

# Les projections utilisées dans les modèles à aire limitée **ALADIN, AROME.**

Généralités et description du code

*Jean-Daniel Gril\* - Mai 2009*



Gerard Mercator 1512-1594

## Table des matières

1	INTRODUCTION :	3
2	HISTORIQUE :	3
3	FORMULES et RAPPELS sur les PROJECTIONS UTILISEES :	3
3.1	RAPPELS :	3
3.2	Les Formules:	6
3.3	La « projection » Mercator Rotated Tilted.....	9
4	Le Paquetage « géométrie ».....	10
4.1	La géométrie dans le modèle ALADIN-AROME.....	10
4.2	Conception du paquetage.....	12
4.3	Description des éléments des trois modules du paqtage.....	12
4.3.1	Le module EGGPACK.....	12
I.	Clés du pré-compilateur:.....	12
II.	Modules Externes:.....	12
III.	Modules du paquetage:.....	13
IV.	Paramètres:.....	13
V.	Structures:.....	13
VI.	Fonctions:.....	14
	Fonctions génériques:.....	18
VII.	Procédures:.....	23
4.3.2	Le module EGGMRT:.....	25
I.	Modules Externes:.....	26
II.	Modules du paquetage:.....	26
III.	Fonctions:.....	26
4.3.3	Le module EGGANGLES:.....	30
I.	Modules Externes:.....	30
II.	Structures:.....	30
III.	Fonctions:.....	31
4.3.4	Tableau des « Types »:.....	39
5	Conclusion.....	41

## **1 INTRODUCTION :**

Ce texte est la documentation du paquetage Fortran permettant la gestion de la « géométrie » des modèles à aire limitée ALADIN et AROME. Cette « géométrie » se décompose en la définition d'une projection de la sphère terrestre sur un plan et des fonctions associées assurant le passage d'une représentation à l'autre.

Après un historique de ce nouveau paquetage, nous rappellerons d'abord quelques notions et formules liées aux projections utilisées puis nous décrirons la structure générale du code, ses contraintes et ses objectifs. Les projections décrites ici et disponibles au sein des modèles ci-dessus nommés sont :

- la projection Stéréographique Polaire (en abrégé SP)
- la projection Lambert Conique Conforme (en abrégé LCC)
- la projection Mercator (en abrégé M)
- la projection Mercator Rotated Tilted (en abrégé MRT)

Nous concluons sur les potentialités et les limitations de ce paquetage ainsi que sur l'adaptation du code à d'autres langages.

## **2 HISTORIQUE :**

La « géométrie » dans les domaines à aire limitée ALADIN puis AROME a été ré écrite en 2002 et installée dans le cycle du modèle *al25t1bf.02*. Cette réécriture avait été dictée par diverses constatations :

- le modèle ALADIN était opérationnel depuis déjà suffisamment longtemps pour que toutes les options, liées aux projections, qui avaient été « ouvertes » lors de sa conception (« rotation » du pôle, projections sécantes,...) soient réduites aux cas les plus fréquemment utilisés
- la restructuration des variables liées à la projection et à la définition du domaine, en vue d'en simplifier la création et de minimiser le nombre des erreurs dues à la redondance d'information (ERPK, LAT0, KGIVO, KSTROP,...)
- l'écriture plus structurée (au sens Fortran 90) ainsi qu'une approche objets (attributs et méthodes) ont permis d'éliminer la notion de « COMMON » et de rendre le paquetage complètement externe au modèle, le rendant utilisable en dehors de celui-ci
- la ré-écriture avec des « gardes fous » plus importants ont permis d'écartier certains cas impossibles (domaines à cheval sur la coupure du cône en LCC, choix du pôle de projection,...)
- l'indépendance du code vis à vis de celui du modèle permet son utilisation dans des outils en amont ou en aval du modèle sans avoir recours aux bibliothèques de celui-ci ainsi qu'à une utilisation multi-plateforme (gain de place, portabilité)

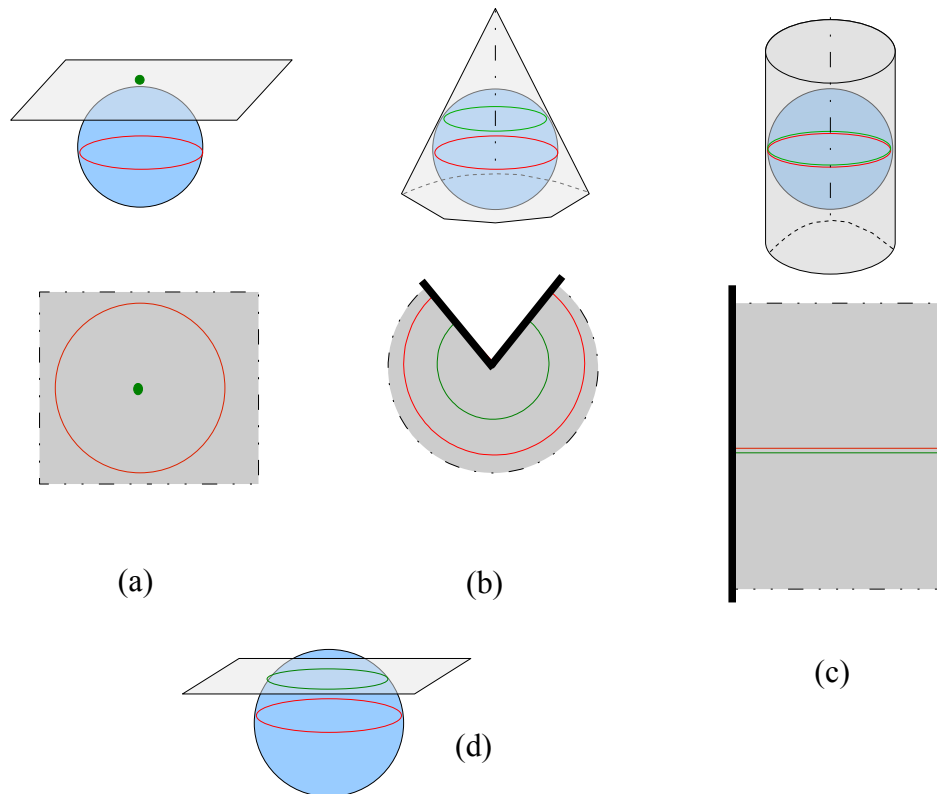
En 2004, pour le cycle *cy29t2\_main.01*, un nouveau type de projection (en fait une généralisation de la projection Mercator) a été ajouté aux premières: c'est la projection MRT ou Mercator oblique.

## **3 FORMULES et RAPPELS sur les PROJECTIONS UTILISEES :**

### **3.1 RAPPELS :**

Les projections de la sphère terrestre sont faites sur un plan (a) ou sur des solides simples (cônes, cylindres) (b,c) qui sont découpés (ligne tireté verticale) puis dépliés sous forme de section du plan (plan moins un secteur angulaire (b), bande plane (c)).

## Les Projections



*Illustration 1: Schémas des projections*

Les plans de projections ci-dessus (*Illustration 1*) sont illimités sur leurs contours en pointillés et finis là où il y a une ligne épaisse noire. La trace rouge représente l'Equateur ou sa projection, la trace verte est le lieu des points de contact entre la sphère et le solide servant de support au plan de projection. Ces lieux de contact sont ceux où le facteur d'échelle est égal à 1.

On appelle *facteur d'échelle* le rapport des distances sur le plan de projection aux mêmes distances sur la sphère. On notera sur les exemples ci-dessus (*Illustration 1*) que dans le cas tangent (a,b,c), le facteur d'échelle est supérieur ou égal à 1; dans le cas sécant (d) il peut être soit inférieur à 1, soit supérieur suivant la position où l'on se trouve par rapport aux lignes d'intersection.

On appelle *cas tangent* les situations où le solide support du plan de projection est tangent (a,b,c) à la sphère. On appelle *cas sécant* celui où le solide intersecte la sphère (d).

Pour la partie projection proprement dite, nous ne parlerons pas de la projection MRT car celle-ci est en effet uniquement une projection Mercator (M) effectuée après avoir amené par rotation la sphère terrestre d'un point de coordonnées  $(\lambda, \varphi)$  au point  $(0,0)$ . C'est la partie Rotated de MRT. La partie Tilted de MRT correspond à une seconde rotation de la sphère autour d'un axe perpendiculaire à celui des pôles passant par le point  $(0,0)$ . La projection de Mercator est donc faite après cette bascule (Rotated) et rotation (Tilted) de la sphère terrestre.

Comme on peut le remarquer dans les schémas en coupe ci-dessous (*Tableau 1*), les différents types de projection existent dans les cas sécants ou tangents.

# Les Projections

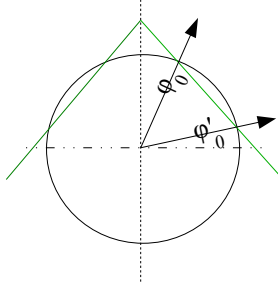
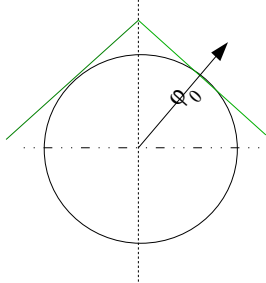
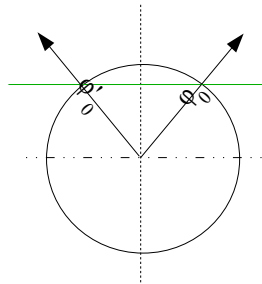
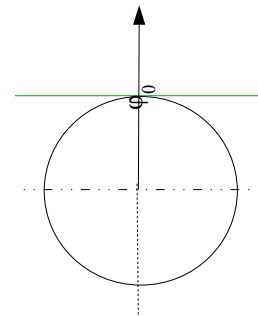
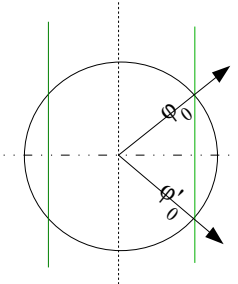
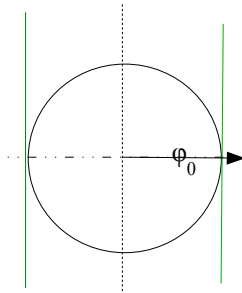
Projections	Sécantes	Tangentes
Lambert Conique Conforme	 $Kl = \frac{\ln\left(\frac{\cos(\varphi_0)}{\cos(\varphi'_0)}\right)}{\ln\left(\frac{\tan(\pi/4 - Pole \cdot \varphi_0/2)}{\tan(\pi/4 - Pole \cdot \varphi'_0/2)}\right)}$	 $Kl = Pole \cdot \sin(\varphi_0)$
Stéréographique Polaire	 $Kl = 1$	 $Kl = 1$
Mercator	 $Kl = 0$	 $Kl = 0$

Tableau 1: Différentes projections

Ceux-ci peuvent être déduits des latitudes où le facteur d'échelle est égal à 1 (lieux des intersections : 2 latitudes  $\varphi_0$  et  $\varphi'_0$ ; lieu de tangence : 2 latitudes confondues  $\varphi_0$ ). En effet si :

- $\left| \frac{\varphi_0 + \varphi'_0}{2} \right| = 90^\circ \rightarrow \text{projection SP}$

## Les Projections

- $\frac{\varphi_0 + \varphi_0'}{2} = 0^\circ \rightarrow \text{projection } M$
- $\left| \frac{\varphi_0 + \varphi_0'}{2} \right| \in ]0^\circ, 90^\circ[ \rightarrow \text{projection } LCC$

Un autre paramètre, qui peut se déduire des 2 latitudes précédentes et qui est présent dans les formules de projection, est le terme Kl (voir tableau ci-dessus pour les formules). On notera que :

- $KL = 1$  pour une projection SP
- $KL = 0$  pour une projection M
- $KL \in ]0,1[$  pour une projection LCC

Deux de ces trois paramètres ( $\varphi_0$ ,  $\varphi_0'$ , Kl) suffisent à définir le type de projection. Dans le cas LCC, il est préférable de connaître  $\varphi_0$  et  $\varphi_0'$  (Kl s'en déduisant facilement) que de connaître Kl et une des deux latitudes ( $\varphi_0$  ou  $\varphi_0'$ ) car alors le calcul de l'autre latitude ( $\varphi_0'$  ou  $\varphi_0$ ) n'est ni évident ni toujours possible. Hélas dans la version initiale du paquetage géométrie du modèle ALADIN, le type de la projection était défini par les termes Kl et  $\varphi_0$ , ce qui pouvait conduire à des blocages<sup>1</sup> dans les logiciels externes au modèle utilisant  $\varphi_0$  et  $\varphi_0'$ . Le terme Kl est le plus souvent un attribut privé du type de projection.

