



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

Manuel d'utilisation du logiciel Circé Réunion 4.0



SGN © 2008

Septembre 2012

Sommaire

Introduction	4
FAQ	5
Installation / Désinstallation	6
Installation	6
Désinstallation	6
Présentation du logiciel	7
Transformation standard	10
Mode Interactif	10
Mode Fichier	12
Les Interdits	15
Fichiers utilisés	16
Fichiers d'initialisation	16
Fichier de configuration de l'application.....	16
Fichier des données des systèmes, projections, ellipsoïdes, méridiens et paramètres de transformation standard	16
Fichiers de conversion altimétrique	16
Fichiers de coordonnées	17
Fichiers de coordonnées à transformer	17
Fichiers de coordonnées transformées	18
Fichiers "rapport"	19
Fichier rapport	19
Fichier LOG.TXT	20
Trucs et Astuces	21
▪ Changement d'unités des coordonnées calculées (mode interactif).....	21
▪ Changement d'unités de la convergence des méridiens (mode interactif)	21
▪ Changement d'Est en Ouest (ou Ouest en Est) des coordonnées géographiques calculées ...	21
Erreurs logicielles bloquantes	21
Erreurs de lecture des fichiers	21
Erreurs de saisie	21
Erreurs géodésiques	21
Aide Géodésique	23
Annexe A: Algorithmes nécessaires à la projection cartographique Gauss-Laborde	24
Annexe B: Descriptif technique du quasi-géoïde gravimétrique OGGR06 et de la grille de conversion altimétrique RAR07	41
1 Quasi-géoïde gravimétrique QGGR06	42
1.1 Ile de la	42
1.1.1 Gravimétrie terrestre	42
1.1.2 Gravimétrie marine	42
1.1.3 MNT	43
1.2 Ile MAURICE.....	43
1.2.1 Gravimétrie terrestre	43
1.2.2 Gravimétrie marine	43
1.2.3 MNT	43

1.3	MODELE DE CHAMP	43
2	Grille de conversion altimétrique RAR07	44
2.1	Processus de constitution	44
2.2	Ecart entre la grille et les observations de nivellement	44
2.3	Qualité du modèle	45
3	Comparaison au modèle géométrique	46
4	Utilisation de la grille RAR07	47
4.0	Conversion altimétrique	47
4.2	Description de la grille RAR07	47
4.2.1	Caractéristiques	47
4.2.2	Description du fichier texte RAR07.mnt	47

Introduction

La grille de conversion altimétrique RAR07 (Référence des Altitudes Réunionnaises 2007) est issue du quasi-géoïde **gravimétrique** QGGR06 adapté à un jeu de points GPS nivelés. On se reportera à l'annexe XI pour trouver toutes les caractéristiques techniques concernant cette nouvelle grille.

Circé Réunion convertit des coordonnées géographiques ou cartographiques d'un système de coordonnées dans un autre. Il permet le passage entre les systèmes **RGR92** (Réseau Géodésique de la Réunion 1992) et **PDN47** (Piton des Neiges 1947) et utilise la référence d'altitude **IGN89**.

Un système de coordonnées sert à décrire et identifier les coordonnées publiées dans les différentes publications géodésiques ou cartographiques (fiches signalétiques, cartes topographiques ...). Il comprend le **référentiel** (ou système géodésique de référence), le **type de coordonnées** (cartésiennes (X, Y, Z), géographiques (λ , φ , h_e) ou planes (E, N)) et éventuellement les **unités** pour des coordonnées géographiques, et la projection cartographique pour les coordonnées planes.

Circé Réunion propose une transformation de coordonnées mettant en œuvre :

- Le changement de **référentiel** grâce à un modèle de Helmert à 7 paramètres.
- Le changement de **type** de coordonnées grâce aux algorithmes de calcul développés à l'IGN et concernant les projections Gauss-Laborde Réunion et UTM.
- La **conversion** de la troisième composante (élévation) au moyen d'une grille modélisant une surface de conversion altimétrique entre la hauteur au dessus de l'ellipsoïde IAG GRS80 et l'altitude dans le système IGN89. Cette opération est rendue possible via la nouvelle grille RAR07. Elle présente des écarts conséquents avec la grille purement géométrique GGR99, pouvant atteindre plusieurs décimètres, et se répercutant directement sur la valeur de l'altitude obtenue (voir carte en annexe XI).

