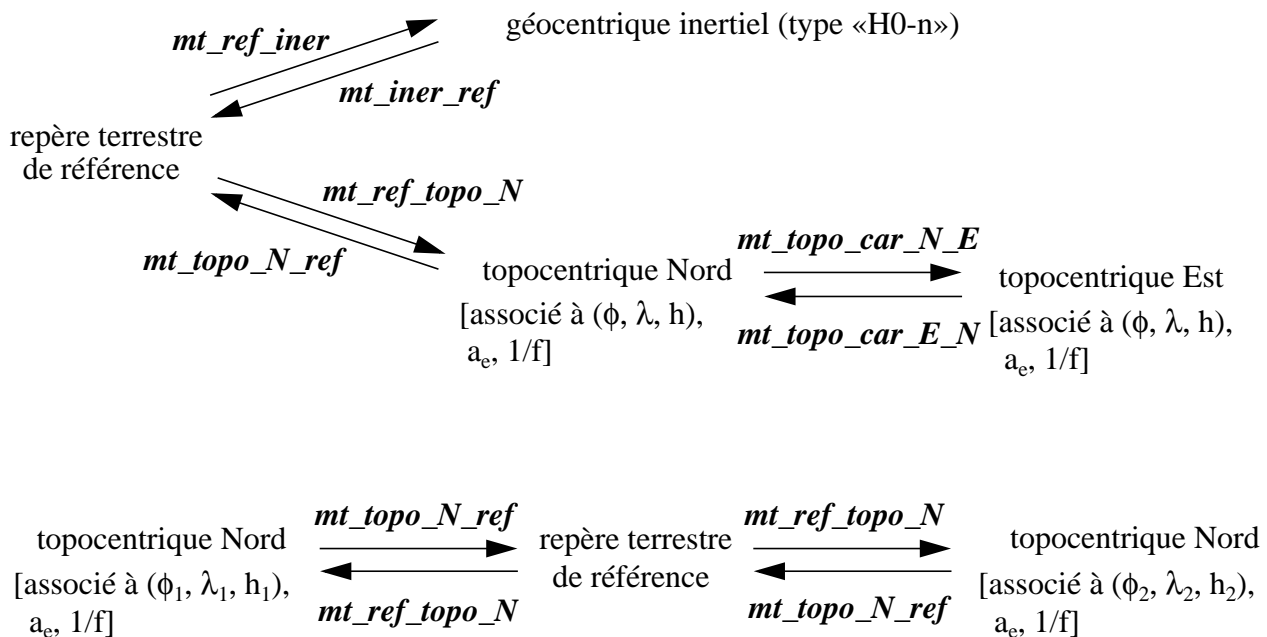
routines concernées:

$mt\_ref\_iner \Leftrightarrow mt\_iner\_ref$

$mt\_ref\_topo\_N \Leftrightarrow mt\_topo\_N\_ref$

$mt\_topo\_car\_N\_E \Leftrightarrow mt\_topo\_car\_E\_N$

Transformations pour un vecteur position-vitesse (exprimé en coordonnées cartésiennes) entre divers repères liés à la Terre:

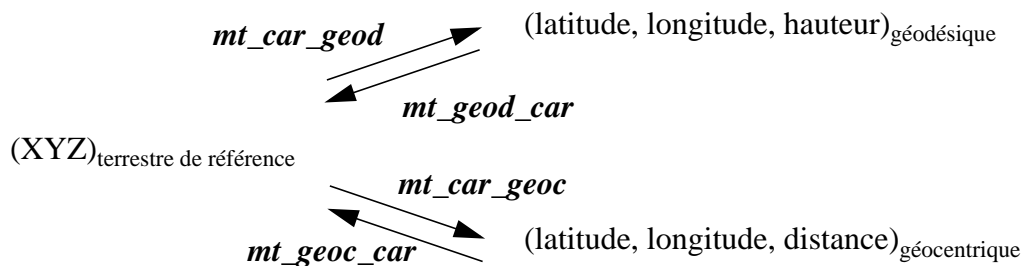


## 4.2 Utilisation des routines du thème pour effectuer des changements de formes

### 4.2.1 Changement de formes dans un repère terrestre de référence (pour un point quelconque)

routines concernées:  
 $mt\_car\_geoc \Leftrightarrow mt\_geoc\_car$   
 $mt\_car\_geod \Leftrightarrow mt\_geod\_car$

Transformations pour les passages coordonnées cartésiennes  $\Leftrightarrow$  coordonnées géodésiques ou géocentriques:

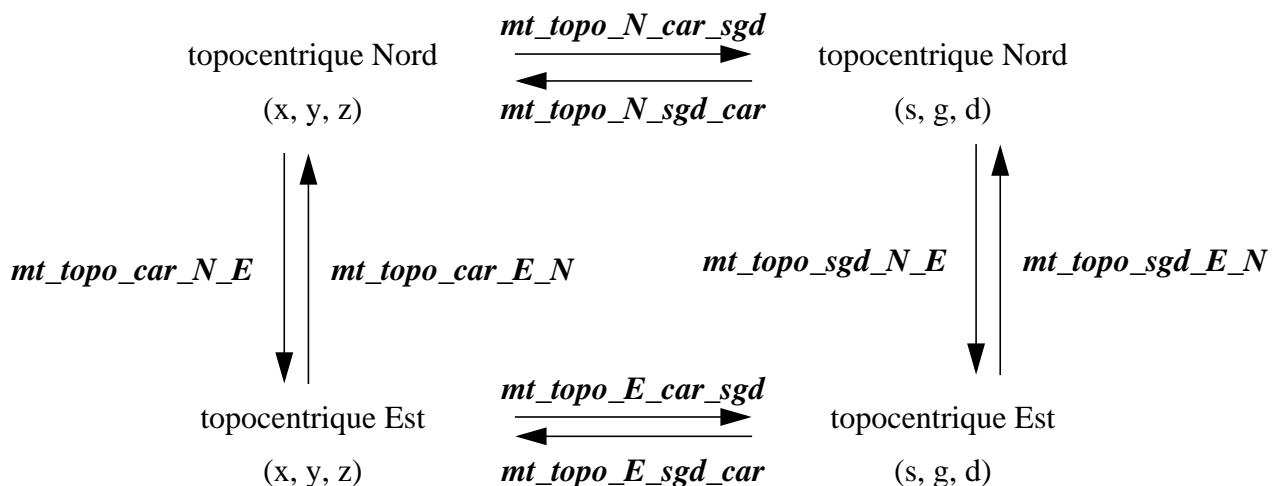


### 4.2.2 Changement de formes dans un repère topocentrique

En supposant que les repères topocentriques ont la même origine et sont associés au même ellipsoïde.

routines concernées:  
 $mt\_topo\_E\_car\_sgd \Leftrightarrow mt\_topo\_E\_sgd\_car$   
 $mt\_topo\_N\_car\_sgd \Leftrightarrow mt\_topo\_N\_sgd\_car$   
 $mt\_topo\_car\_E\_N \Leftrightarrow mt\_topo\_car\_N\_E$   
 $mt\_topo\_sgd\_E\_N \Leftrightarrow mt\_topo\_sgd\_N\_E$

Transformations dans les repères topocentriques Nord et Est:



### 4.3 Utilisation des routines du thème pour calculer les coordonnées (exprimées dans un repère terrestre de référence) des vecteurs directeurs d'un repère topocentrique Nord

routines concernées:  
mt\_def\_topo\_N

Transformation dans le repère topocentrique Nord:

pour la définition de  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  : se reporter au paragraphe 2 en page 6.

latitude géodésique $\phi$		$mt\_def\_topo\_N$		$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$
longitude géodésique $\lambda$		—————→		

## **5 Documents de référence du thème**

- Le mouvement du véhicule spatial en orbite, 1980, CNES, Cepadues.
- Le mouvement du satellite, 1983, CNES, Cepadues.
- Mathématiques Spatiales, 1984, CNES, Cepadues.
- Trajectoires spatiales, O. Zarrouati, 1987, CNES Cepadues.
- Mécanique Spatiale 1995, tomes I et II, CNES, Cepadues.



## Routine mt\_car\_geoc

### Identification

“Passage des coordonnées **cartésiennes** aux coordonnées **géocentriques**”.

### Rôle

Passage des coordonnées cartésiennes  $(x, y, z)$  dans le repère de référence aux coordonnées géocentriques  $(\phi_c, \lambda, d)$  latitude/longitude/distance centre Terre.

Les calculs de la vitesse  $(\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})$  et du jacobien de la transformation  $\frac{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  sont optionnels.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call mt\_car\_geoc ( pos\_car, pos\_geoc, code\_retour [ , vit\_car, vit\_geoc, jacob ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm\_reel(3)      **pos\_car**      position  $(x, y, z)$  en coordonnées cartésiennes (m)

#### • Sorties obligatoires

tm\_geocentrique      **pos\_geoc**      position en coordonnées géocentriques latitude, longitude, distance au centre de la Terre  $(\phi_c, \lambda, d)$  (rad,m)

tm\_code\_retour      **code\_retour**

#### • Entrées facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_car** ]      vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  en coordonnées cartésiennes (m. s<sup>-1</sup>)

#### • Sorties facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_geoc** ]      vitesse  $(\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})$  en coordonnées géocentriques (rad.s<sup>-1</sup>, m. s<sup>-1</sup>)

pm\_reel(6,6)      [ **jacob** ]      jacobienne de la transformation  $\frac{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$

### Conditions sur les arguments

- La latitude géocentrique  $\phi_c$  est comptée positivement vers le Nord, avec  $\phi_c \in [-\pi/2, +\pi/2]$ .
- La longitude  $\lambda$  est comptée positivement vers l'Est, avec  $\lambda \in [0, 2\pi[$ .

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})$  nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  en entrée.