C'est pour éviter ce genre d'ennui, entre autres, qu'un nouveau paquetage de géométrie a été écrit. Dorénavant dans les projections, seules celles en mode tangent seront en usage. La seule donnée de  $\varphi_0$  qualifie donc pleinement la projection:

- $|\varphi_0| = 90^\circ \Rightarrow \text{SP}$
- $|\varphi_0| = 0^\circ \Rightarrow \text{M}$
- $|\varphi_0| \in ]0^\circ, 90^\circ[ \Rightarrow \text{LCC}$

Les paquetages de géométrie servent principalement à passer des coordonnées « longitude, latitude » ( $\lambda, \varphi$ ) sur la sphère aux coordonnées cartésiennes ( $x, y$ ) sur le plan et vice versa. Dans les modèles météorologiques, d'autres paramètres, en plus des valeurs des latitudes et longitudes en chaque point ( $x, y$ ) de la grille du modèle sont intéressants: ce sont le facteur d'échelle et le « compas »<sup>2</sup>. Le paquetage géométrique contient les fonctions permettant ces calculs.

### 3.2 Les Formules:

Le tableau ci-dessous reprend toutes les formules de projection, tant dans le cas général (sécant) que dans le cas particulier (tangent) où  $KL = \sin(\varphi_0)$ .

Dans ces formules, les équations pour les projections SP et LCC sont identiques et ne diffèrent en finale que par la valeur de Kl et/ou  $\varphi_0$ . La formule du facteur d'échelle peut être uniformisée dans les trois projections mais elle sera utilisée dans une version simplifiée en fonction de la projection.

- 
- 1 Voulant faire une projection LCC tangente, je calcule  $KL = \sin(\varphi_0)$  sur une calculatrice (précision  $10^{-6}$ ) pour initialiser les paramètres du modèle. Celui-ci tournant sur un super calculateur (précision  $10^{-15}$ ), cela va définir une projection LCC sécante avec  $\varphi_0$  et  $\varphi_0'$  très proches à cause des différences de précision ( $KL \neq \sin(\varphi_0)$ ). Les programmes tiers utilisent le plus souvent  $\varphi_0$  et  $\varphi_0'$ ; ils essaient, parfois en vain, de recalculer  $\varphi_0'$  à partir de la formule (tableau ci-dessus), c'est la situation de blocage: le modèle a « tourné » mais on ne peut en exploiter les données!
  - 2 Compas: sinus et cosinus de la matrice de rotation entre les axes  $(\vec{u}, \vec{v})$  de la grille modèle et le Nord géographique en chaque point de la grille. Ils servent par exemple, à calculer le vent par rapport au Nord connaissant ses composantes sur la grille  $(\vec{u}, \vec{v})$ .

# Les Projections

	Lambert	Stéréographique Pol.	Mercator
Sécant	$Kl = \frac{\ln \left[ \frac{\cos(\varphi_0)}{\cos(\varphi_0')} \right]}{\ln \left[ \frac{\tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{Pole \cdot \varphi_0}{2} \right)}{\tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{Pole \cdot \varphi_0'}{2} \right)} \right]}$	$Kl = 1, \varphi_0 \neq \pm \frac{\pi}{2}$	$Kl = 0, \varphi_0 \neq \pm \frac{\pi}{2}, \varphi_0 \neq 0$
	$R_{Eq} = \frac{R_T \cdot \cos(\varphi_0)^{(1-Kl)}}{Kl} \cdot [1 + Pole \cdot \sin(\varphi_0)]^{Kl}$		
	$R_\varphi = R_{Eq} \cdot \tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{Pole \cdot \varphi}{2} \right)^{Kl} = R_{Eq} \cdot \left[ \frac{\cos(\varphi)}{1 + Pole \cdot \sin(\varphi)} \right]^{Kl}$ $\Theta_\lambda = Kl \cdot (\lambda - \lambda_0)$		
	$x = R_\varphi \cdot \sin(\Theta_\lambda)$ $y = -Pole \cdot R_\varphi \cdot \cos(\Theta_\lambda)$		$x = R_T \cdot \cos(\varphi_0) \cdot (\lambda - \lambda_0)$ $y = -R_T \cdot \cos(\varphi_0) \cdot \ln \left[ \tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right]$
	$m_\varphi = \left[ \frac{\cos(\varphi_0)}{\cos(\varphi)} \right]^{(1-Kl)} \cdot \left[ \frac{1 + Pole \cdot \sin(\varphi_0)}{1 + Pole \cdot \sin(\varphi)} \right]^{Kl}$		
	$m_\varphi = \frac{Kl \cdot R_\varphi}{R_T \cdot \cos(\varphi)}$	$m_\varphi = \frac{R_\varphi}{R_T \cdot \cos(\varphi)}$	$m_\varphi = \left[ \frac{\cos(\varphi_0)}{\cos(\varphi)} \right]$
Tangent	$Kl = Pole \cdot \sin(\varphi_0)$	$Kl = Pole \cdot \sin(\varphi_0) = 1$ $\varphi_0 = \pm \frac{\pi}{2}$	$Kl = \sin(\varphi_0) = 0$ $\varphi_0 = 0$
	$R_{Eq} = \frac{R_T \cdot \cos(\varphi_0)^{(1-Kl)}}{Kl} \cdot (1 + Kl)^{Kl}$	$R_{Eq} = 2 \cdot R_T$	
	$R_\varphi = R_{Eq} \cdot \left[ \frac{\cos(\varphi)}{1 + Pole \cdot \sin(\varphi)} \right]^{Kl}$ $\Theta_\lambda = Kl \cdot (\lambda - \lambda_0)$	$R_\varphi = R_{Eq} \cdot \left[ \frac{\cos(\varphi)}{1 + Pole \cdot \sin(\varphi)} \right]$ $\Theta_\lambda = (\lambda - \lambda_0)$	
	$x = R_\varphi \cdot \sin(\Theta_\lambda)$ $y = -Pole \cdot R_\varphi \cdot \cos(\Theta_\lambda)$		$x = R_T \cdot (\lambda - \lambda_0)$ $y = -R_T \cdot \ln \left[ \tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right]$
	$m_\varphi = \frac{Kl \cdot R_\varphi}{R_T \cdot \cos(\varphi)}$	$m_\varphi = \frac{2}{1 + Pole \cdot \sin(\varphi)}$	$m_\varphi = \frac{1}{\cos(\varphi)}$

Tableau 2: Formules<sup>3</sup>

3 Les différentes teintes colorées du tableau définissent (de haut en bas) : le calcul de Kl, le calcul intermédiaire des

## Les Projections

Dans les équations des projections LCC et SP, il existe un attribut propre à une projection ( $\varphi_0, KL$ ) donnée, c'est  $R_{eq}$  (Illustration 2): distance de la projection de l'équateur en coordonnées polaires. Les méthodes principales des formules de projection sont le passage de coordonnées géographiques ( $\lambda, \varphi$ ) en coordonnées cartésiennes ( $x, y$ ). pour les projections LCC et SP, cette transformation se fait au travers d'une étape intermédiaire en coordonnées polaires ( $R_\varphi, \theta_\lambda$ )

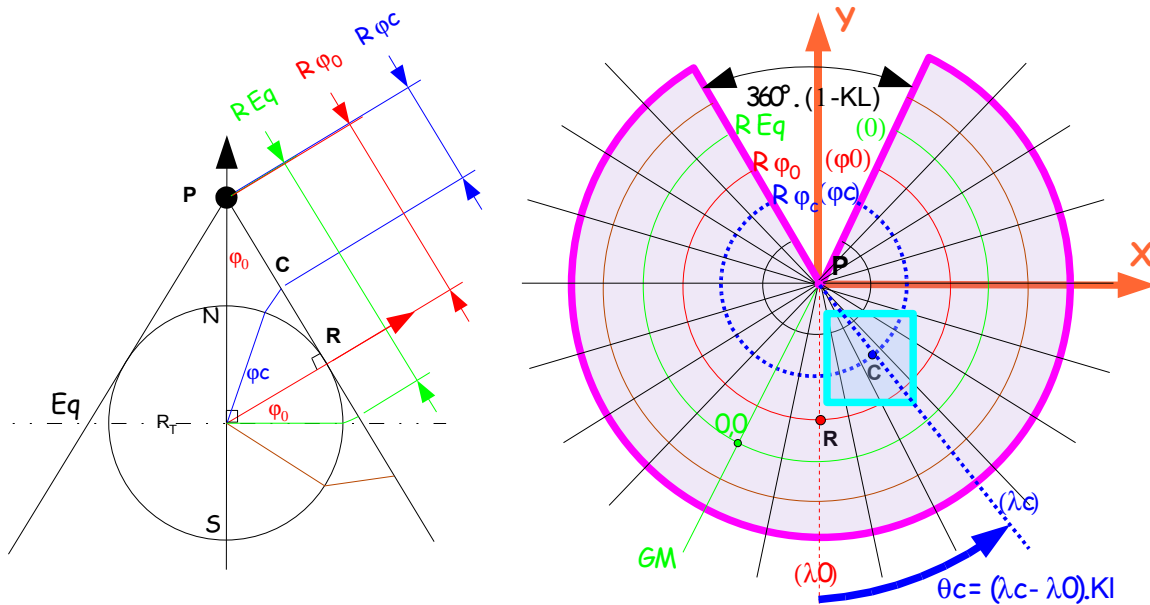


Illustration 2: Correspondances dans le cas Lambert

Deux autres paramètres sont utilisés dans ces formules:

- *Pole*, qui caractérise, en LCC et SP, le pôle appartenant au plan de projection<sup>4</sup>, celui-ci sera choisi en fonction de la latitude de référence  $\varphi_0$ , sa valeur absolue est 1 et son signe celui de la latitude de référence dont le domaine de définition est  $[-90^\circ, 90^\circ]$ . Ce paramètre n'a aucune signification dans la projection Mercator.
- $\lambda_0$  qui, dans les projections LCC et SP, sera le méridien « parallèle » aux bords gauche et droit du domaine. Dans les trois projections il définit l'axe des Y (d'abscisse  $x=0$ ). Le méridien opposé (celui qui forme un grand cercle avec lui) sera le lieu de « découpe » du solide (cylindre ou cône) pour former le plan de projection. Ce paramètre n'est pas fondamental pour la projection mais dans le cas du travail sur un domaine à aire limitée, il permet de donner pour les projections LCC et SP, une notion de rotation du domaine autour de son centre et dans tous les cas d'éviter à la « découpe » d'être à l'intérieur du domaine.