Changement par rapport à la version précédente (« Release Notes »)

- Gestion des métadonnées de grilles sous forme de XML.
- Correction de bug divers.

FAQ

- **L'aide géodésique** ne s'affiche pas. Que faire ?

Il faut disposer du logiciel Microsoft Internet Explorer version 3 ou ultérieure. Le fichier de l'aide géodésique se trouve dans le dossier « Aide html » situé dans le dossier d'installation de Circé Réunion.

- En mode fichier, comment écrit-on des coordonnées géographiques en **DMS (Degrés Minutes Secondes)** ou en **DM (Degrés Minutes décimales)** ?

Pour une valeur décimale de 45.653245° , on écrira :

En DMS : 45.3911682 (pour $45^\circ39'11.682''$),

En DM : 45.391947 (pour $45^\circ39.1947'$).

- En mode fichier, je n'ai pas **l'altitude** (ni la **hauteur**), comment rentrer cette donnée manquante puisque dans les formats de données le terme « altitude » (ou hauteur) figure toujours ?

En l'absence de valeur de la composante verticale, Circé considère simplement qu'elle est nulle. Le fichier peut ne comporter que les longitudes et latitudes en coordonnées géographiques, et l'easting et le northing en coordonnées planes.

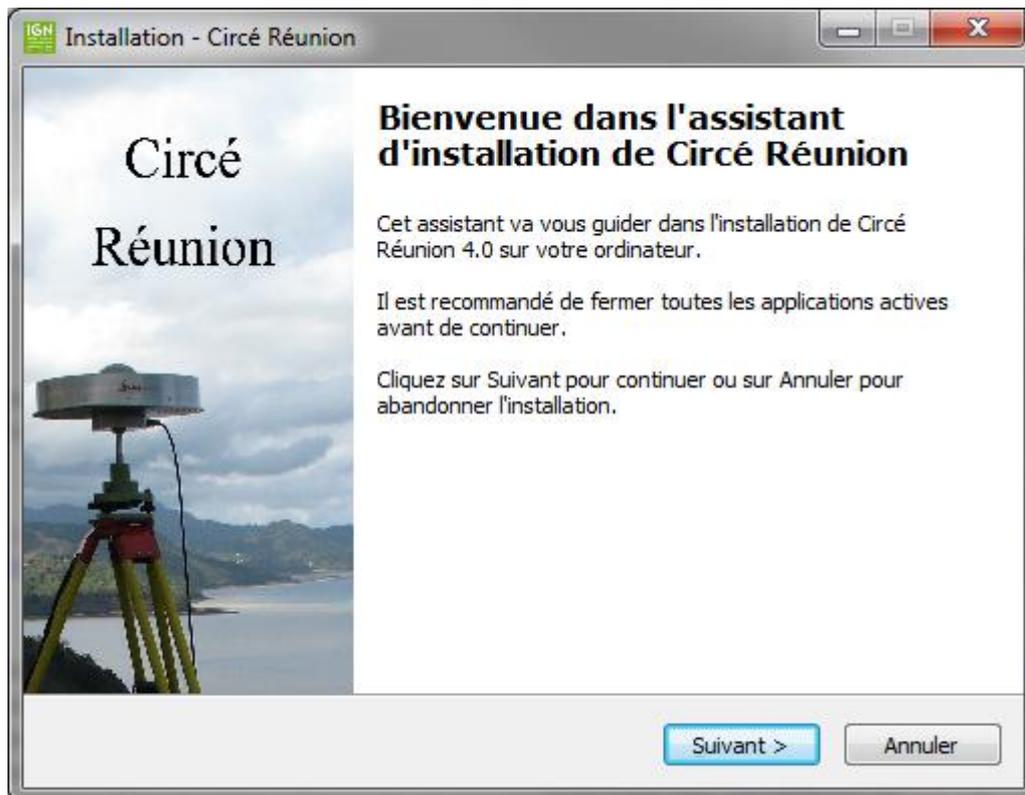
- En mode interactif, je transforme des coordonnées planes et Circé me propose de choisir des unités angulaires dans le système d'arrivée.

Je n'en tiens pas compte !