- Le calcul du jacobien  $\frac{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  nécessite que la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  soit donnée en entrée. Cette vitesse est nécessaire pour le calcul des dérivées partielles en  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ .

Il est intéressant de noter que:  $\frac{\partial(\phi_c, \lambda, d)}{\partial(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})} = 0$  (matrice nulle). En donnant une vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$

quelconque, seule la partie  $\frac{\partial(\phi_c, \lambda, d)}{\partial(x, y, z)}$  du jacobien  $\frac{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  sera correcte.

- Le jacobien vaut: .

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } \phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d} \text{ n}^\circ i)}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^\circ j)}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{\phi}_c}{\partial x}$$

### Notes d'utilisation

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_geoc\_car**.
- Si la latitude géocentrique est égale à  $\pm \frac{\pi}{2}$ , alors la longitude  $\lambda$  est indéfinie. Arbitrairement, nous lui donnons la valeur 0.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.

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

pm\_OK

(0) : Retour normal.

pm_err_pos_nul	(-1501) : La norme du vecteur position est proche de 0 .
pm_err_pos_Oz_ref	(- 1509) : Position sur l'axe Oz du repère de référence. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur de la longitude. Les composantes de la vitesse ainsi que la jacobienne ne sont pas définies.
pm_warn_pos_Oz_ref	(+1507) : Position sur l'axe Oz du repère de référence. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur de la longitude, et on lui a donné arbitrairement une valeur.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

<b>Exemple en Fortran 90 portable</b>
---------------------------------------

(voir explications dans le volume 3)

```

program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  real(pm_reel), dimension(3)      :: POS_CAR
  type(tm_geocentrique)             :: POS_GEOC
  type(tm_code_retour)              :: CODE_RETOUR

  POS_CAR(1) = 3842403.1_pm_reel
  POS_CAR(2) = -5057704.6_pm_reel
  POS_CAR(3) = 577780.5_pm_reel

  call mt_car_geoc ( POS_CAR, POS_GEOC, CODE_RETOUR )

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

end program TRAJECTOGRAPHIE

```

Résultats attendus:

POS_GEOC%lat	= .907 10 <sup>-1</sup>
POS_GEOC%long	= .536 10 <sup>+1</sup>
POS_GEOC%dist	= .638 10 <sup>+7</sup>
CODE_RETOUR%valeur	= 0
CODE_RETOUR%routine	= 1050

## Routine *mt\_car\_geod*

### Identification

“Passage des coordonnées **cartésiennes** aux coordonnées **géodésiques**”.

### Rôle

Passage des coordonnées cartésiennes  $(x, y, z)$  dans le repère de référence aux coordonnées géodésiques latitude/longitude/hauteur  $(\phi, \lambda, h)$ .

Le calcul du jacobien de la transformation  $\frac{\partial(\phi, \lambda, h)}{\partial(x, y, z)}$  est optionnel.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_car\_geod* ( pos\_car, r\_equa, apla, pos\_geod, code\_retour [ , jacob ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_car</b>	position en coordonnées cartésiennes $(x, y, z)$ (m)
pm_reel	<b>r_equa</b>	rayon équatorial de l'ellipsoïde $a_e$ (m)
pm_reel	<b>apla</b>	aplatissement de l'ellipsoïde $f$

#### • Sorties obligatoires

tm_geodesique	<b>pos_geod</b>	position en coordonnées géodésiques latitude/longitude/hauteur $(\phi, \lambda, h)$ (rad, m)
---------------	-----------------	--

tm_code_retour	<b>code_retour</b>	
----------------	--------------------	--

#### • Sorties facultatives

pm_reel(3,3)	[ <b>jacob</b> ]	jacobienne de la transformation $\frac{\partial(\phi, \lambda, h)}{\partial(x, y, z)}$
--------------	------------------	--

### Conditions sur les arguments

- Le rayon équatorial de l'ellipsoïde  $a_e$  doit être strictement positif (**mt\_car\_geod** n'effectue pas de contrôle sur cette donnée).
- L'aplatissement de l'ellipsoïde  $f$  est un réel positif ou nul et strictement inférieur à 1 :  $0 \leq f < 1$ .

### Notes d'utilisation

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_geod\_car**.
- Si la latitude géodésique est égale à  $\pm \frac{\pi}{2}$ , alors la longitude  $\lambda$  est indéfinie. Arbitrairement, nous lui donnons la valeur 0 ou  $\pi$  selon que la coordonnée cartésienne  $x$  est positive ou négative. De plus, le jacobien n'est pas calculable.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées géodésiques; R. Epenoy (Cnes); référence MSLIB: M-ST-0-75-CN.

### Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_pos_nul	(-1501) : La norme du vecteur position est proche de 0 .
pm_err_apla_sup1	(-1003) : L'aplatissement (f) est supérieur ou égal à 1.
pm_err_apla_negatif	(-1004) : L'aplatissement (f) est négatif.
pm_err_conv_car_geod	(-1901) : L'algorithme itératif utilisé pour le calcul des coordonnées géodésiques à partir des coordonnées cartésiennes n'a pas réussi à converger vers la bonne solution. Contacter l'assistance utilisateur MSLIB.
pm_warn_pos_Oz_ref	(+1507) : Position sur l'axe Oz du repère de référence. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur de la longitude, et on lui a donné arbitrairement une valeur.
pm_err_jac_non_calc_poles	(- 1510) : La position de référence se situe aux pôles, il en résulte que la jacobienne n'est pas calculable.
pm_err_jac_non_calc_alt_neg	(- 1511) : L'altitude est négative, il en résulte que la jacobienne n'est pas calculable.

<b>Exemple en Fortran 90 portable</b>
---------------------------------------

(voir explications dans le volume 3)

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  real(pm_reel), dimension(3)      :: POS_CAR
  real(pm_reel)                    :: R_EQUA
  real(pm_reel)                    :: APLA
  type(tm_geodesique)              :: POS_GEOD
  type(tm_code_retour)              :: CODE_RETOUR

  ! appel a la routine de la MSLIB permettant d'initialiser
  ! les constantes terrestres du modèle GRS1980
  call mc_GRS1980(CODE_RETOUR, r_equa=R_EQUA, apla = APLA)
  ! en retour de mc_GRS1980 : CODE_RETOUR%valeur = 0

  POS_CAR(1) = R_EQUA
  POS_CAR(2) = 0._pm_reel
  POS_CAR(3) = 0._pm_reel

  call mt_car_geod ( POS_CAR, R_EQUA, APLA, POS_GEOD, CODE_RETOUR)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

POS_GEOD%lat	= 0.
POS_GEOD%long	= 0.
POS_GEOD%haut	= 0.
CODE_RETOUR%valeur	= 0
CODE_RETOUR%routine	= 1048

## Routine *mt\_def\_topo\_N*

### Identification

“**Définition** des cosinus directeurs d’un repère **topocentrique Nord** (convention axe *Ox* vers le Nord)”.

### Rôle

Calcul des cosinus directeurs (  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$  ) du repère topocentrique Nord centré sur un point dont la latitude et la longitude géodésiques ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) sont données.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_def\_topo\_N* ( lat, long, vect\_i, vect\_j, vect\_k, code\_retour )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm_reel	<b>lat</b>	latitude géodésique $\phi$ de l’origine du repère topocentrique Nord (rad)
pm_reel	<b>long</b>	longitude géodésique $\lambda$ de l’origine du repère topocentrique Nord (rad)

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>vect_i</b>	composantes de $\vec{i}$ dans le repère terrestre de référence
pm_reel(3)	<b>vect_j</b>	composantes de $\vec{j}$ dans le repère terrestre de référence
pm_reel(3)	<b>vect_k</b>	composantes de $\vec{k}$ dans le repère terrestre de référence
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

### Conditions sur les arguments

Sans objet.

### Notes d'utilisation

Sans objet.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

### Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm\_OK (0) : Retour normal.

### Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  real(pm_reel)                                :: LAT, LONG
  real(pm_reel), dimension(3)                 :: VECT_I, VECT_J, VECT_K
  real(pm_reel)                                :: PI, PI_SUR2
  type(tm_code_retour)                         :: CODE_RETOUR

  ! appel a la routine de la MSLIB permettant d'initialiser
  ! certaines constantes mathématiques
  call mc_math(CODE_RETOUR, pi = PI, pi_sur2 = PI_SUR2)
  ! en retour de mc_math : CODE_RETOUR%valeur = 0