Si la projection SP est une véritable projection centrale de centre le pôle opposé au plan de

---

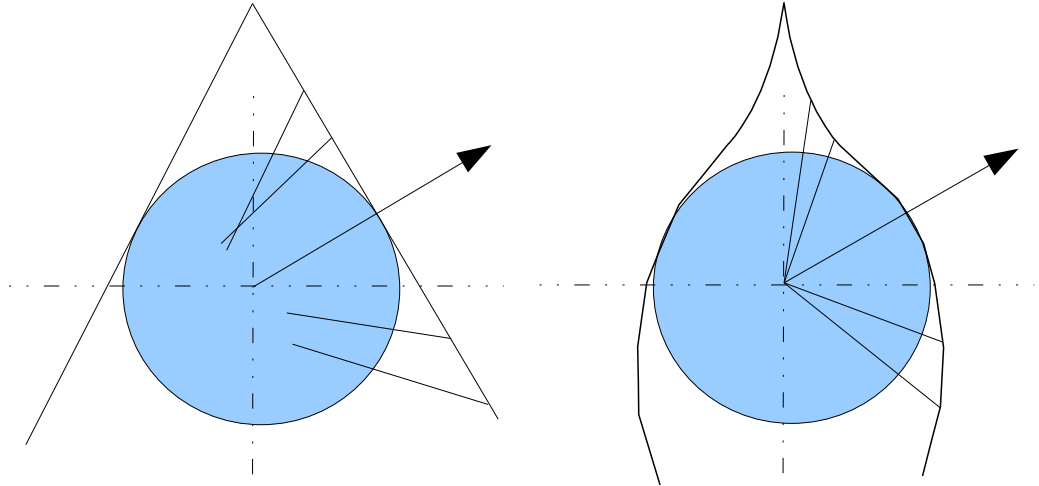
coordonnées polaires ( $R_\varphi, \theta_\lambda$ ) en LCC et SP, celui des coordonnées cartésiennes ( $x, y$ ) et le calcul du facteur d'échelle.

4 Seul le pôle de la sphère tangent au plan (SP) ou du même côté que la pointe du cône (LCC) peut être projeté.



## Les Projections

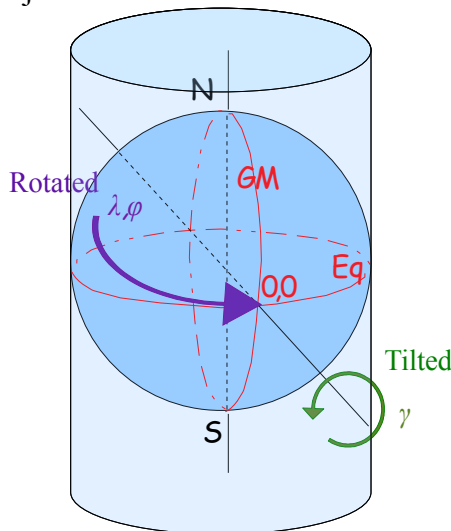
projection<sup>5</sup>, il n'en est pas de même pour les projections LCC et M qui pour être conformes<sup>6</sup>, imposent des contraintes. Par exemple, si on représente la projection LCC classiquement sur un cône, alors elle ne possède pas de centre de projection; si on veut la représenter avec un centre de projection alors le cône à l'aspect d'une flamme de bougie (*Illustration 3*).



*Illustration 3: Centre de la projection LCC ou cône*

### 3.3 La « projection » Mercator Rotated Tilted

Comme décrit précédemment, cette projection n'est autre qu'une projection de Mercator classique après avoir amené le centre d'intérêt au point  $(0,0)$ , intersection de l'Equateur et du méridien de Greenwich (*Illustration 4*). Les paramètres descriptifs de cette projection sont donc identiques à ceux de la projection M.



*Illustration 4: La projection MRT*

Cependant le domaine d'intérêt doit être lui aussi décrit pour spécifier la partie « Rotated »; il le sera par la donnée des coordonnées  $(\lambda, \varphi)$  d'un point le caractérisant<sup>7</sup>, point qui sera amené en  $(0,0)$ . On remarque donc que la partie « Rotated » de la projection MRT est décrite par les coordonnées d'un point.

La partie « Tilted » qui correspond à la rotation (après l'action « Rotated ») de la sphère autour de l'axe  $[(0,0),(180,0)]$ , sera représentée par une valeur angulaire  $\gamma$  orientée dans le sens trigonométrique. Elle permet de réorienter le domaine projeté par rapport à l'axe du cylindre.

On notera que la partie « Rotated » de la projection correspond à ce qui est parfois appelé,

<sup>5</sup> Si la latitude du plan de projection est dans un hémisphère, le centre de projection est le pôle de l'hémisphère opposé.

<sup>6</sup> Conforme : conservation du ratio  $\delta x/\delta y$  entre la sphère et le plan de projection, aussi appelé conservation des angles.

<sup>7</sup> Dans la géométrie des modèles à aire limitée ALADIN-AROME, c'est le centre  $C(\lambda_c, \varphi_c)$  du domaine.

## Les Projections

rotation du pôle de projection<sup>8</sup>. Mais il est ici, plus facile de spécifier le point (et donc la zone) à amener au point (0,0), que de définir la position que doit atteindre le pôle pour caractériser cette rotation.

Les formules décrivant ces deux rotations, « Rotated » et « Tilted », sont explicitées dans la documentation de *Pierre Benard* : New « Rotated/Tilted Mercator » geometry in Aladin (27 Octobre 2004).[PB2004]

## 4 Le Paquetage « géométrie »

### 4.1 La géométrie dans le modèle ALADIN-AROME

La géométrie dans un modèle météorologique consiste à mettre en relation des tableaux informatiques de calcul, d'indices  $x$  et  $y$ , avec des tableaux de données géographiques (domaines): position sur la sphère réelle (longitude, latitude) et de données issues du type de projection (facteur d'échelle, compas).

Les fonctions permettant de passer de l'un à l'autre sont définies par:

- le type projection (L, SP, M, MRT<sup>9</sup>) repéré par le point de référence R de coordonnées  $(\lambda_0, \varphi_0)$

La définition du domaine est, elle, définie par:

- la position du domaine sur la sphère repérée par son centre<sup>10</sup> C de coordonnées  $(\lambda_c, \varphi_c)$
- Le nombre de points du domaine<sup>11</sup> suivant deux axes  $x$  et  $y$  noté  $nbptx$  et  $nbpty$
- Les résolutions<sup>12</sup> sur les axes des  $x$  et des  $y$  seront respectivement notées  $\Delta x$  et  $\Delta y$ .

Définir la géométrie d'un modèle ALADIN-AROME c'est donc définir un domaine et la projection associée permettant la relation entre un tableau « informatique » de points et les caractéristiques géographiques de ceux-ci (voir *illustration 6*).

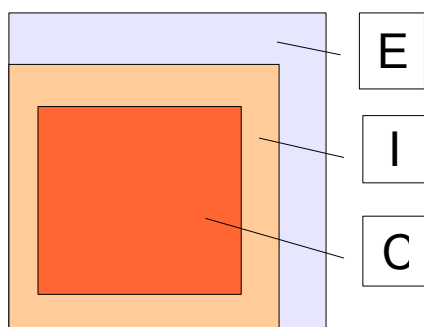


Illustration 5: Les zones C, I, E

Le tableau de travail des modèles ALADIN-AROME est composé de 3 zones: C+I+E (voir *illustration 5*). La zone E est une zone d'extension, purement mathématique, sans aucune validité météorologique. Elle permet la « bi-périodicité » des champs de données suivant les deux axes  $x$  et  $y$  dans le but d'utiliser une représentation spectrale (FFT) de ceux-ci dans les calculs. La taille de ce tableau (C+I+E) est soumise à des contraintes (voir documentation ALADIN) qui limitent le choix de la taille du domaine C+I.

**Quand nous parlerons donc de domaine géographique, celui-ci sera associé aux zones C+I uniquement.**

<sup>8</sup> Dans le modèle ARPEGE, par exemple.

<sup>9</sup> En MRT, le centre C du domaine définit aussi la partie « Rotated ».

<sup>10</sup> On appelle centre du domaine le point milieu du tableau associé au domaine. Le nombre des points de part et d'autre du centre sont identiques sur les deux axes du tableau;

<sup>11</sup> Les domaines à aires limités seront représentés par des tableaux à 2 dimensions d'axes  $(\vec{u}, \vec{v})$ , d'indices respectifs  $x$  et  $y$ , et de tailles respectives  $nbptx$  et  $nbpty$ .

<sup>12</sup> La résolution correspond à la distance entre les points suivant les deux axes dans le plan de projection. Il y a potentiellement deux valeurs à définir, une pour chacun des axes; mais le plus souvent ces valeurs seront identiques, on parlera alors de grille isotrope et on dira « la » résolution du modèle.