Installation / Désinstallation

Installation

Une fois le fichier d'installation (« Install_Circé_Réunion_V40.exe ») téléchargé, double-cliquez sur ce dernier et suivez les instructions à l'écran.



Désinstallation

Pour désinstaller Circé Réunion, deux solutions :

- 'Démarrer' >> 'Tous les programmes' >> 'Circé Réunion 4.0' >> 'Désinstaller Circé Réunion 4.0'
- 'Démarrer' >> 'Panneau de configuration' >> 'Ajout / Suppression de programmes' >> 'Circé Réunion 4.0' >> 'Supprimer'

Présentation du logiciel

Circé Réunion se présente sous forme d'onglets :



- Un onglet de présentation sur lequel aucune transformation n'est possible
- Un onglet pour les transformations standard de niveau métrique : modèles de Helmert à 7 paramètres.

Deux modes de fonctionnement existent :

- **Le mode interactif (par défaut)**

Il permet de saisir des coordonnées à transformer et affiche les coordonnées calculées.

- **le mode fichier**

Il permet de calculer les coordonnées contenues dans un fichier texte et de récupérer les coordonnées calculées dans un autre fichier texte, les deux étant choisis par l'utilisateur. De nombreux formats de fichiers sont disponibles mais dans tous les cas les séparateurs entre les champs (coordonnées, nom des points) sont des blancs.

Il faut aussi toujours choisir les systèmes géodésiques, les types de coordonnées, les projections (pour les coordonnées planes), les unités (pour les coordonnées géographiques).

Un fichier [log.txt](#) est créé à chaque ouverture du logiciel (et efface le précédent) dans le répertoire d'installation.

Trois types d'aide existent :

- **L'aide contextuelle (1)**

Elle apparaît en laissant la souris quelques secondes sur l'endroit désiré (un bouton radio, une zone de saisie, un menu déroulant...voir l'image ci-dessous) sous la forme d'une phrase dans une fenêtre de fond jaune pâle.

- **Les commentaires d'utilisation (2)**

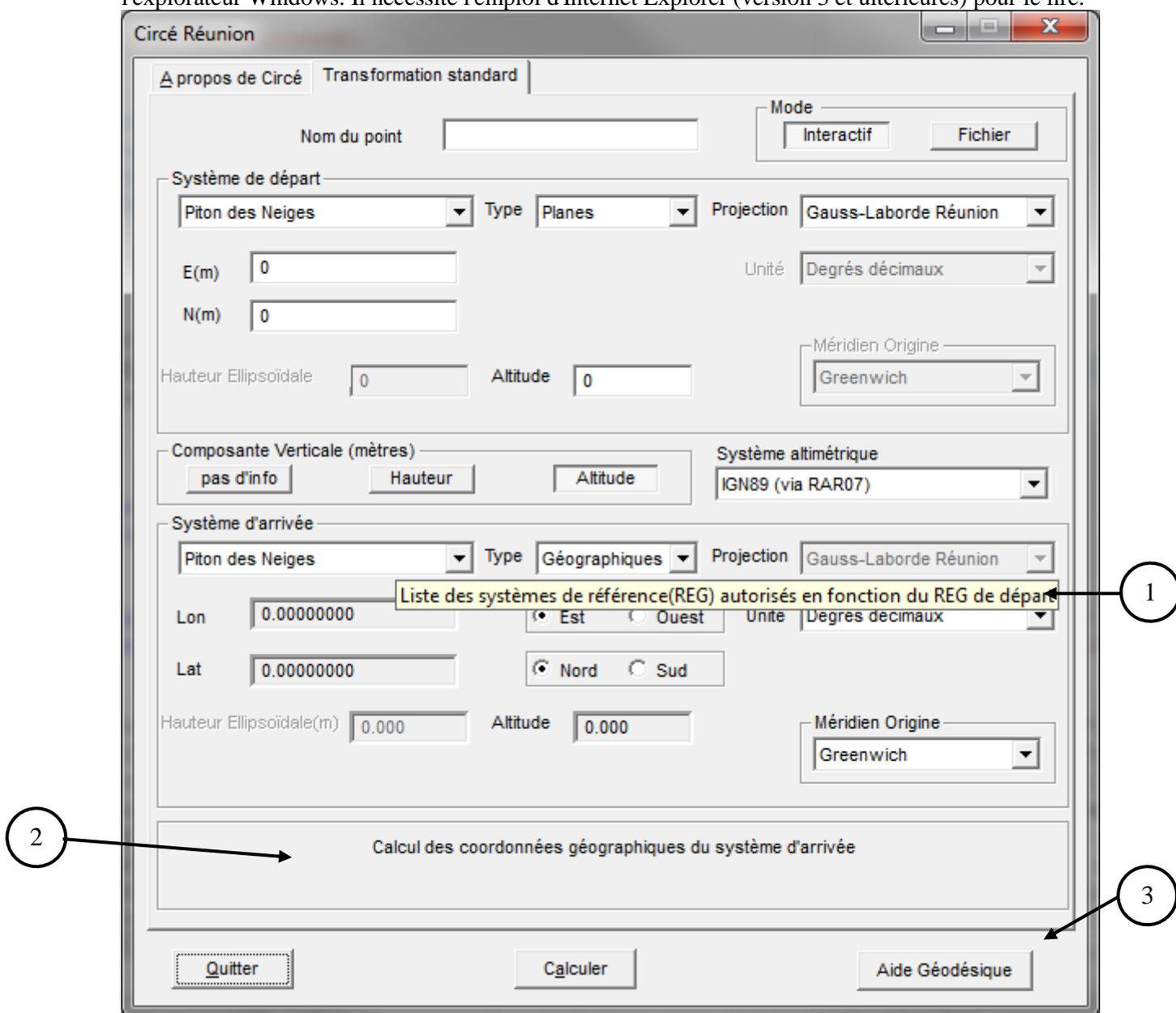
Ils apparaissent dans les onglets standard et grille, dans la zone de texte. Les messages apparaissent en fonction de vos choix avant le calcul. Après le calcul en mode interactif, **la précision de la transformation est affichée.**