  LAT = PI_SUR2
  LONG= PI

  call mt_def_topo_N ( LAT, LONG, VECT_I, VECT_J, VECT_K,          &
                      CODE_RETOUR)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE
```



Résultats attendus:

$$\text{VECT\_I} = \begin{bmatrix} 1. \\ 0. \\ 0. \end{bmatrix}$$

$$\text{VECT\_J} = \begin{bmatrix} 0. \\ 1. \\ 0. \end{bmatrix}$$

$$\text{VECT\_K} = \begin{bmatrix} 0. \\ 0. \\ 1. \end{bmatrix}$$

CODE\_RETOUR%valeur = 0  
CODE\_RETOUR%routine = 1052

## Routine *mt\_geoc\_car*

### Identification

“Passage des coordonnées **géocentriques** aux coordonnées **cartésiennes**”.

### Rôle

Passage des coordonnées géocentriques latitude/longitude/distance centre Terre ( $\phi_c, \lambda, d$ ) aux coordonnées cartésiennes ( $x, y, z$ ) dans le repère de référence.

Les calculs de la vitesse ( $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ ) et du jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}$  sont optionnels.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_geoc\_car* ( pos\_geoc, pos\_car, code\_retour [ , vit\_geoc, vit\_car, jacob ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

tm_geocentrique	<b>pos_geoc</b>	position en coordonnées géocentriques latitude/longitude/ distance centre Terre ( $\phi_c, \lambda, d$ ) (rad, m)
-----------------	-----------------	--

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_car</b>	position en coordonnées cartésiennes ( $x, y, z$ ) (m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Entrées facultatives

pm_reel(3)	[ <b>vit_geoc</b> ]	vitesse ( $\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d}$ ) en coordonnées géocentriques (rad.s <sup>-1</sup> , m. s <sup>-1</sup> )
------------	---------------------	--

#### • Sorties facultatives

pm_reel(3)	[ <b>vit_car</b> ]	vitesse ( $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ ) en coordonnées cartésiennes (m. s <sup>-1</sup> )
------------	--------------------	---

pm_reel(6,6)	[ <b>jacob</b> ]	jacobienne de la transformation $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}$
--------------	------------------	---

### Conditions sur les arguments

- La latitude géocentrique  $\phi_c$  est comptée positivement vers le Nord.  
 $\phi_c \in [-\pi/2, +\pi/2]$ .
- La longitude  $\lambda$  est comptée positivement vers l'Est.  
 $\lambda \in [0, 2\pi[$ .
- Aucun test n'est effectué dans la routine sur les entrées.
- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})$  en entrée.
- Le calcul du jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}$  nécessite que la vitesse  $(\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})$  soit donnée en entrée. Cette vitesse est nécessaire pour le calcul des dérivées partielles en  $\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d}$ .

Il est intéressant de noter que:  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\phi_c, \lambda, d)} = 0$  (matrice nulle).

En donnant une vitesse  $(\dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})$  quelconque, seule la partie  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\phi_c, \lambda, d)}$  du

jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(\phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d})}$  sera correcte.

- Le jacobien vaut: .

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^\circ i)}{\partial(\text{parametre } \phi_c, \lambda, d, \dot{\phi}_c, \dot{\lambda}, \dot{d} \text{ n}^\circ j)}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}}{\partial \phi_c}$$

### Notes d'utilisation

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_car\_geoc**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.

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

pm\_OK (0) : Retour normal.

pm\_err\_para\_option (-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.

pm\_warn\_para\_option (+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

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

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  type(tm_geocentrique)          :: POS_GEOC
  real(pm_reel), dimension(3)    :: POS_CAR
  type(tm_code_retour)           :: CODE_RETOUR

  POS_GEOC%lat   = 0.090715_pm_reel
  POS_GEOC%long  = 5.362077_pm_reel
  POS_GEOC%dist  = 6377951.7_pm_reel

  call mt_geoc_car ( POS_GEOC, POS_CAR, CODE_RETOUR)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

POS\_CAR(1) = .384 10<sup>+7</sup>  
POS\_CAR(2) = -.506 10<sup>+7</sup>  
POS\_CAR(3) = .578 10<sup>+6</sup>

CODE\_RETOUR%valeur = 0  
CODE\_RETOUR%routine = 1051

## Routine *mt\_geod\_car*

### Identification

“Passage des coordonnées **géodésiques** aux coordonnées **cartésiennes**”.

### Rôle

Passage des coordonnées géodésiques latitude/longitude/hauteur  $(\phi, \lambda, h)$  aux coordonnées cartésiennes  $(x, y, z)$  dans le repère de référence.

Le calcul du jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\phi, \lambda, h)}$  est optionnel.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_geod\_car* ( pos\_geod, r\_equa, apla, pos\_car, code\_retour [ , jacob ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

tm_geodesique	<b>pos_geod</b>	position en coordonnées géodésiques latitude/longitude/hauteur $(\phi, \lambda, h)$ (rad, m)
pm_reel	<b>r_equa</b>	rayon équatorial de l'ellipsoïde $a_e$ (m)
pm_reel	<b>apla</b>	aplatissement de l'ellipsoïde $f$

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_car</b>	position en coordonnées cartésiennes $(x, y, z)$ (m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Sorties facultatives

pm_reel(3,3)	<b>[ jacob ]</b>	jacobienne de la transformation $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\phi, \lambda, h)}$
--------------	------------------	--

### Conditions sur les arguments

- Le rayon équatorial de l'ellipsoïde  $a_e$  doit être strictement positif (**mt\_geod\_car** n'effectue pas de contrôle sur cette donnée).
- L'aplatissement de l'ellipsoïde  $f$  est un réel positif ou nul et strictement inférieur à 1 :  $0 \leq f < 1$ . (**mt\_geod\_car** ne contrôle pas le signe de  $f$ ).

### Notes d'utilisation

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_car\_geod**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.

### Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm\_OK (0) : Retour normal.  
pm\_err\_apla\_sup1 (-1003) : L'aplatissement (f) est supérieur ou égal à 1.

### Exemple en Fortran 90 portable

(voir explications dans le volume 3)

```
program TRAJECTOGRAPHIE
  use mslib

  type(tm_geodesique)                :: POS_GEOD
  real(pm_reel)                      :: R_EQUA, APLA
  real(pm_reel), dimension(3)        :: POS_CAR
  type(tm_code_retour)                :: CODE_RETOUR

  ! appel a la routine de la MSLIB permettant d'initialiser
  ! les constantes terrestres du modèle GRS1980
  call mc_GRS1980(CODE_RETOUR, r_equa=R_EQUA, apla = APLA)
  ! en retour de mc_GRS1980 : CODE_RETOUR%valeur = 0

  POS_GEOD%lat = 0.852479_pm_reel
  POS_GEOD%long = 0.042315_pm_reel
  POS_GEOD%haut = 111.6_pm_reel
```

```
call mt_geod_car ( POS_GEOD, R_EQUA, APLA, POS_CAR, CODE_RETOUR)
```

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

```
end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

POS\_CAR(1) = .420 10<sup>+7</sup>

POS\_CAR(2) = .178 10<sup>+6</sup>

POS\_CAR(3) = .478 10<sup>+7</sup>

CODE\_RETOUR%valeur = 0

CODE\_RETOUR%routine = 1049

## Routine *mt\_iner\_ref*

### Identification

“Passage d’un repère géocentrique **inertiel** lié à un mobile (du type «H0-9») au repère terrestre de **référence**”.

### Rôle

Calcul de la position  $(x, y, z)_{Tref}$  en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence à partir de la position  $(x, y, z)_{iner}$  dans un repère géocentrique inertiel lié à un mobile (du type «H0-9»).

La vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  et le jacobien  $\frac{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}}$  sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_iner\_ref* ( vit\_rot, long, sec, pos\_iner, pos\_ref, code\_retour [ , vit\_iner, vit\_ref, jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm_reel	<b>vit_rot</b>	vitesse de rotation de la Terre $\omega_T$ (rad.s <sup>-1</sup> )
pm_reel	<b>long</b>	longitude $\lambda$ de l’axe Ox du repère inertiel à la date t0 (rad)
pm_reel	<b>sec</b>	nombre <i>sec</i> de secondes écoulées depuis la date t0
pm_reel(3)	<b>pos_iner</b>	position $(x, y, z)_{iner}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère inertiel (m)

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_ref</b>	position $(x, y, z)_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence (m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Entrées facultatives

pm_reel(3)	<b>[vit_iner]</b>	vitesse $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère inertiel (m. s <sup>-1</sup> )
------------	-------------------	--



• Sorties facultatives

pm\_reel(3)            [ **vit\_ref** ]            vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence ( $m.s^{-1}$ )

pm\_reel(6,6)            [ **jacob** ]            jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}}$  de la transformation

**Conditions sur les arguments**

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  dans le repère terrestre de référence nécessite la donnée en entrée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}$  dans le repère inertiel.
- Le nombre de secondes *sec* doit être positif ou nul (**mt\_iner\_ref** ne le contrôle pas).
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut: .

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ} i)_{Tref}}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ} j)_{iner}}$$

Exemple

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}_{Tref}}{\partial x_{iner}}$$

**Notes d'utilisation**

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_ref\_iner**.

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

<b>Code retour</b>
--------------------

 (voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

<b>Exemple en Fortran 90 portable</b>
---------------------------------------

 (voir explications dans le volume 3)

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  real(pm_reel)                                :: VIT_ROT, LONG, SEC
  real(pm_reel), dimension(3)                  :: POS_INER, POS_REF
  type(tm_code_retour)                         :: CODE_RETOUR
  real(pm_reel), dimension(3)                  :: VIT_INER, VIT_REF
  real(pm_reel), dimension(6,6)                :: JACOB

  VIT_ROT = 7.29211514670520370370370e-5_pm_reel

  ! appel a la routine de la MSLIB permettant d'initialiser
  ! certaines constantes mathématiques
  call mc_math(CODE_RETOUR, deg_rad = DEG_RAD)
  ! en retour de mc_math : CODE_RETOUR%valeur = 0

  LONG = -52._pm_reel * DEG_RAD
  RSEC = 30._pm_reel

  POS_INER(1) = -232919.310_pm_reel
  POS_INER(2) = 6277594.825_pm_reel
  POS_INER(3) = 1100306.638_pm_reel

  VIT_INER(1) = -391.341_pm_reel
  VIT_INER(2) = 80.554_pm_reel
  VIT_INER(3) = 37.061_pm_reel
```

```
call mt_iner_ref ( VIT_ROT, LONG, SEC, POS_INER, POS_REF,      &
                  CODE_RETOUR, vit_iner = VIT_INER,          &
                  vit_ref = VIT_REF, jacob = JACOB)
```

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

```
end program TRAJECTOGRAPHIE
```

#### Résultats attendus:

```
POS_REF(1)  = .481 10+7
POS_REF(2)  = .404 10+7
POS_REF(3)  = .110 10+7
```

```
VIT_REF(1)  = .118 10+3
VIT_REF(2)  = .745 10+1
VIT_REF(3)  = .371 10+2
```

$$JACOB = \begin{bmatrix} 0.614 & 0.789 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -0.789 & 0.614 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -0.576 \cdot 10^{-4} & 0.448 \cdot 10^{-4} & 0.000 & 0.614 & 0.789 & 0.000 \\ -0.448 \cdot 10^{-4} & -0.576 \cdot 10^{-4} & 0.000 & -0.789 & 0.614 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

```
CODE_RETOUR%valeur  = 0
CODE_RETOUR%routine  = 1056
```

## Routine *mt\_ref\_iner*

### Identification

“Passage du repère terrestre de **réf**érence à un repère géocentrique **in**ertiel lié à un mobile (du type «H0-9»)”.

### Rôle

Calcul de la position  $(x, y, z)_{iner}$  en coordonnées cartésiennes dans le repère géocentrique inertiel lié à un mobile (du type «H0-9») à partir de la position  $(x, y, z)_{Tref}$  dans un repère terrestre de référence.

La vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}$  et le jacobien  $\frac{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}}{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}$  sont calculés en option.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_ref\_iner* ( vit\_rot, long, sec, pos\_ref, pos\_iner, code\_retour [ , vit\_ref , vit\_iner, jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm_reel	<b>vit_rot</b>	vitesse de rotation de la Terre $\omega_T$ (rad. s <sup>-1</sup> )
pm_reel	<b>long</b>	longitude $\lambda$ de l'axe $Ox$ du repère inertiel à la date t0 (rad)
pm_reel	<b>sec</b>	nombre <i>sec</i> de secondes écoulées depuis la date t0
pm_reel(3)	<b>pos_ref</b>	position $(x, y, z)_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence (m)

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_iner</b>	position $(x, y, z)_{iner}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère inertiel (m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Entrées facultatives

pm_reel(3)	[ <b>vit_ref</b> ]	vitesse $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence (m. s <sup>-1</sup> )
------------	--------------------	--

• Sorties facultatives

pm\_reel(3)            **[vit\_iner]**            vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}$  en coordonnées cartésiennes dans le repère inertiel ( $m.s^{-1}$ )

pm\_reel(6,6)            **[ jacob ]**            jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}$  de la transformation

**Conditions sur les arguments**

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{iner}$  dans le repère inertiel nécessite la donnée en entrée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  dans le repère terrestre de référence.
- Le nombre de secondes *sec* doit être positif ou nul (**mt\_ref\_iner** ne le contrôle pas).

**Notes d'utilisation**

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_iner\_ref**.
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^{\circ} i)_{iner}}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^{\circ} j)_{Tref}}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}_{iner}}{\partial x_{Tref}}$$

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

(voir explications dans le volume 3)

pm\_warn\_para\_option (+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

(voir explications dans le volume 3)

```
call mt_ref_iner ( VIT_ROT, LONG, SEC, POS_REF, POS_INER,      &
                  CODE_RETOUR, vit_ref = VIT_REF,             &
                  vit_iner = VIT_INER, jacob = JACOB)
```

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

```
end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

```
POS_INER(1) = -.233 10+6
POS_INER(2) = .628 10+7
POS_INER(3) = .110 10+7
```

```
VIT_INER(1) = -.391 10+3
VIT_INER(2) = .806 10+2
VIT_INER(3) = .371 10+2
```

JACOB =

$$\begin{bmatrix} 0.614 & -0.789 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.789 & 0.614 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -0.576 \cdot 10^{-4} & -0.448 \cdot 10^{-4} & 0.000 & 0.614 & -0.789 & 0.000 \\ 0.448 \cdot 10^{-4} & -0.576 \cdot 10^{-4} & 0.000 & 0.789 & 0.614 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

```
CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1055
```

## Routine *mt\_ref\_topo\_N*

### Identification

“Passage du repère terrestre de **réf**érence à un repère **topo**centrique **N**ord (convention axe *Ox* vers le Nord) ”.

### Rôle

Calcul de la position  $(x, y, z)_{topoN}$  dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord) à partir de la position  $(x, y, z)_{Tref}$  dans le repère terrestre de référence.

La vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}$  et le jacobien  $\frac{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}}{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}$  de la transformation sont calculés en option.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_ref\_topo\_N* ( orig\_topo, r\_equa, apla, pos\_ref, pos\_topo, code\_retour [ ,vit\_ref, vit\_topo, &jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

tm_geodesique	<b>orig_topo</b>	position en coordonnées géodésiques latitude/longitude/hauteur ( $\phi, \lambda, h$ ) de l'origine du repère topocentrique Nord (rad, m)
pm_reel	<b>r_equa</b>	rayon équatorial de l'ellipsoïde $a_e$ (m)
pm_reel	<b>apla</b>	aplatissement de l'ellipsoïde $f$
pm_reel(3)	<b>pos_ref</b>	position $(x, y, z)_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence (m)

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_topo</b>	position $(x, y, z)_{topoN}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère topocentrique Nord (m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Entrées facultatives

pm_reel(3)	[ <b>vit_ref</b> ]	vitesse $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence (m. s <sup>-1</sup> )
------------	--------------------	--



• Sorties facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_topo** ]      vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}$  en coordonnées cartésiennes dans le repère topocentrique Nord (m. s<sup>-1</sup>)

pm\_reel(6,6)      [ **jacob** ]      jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}$  de la transformation

**Conditions sur les arguments**

- Le rayon équatorial de l'ellipsoïde  $a_e$  doit être strictement positif (**mt\_ref\_topo\_N** n'effectue pas de contrôle sur cette donnée).
- L'aplatissement de l'ellipsoïde  $f$  est un réel positif ou nul et strictement inférieur à 1 (**mt\_ref\_topo\_N** ne contrôle pas le signe de  $f$ ) :  $0. \leq f < 1$ .
- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}$  dans le repère topocentrique Nord nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  dans le repère terrestre de référence .
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ}i)_{topoN}}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ}j)_{Tref}}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}_{topoN}}{\partial x_{Tref}}$$

**Notes d'utilisation**

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_N\_ref**.

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_apla_supl	(-1003) : L'aplatissement (f) est supérieur ou égal à 1.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

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

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  type(tm_geodesique)                :: ORIG_TOPO
  real(pm_reel), dimension(3)        :: ORIG_TOPO_XYZ
  real(pm_reel)                      :: R_EQUA, APLA
  real(pm_reel), dimension(3)        :: POS_REF, POS_TOPO
  type(tm_code_retour)               :: CODE_RETOUR
  real(pm_reel), dimension(3)        :: VIT_REF, VIT_TOPO
  real(pm_reel), dimension(6,6)      :: JACOB

  ! appel a la routine de la MSLIB permettant d'initialiser
  ! les constantes terrestres du modèle GRS1980
  call mc_GRS1980(CODE_RETOUR, r_equa=R_EQUA, apla = APLA)
  ! en retour de mc_GRS1980 : CODE_RETOUR%valeur = 0

  ! calcul des coordonnees geodesique de l'origine du repere
  ORIG_TOPO_XYZ(1) = 4812231.494_pm_reel
  ORIG_TOPO_XYZ(2) = 4037941.672_pm_reel
  ORIG_TOPO_XYZ(3) = 1100257.225_pm_reel
  call mt_car_geod(ORIG_TOPO_XYZ, R_EQUA, APLA, ORIG_TOPO,      &
                  CODE_RETOUR)
  ! en retour de mt_car_geod : CODE_RETOUR%valeur = 0

  POS_REF(1) = 4812257.737_pm_reel
  POS_REF(2) = 4037898.422_pm_reel
  POS_REF(3) = 1100306.638_pm_reel
```

```
VIT_REF(1) =      117.775_pm_reel
VIT_REF(2) =       7.447_pm_reel
VIT_REF(3) =      37.061_pm_reel
```

```
call mt_ref_topo_N ( ORIG_TOPO, R_EQUA, APLA, POS_REF,      &
                    POS_TOPO, CODE_RETOUR,                &
                    vit_ref = VIT_REF, vit_topo = VIT_TOPO &
                    jacob = JACOB)
```

```
! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
call WRITE_RESULTATS (POS_TOPO, VIT_TOPO, JACOB, CODE_RETOUR)
end program TRAJECTOGRAPHIE
```

#### Résultats attendus:

```
POS_TOPO(1) = .500 10+2
POS_TOPO(2) = .500 10+2
POS_TOPO(3) = .100 10+1
```

```
VIT_TOPO(1) = .200 10+2
VIT_TOPO(2) = .700 10+2
VIT_TOPO(3) = .100 10+3
```

$$JACOB = \begin{bmatrix} -0.133 & -0.112 & 0.985 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.643 & -0.766 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.754 & 0.633 & 0.174 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & -0.133 & -0.112 & 0.985 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.643 & -0.766 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.754 & 0.633 & 0.174 \end{bmatrix}$$