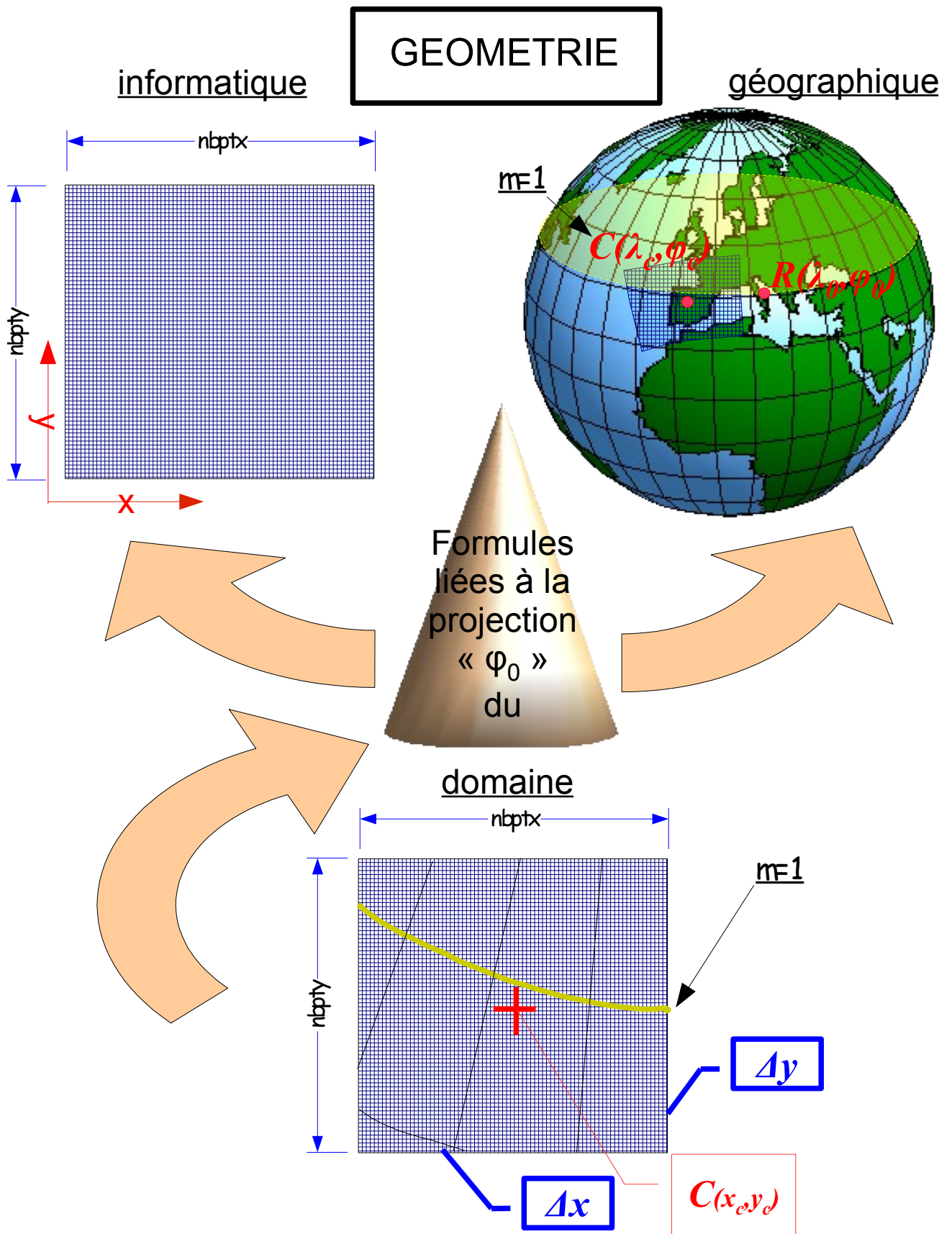


Illustration 6: Relations tableau informatique, domaine, projection

#### 4.2 Conception du paquetage

Dans le paquetage « géométrie » du modèle ALADIN-AROME, le langage informatique utilisé est le Fortran90. L'utilisation des « structures » Fortran90 a permis de rendre possible un semblant de conception orientée objet. Une structure définissant la projection est initialisée en premier (à rapprocher d'un constructeur d'instance de langage objet). Les transformations relatives aux projections sont écrites comme des fonctions utilisant cette structure (à rapprocher des méthodes applicable à cet objet). La structure du code est donc facilement portable vers un vrai langage objet<sup>13</sup>.

Différents autres types Fortran (assimilables à des objets) ont aussi été définis avec leurs fonctions propres (méthodes), par exemple le type LOLA représentant un « géopoint » (**longitude**, **latitude**) et ses fonctions associées du module EGGANGLES.

Initialement le code a été réparti en deux modules:

- EGGANGLES : module annexe contenant diverses fonctions sur les angles ou des fonctions plus propres au paquetage (assimilable à des méthodes « private »).
- EGGPACK : module contenant la définition de la structure relative à la projection, des fonctions descriptives, des fonctions particulières aux projections SP et LCC (correspondantes aux calculs intermédiaires en  $(R, \Theta)$ , voir *tableau 2*), des fonctions générales de passage de coordonnées  $(x,y)$  à  $(\lambda, \varphi)$ , de calcul de facteur d'échelle, de compas. Il contient aussi une routine MAKDO (**make domain**) spécifique au modèle ALADIN-AROME<sup>14</sup>, qui crée les tableaux de latitudes, de longitudes, de facteurs d'échelle, de compas associés à un domaine particulier (zones C+I, voir *illustrations 5 et 6*). Toutes les autres fonctions agissent sur n'importe lequel des points, ou tableau de points (« array » Fortran) de la sphère où la projection est définie.

Lors du choix de l'ajout de la projection MRT, la conception du code a permis d'insérer un module supplémentaire (EGGMRT) contenant les parties « Rotated » et « Tilted ». Les appels aux fonctions d'EGGPACK n'ont pas été modifiés; seul des tests internes ont été ajoutés ainsi qu'une extension de la structure définissant la projection pour contenir de nouveaux attributs<sup>15</sup> (notion objet « héritage »).

#### 4.3 Description des éléments des trois modules du paquetage

##### 4.3.1 Le module EGGPACK

###### I. Clés du pré-compilateur:

Nom	Valeur par défaut	Explication
DEBUG	FALSE	Impression automatique d'informations dans la routine MAKDO

###### II. Modules Externes:

Modules propres au modèle ALADIN-AROME et pouvant être facilement redéfinis pour des utilisations externes:

13 Un objectif prochain est d'écrire une version de ce paquetage en Python.

14 qui pour plus de rigueur pourrait être déportée dans un autre fichier.

15 En particulier les coordonnées du point de départ de la rotation dite « Rotated ».

## Les Projections

Module	Éléments	Type <sup>16</sup>	Description
PARKIND	JPIM	INT	Représentation des entiers
	JPRB	INT	Représentation des réels
YOMHOOK	LHOOK	LOGI	Mise en oeuvre ou non
	DR_HOOK	PROC	Routine traçage

### **III. Modules du paquetage:**

Module	Éléments	Type <sup>16</sup>	Description
EGGANGLES	LOLA	TYPE	Type Géopoint longitude, latitude
	VAL_COORD	FUNC	Validité des coordonnées
	LOLAR	FUNC	Géopoint de degrés en radians
	LOLAD	FUNC	Géopoint de radians en degrés
	ANGLE_DOMAIN	FUNC	Domaine de validité des Géopoint
	DIST_2REF	FUNC	Distance en longitude au point de Référence
EGGMRT	MEROTIL	FUNC	Transformation => « ROTATED-TILTED »
	METILROT	FUNC	Transformation inverse

### **IV. Paramètres:**

Nom	Valeur	Type <sup>16</sup>	Description
R_EARTH	6371229._JPRB	REAL	Rayon Terrestre supposée sphérique

### **V. Structures:**

Nom	Éléments	Type <sup>16</sup>	Description
ERROR	NUM	INT	Index erreur
	TXT	CHAR	Description erreur
PGN	ONX	REAL	Compas sur X
	ONY	REAL	Compas sur Y
NBPTS	ONX	INT	Nombre de points suivant X
	ONY	INT	Nombre de points suivant Y
DELTA	ONX	REAL	Résolution suivant X (en mètres)
	ONY	REAL	Résolution suivant Y (en mètres)
RTETA	R	REAL	Coordonnée polaire radiale (en mètres)
	TETA	REAL	Coordonnée polaire angulaire (en radians)

<sup>16</sup> Voir tableau des types à la fin du chapitre, en 4.3.4.

## Les Projections

XY	X	REAL	Coordonnée cartésienne X (en mètres)
	Y	REAL	Coordonnée cartésienne Y (en mètres)
PARAM_PROJ  (structure caractérisant une projection particulière)	REF_PT	LOLA	Géopoint référence de la projection
	TZO_PT	LOLA	Géopoint à amener en (0,0), MRT unique.
	KL	REAL	Caractéristique de la projection.
	R_EQUATEUR	REAL	Coordonnée radiale de la proj. de l'Equateur
	POLE	REAL	1=N;-1=S Uniquement en LCC et SP
	TYPE_PJ	CHAR	Appartient à S, L, M, W (pour MRT)
DOMI  (Informations sur le domaine projeté suivant les caractéristiques de la projection décrite dans INFO_PROJ)	G_SIZE	NBPTS	Taille du domaine
	CT_COORD	LOLA	Coordonnées du centre
	RF_COORD	LOLA	Coordonnées du point de référence
	SW_COORD	LOLA	Coordonnées du point en bas à gauche
	SE_COORD	LOLA	Coordonnées du point en bas à droite
	NE_COORD	LOLA	Coordonnées du point en haut à droite
	NW_COORD	LOLA	Coordonnées du point en haut à gauche
	MF_CT	REAL	Facteur d'échelle du centre
	MF_RF	REAL	Facteur d'échelle du point de référence
	MF_SW	REAL	Facteur d'échelle du point en bas à gauche
	MF_SE	REAL	Facteur d'échelle du point en bas à droite
	MF_NE	REAL	Facteur d'échelle du point en haut à droite
	MF_NW	REAL	Facteur d'échelle du point en haut à gauche
	INFO_PROJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection

### VI. Fonctions:

Une fonction externe, **ABOR1**(« Texte à afficher avant arrêt ») est utilisée dans le module. Elle peut être remplacée en dehors d'un usage avec le modèle par un « PRINT » suivi d'un « STOP ».

- Fonctions à usage interne:

Ces fonctions sont utilisées en interne par les autres fonctions ou procédures du modules. Elles n'ont pas, en général d'utilité en dehors du module.

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
RETURN_PRINT	LOGICAL	Fonction d'affichage d'erreurs, d'informations, ou d'alertes avec arrêt possible de l'exécution en cas d'erreurs; un type ERROR étant fourni en entrée. Une valeur TRUE est retournée en cas d'erreur, FALSE dans tous les autres cas.
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
YD_CODE_ERR	ERROR	Un entier et un message associé délivrant un niveau de message: <0 : ERROR 0 : OK 1 : INFORMATION >1 : ALERTE
K_NUM_TEST	INT	Numéro de test associé
AUTO_STOP	LOGICAL	Par défaut à TRUE. Si la valeur est TRUE alors ARRET si ERROR%NUM<0. Dans tous les cas il y a affichage.
KOUT	INT	Unité de sortie, par défaut c'est l'unité de sortie standard (6).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
TYPE_PROJ	CHAR	Fonction donnant le type de projection (sous forme d'une lettre L,S,M) en fonction de la latitude du point de référence.
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Coordonnées géographiques en degrés du point de référence.

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
POLE_IS	REAL	Fonction donnant: -1: latitude du point de référence est dans l'hémisphère SUD 1 : latitude du point de référence est dans l'hémisphère NORD 0 : latitude = 0 (mais non utilisée en Mercator)
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Coordonnées géographiques en degrés du point de référence.

- **Fonctions spécifiques aux projections LCC et SP:**

Ces fonctions, propres aux projections LCC et SP, permettent, pour une projection donnée, le passage de coordonnées géographiques ( $\lambda$ ,  $\phi$ ) aux coordonnées polaires ( $R$ ,  $\Theta$ ) et de coordonnées polaires ( $R$ ,  $\Theta$ ) aux coordonnées cartésiennes ( $x$ ,  $y$ ), ainsi que les fonctions inverses.

Elles s'appliquent soit à un point (suffixe **\_S** pour **Scalaire**), soit à un tableau de points à une dimension (suffixe **\_V** pour **Vecteur**). L'orientation de l'axe des  $x$  est d'Ouest en Est, celle de

## Les Projections

l'axe des y, du Sud vers le Nord. L'origine des axes est la projection du pôle de l'hémisphère contenant la latitude de référence. Cette origine est appelée *origine standard (STD)*.  $\Theta$  est l'angle avec  $\lambda_0$  dans le sens trigonométrique (voir *illustration 2*).

La sélection de points (x, y) dans le secteur manquant du plan de projection LCC entraîne l'arrêt en erreur des fonctions STPL\_XY\_TO\_RTETA.