- **L'aide géodésique (3)**

Elle apparaît en cliquant sur le bouton **Aide Géodésique** ou en tapant **F1**.

Cette aide est plus détaillée dans le chapitre sur l'[aide](#).

C'est un fichier exécutable extérieur au programme. Vous pouvez y accéder directement par l'explorateur Windows. Il nécessite l'emploi d'Internet Explorer (version 3 et ultérieures) pour le lire.



Transformation standard

Les déplacements entre les éléments de l'interface peuvent se faire avec la touche *Tabulation*.

Mode Interactif

The screenshot shows the 'Transformation standard' dialog box with the following elements and callouts:

- 1:** 'Mode' section with 'Interactif' and 'Fichier' buttons.
- 2:** 'Système de départ' dropdown menu.
- 3:** 'Type' dropdown menu for the departure system.
- 4:** 'Projection' dropdown menu for the departure system.
- 5:** 'Unité' dropdown menu for the departure system.
- 6:** 'Méridien Origine' dropdown menu for the departure system.
- 7:** 'Composante Verticale (mètres)' section with 'pas d'info', 'Hauteur', and 'Altitude' buttons.
- 8:** 'Système altimétrique' dropdown menu.
- 9:** 'E(m)' and 'N(m)' input fields.
- 9b:** 'Système d'arrivée' dropdown menu.
- 3:** 'Type' dropdown menu for the arrival system.
- 4:** 'Projection' dropdown menu for the arrival system.
- 5:** 'Unité' dropdown menu for the arrival system.
- 6:** 'Méridien Origine' dropdown menu for the arrival system.
- 10:** 'Calculer' button.

A yellow tooltip is visible over the 'Système d'arrivée' section with the text: 'Liste des systèmes de référence(REG) autorisés en fonction du REG de départ'.

- (1) Choix du mode interactif.
- (2) Choix des systèmes géodésiques de départ et d'arrivée.
- (3) Choix des types de coordonnées de départ et d'arrivée.
Chaque liste de type de coordonnées dépend du système choisi.
- (4) Choix des projections de départ et d'arrivée, si les coordonnées planes ont été choisies en (3).
Chaque liste de projections dépend du système choisi.
- (5) Choix des unités de départ et d'arrivée.
Chaque liste d'unités dépend du système et du méridien origine choisis.
- (6) Choix des méridiens origines de départ et d'arrivée.
- (7) Choix de la composante verticale.