```
CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1053
```

## Routine *mt\_topo\_E\_car\_sgd*

### Identification

“Dans un repère **topocentrique Est** (convention axe *Ox* vers l’Est), passage des coordonnées **cartésiennes** aux coordonnées **site/gisement/distance**”.

### Rôle

Dans un repère topocentrique Est (convention axe *Ox* vers l’Est), passage de la position en coordonnées cartésiennes (*x, y, z*) à la position en coordonnées site/gisement/distance (*s, g, d*) .

Le calcul de la vitesse (*ṡ, ġ, ḋ*) et du jacobien  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  de la transformation sont en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_E\_car\_sgd* ( *pos\_car*, *pos\_sgd*, *code\_retour* [ , *vit\_car*, *vit\_sgd*, *jacob* ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

<i>pm_reel</i> (3)	<b><i>pos_car</i></b>	Position dans le repère topocentrique Est en coordonnées cartésiennes ( <i>x, y, z</i> ) (m).
--------------------	-----------------------	---

#### • Sorties obligatoires

<i>tm_sgd</i>	<b><i>pos_sgd</i></b>	Position dans le repère topocentrique Est en coordonnées site/gisement/distance ( <i>s, g, d</i> ) (rad,m).
---------------	-----------------------	---

<i>tm_code_retour</i>	<b><i>code_retour</i></b>	
-----------------------	---------------------------	--

#### • Entrées facultatives

<i>pm_reel</i> (3)	<b>[ <i>vit_car</i> ]</b>	Vitesse dans le repère topocentrique Est en coordonnées cartésiennes ( <i>ẋ, ẏ, ż</i> ) (m.s <sup>-1</sup> ).
--------------------	---------------------------	--

#### • Sorties facultatives

<i>tm_sgd</i>	<b>[ <i>vit_sgd</i> ]</b>	Vitesse dans le repère topocentrique Est en coordonnées site/gisement/distance ( <i>ṡ, ġ, ḋ</i> ) (rad.s <sup>-1</sup> ,m.s <sup>-1</sup> ).
---------------	---------------------------	---

<i>pm_reel</i> (6,6)	<b>[ <i>jacob</i> ]</b>	Jacobien de la transformation $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$
----------------------	-------------------------	---

### Conditions sur les arguments

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})$  nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  en entrée.
- Le calcul du jacobien  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  nécessite que la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  soit donnée en entrée. Cette vitesse est nécessaire pour le calcul des dérivées partielles en  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ .  
Il est intéressant de noter que:  $\frac{\partial(s, g, d)}{\partial(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})} = 0$  (matrice nulle). En donnant une vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  quelconque, seule la partie  $\frac{\partial(s, g, d)}{\partial(x, y, z)}$  du jacobien  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  sera correcte.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ n}^{\circ} i)}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^{\circ} j)}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{s}}{\partial x}$$

### Notes d'utilisation

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_E\_sgd\_car**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm\_OK (0) : Retour normal.

pm\_warn\_pos\_Oz\_topo (+1504) : Position sur l'axe Oz du repère topocentrique. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur du gisement, et on lui a donné arbitrairement la valeur 0.

pm\_err\_pos\_Oz\_topo (-1504) : Position sur l'axe Oz du repère topocentrique. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur du gisement. Les composantes de la vitesse ainsi que la jacobienne ne sont pas définies.

pm\_err\_pos\_orig\_topo (-1505) : La position est confondue avec l'origine du repère topocentrique.

pm\_err\_para\_option (-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.

pm\_warn\_para\_option (+1801) : Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

**Exemple en Fortran 90 portable**

(voir explications dans le volume 3)

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  real(pm_reel), dimension(3)      :: POS_CAR, VIT_CAR
  type(tm_sgd)                     :: POS_SGD, VIT_SGD
  type(tm_code_retour)              :: CODE_RETOUR
  real(pm_reel), dimension(6,6)    :: JACOB

  POS_CAR(1) = 65._pm_reel
  POS_CAR(2) = 100._pm_reel
  POS_CAR(3) = 35._pm_reel

  VIT_CAR(1) = 86._pm_reel
  VIT_CAR(2) = -23._pm_reel
  VIT_CAR(3) = 12._pm_reel

  call mt_topo_E_car_sgd (POS_CAR, POS_SGD, CODE_RETOUR,      &
                        vit_car = VIT_CAR, vit_sgd = VIT_SGD, &
                        jacob = JACOB)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

POS\_SGD%s = .285  
POS\_SGD%g = .576

POS\_SGD%d = .124 10<sup>+3</sup>

VIT\_SGD%s = .301 10<sup>-1</sup>

VIT\_SGD%g = .710

VIT\_SGD%d = .298 10<sup>+2</sup>

JACOB =

$$\begin{bmatrix} -0.123 \cdot 10^{-2} & -0.190 \cdot 10^{-2} & 0.772 \cdot 10^{-2} & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.703 \cdot 10^{-2} & -0.457 \cdot 10^{-2} & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.523 & 0.805 & 0.282 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -0.118 \cdot 10^{-2} & 0.114 \cdot 10^{-2} & -0.192 \cdot 10^{-2} & -0.123 \cdot 10^{-2} & -0.190 \cdot 10^{-2} & 0.772 \cdot 10^{-2} \\ -0.487 \cdot 10^{-2} & -0.393 \cdot 10^{-2} & 0.000 & 0.703 \cdot 10^{-2} & -0.457 \cdot 10^{-2} & 0.000 \\ 0.566 & -0.378 & 0.289 \cdot 10^{-1} & 0.523 & 0.805 & 0.282 \end{bmatrix}$$

CODE\_RETOUR%valeur = 0

CODE\_RETOUR%routine = 1003

## Routine *mt\_topo\_E\_sgd\_car*

### Identification

“Dans un repère **topocentrique Est** (convention axe *Ox* vers l’Est), passage des coordonnées **site/gisement/distance** aux coordonnées **cartésiennes**”.

### Rôle

Calcul de la position en coordonnées cartésiennes (*x, y, z*) à partir de la position en coordonnées site/gisement/ distance (*s, g, d*) dans un repère topocentrique Est.

La vitesse ( $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ ) et le jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$  de la transformation sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_E\_sgd\_car* ( *pos\_sgd*, *pos\_car*, *code\_retour* [ , *vit\_sgd*, *vit\_car*, *jacob*] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

<i>tm_sgd</i>	<b>pos_sgd</b>	Position dans le repère topocentrique Est en coordonnées site/gisement/distance ( <i>s, g, d</i> ) (rad,m).
---------------	----------------	---

#### • Sorties obligatoires

<i>pm_reel</i> (3)	<b>pos_car</b>	Position dans le repère topocentrique Est en coordonnées cartésiennes ( <i>x, y, z</i> ) (m).
--------------------	----------------	---

<i>tm_code_retour</i>	<b>code_retour</b>	
-----------------------	--------------------	--

#### • Entrées facultatives

<i>tm_sgd</i>	[ <b>vit_sgd</b> ]	Vitesse dans le repère topocentrique Est en coordonnées site/gisement/distance ( $\dot{s}, \dot{g}, \dot{d}$ ) (rad.s <sup>-1</sup> ,m.s <sup>-1</sup> ).
---------------	--------------------	---



• Sorties facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_car** ]      Vitesse dans le repère topocentrique Est en coordonnées cartésiennes ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) ( $\text{m.s}^{-1}$ ).

pm\_reel(6,6)      [ **jacob** ]      Jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$

**Conditions sur les arguments**

- Le calcul de la vitesse ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) nécessite la donnée de la vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ ) en entrée.
- Le calcul du jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$  nécessite que la vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ ) soit donnée en entrée. Cette vitesse est nécessaire pour le calcul des dérivées partielles en  $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ .

Il est intéressant de noter que:  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})} = 0$  (matrice nulle). En donnant une vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ )

quelconque, seule la partie  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(s, g, d)}$  du jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$  sera correcte.

- Le jacobien vaut: .

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^{\circ} i)}{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ n}^{\circ} j)}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}}{\partial s}$$

**Notes d'utilisation**

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_E\_car\_sgd**.

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm\_OK (0) : Retour normal.

pm\_err\_para\_option (-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.

pm\_warn\_para\_option (+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

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

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  type(tm_sgd)                :: POS_SGD, VIT_SGD
  real(pm_reel), dimension(3) :: POS_CAR, VIT_CAR
  type(tm_code_retour)        :: CODE_RETOUR
  real(pm_reel), dimension(6,6) :: JACOB

  POS_SGD(1) = 0.285442_pm_reel
  POS_SGD(2) = 0.576375_pm_reel
  POS_SGD(3) = 0.124298e+3_pm_reel

  VIT_SGD(1) = 0.30146e-1_pm_reel
  VIT_SGD(2) = 0.709666_pm_reel
  VIT_SGD(3) = 0.29848e+2_pm_reel

  call mt_topo_E_sgd_car ( POS_SGD, POS_CAR, CODE_RETOUR,      &
                          vit_sgd = VIT_SGD, vit_car = VIT_CAR, jacob = JACOB)

  ! appel a la routine utilisateur d'ecriture des resultats
  call WRITE_RESULTATS (POS_CAR, VIT_CAR, JACOB, CODE_RETOUR)
end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

POS\_CAR(1) = 65.  
POS\_CAR(2) = 100.  
POS\_CAR(3) = 35.

VIT\_CAR(1) = 86.  
VIT\_CAR(2) = - 23.  
VIT\_CAR(3) = 12.

JACOB =

$$\begin{bmatrix} -0.191 \cdot 10^2 & 0.100 \cdot 10^3 & 0.523 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -0.293 \cdot 10^2 & -0.650 \cdot 10^2 & 0.805 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.119 \cdot 10^3 & 0.000 & 0.282 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ -0.274 \cdot 10^2 & -0.230 \cdot 10^2 & 0.566 & -0.191 \cdot 10^2 & 0.100 \cdot 10^3 & 0.523 \\ 0.348 \cdot 10^1 & -0.860 \cdot 10^2 & -0.378 & -0.293 \cdot 10^2 & -0.650 \cdot 10^2 & 0.805 \\ 0.276 \cdot 10^2 & 0.000 & 0.289 \cdot 10^{-1} & 0.119 \cdot 10^3 & 0.000 & 0.282 \end{bmatrix}$$

CODE\_RETOUR%valeur = 0  
CODE\_RETOUR%routine = 1061

## Routine *mt\_topo\_N\_car\_sgd*

### Identification

“Dans un repère **topocentrique Nord** (convention axe *Ox* vers le Nord), passage des coordonnées **cartésiennes** aux coordonnées **site/gisement/distance**”.

### Rôle

Dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord), passage de la position en coordonnées cartésiennes (*x, y, z*) à la position en coordonnées site/gisement/distance (*s, g, d*) .

Les calculs de la vitesse ( $\dot{s}, \dot{g}, \dot{d}$ ) et du jacobien de la transformation  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  sont en option.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_N\_car\_sgd* ( *pos\_car*, *pos\_sgd*, *code\_retour* [ , *vit\_car*, *vit\_sgd*, *jacob* ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

<i>pm_reel</i> (3)	<b>pos_car</b>	Position dans le repère topocentrique Nord en coordonnées cartésiennes ( <i>x, y, z</i> ) (m)
--------------------	----------------	---

#### • Sorties obligatoires

<i>tm_sgd</i>	<b>pos_sgd</b>	Position dans le repère topocentrique Nord en coordonnées site/gisement/distance ( <i>s, g, d</i> ) (rad,m)
---------------	----------------	---

<i>tm_code_retour</i>	<b>code_retour</b>	
-----------------------	--------------------	--

#### • Entrées facultatives

<i>pm_reel</i> (3)	[ <b>vit_car</b> ]	Vitesse dans le repère topocentrique Nord en coordonnées cartésiennes ( $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ ) (m.s <sup>-1</sup> )
--------------------	--------------------	--

• Sorties facultatives

tm_sgd	[ <b>vit_sgd</b> ]	Vitesse dans le repère topocentrique Nord en coordonnées site/gisement/distance ( $\dot{s}$ , $\dot{g}$ , $\dot{d}$ ) (rad.s <sup>-1</sup> ,m.s <sup>-1</sup> )
pm_reel(6,6)	[ <b>jacob</b> ]	Jacobien de la transformation $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$

**Conditions sur les arguments**

- Le calcul de la vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ ) nécessite la donnée de la vitesse ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) en entrée.
- Le calcul du jacobien  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  nécessite que la vitesse ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) soit donnée en entrée. Cette vitesse est nécessaire pour le calcul des dérivées partielles en  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ .  
Il est intéressant de noter que:  $\frac{\partial(s, g, d)}{\partial(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})} = 0$  (matrice nulle). En donnant une vitesse ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) quelconque, seule la partie  $\frac{\partial(s, g, d)}{\partial(x, y, z)}$  du jacobien  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}$  sera correcte.

- Le jacobien vaut: .

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ } n^{\circ} i)}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ} j)}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{s}}{\partial x}$$

**Notes d'utilisation**

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_N\_sgd\_car**.

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm\_OK (0) : Retour normal.

pm\_warn\_pos\_Oz\_topo (+1504) : Position sur l'axe Oz du repère topocentrique. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur du gisement, et on lui a donné arbitrairement la valeur 0.

pm\_err\_pos\_Oz\_topo (-1504) : Position sur l'axe Oz du repère topocentrique. Il existe donc une infinité de solutions pour la valeur du gisement. Les composantes de la vitesse ainsi que la jacobienne ne sont pas définies.

pm\_err\_pos\_orig\_topo (-1505) : La position est confondue avec l'origine du repère topocentrique.

pm\_err\_para\_option (-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.

pm\_warn\_para\_option (+1801) : Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

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

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  real(pm_reel), dimension(3)      :: POS_CAR, VIT_CAR
  type(tm_sgd)                    :: POS_SGD, VIT_SGD
  type(tm_code_retour)             :: CODE_RETOUT
  real(pm_reel), dimension(6,6)    :: JACOB

  POS_CAR(1) = 100._pm_reel
  POS_CAR(2) = -65._pm_reel
  POS_CAR(3) = 35._pm_reel

  VIT_CAR(1) = -23._pm_reel
  VIT_CAR(2) = -86._pm_reel
  VIT_CAR(3) = 12._pm_reel

  call mt_topo_N_car_sgd (POS_CAR, POS_SGD, CODE_RETOUT,      &
                        vit_car = VIT_CAR, vit_sgd = VIT_SGD, &
                        jacob = JACOB)
```