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_LATLON_TO_RTETA_S		RTETA	Passage dans une projection définie par P_PJ, de coordonnées $(\lambda, \varphi)$ vers $(R, \Theta)$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_COORD	LOLA		Coordonnées géographiques en radians d'un géopoint
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_LATLON_TO_RTETA_V		RTETA (:)	Passage dans une projection définie par P_PJ, de coordonnées $(\lambda, \varphi)$ vers $(R, \Theta)$ -Tableau.
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_COORD(:)	LOLA		Coordonnées géographiques en radians d'un tableau de géopoint
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_RTETA_TO_LATLON_S		LOLA	Passage dans une projection définie par P_PJ, de coordonnées $(R, \Theta)$ vers $(\lambda, \varphi)$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_RTETA	RTETA		Point en coordonnées polaires
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)



## Les Projections

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_RTETA_TO_LATLON_V		LOLA (:)	Passage dans une projection définie par P_PJ, d'un tableau de coordonnées (R,Θ) vers (λ,φ).
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_RTETA(:)	RTETA		Tableau de points en coordonnées polaires
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_XY_TO_RTETA_S		RTETA	Passage dans une projection définie par P_PJ, de coordonnées (x,y) vers (R, Θ).
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_XY	XY		Point en coordonnées cartésiennes
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_XY_TO_RTETA_V		RTETA (:)	Passage dans une projection définie par P_PJ, d'un tableau de coordonnées (x,y) vers (R, Θ).
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_XY(:)	XY		Tableau de points en coordonnées cartésiennes
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_RTETA_TO_XY_S		XY	Passage dans une projection définie par P_PJ, de coordonnées (R, Θ) vers (x,y) .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>		Description
PT_RTETA	RTETA		Point en coordonnées polaires
P_PJ	PARAM_PROJ		Caractéristiques de la projection
PI	REAL		Valeur de $\pi$ (optionnel)

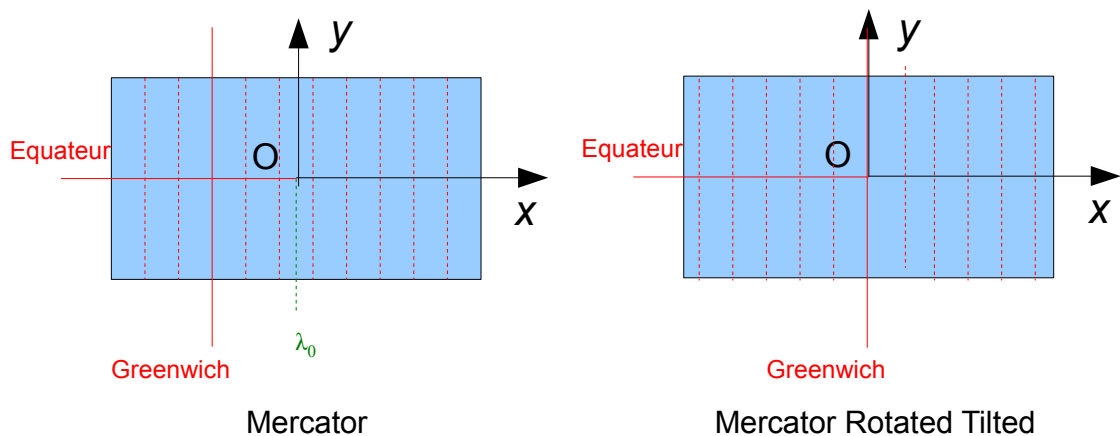
Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
STPL_RTETA_TO_XY_V		XY (:)	Passage dans une projection définie par P_PJ, d'un tableau de coordonnées (R, Θ) vers (x,y).
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description	
PT_RTETA(:)	RTETA	Point en coordonnées polaires	
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection	
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)	

● **Fonctions génériques:**

La première de ces fonction, REF\_DATAS, est le « constructeur » de la structure de type PARAM\_PROJ. Elle doit être appelée primitivement à tout usage des fonctions spécifiques mais surtout génériques, puisque c'est surtout celles-là que nous utiliseront; les fonctions spécifiques précédentes ne servant, par combinaisons, qu'à définir les fonctions génériques de passage de coordonnées (x,y) vers ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) et inversement.

Les fonctions qui attendent des coordonnées géographiques ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ), les attendent en radians dans l'intervalle  $[-\pi, \pi]$  pour les longitudes (négatives à l'Ouest du méridien de Greenwich) et entre  $[-\pi/2, \pi/2]$  du Sud au Nord pour les latitudes.

Ces fonctions travaillent en x et y par rapport a l'origine standard (STD) en projections LCC et SP et sont définies en projection Mercator par le point de référence ( $\lambda_0$ , 0) et en MRT par (0,0). Dans tous les cas les axes sont orientés comme expliqué précédemment (voir *illustration 7*).



*Illustration 7: Origine standard STD en Mercator et Mercator Rotated Tilted*

## Les Projections

Il existe donc des fonctions (et leurs réciproques) de conversions des coordonnées cartésiennes (x,y) par rapport à l'origine standard (**STD**) vers une nouvelle origine (**NEW**) repérée par ses coordonnées géographiques ( $\lambda, \varphi$ ).

Les autres fonctions sont celles du facteur d'échelle et du compas.

Toutes ces fonctions existent pour un géopoint (suffixe **\_S**) ou de tableau de géopoints (suffixe **\_V**). Elles peuvent être appelées à l'aide d'une interface générique de type « MODULE PROCEDURE ».

Dans ces fonctions, les attributs UNIT et DOM (voir *tableau 3*) seront décrits pour les paramètres de type LOLA. Par exemple : degrés dans  $[-180^\circ, 180^\circ[$  ou radians dans  $[0, 2\pi[$ . Pour les attributs DOM on ne précisera que la longitude, la latitude étant toujours dans  $[-90^\circ, 90^\circ]$  ou  $[-\pi/2, \pi/2]$  suivant la valeur de UNIT (degré ou radian).

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
REF_DATAS		PARAM_PROJ	Initialise la structure définissant la projection et est utilisée par les fonctions suivantes.
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description	
REF_COORD	LOLA	Point de référence en degrés dans $[-180^\circ, 180^\circ[$	
RA	REAL	Rayon terrestre en mètres. (optionnel)	
TOZERO_COORD	LOLA	Point à amener en (0,0) en projection MRT en degrés dans $[-180^\circ, 180^\circ[$ . (optionnel)	
LRT	LOGICAL	TRUE si projection MRT, nécessite la présence du paramètre précédent. (optionnel)	

Note : En projection MRT, la valeur de  $\lambda_0$  représente l'angle  $\gamma$  du « TILTED » (voir illustration 4, alinéa 3.3). L'origine des axes cartésiens x et y est dans ce cas toujours en  $(0^\circ, 0^\circ)$ .

Nom		Type <sup>16</sup> de retour	Description
XY_NEW_TO_STD_ORIGIN_S		XY	$(x,y)_{NEW}$ vers $(x,y)_{STD}$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description	
NEW_ORIGIN_COORD	LOLA	Coordonnées géographiques ( $\lambda, \varphi$ ) de l'origine NEW en degrés dans $[-180^\circ, 180^\circ[$	
PT_XY_IN_NEW_ORIGIN	XY	Point en coordonnées cartésiennes (x,y) relativement à l'origine NEW	
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection	
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)	

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
XY_NEW_TO_STD_ORIGIN_V	XY (:)	$(x,y)_{NEW}$ vers $(x,y)_{STD}$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
NEW_ORIGIN_COORD	LOLA	Coordonnées géographiques ( $\lambda$ , $\phi$ ) de l'origine NEW en degrés dans $[-180^\circ, 180^\circ[$
PT_XY_IN_NEW_ORIGIN(:)	XY	Tableau de points en coordonnées cartésiennes (x,y) relativement à l'origine NEW
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
XY_STD_TO_NEW_ORIGIN_S	XY	$(x,y)_{STD}$ vers $(x,y)_{NEW}$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
NEW_ORIGIN_COORD	LOLA	Coordonnées géographiques ( $\lambda$ , $\phi$ ) de l'origine NEW en degrés dans $[-180^\circ, 180^\circ[$
PT_XY_IN_STD_ORIGIN	XY	Point en coordonnées cartésiennes (x,y) relativement à l'origine STD
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
XY_STD_TO_NEW_ORIGIN_V	XY (:)	$(x,y)_{STD}$ vers $(x,y)_{NEW}$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
NEW_ORIGIN_COORD	LOLA	Coordonnées géographiques ( $\lambda$ , $\phi$ ) de l'origine NEW en degrés dans $[-180^\circ, 180^\circ[$
PT_XY_IN_STD_ORIGIN(:)	XY	Tableau de points en coordonnées cartésiennes (x,y) relativement à l'origine STD
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

*Note :* On peut passer d'une origine A vers une origine B par combinaison de deux fonctions inverses STD TO NEW et NEW TO STD:

**PT\_XY\_IN\_B\_ORIGIN** = XY\_STD\_TO\_NEW\_ORIGIN(B\_ORIGIN\_COORD,  
 XY\_NEW\_TO\_STD\_ORIGIN(A\_ORIGIN\_COORD, PT\_XY\_IN\_A\_ORIGIN, P\_PJ, PI)  
 , P\_PJ, PI)

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
LATLON_TO_XY_S	XY	$(\lambda, \varphi)$ vers $(x,y)_{STD}$
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda, \varphi)$ en radians sur $[-\pi, \pi[$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
LATLON_TO_XY_V	XY (:)	$(\lambda, \varphi)$ vers $(x,y)_{STD}$
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoints en coordonnées géographiques $(\lambda, \varphi)$ en radians sur $[-\pi, \pi[$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
XY_TO_LATLON_S	PT_COORD	$(x,y)_{STD}$ vers $(\lambda, \varphi)$ en radians
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_XY	XY	Point en coordonnées cartésiennes $(x,y)$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
XY_TO_LATLON_V	PT_COORD (:)	$(x,y)_{STD}$ vers $(\lambda, \varphi)$ en radians
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_XY(:)	XY	Tableau de points en coordonnées cartésiennes $(x,y)$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

*Note :* Les appels au module EGGMRT ont lieu dans les fonctions précédentes, voir § 4.3.2.

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
MAP_FACTOR_S	REAL	Calcul du facteur d'échelle en $(\lambda, \varphi)$ en radians
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda, \varphi)$ en radians sur $[-\pi, \pi[$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
RA	REAL	Rayon terrestre en mètres. (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
MAP_FACTOR_V	REAL (:)	Calcul du facteur d'échelle en $(\lambda, \varphi)$ en radians
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoints en coordonnées géographiques $(\lambda, \varphi)$ en radians sur $[-\pi, \pi[$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
RA	REAL	Rayon terrestre en mètres. (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
GN_S	PGN	Calcul du compas (Geographic North)
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda, \varphi)$ en radians sur $[-\pi, \pi[$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
GN_V	PGN (:)	Calcul du compas (Geographic North)
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoints en coordonnées géographiques $(\lambda, \varphi)$ en radians sur $[-\pi, \pi[$
P_PJ	PARAM_PROJ	Caractéristiques de la projection

**VII. Procédures:**

● **Procédures d'affichage:**

Ces deux procédures permettent d'afficher les caractéristiques d'un domaine ou d'une projection .