Vous avez la possibilité de choisir une transformation avec

- Une hauteur sur ellipsoïde,
- Une altitude (hauteur sur le géoïde),
- Aucune information (pas de valeur) : la transformation sera bidimensionnelle (le type de coordonnées cartésiennes ne sera pas accessible).

On se reportera au chapitre [Les Interdits](#), tous les cas n'étant pas autorisés.

(8) Choix du système altimétrique.

Pour convertir une hauteur en altitude et réciproquement.

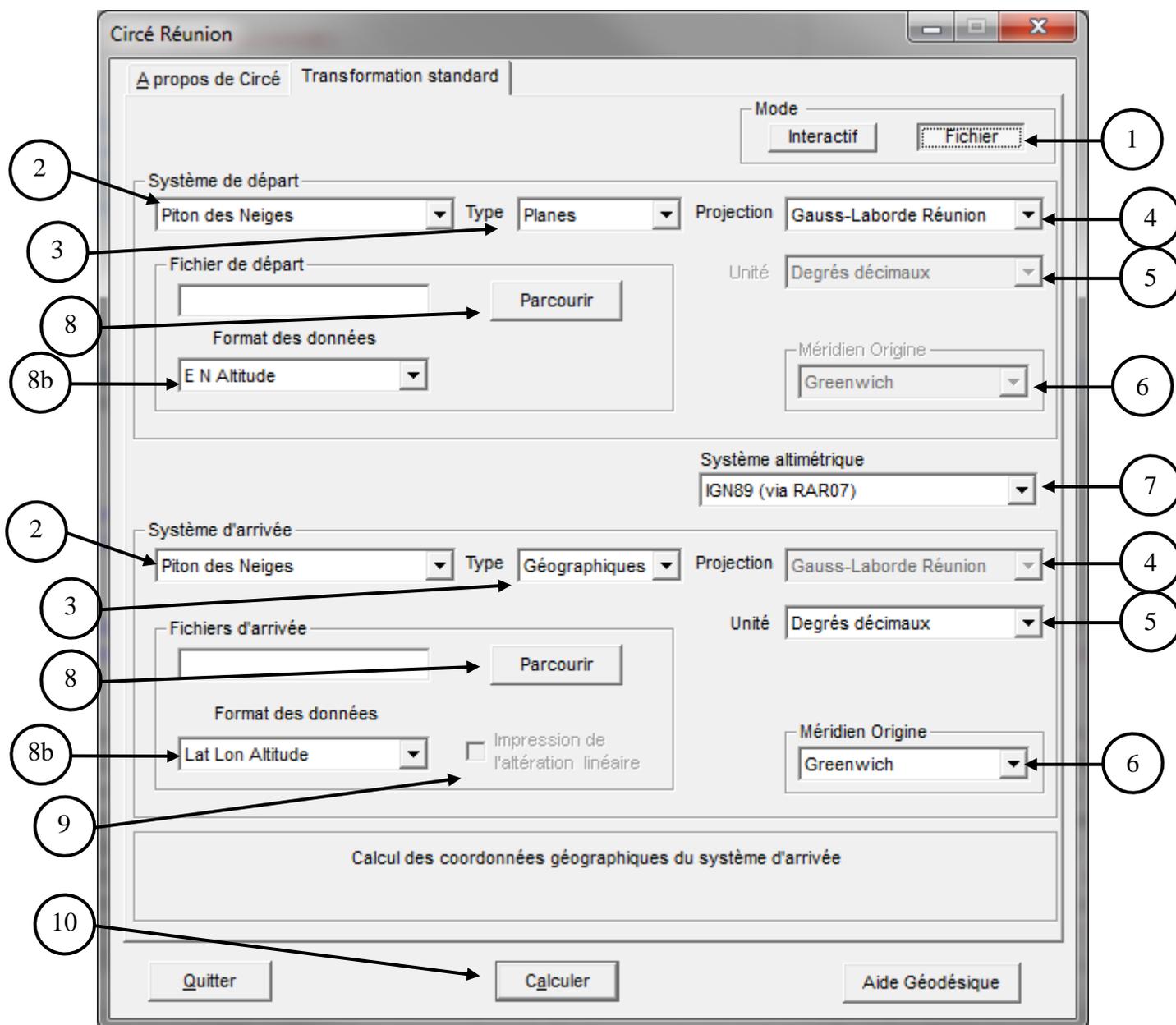
(9) Saisie des coordonnées.