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

```
end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

```
POS_SGD%s = .285
POS_SGD%g = .571 10+1
POS_SGD%d = .124 10+3
```

```
VIT_SGD%s = .301 10-1
VIT_SGD%g = -.710
VIT_SGD%d = .298 10+2
```

JACOB =

$$\begin{bmatrix} -0.190 \cdot 10^{-2} & 0.123 \cdot 10^{-2} & 0.772 \cdot 10^{-2} & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.457 \cdot 10^{-2} & 0.703 \cdot 10^{-2} & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.805 & -0.523 & 0.282 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.114 \cdot 10^{-2} & 0.118 \cdot 10^{-2} & -0.192 \cdot 10^{-2} & -0.190 \cdot 10^{-2} & 0.123 \cdot 10^{-2} & 0.772 \cdot 10^{-2} \\ 0.393 \cdot 10^{-2} & -0.487 \cdot 10^{-2} & 0.000 & 0.457 \cdot 10^{-2} & 0.703 \cdot 10^{-2} & 0.000 \\ -0.378 & -0.566 & 0.289 \cdot 10^{-1} & 0.805 & -0.523 & 0.282 \end{bmatrix}$$

```
CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1062
```

## Routine *mt\_topo\_N\_ref*

### Identification

“Passage d’un repère **topocentrique Nord** (convention axe  $Ox$  vers le Nord) au repère terrestre de **référence**”.

### Rôle

Calcul de la position  $(x, y, z)_{Tref}$  dans le repère terrestre de référence à partir de la position  $(x, y, z)_{topoN}$  dans un repère topocentrique Nord (convention axe  $Ox$  vers le Nord).

La vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  et le jacobien  $\frac{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}{\partial (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}}$  de la transformation sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_N\_ref* ( orig\_topo, r\_equa, apla, pos\_topo, pos\_ref, code\_retour [ , vit\_topo, vit\_ref, & jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

tm_geodesique	<b>orig_topo</b>	position en coordonnées géodésiques latitude/longitude/hauteur $(\phi, \lambda, h)$ de l’origine du repère topocentrique Nord (rad, m)
pm_reel	<b>r_equa</b>	rayon équatorial de l’ellipsoïde $a_e$ (m)
pm_reel	<b>apla</b>	aplatissement de l’ellipsoïde $f$
pm_reel(3)	<b>pos_topo</b>	position $(x, y, z)_{topoN}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère topocentrique Nord (m)

#### • Sorties obligatoires

pm_reel(3)	<b>pos_ref</b>	position $(x, y, z)_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence (m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Entrées facultatives

pm_reel(3)	<b>[ vit_topo ]</b>	vitesse $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère topocentrique Nord (m.s <sup>-1</sup> )
------------	---------------------	--



• Sorties facultatives

pm_reel(3)	[ vit_ref ]	vitesse $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$ en coordonnées cartésiennes dans le repère terrestre de référence ( $m.s^{-1}$ )
pm_reel(6,6)	[ jacob ]	jacobien $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}}$ de la transformation

**Conditions sur les arguments**

- Le rayon équatorial de l'ellipsoïde  $a_e$  doit être strictement positif (**mt\_topo\_N\_ref** n'effectue pas de contrôle sur cette donnée).
- L'aplatissement de l'ellipsoïde  $f$  est un réel positif ou nul et strictement inférieur à 1. (**mt\_topo\_N\_ref** n'effectue pas de contrôle sur le signe de  $f$ ) :  $0. \leq f < 1$ .
- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{Tref}$  dans le repère terrestre de référence nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_{topoN}$  dans le repère topocentrique Nord.
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ} i)_{Tref}}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ} j)_{topoN}}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}_{Tref}}{\partial x_{topoN}}$$

**Notes d'utilisation**

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_ref\_topo\_N**.

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_apla_sup1	(-1003) : L'aplatissement (f) est supérieur ou égal à 1.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

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

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  type(tm_geodesique)                :: ORIG_TOPO
  real(pm_reel), dimension(3)        :: ORIG_TOPO_XYZ
  real(pm_reel)                      :: R_EQUA, APLA
  real(pm_reel), dimension(3)        :: POS_TOPO, POS_REF
  type(tm_code_retour)               :: CODE_RETOUR
  real(pm_reel), dimension(3)        :: VIT_TOPO, VIT_REF
  real(pm_reel), dimension(6,6)      :: JACOB

  ! appel a la routine de la MSLIB permettant d'initialiser
  ! les constantes terrestres du modèle GRS1980
  call mc_GRS1980(CODE_RETOUR, r_equa=R_EQUA, apla = APLA)
  ! en retour de mc_GRS1980 : CODE_RETOUR%valeur = 0

  ORIG_TOPO_XYZ(1) = 4812231.494_pm_reel
  ORIG_TOPO_XYZ(2) = 4037941.672_pm_reel
  ORIG_TOPO_XYZ(3) = 1100257.225_pm_reel

  ! calcul des coordonnees geodesiques de l'origine du repere
  call mt_car_geod(ORIG_TOPO_XYZ, R_EQUA, APLA, ORIG_TOPO,      &
                  CODE_RETOUR)
  ! en retour de mt_car_geod : CODE_RETOUR%valeur = 0
```

```

POS_TOPO(1)      = 50._pm_reel
POS_TOPO(2)      = 50._pm_reel
POS_TOPO(3)      = 0._pm_reel
VIT_TOPO(1)      = 20._pm_reel
VIT_TOPO(2)      = 70._pm_reel
VIT_TOPO(3)      = 100._pm_reel

```

```

call mt_topo_N_ref ( ORIG_TOPO, R_EQUA, APLA, POS_TOPO,      &
                    POS_REF, CODE_RETOUR,                  &
                    vit_topo = VIT_TOPO, vit_ref = VIT_REF, &
                    jacob = JACOB)

```

```

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

```

end program TRAJECTOGRAPHIE

#### Résultats attendus:

```

POS_REF(1)  = .481 10+7
POS_REF(2)  = .404 10+7
POS_REF(3)  = .110 10+7

```

```

VIT_REF(1)  = .118 10+3
VIT_REF(2)  = .745 10+1
VIT_REF(3)  = .371 10+2

```

$$\text{JACOB} = \begin{bmatrix}
 -0.133 & 0.643 & 0.754 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 -0.112 & -0.766 & 0.633 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.985 & 0.000 & 0.174 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & -0.133 & 0.643 & 0.754 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & -0.112 & -0.766 & 0.633 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.985 & 0.000 & 0.174
 \end{bmatrix}$$

```

CODE_RETOUR%valeur  = 0
CODE_RETOUR%routine  = 1054

```

## Routine *mt\_topo\_N\_sgd\_car*

### Identification

“Dans un repère **topocentrique Nord** (convention axe *Ox* vers le Nord), passage des coordonnées site/gisement/distance aux coordonnées cartésiennes”.