Nom		Description	
INFO_DOMI_PRINT		Affichage des caractéristiques d'un domaine et de la projection associée.	
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Sens	Description
YD_G_INFO	DOMI	I	Structure d'un domaine créée par la routine MAKDO
KOUT	INT	I	Unité de sortie, par défaut c'est l'unité de sortie standard (6).
PI	REAL	I	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom		Description	
INFO_PP_PRINT		Affichage des caractéristiques d'une projection	
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Sens	Description
P_P	PARAM_PROJ	I	Structure d'une projection créée par la fonction REF_DATAS
KOUT	INT	I	Unité de sortie, par défaut c'est l'unité de sortie standard (6).
PI	REAL	I	Valeur de $\pi$ (optionnel)

● **Procédure MAKDO de création d'un domaine ALADIN-AROME:**

Comme nous l'avons vu précédemment, la création d'un domaine de ce type revient à fournir trois tableaux à deux dimensions  $i$  et  $j$ . Le premier indiquera les coordonnées géographiques  $(\lambda, \varphi)$  associées à chaque points de coordonnées indices  $(i, j)$  de la grille du domaine; le deuxième, les facteurs d'échelle en ces points; le troisième, le compas.

Ces coordonnées indices  $(i, j)$  varient respectivement de  $1$  à  $nbptx$  et de  $1$  à  $nbpty$ . Si on appelle  $x_{sw}$ <sup>17</sup> et  $x_{se}$  les coordonnées cartésiennes en  $x$  des points en bas à gauche et en bas à droite du domaine, alors on a<sup>18</sup>  $x_{se} - x_{sw} = (nbptx-1).\Delta x$  où  $\Delta x$  est la résolution suivant l'axe des  $x$ . De même pour l'axe des  $y$  :  $y_{nw} - y_{sw} = (nbpty-1).\Delta y$  où  $y_{nw}$  et  $y_{sw}$  sont les coordonnées cartésiennes suivant l'axe des  $y$ , respectivement des points en haut à gauche et en bas à gauche. On peut aussi écrire les coordonnées cartésiennes  $(x_{ij}, y_{ij})$  d'un point d'indices  $(i, j)$  par :

17 Les quatre coins du domaine sont traditionnellement repérés par les termes SW, SE, NE, NW. Dans le cas de domaines de grande étendue en longitude, cela peut amener à des ambiguïtés. Il convient donc de toujours penser que le coin SW représente en fait la position en Bas à Gauche, le coin SE celle en Bas à Droite, etc.

18 Rappelons que les axes  $x$  et  $y$  sont respectivement orientés de Ouest en Est et du Sud au Nord ce qui donne quelque soit l'origine (STD ou NEW) :  $x_{se} > x_{sw}$  et  $y_{nw} > y_{sw}$

## Les Projections

$$x_{ij} = x_{sw} + (i-1) \cdot \Delta x$$

$$y_{ij} = y_{sw} + (j-1) \cdot \Delta y$$

On notera que les tableaux de sorties sont à deux dimensions (taille de la zone C+I, voir *illustration 5*) et sont utilisés avec les fonctions génériques, dans la routine MAKDO, au sein d'une boucle sur la deuxième dimension pour optimiser la « vectorisation » du code.

Nom	Description		
MAKDO	Création d'un domaine ALADIN-AROME		
Paramètres d'entrée / sortie (dimension i, dimension j)	Type <sup>16</sup>	Sens	Description
YD_REF_COORD	LOLA	IO	Coordonnées géographiques du point de référence en degrés dans [-180°,180°[
YD_CENTER_COORD	LOLA	IO	Coordonnées géographiques du centre du domaine en degrés dans [-180°,180°[
YD_PDEL	DELTA	I	Résolutions en mètres
YD_NB_PTS	NBPTS	I	Nombres de points en x et y
YD_GRID_COORD (YD_NB_PTS%ONX,YD_NB_PTS%ONY)	LOLA	O	Coordonnées géographiques des points d'indices (i, j) en radians dans [0°,360°[
P_GRID_MF (YD_NB_PTS%ONX,YD_NB_PTS%ONY)	REAL	O	Facteur d'échelle des points d'indices (i, j)
YD_GRID_PGN (YD_NB_PTS%ONX,YD_NB_PTS%ONY)	PGN	O	Compas des points d'indices (i, j)
YD_GRID_INFO	DOMI	O	Informations sur le domaine <sup>19</sup>
YD_ERR_CODE	ERROR	O	Code d'erreur rapporté
LD_LIP	LOGICAL	I	(optionnel)
LD_AUTO_STOP	LOGICAL	I	(optionnel)
PI	REAL	I	Valeur de $\pi$ (optionnel)
P_RA	REAL	I	Rayon terrestre en mètres. (optionnel)
KOUT	INT	I	Unité de sortie, par défaut c'est l'unité de sortie standard (6).
LD_LMRT	LOGICAL	I	Drapeau spécifiant que la projection est de type Mercator « Rotated/Tilted » (optionnel à FALSE sinon)

Le code de cette routine crée le domaine à partir du centre, du nombre de points et de la résolution suivant les deux directions (passage des coordonnées indices (i, j) aux coordonnées cartésiennes (x, y)). Ensuite une projection est définie et les tableaux attendus sont créés grâce aux fonctions génériques.

Des tests de validité sont effectués sur la pertinence et les valeurs du choix du domaine et

<sup>19</sup> Les valeurs des coordonnées géographiques des points de référence et du centres sont en degrés sur [-180°,180°[, les autres coordonnées géographiques sont en degrés sur [0°,360°[



## Les Projections

de la projection associée. Les paramètres ci-après, de type ERROR sont définis; suivant le cas il provoquent soit l'arrêt de l'exécution, soit l'impression d'une alerte (voir ci dessus la fonction à usage interne RETURN\_PRINT).

Tableau de paramètres de type ERROR	
NUM	TXT
-6	En Mercator, les déformations sont trop grandes en dehors de [-85.0,85.0] (cas MRT) !
-5	En Lambert, le pôle doit être en dehors du domaine !
-4	En Mercator, les déformations sont trop grandes en dehors de [-85.0,85.0] !
-3	Coordonnées en degrés du Centre hors limites !
-2	Coordonnées en degrés du point de Référence hors limites !
-1	Arrêt en erreur de la routine !
0	Routine terminée avec succès !
1	Test OK, on continue !
2	En Mercator, il est préférable d'utiliser Lambert ou St.Pol si ABS(CENTER_LAT) > 20.0 !
3	En St.Pol., il est préférable d'utiliser Lambert or Mercator si ABS(CENTER_LAT) < 70.0 !
4	En Lambert, il est préférable d'utiliser St.Pol. or Mercator si ABS(REF_LAT) est en dehors de [20.0,70.0] !

### 4.3.2 Le module EGMRT:

Ce module, qui a été développé dans un deuxième temps, contient les formulations de passage « Rotated/Tilted » (voir plus haut). Comme nous l'avons vu précédemment, les actions de bascule et rotation (« Rotated/tilted ») ont lieu avant<sup>20</sup> d'effectuer une projection de Mercator classique ou après<sup>21</sup> celle-ci. C'est pourquoi l'appel à ces fonctions a lieu au sein des fonctions génériques LATLON\_TO\_XY et XY\_TO\_LATLON, respectivement avant et après les appels aux fonctions de projection Mercator ou inverse. Les fonctions appelées sont METILROT par les fonctions de type LATLON\_TO\_XY et MEROTIL par les fonctions de type XY\_TO\_LATLON.

Les fonctions<sup>22</sup> de type METILROT associées à un passage de  $(\lambda, \varphi)$  vers  $(x, y)$  utilisent une composition<sup>23</sup> des fonctions ANTI\_TILT et ANTI\_ROTATE; celles de type MEROTIL, associées à un passage de  $(x, y)$  vers  $(\lambda, \varphi)$ , utilisent une combinaison des fonctions ROTATE et TILT. **On notera la malheureuse inversion des noms par rapport aux descriptions et aux noms de l'illustration 4.** En effet, on appelle « Rotated » la fonction ANTI\_ROTATE et « Tilted » la fonction ANTI\_TILT; idem pour les fonctions réciproques.

20 Dans le sens, la sphère vers le plan de projection (sens direct)

21 Dans le sens, le plan de projection vers la sphère (sens inverse)

22 Elles existent sous forme géopoint (suffixe \_S) ou tableau de géopoints (suffixe \_V)

23 Le terme composition correspond en terme fonctionnel à : METILROT(...) = ANTI\_TILT(..., ANTI\_ROTATE(...))

**I. Modules Externes:**

Modules propres au modèle ALADIN-AROME et pouvant être facilement redéfinis pour des utilisations externes:

Module	Éléments	Type <sup>16</sup>	Description
PARKIND	JPRB	INT	Représentation des réels
YOMHOOK	LHOOK	LOGI	Mise en oeuvre ou non
	DR_HOOK	PROC	Routine traçage

**II. Modules du paquetage:**

Module	Éléments	Type <sup>16</sup>	Description
EGGANGLES	LOLA	TYPE	Type Géopoint longitude, latitude
	COSIN_TO_ANGLE	FUNC	Donne la valeur d'un angle connaissant son cosinus et son sinus
	P_ASIN	FUNC	Renvoie un arc sinus en garantissant que les valeurs d'entrées soient dans [-1,1] (le P de P_ASIN est pour Protected)

**III. Fonctions:**

Toutes les fonctions décrites ci-après, existent en traitement sur un géopoint<sup>24</sup> (suffixe **\_S**) ou en tableau de géopoints (suffixe **\_V**). Elles sont regroupées sous forme d'interface générique de type « MODULE PROCEDURE ».

● **Fonctions inverses:**

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
TILT_S	LOLA	Renvoie le géopoint après un « TILT » <b>inverse</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_0$ , 0) en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
PT_COORD2	LOLA	Géopoint devant subir le « TILT » <b>inverse</b>

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
TILT_V	LOLA (:)	Renvoie un tableau de géopoints après un « TILT » <b>inverse</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_0$ , 0) en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
PT_COORD2(:)	LOLA	Tableau de géopoints devant subir le « TILT » <b>inverse</b>

<sup>24</sup> Coordonnées géographiques en radians.

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ROTATE_S	LOLA	Renvoie le géopoint après un « ROTATE » <b>inverse</b> de (0°,0°) vers ( $\lambda_c, \varphi_c$ ) .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_c, \varphi_c$ ) et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule inverse .
PT_COORD1	LOLA	Géopoint devant subir le « ROTATE » <b>inverse</b>

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ROTATE_V	LOLA (:)	Renvoie un tableau de géopoints après un « ROTATE » <b>inverse</b> de (0°,0°) vers ( $\lambda_c, \varphi_c$ ) .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_c, \varphi_c$ ) et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule inverse .
PT_COORD1(:)	LOLA	Tableau de géopoints devant subir le « ROTATE » <b>inverse</b>

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
MEROTIL_S	LOLA	Renvoie le géopoint après une « ROTATED/TILTED » <b>inverse</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_0, 0$ ) en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_c, \varphi_c$ ) et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule inverse .
PT_COORD2	LOLA	Géopoint devant subir le « ROTATED/TILTED » <b>inverse</b>

*Note : On a :*

*PT\_COORD=MEROTIL(REF\_COORD,CENTER\_COORD,PT\_COORD2)*

*équivalent à :*

*PT\_COORD=ROTATE(CENTER\_COORD,TILT(REF\_COORD,PT\_COORD2))*

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
MEROTIL_V	LOLA (:)	Renvoie le tableau de géopoints après une « ROTATED/TILTED » <b>inverse</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_0$ , 0) en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_c$ , $\varphi_c$ ) et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule inverse .
PT_COORD2(:)	LOLA	Tableau de géopoints devant subir le « ROTATE D/TILTED » <b>inverse</b>

• ***Fonctions directes:***

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANTI_TILT_S	LOLA	Renvoie le géopoint après un « TILT » <b>direct</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_0$ , 0) en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
PT_COORD1	LOLA	Géopoint devant subir le « TILT » <b>direct</b>

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANTI_TILT_V	LOLA (:)	Renvoie un tableau de géopoints après un « TILT » <b>direct</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_0$ , 0) en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
PT_COORD1(:)	LOLA	Tableau de géopoints devant subir le « TILT » <b>direct</b>

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANTI_ROTATE_S	LOLA	Renvoie le géopoint après un « ROTATE » <b>direct</b> de ( $\lambda_c$ , $\varphi_c$ ) vers (0°,0°).
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques ( $\lambda_c$ , $\varphi_c$ ) et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule directe .
PT_COORD	LOLA	Géopoint devant subir le « ROTATE » <b>direct</b>

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANTI_ROTATE_V	LOLA (:)	Renvoie un tableau de géopoints après un « ROTATE » <b>direct</b> de $(\lambda_c, \varphi_c)$ vers $(0^\circ, 0^\circ)$ .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda_c, \varphi_c)$ et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule directe .
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoints devant subir le « ROTATE » <b>direct</b>

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
METILROT_S	LOLA	Renvoie le géopoint après une « ROTATED/TILTED » <b>directe</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda_0, 0)$ en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda_c, \varphi_c)$ et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule directe.
PT_COORD	LOLA	Géopoint devant subir le « ROTATE D/TILTED» <b>direct</b>

*Note :* On a :

$$PT\_COORD2 = METILROT(REF\_COORD, CENTER\_COORD, PT\_COORD)$$

équivalent à :

$$PT\_COORD2 = ANTI\_TILT(CENTER\_COORD, ANTI\_ROTATE(REF\_COORD, PT\_COORD))$$

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
METILROT_V	LOLA (:)	Renvoie le tableau de géopoints après une « ROTATED/TILTED » <b>directe</b> .
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
REF_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda_0, 0)$ en radians où $\lambda_0$ représente l'angle de « TILT ».
CENTER_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques $(\lambda_c, \varphi_c)$ et en radians, représentant le point d'arrivée de la bascule directe.
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoint devant subir le « ROTATE D/TILTED» <b>direct</b>

## Les Projections

### 4.3.3 Le module EGGANGLES:

Ce module contient des fonctions :

- pour la gestion des angles (domaine de validité, conversion radians ↔ degrés )
- pour la protection (domaine de définition) lors du calcul numérique de fonctions trigonométriques
- pour la gestion des distances angulaires (longitudes) sur la sphère

Les termes DOM (domaine) et UNIT (unité) apparaissent dans certaines fonctions. Ils précisent le domaine de validité du géopoint en coordonnées géographiques (*voir tableau 3 ci après*).

DOM	UNIT	Longitudes	Latitudes
'-+'	'D'	$[-180.0^\circ, 180.0^\circ[$	$[-90.0^\circ, 90.0^\circ]$
'0+'	'D'	$[0.0^\circ, 360.0^\circ[$	$[-90.0^\circ, 90.0^\circ]$
'-+'	'R'	$[-\pi, \pi[$	$[-\pi/2, \pi/2]$
'0+'	'R'	$[0, 2\pi[$	$[-\pi/2, \pi/2]$
'-+'	'D'	←	Valeurs par défaut

Tableau 3: Domaines de validité

#### I. Modules Externes:

Modules propres au modèle ALADIN-AROME et pouvant être facilement redéfinis pour des utilisations externes:

Module	Eléments	Type <sup>16</sup>	Description
PARKIND	JPIM	INT	Représentation des entiers
	JPRB	INT	Représentation des réels
YOMHOOK	LHOOK	LOGI	Mise en oeuvre ou non
	DR_HOOK	PROC	Routine traçage

#### II. Structures:

La structure principale du paquetage est celle qui représente un géopoint avec ses coordonnées géographiques; l'unité, radian ou degré, est à la charge de l'utilisateur.

Nom	Eléments	Type <sup>16</sup>	Description
LOLA	LON	REAL	Longitude du géopoint
	LAT	REAL	Latitude du géopoint

### III. Fonctions:

Toutes les fonctions décrites ci-après, existent en traitement sur un géopoint (suffixe S) ou en tableau de géopoints (suffixe V). Elles sont regroupées sous forme d'interface générique de type « MODULE PROCEDURE ».

Seule la fonction SIZE\_W2E ne possède qu'une version avec les géopoints W et E en coordonnées géographiques (suffixe S) et une version avec les longitudes de ces géopoints (suffixe L).

- Fonctions de gestion des angles:

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANGLE_DOMAIN_RS	REAL	Renvoie un angle dans l'unité UNIT <sup>25</sup> d'entrée et sur le domaine DOM choisi
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
ALPHA	REAL	Angle dans l'unité UNIT à moduler dans le domaine DOM
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANGLE_DOMAIN_RV	REAL (:)	Renvoie un tableau d'angles dans l'unité UNIT <sup>24</sup> d'entrée et sur le domaine DOM choisi
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
ALPHA(:)	REAL	Tableau d'angles dans l'unité UNIT <sup>24</sup> à moduler dans le domaine DOM
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

<sup>25</sup> **ATTENTION:** cette fonction ne convertit pas les unités (UNIT). »UNIT » spécifie l'unité utilisée (degrés ou radians) des coordonnées du géopoint. Pour changer d'unité, il faut utiliser les fonction LOLAR et/ou LOLAD.

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANGLE_DOMAIN_LOLAS	LOLA	Renvoie un géopoint en coordonnées géographiques dans l'unité UNIT <sup>24</sup> d'entrée et sur le domaine DOM choisi
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
ALPHA	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques dans l'unité UNIT <sup>24</sup> à moduler dans le domaine DOM
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
ANGLE_DOMAIN_LOLAV	LOLA (:)	Renvoie un tableau de géopoints en coordonnées géographiques dans l'unité UNIT <sup>24</sup> d'entrée et sur le domaine DOM choisi
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
YL_ALPHA(:)	LOLA	Tableau de géopoints en coordonnées géographiques dans l'unité UNIT <sup>24</sup> à moduler dans le domaine DOM
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
VAL_LAT_S	INTEGER	Renvoie 1 si la latitude est valide ( $[-90^\circ, 90^\circ]$ ou $[-\pi/2, \pi/2]$ suivant UNIT) sinon NUM_ERR
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
LAT	REAL	Latitude à tester
NUM_ERR	INT	Valeur de retour en cas d'erreur, -1 par défaut (optionnel)
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).



## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
VAL_LAT_V	INTEGER	Renvoie 1 si tout le tableau de latitudes est valide ( $[-90^\circ, 90^\circ]$ ou $[-\pi/2, \pi/2]$ suivant UNIT) sinon NUM_ERR
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
P_LAT(:)	REAL	Tableau de latitude à tester
NUM_ERR	INT	Valeur de retour en cas d'erreur, -1 par défaut (optionnel)
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
VAL_LON_S	INTEGER	Renvoie 1 si la longitude est valide (en fonction de DOM et UNIT, voir <i>tableau 3</i> ) sinon NUM_ERR
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
LON	REAL	Longitude à tester
NUM_ERR	INT	Valeur de retour en cas d'erreur, -1 par défaut (optionnel)
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
VAL_LON_V	INTEGER	Renvoie 1 si tout le tableau de longitudes est valide (en fonction de DOM et UNIT, voir <i>tableau 3</i> ) sinon NUM_ERR
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
LON(:)	REAL	Tableau de longitudes à tester
NUM_ERR	INT	Valeur de retour en cas d'erreur, -1 par défaut (optionnel)
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
VAL_COORD_S	INTEGER	Renvoie 1 si le géopoint (latitude et longitude) est valide (en fonction de DOM et UNIT, voir <i>tableau 3</i> ) sinon NUM_ERR
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques à tester
NUM_ERR	INT	Valeur de retour en cas d'erreur, -1 par défaut (optionnel)
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
VAL_COORD_V	INTEGER	Renvoie 1 si tout le tableau de géopoints (latitude et longitude) est valide (en fonction de DOM et UNIT, voir <i>tableau 3</i> ) sinon NUM_ERR
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoints en coordonnées géographiques à tester
NUM_ERR	INT	Valeur de retour en cas d'erreur, -1 par défaut (optionnel)
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)
DOM	CHAR	'-+' ou '0+'. '-+' par défaut, (optionnel).
UNIT	CHAR	'D' ou 'R'. 'D' par défaut, (optionnel).

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
LOLAR_S	LOLA	Renvoie le géopoint exprimé en radians
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COORD_DEG	LOLA	Géopoint en degrés

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
LOLAR_V	LOLA (:)	Renvoie le tableau de géopoints exprimés en radians
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COORD_DEG(:)	LOLA	Tableau de géopoints en degrés

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
LOLAD_S	LOLA	Renvoie le géopoint exprimé en degrés
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COORD_RAD	LOLA	Géopoint en radians

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
LOLAD_V	LOLA (:)	Renvoie le tableau de géopoints exprimés en degrés
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COORD_RAD(:)	LOLA	Tableau de géopoints en radians

- **Fonctions de « protection »:**

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
COSIN_TO_ANGLE_S	REAL	Angle en radians défini par ses Cosinus et Sinus
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COSINUS	REAL	Valeur du cosinus
SINUS	REAL	Valeur du sinus

*Note : Dans les fonctions ci-dessus et ci-dessous, on utilise la formulation suivante:  
 $ANGLE = \text{ArcCOS}(\text{COSINUS}) * \text{SIGN}(1, \text{SINUS})$*

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
COSIN_TO_ANGLE_V	REAL (:)	Tableau d'angles en radians définis par ses tableau de Cosinus et Sinus
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COSINUS(:)	REAL	Tableau des valeurs du cosinus
SINUS(:)	REAL	Tableau des valeurs du sinus

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
P_ACOS_S	REAL	Renvoie l'ArcCosinus en bornant le Cosinus dans [-1, 1] : <b>(Protected_ArcCOS)</b>
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COSINUS	REAL	Valeur de cosinus

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
P_ACOS_V	REAL (:)	Renvoie un tableau d'ArcCosinus en bornant les Cosinus dans [-1, 1] : <b>(Protected_ArcCOS)</b>
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COSINUS(:)	REAL	Tableau des valeurs de cosinus

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
P_ASIN_S	REAL	Renvoie l'ArcSinus en bornant le Sinus dans [-1, 1] : <b>(Protected_ArcSIN)</b>
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
SINUS	REAL	Valeur de sinus

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
P_ASIN_V	REAL (:)	Renvoie un tableau d'ArcSinus en bornant les Sinus dans [-1, 1] : <b>(Protected_ArcSIN)</b>
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
SINUS(:)	REAL	Tableau des valeurs de sinus

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
MINIMAX_S	REAL	Renvoie le « minimax <sup>26</sup> » entre [-LIM, LIM] d'une valeur VAL
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
VAL	REAL	Valeur à traiter
LIM	REAL	Limite, par défaut 1 (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
MINIMAX_V	REAL (:)	Renvoie un tableau de « minimax <sup>25</sup> » entre [-LIM, LIM] d'un tableau de valeurs VAL
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
VAL(:)	REAL	Tableau de valeurs à traiter
LIM	REAL	Limite, par défaut 1 (optionnel)

<sup>26</sup> On appelle « minimax » de la valeur VAL par rapport à la limite LIM:

- VAL si  $VAL \in [-LIM, LIM]$
- -LIM si  $VAL < -LIM$
- LIM si  $VAL > LIM$

● Fonctions de calcul des distances:

Les fonctions de type DIST\_2REF permettent de calculer une distance orientée entre deux valeurs de longitude sur la sphère terrestre: les longitudes des géopoints PT\_COORD et REF\_COORD. Cette distance est assimilable à une abscisse dans un intervalle  $[-\pi, \pi[$  en radians et d'origine la longitude du paramètre REF\_COORD. Les valeurs négatives sont à l'Ouest de cette origine.