### Rôle

Dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord), passage de la position en coordonnées site/gisement/distance (*s, g, d*) à la position en coordonnées cartésiennes (*x, y, z*).

La vitesse ( $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ ) et le jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$  de la transformation sont calculés en option.

### Séquence d'appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_N\_sgd\_car* ( *pos\_sgd*, *pos\_car*, *code\_retour* [ , *vit\_sgd*, *vit\_car*, *jacob*] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

<i>tm_sgd</i>	<b><i>pos_sgd</i></b>	Position dans le repère topocentrique Nord en coordonnées site/gisement/distance ( <i>s, g, d</i> ) (rad,m)
---------------	-----------------------	---

#### • Sorties obligatoires

<i>pm_reel</i> (3)	<b><i>pos_car</i></b>	Position dans le repère topocentrique Nord en coordonnées cartésiennes ( <i>x, y, z</i> ) (m)
--------------------	-----------------------	---

<i>tm_code_retour</i>	<b><i>code_retour</i></b>	
-----------------------	---------------------------	--

#### • Entrées facultatives

<i>tm_sgd</i>	<b>[ <i>vit_sgd</i> ]</b>	Vitesse dans le repère topocentrique Nord en coordonnées site/gisement/distance ( $\dot{s}, \dot{g}, \dot{d}$ ) (rad.s <sup>-1</sup> ,m.s <sup>-1</sup> )
---------------	---------------------------	---

• Sorties facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_car** ]      Vitesse dans le repère topocentrique Nord en coordonnées cartésiennes ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) ( $\text{m.s}^{-1}$ )

pm\_reel(6,6)      [ **jacob** ]      Jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$

**Conditions sur les arguments**

- Le calcul de la vitesse ( $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ ) nécessite la donnée de la vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ ) en entrée.
- Le calcul du jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$  nécessite que la vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ ) soit donnée en entrée. Cette vitesse est nécessaire pour le calcul des dérivées partielles en  $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ .

Il est intéressant de noter que:  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})} = 0$  (matrice nulle). En donnant une vitesse ( $\dot{s}$ ,  $\dot{g}$ ,  $\dot{d}$ )

quelconque, seule la partie  $\frac{\partial(x, y, z)}{\partial(s, g, d)}$  du jacobien  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})}$  sera correcte.

- Le jacobien vaut: .

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ n}^\circ i)}{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ n}^\circ j)}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}}{\partial s}$$

**Notes d'utilisation**

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_N\_car\_sgd**.

**Références documentaires**

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

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

```
program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  type(tm_sgd)                :: POS_SGD, VIT_SGD
  real(pm_reel), dimension(3) :: POS_CAR, VIT_CAR
  type(tm_code_retour)        :: CODE_RETOUR
  real(pm_reel), dimension(6,6) :: JACOB

  POS_SGD%s = 0.28544_pm_reel
  POS_SGD%g = 5.706810_pm_reel
  POS_SGD%d = 124.298_pm_reel
  VIT_SGD%s = 0.030146_pm_reel
  VIT_SGD%g = -0.709666_pm_reel
  VIT_SGD%d = 29.848_pm_reel

  call mt_topo_N_sgd_car(POS_SGD, POS_CAR, CODE_RETOUR,      &
                        vit_sgd = VIT_SGD, vit_car = VIT_CAR, &
                        jacob = JACOB)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE
```

Résultats attendus:

```
POS_CAR(1) = 100.
POS_CAR(2) = -65.
POS_CAR(3) = 35.
```

VIT\_CAR(1) = -23.  
VIT\_CAR(2) = -86.  
VIT\_CAR(3) = 12.

JACOB =

$$\begin{bmatrix} -0.293 \cdot 10^2 & 0.650 \cdot 10^2 & 0.805 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.191 \cdot 10^2 & 0.100 \cdot 10^3 & -0.523 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.119 \cdot 10^3 & 0.000 & 0.282 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.348 \cdot 10^1 & 0.860 \cdot 10^2 & -0.378 & -0.293 \cdot 10^2 & 0.650 \cdot 10^2 & 0.805 \\ 0.274 \cdot 10^2 & -0.230 \cdot 10^2 & -0.566 & 0.191 \cdot 10^2 & 0.100 \cdot 10^3 & -0.523 \\ 0.276 \cdot 10^2 & 0.000 & 0.289 \cdot 10^{-1} & 0.119 \cdot 10^3 & 0.000 & 0.282 \end{bmatrix}$$

CODE\_RETOUR%valeur = 0  
CODE\_RETOUR%routine = 1063

## Routine *mt\_topo\_car\_E\_N*

### Identification

“Passage d’un repère **topocentrique Est** (convention axe *Ox* vers l’Est) au repère topocentrique **Nord** associé (convention axe *Ox* vers le Nord) en coordonnées **cartésiennes**”.

### Rôle

Calcul de la position  $(x, y, z)_N$  en coordonnées cartésiennes dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord) à partir de la position  $(x, y, z)_E$  en coordonnées cartésiennes dans un repère topocentrique Est (convention axe *Ox* vers l’Est).  
La vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N$  et le jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E}$  sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_car\_E\_N* ( pos\_E, pos\_N, code\_retour [ , vit\_E, vit\_N, jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm\_reel(3)      **pos\_E**      position  $(x, y, z)_E$  dans le repère topocentrique Est (m)

#### • Sorties obligatoires

pm\_reel(3)      **pos\_N**      position  $(x, y, z)_N$  dans le repère topocentrique Nord (m)  
tm\_code\_retour      **code\_retour**

#### • Entrées facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_E** ]      vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E$  dans le repère topocentrique Est (m. s<sup>-1</sup>)

#### • Sorties facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_N** ]      vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N$  dans le repère topocentrique Nord (m. s<sup>-1</sup>)

pm\_reel(6,6)      [ **jacob** ]      Jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E}$



### Conditions sur les arguments

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N$  dans le repère topocentrique Nord nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E$  dans le repère topocentrique Est.
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ}i)_N}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ}j)_E}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}_N}{\partial x_E}$$

### Notes d'utilisation

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_car\_N\_E**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

**Exemple en Fortran 90 portable**

(voir explications dans le volume 3)

```

program TRAJECTOGRAPHIE
  use mslib

  real(pm_reel), dimension(3)      :: POS_E, POS_N, VIT_E, VIT_N
  real(pm_reel), dimension(6,6)    :: JACOB
  type(tm_code_retour)              :: CODE_RETOUR

  POS_E(1) = 806._pm_reel
  POS_E(2) = 155._pm_reel
  POS_E(3) = 1300._pm_reel
  VIT_E(1) = -200._pm_reel
  VIT_E(2) = -180._pm_reel
  VIT_E(3) = -400._pm_reel

  call mt_topo_car_E_N ( POS_E, POS_N, CODE_RETOUR,          &
                        vit_e = VIT_E, vit_n = VIT_N, jacob = JACOB)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE

```

Résultats attendus:

```

POS_N(1)   = 155.
POS_N(2)   = -806.
POS_N(3)   = 1300.
VIT_N(1)   = -180.
VIT_N(2)   = -200.
VIT_N(3)   = -400.

```

JACOB =

$$\begin{bmatrix}
 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 -1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & -1.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000
 \end{bmatrix}$$

```

CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1057

```

## Routine *mt\_topo\_car\_N\_E*

### Identification

“Passage d’un repère **topocentrique Nord** (convention axe *Ox* vers le Nord) au repère topocentrique **Est** associé (convention axe *Ox* vers l’Est) en coordonnées **cartésiennes**”.

### Rôle

Calcul de la position  $(x, y, z)_E$  en coordonnées cartésiennes dans un repère topocentrique Est (convention axe *Ox* vers l’Est) à partir de la position  $(x, y, z)_N$  en coordonnées cartésiennes dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord).

La vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E$  et le jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N}$  sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_car\_N\_E* ( pos\_N, pos\_E, code\_retour [ , vit\_N, vit\_E, jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

pm\_reel(3)      **pos\_N**      position  $(x, y, z)_N$  dans le repère topocentrique Nord (m)

#### • Sorties obligatoires

pm\_reel(3)      **pos\_E**      position  $(x, y, z)_E$  dans le repère topocentrique Est (m)

tm\_code\_retour      **code\_retour**

#### • Entrées facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_N** ]      vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N$  dans le repère topocentrique Nord (m. s<sup>-1</sup>)

#### • Sorties facultatives

pm\_reel(3)      [ **vit\_E** ]      vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E$  dans le repère topocentrique Est (m. s<sup>-1</sup>)

pm\_reel(6,6)      [ **jacob** ]      Jacobien de la transformation  $\frac{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E}{\partial(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N}$

### Conditions sur les arguments

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_E$  dans le repère topocentrique Est nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})_N$  dans le repère topocentrique Nord.
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ}i)_E}{\partial(\text{parametre } x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \text{ } n^{\circ}j)_N}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{x}_E}{\partial x_N}$$

### Notes d'utilisation

La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_car\_E\_N**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

**Exemple en Fortran 90 portable**

(voir explications dans le volume 3)

```

program TRAJECTOGRAPHIE
  use mslib

  real(pm_reel), dimension(3)      :: POS_E, POS_N, VIT_E, VIT_N
  real(pm_reel), dimension(6,6)    :: JACOB
  type(tm_code_retour)              :: CODE_RETOUR

  POS_N(1) = 155._pm_reel
  POS_N(2) = -806._pm_reel
  POS_N(3) = 1300._pm_reel
  VIT_N(1) = -180._pm_reel
  VIT_N(2) = 200._pm_reel
  VIT_N(3) = -400._pm_reel

  call mt_topo_car_N_E ( POS_N, POS_E, CODE_RETOUR,          &
                        vit_n = VIT_N, vit_e = VIT_E, jacob = JACOB)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE

```

Résultats attendus:

```

POS_E(1)    = 806.
POS_E(2)    = 155.
POS_E(3)    = 1300.
VIT_E(1)    = -200.
VIT_E(2)    = -180.
VIT_E(3)    = -400.

```

JACOB =

$$\begin{bmatrix}
 0.000 & -1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & -1.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000
 \end{bmatrix}$$

```

CODE_RETOUR%valeur  = 0
CODE_RETOUR%routine  = 1058

```

## Routine *mt\_topo\_sgd\_E\_N*

### Identification

“Passage d’un repère **topocentrique Est** (convention axe *Ox* vers l’Est) au repère topocentrique **Nord** associé (convention axe *Ox* vers le Nord) en coordonnées site/gisement/distance”.

### Rôle

Calcul de la position  $(s, g, d)_N$  en coordonnées site/gisement/distance dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord) à partir de la position  $(s, g, d)_E$  en coordonnées site/gisement/distance dans un repère topocentrique Est (convention axe *Ox* vers l’Est).

La vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N$  et le jacobien de la transformation  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E}$  sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_sgd\_E\_N* ( pos\_E, pos\_N, code\_retour [ , vit\_E, vit\_N, jacob] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

<i>tm_sgd</i>	<b>pos_E</b>	position $(s, g, d)_E$ dans le repère topocentrique Est (rad, m)
---------------	--------------	--

#### • Sorties obligatoires

<i>tm_sgd</i>	<b>pos_N</b>	position $(s, g, d)_N$ dans le repère topocentrique Nord (rad, m)
---------------	--------------	---

<i>tm_code_retour</i>	<b>code_retour</b>
-----------------------	--------------------

#### • Entrées facultatives

<i>tm_sgd</i>	<b>[ vit_E ]</b>	vitesse $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E$ dans le repère topocentrique Est (rad.s <sup>-1</sup> , m. s <sup>-1</sup> )
---------------	------------------	--

#### • Sorties facultatives

<i>tm_sgd</i>	<b>[ vit_N ]</b>	vitesse $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N$ dans le repère topocentrique Nord (rad.s <sup>-1</sup> , m. s <sup>-1</sup> )
---------------	------------------	---

<i>pm_reel(6,6)</i>	<b>[ jacob ]</b>	Jacobien de la transformation $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E}$
---------------------	------------------	---

### Conditions sur les arguments

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N$  dans le repère topocentrique Nord nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E$  dans le repère topocentrique Est.
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ n}^\circ i)_N}{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ n}^\circ j)_E}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{s}_N}{\partial s_E}$$

### Notes d'utilisation

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_sgd\_N\_E**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

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

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

**Exemple en Fortran 90 portable**

(voir explications dans le volume 3)

```

program TRAJECTOGRAPHIE
  use mslib

  type(tm_sgd)                :: POS_E, POS_N, VIT_E, VIT_N
  real(pm_reel), dimension(6,6) :: JACOB
  type(tm_code_retour)        :: CODE_RETOUR

  POS_E%s = -0.588433753525_pm_reel
  POS_E%g =  0.294374853843e+01_pm_reel
  POS_E%d =  0.840991854900e+07_pm_reel
  VIT_E%s =  0.605287165909e-03_pm_reel
  VIT_E%g = -0.477731522856e-04_pm_reel
  VIT_E%d = -0.552325210000e+04_pm_reel

  call mt_topo_sgd_E_N ( POS_E, POS_N, CODE_RETOUR,          &
                        vit_e = VIT_E, vit_n = VIT_N, jacob = JACOB)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE

```

Résultats attendus:

```

POS_N%s      = -.588
POS_N%g      = .334 10+1
POS_N%d      = .841 10+7
VIT_N%s      = .605 10-3
VIT_N%g      = .478 10-4
VIT_N%d      = -.552 10+4

```

JACOB =

$$\begin{bmatrix}
 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & -1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & -1.000 & 0.000 \\
 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000
 \end{bmatrix}$$

```

CODE_RETOUR%valeur = 0
CODE_RETOUR%routine = 1059

```



## Routine *mt\_topo\_sgd\_N\_E*

### Identification

“Passage d’un repère **topocentrique Nord** (convention axe *Ox* vers le Nord) au repère topocentrique **Est** associé (convention axe *Ox* vers l’Est) en coordonnées site/gisement/distance”.

### Rôle

Calcul de la position  $(s, g, d)_E$  en coordonnées site/gisement/distance dans un repère topocentrique Est (convention axe *Ox* vers l’Est) à partir de la position  $(s, g, d)_N$  en coordonnées site/gisement/distance dans un repère topocentrique Nord (convention axe *Ox* vers le Nord).

La vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E$  et le jacobien de la transformation  $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N}$  sont calculés en option.

### Séquence d’appel

(voir explications dans le volume 3)

call *mt\_topo\_sgd\_N\_E* ( pos\_N, pos\_E, code\_retour [ , vit\_N, vit\_E, jacob ] )

### Description des arguments

(voir explications dans le volume 3)

#### • Entrées obligatoires

tm_sgd	<b>pos_N</b>	position $(s, g, d)_N$ dans le repère topocentrique Nord (rad, m)
--------	--------------	---

#### • Sorties obligatoires

tm_sgd	<b>pos_E</b>	position $(s, g, d)_E$ dans le repère topocentrique Est (rad, m)
tm_code_retour	<b>code_retour</b>	

#### • Entrées facultatives

tm_sgd	[ <b>vit_N</b> ]	vitesse $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N$ dans le repère topocentrique Nord (rad.s <sup>-1</sup> , m. s <sup>-1</sup> )
--------	------------------	---

#### • Sorties facultatives

tm_sgd	[ <b>vit_E</b> ]	vitesse $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E$ dans le repère topocentrique Est (rad.s <sup>-1</sup> , m. s <sup>-1</sup> )
--------	------------------	--

pm_reel(6,6)	[ <b>jacob</b> ]	Jacobien de la transformation $\frac{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E}{\partial(s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N}$
--------------	------------------	---

### Conditions sur les arguments

- Le calcul de la vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_E$  dans le repère topocentrique Est nécessite la donnée de la vitesse  $(\dot{s}, \dot{g}, \dot{d})_N$  dans le repère topocentrique Nord.
- Le calcul du jacobien peut s'effectuer sans les positions et sans les vitesses en entrée.
- Le jacobien vaut:

$$jacob(i, j) = \frac{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ } n^{\circ} i)_E}{\partial(\text{parametre } s, g, d, \dot{s}, \dot{g}, \dot{d} \text{ } n^{\circ} j)_N}$$

Exemple:

$$jacob(4, 1) = \frac{\partial \dot{s}_E}{\partial s_N}$$

### Notes d'utilisation

- La transformation inverse peut être effectuée par **mt\_topo\_sgd\_E\_N**.

### Références documentaires

- Algorithmes des routines du thème "changement de variables et de repères pour la Trajectographie" de la MSLIB; G. Prat et B. Revelin (CS SI); référence MSLIB: M-NT-0-98-CIS.
- Trajectographie et changement de repères; E. Le Dé (Cnes); référence MSLIB: M-NT-0-68-CN.

### Code retour

(voir explications dans le volume 3)

pm_OK	(0) : Retour normal.
pm_err_para_option	(-1801) : Compte tenu des sorties optionnelles demandées, il manque des entrées optionnelles.
pm_warn_para_option	(+1801): Manque de cohérence entre les entrées optionnelles fournies et les sorties optionnelles demandées: - soit il manque une ou plusieurs sorties optionnelles compte tenu des entrées optionnelles fournies, - soit une entrée optionnelle a été fournie inutilement. Vérifier votre séquence d'appel.

**Exemple en Fortran 90 portable**

(voir explications dans le volume 3)

```

program TRAJECTOGRAPHIE

  use mslib

  type(tm_sgd)                :: POS_E, POS_N, VIT_E, VIT_N
  real(pm_reel), dimension(6,6) :: JACOB
  type(tm_code_retour)        :: CODE_RETOUR

  POS_N%s =      -0.588433753524584_pm_reel
  POS_N%g =      3.3943676874686_pm_reel
  POS_N%d =      8409918.549_pm_reel
  VIT_N%s =    0.605287165908641e-03_pm_reel
  VIT_N%g =    0.477731522855888e-04_pm_reel
  VIT_N%d =    -5523.2521_pm_reel

  call mt_topo_sgd_N_E ( POS_N, POS_E, CODE_RETOUR,          &
                        vit_n = VIT_N, vit_e = VIT_E, jacob = JACOB)

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

end program TRAJECTOGRAPHIE

```

Résultats attendus:

```

POS_E%s      = -.588
POS_E%g      = .294 10+1
POS_E%d      = .841 10+7
VIT_E%s      = .605 10-3
VIT_E%g      = -.478 10-4
VIT_E%d      = -.552 10+4

```

JACOB =

1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

```

CODE_RETOUR%valeur  = 0
CODE_RETOUR%routine = 1060

```