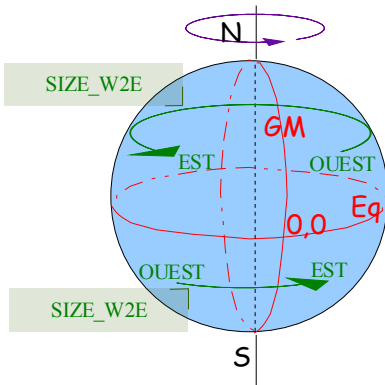


Illustration 8: Sens direct de parcours

Attention : les longitudes des coordonnées des géopoints PT\_COORD et REF\_COORD sont bien des **coordonnées géographiques** classiques, dans l'intervalle  $[-\pi, \pi[$  en radians et d'origine le méridien de Greenwich. Les valeurs négatives sont à l'Ouest de cette origine.

L'autre famille de fonctions, SIZE\_W2E, calcule une distance ou taille (notion de norme entre  $[0, 2\pi[$  radians) entre deux longitudes sur la sphère terrestre: WEST\_COORD%LON et EAST\_COORD%LON. On choisira parmi les deux chemin possible sur la sphère celui d'Ouest en Est associé à un trièdre direct (voir *illustration 8*) quand on va de WEST\_COORD%LON à EAST\_COORD%LON.

Ces fonctions sont nécessaires à cause d'« effets de bord »<sup>27</sup> lors du calcul de la différence :

$$PT\_COORD\%LON - REF\_COORD\%LON$$

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
DIST_2REF_L	REAL	Renvoie la distance orientée entre deux longitudes COORD_LON et REF_LON
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
COORD_LON	REAL	Longitude d'un géopoint en coordonnées géographiques (en radians dans $[-\pi, \pi[$ ).
REF_LON	REAL	Longitude (en radians dans $[-\pi, \pi[$ ) d'un géopoint de référence en coordonnées géographiques, servant d'origine à la distance orientée qui est calculée.
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

<sup>27</sup> Dûs au fait qu'il existe deux distances possibles de part et d'autre de la Terre, mais aussi suivant la disposition des points relativement à eux-mêmes, ainsi que relativement à l'origine (méridien de Greenwich) et à ses extrémités ( $-\pi$  et  $\pi$ ).

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
DIST_2REF_S	REAL	Renvoie la distance orientée entre les longitudes de deux géopoints PT_COORD et REF_COORD
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD	LOLA	Géopoint en coordonnées géographiques (longitude en radians dans $[-\pi, \pi]$ ).
REF_COORD	LOLA	Géopoint de référence en coordonnées géographiques, servant d'origine à la distance orientée qui est calculée.
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
DIST_2REF_V	REAL (:)	Renvoie un tableau de distances orientées entre les longitudes d'un tableau de géopoints PT_COORD et un géopoint REF_COORD
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
PT_COORD(:)	LOLA	Tableau de géopoint en coordonnées géographiques (longitudes en radians dans l'intervalle $[-\pi, \pi]$ ).
REF_COORD	LOLA	Géopoint de référence en coordonnées géographiques, servant d'origine aux distances orientées qui sont calculées.
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
SIZE_W2E_L	REAL	Renvoie la taille entre deux longitudes WEST_LON et EAST_LON dans le sens de parcours défini <i>illustration 8</i>
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
WEST_LON	REAL	Longitude (en radians dans $[-\pi, \pi]$ ) dite « OUEST ».
EAST_LON	REAL	Longitude (en radians dans $[-\pi, \pi]$ ) dite « EST ».
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

## Les Projections

Nom	Type <sup>16</sup> de retour	Description
SIZE_W2E_S	REAL	Renvoie la taille entre les longitudes de deux géopoints WEST_COORD et EAST_COORD dans le sens de parcours défini <i>illustration 8</i>
Paramètres d'entrée	Type <sup>16</sup>	Description
WEST_COORD	LOLA	Géopoint dit « OUEST » en coordonnées géographiques (longitude en radians dans l'intervalle $[-\pi, \pi]$ ).
EAST_COORD	LOLA	Géopoint dit « EST » en coordonnées géographiques (longitude en radians dans l'intervalle $[-\pi, \pi]$ ).
PI	REAL	Valeur de $\pi$ (optionnel)

### 4.3.4 Tableau des « Types »:

Types	Description		Modules
<b>LOGI</b>	Booléens	Types génériques	FORTRAN
<b>INT</b>	Entiers		
<b>REAL</b>	Réels		
<b>CHAR</b>	Caractères		
<b>TYPE</b>	Structures	ERROR	EGGPACK
		PGN	
		NBPTS	
		DELTA	
		RTETA	
		XY	
		PARAM_PROJ	
		DOMI	
	LOLA	EGGANGLES	
<b>PROC</b>	Procédures	INFO_DOMI_PRINT	EGGPACK
		INFO_PP_PRINT	
		MAKDO	

Les Projections

<b>FUNC</b>	Fonctions	ANGLE_DOMAIN (_RS, _RV, _LOLAS, _LOLAV)	EGGANGLES	
		VAL_LAT (_S, _V)		
		VAL_LON (_S, _V)		
		VAL_COORD (_S, _V)		
		LOLAR (_S, _V)		
		LOLAD (_S, _V)		
		COSIN_TO_ANGLE (_S, _V)		
		P_ACOS (_S, _V)		
		P_ASIN (_S, _V)		
		MINIMAX (_S, _V)		
		DIST_2REF (_L, _S, _V)		
		SIZE_W2E (_L, _S)		
		RETURN_PRINT		EGGPACK
		TYPE_PROJ		
		POLE_IS		
		STPL_LATLON_TO_RTETA (_S, _V)		
		STPL_RTETA_TO_LATLON (_S, _V)		
		STPL_XY_TO_RTETA (_S, _V)		
		STPL_RTETA_TO_XY (_S, _V)		
		REF_DATAS		
		XY_NEW_TO_STD_ORIGIN (_S, _V)		
		XY_STD_TO_NEW_ORIGIN (_S, _V)		
		LATLON_TO_XY (_S, _V)		
		XY_TO_LATLON (_S, _V)		
		MAP_FACTOR (_S, _V)		
		GN (_S, _V)		
		TILT (_S, _V)	EGGMRT	
		ROTATE (_S, _V)		
		MEROTIL (_S, _V)		
		ANTI_TILT (_S, _V)		
		ANTI_ROTATE (_S, _V)		
		METILROT (_S, _V)		



## 5 Conclusion

Au fur et à mesure de son évolution, le paquetage « géométrie » a montré que sa réalisation a atteint les objectifs fixés:

- une simplification des paramètres définissant le domaine
- une cohérence dans les paramètres et les formules utilisés ( $K_1$  et  $\varphi_0$  par exemple)
- une diminution des erreurs possibles grâce aux points précédents
- la correction des « bugs » propres aux domaines les plus atypiques (hémisphère Sud)
- la suppression du « COMMON » Fortran
- l'approche pseudo « ORIENTE OBJET » applicable à des langages plus OO
- l'« externalisation » des fonction sous forme d'un paquetage dans le modèle
- en conséquence, l'usage en dehors du modèle par des applications tierces (PINUTS, produits à base des outils NCAR comme Chagal version Meteo-France ou Geoview,...)
- le potentiel d'évolution (branchement de la projection MRT)

L'utilisation des structures du langage Fortran90 et l'approche fonctionnelle ont cependant coûté en espace mémoire et en temps de calcul. Mais l'appel à la routine MAKDO qui est le plus pénalisant, n'est effectué qu'une fois (ou tout au moins peu de fois) pour la création d'un domaine.

L'optimisation des calcul sur les tableaux 2D (boucle sur la deuxième dimension) et la « vectorisation » de presque toutes les fonctions, a permis d'avoir des coûts acceptables.

La création de domaine a été testé de façon « automatique » par un script sur un ensemble de cas à diverses longitudes et latitudes du centre, pour des extensions « classiques » en longitudes, mais aussi pour les domaines complémentaires (voir exemple *Illustration 9*).

Creator:GPL Ghostscript 861 (epswrite)  
CreationDate:2009/07/08 16:47:58  
LanguageLevel:2

*Illustration 9: Exemple d'un des tests, où on voit un domaine et son "complémentaire"*

## Les Projections

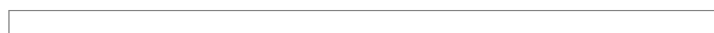
Les domaines ont été créés par le programme DOMOLALO de la boîte à outil PINUTS. Cet outil crée un domaine ALADIN-AROME contenant une région rectangulaire<sup>28</sup> définie par des latitudes extrêmes Nord et Sud et des longitudes extrêmes Ouest es Est. Ici ces valeurs sont :

Domaine	Rouge	Vert
Nord	15°	15°
Sud	-50°	-50°
Ouest	-50°	55°
Est	55°	-50°

Le tracé a été réalisé grâce à l'outil GEOVIEW qui utilise les bibliothèques NCAR.

Des évolutions possibles sont :

- une séparation de la routine MAKDO du module EGGPACK. En effet celui-ci est entièrement indépendant de tout modèle météorologique, alors que cette routine est propre aux modèles AROME-ALADIN
- le portage dans un langage plus OO comme Python et/ou C++
- la possibilité d'un usage en mode sécant de ces fonctions n'est à priori ni utile à l'heure actuelle, ni, à contrario, difficile à implémenter car les formules sont identiques. Seule la relation simplificatrice  $Kl=\sin(\varphi_0)$  n'est alors plus valable.



---

<sup>28</sup> dans le format « LATLON » de la carte de l'*Illustration 9*

## Index des illustrations

Illustration 1: Schémas des projections .....	4
Illustration 2: Correspondances dans le cas Lambert.....	8
Illustration 3: Centre de la projection LCC ou cône.....	9
Illustration 4: La projection MRT.....	9
Illustration 5: Les zones C, I, E.....	10
Illustration 6: Relations tableau informatique, domaine, projection.....	11
Illustration 7: Origine standard STD en Mercator et Mercator Rotated Tilted .....	18
Illustration 8: Sens direct de parcours.....	37
Illustration 9: Exemple d'un des tests,on voit un domaine et son "complémentaire".....	41

## Index des tables

Tableau 1: Différentes projections.....	5
Tableau 2: Formules.....	7
Tableau 3: Domaines de validité.....	30