(9b) Dans le cas de coordonnées géographiques, ces boutons permettent de choisir l'orientation, les coordonnées saisies en (9) étant toujours positives.

(10) Cliquez sur le bouton **Calculer** ou la touche **Entrée** du clavier.

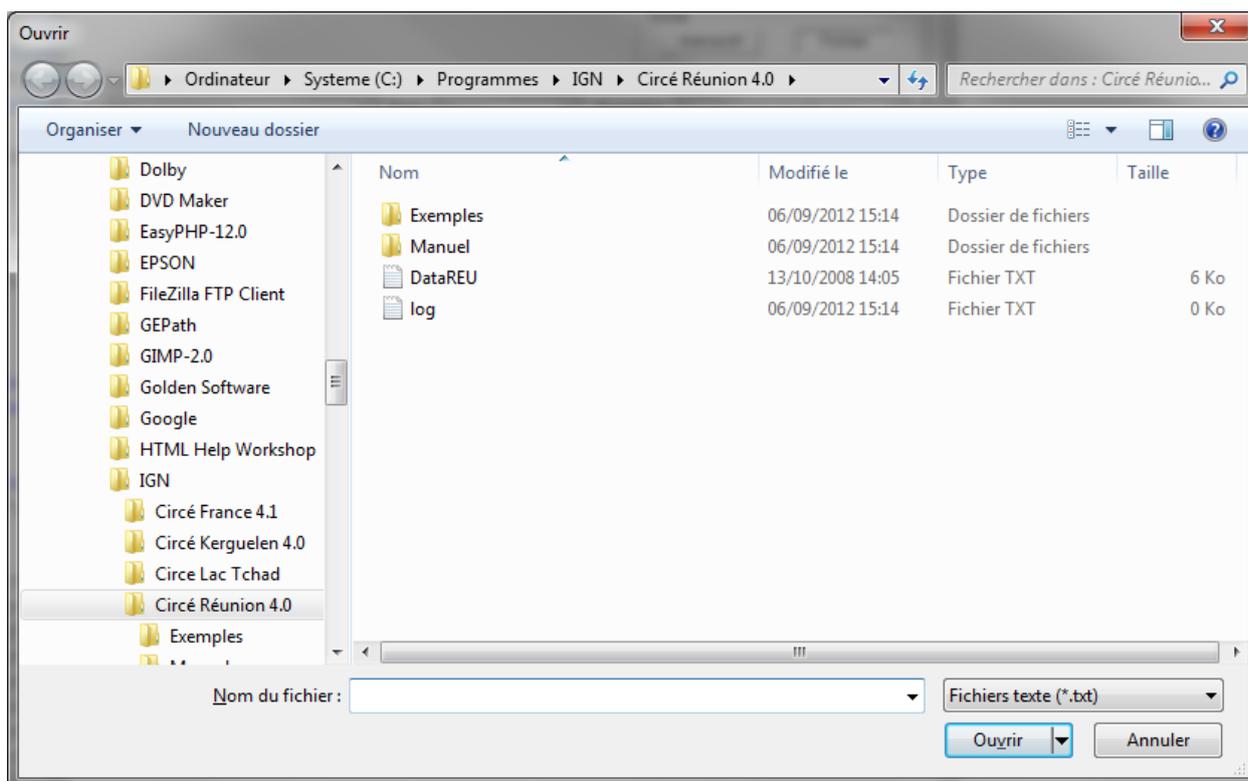
Le résultat s'affiche dans la partie basse de la fenêtre.

Mode Fichier



- (1) Choix du mode fichier.
- (2) Choix des systèmes géodésiques de départ et d'arrivée.
- (3) Choix des types de coordonnées de départ et d'arrivée.
Chaque liste de type de coordonnées dépend du système choisi.
- (4) Choix des projections de départ et d'arrivée, si les coordonnées planes ont été choisies en (3).
Chaque liste de projections dépend du système choisi.
- (5) Choix des unités de départ et d'arrivée.
Chaque liste d'unités dépend du système et du méridien origine choisis.
- (6) Choix des méridiens origines de départ et d'arrivée.
- (7) Choix du système altimétrique.
Pour convertir une hauteur en altitude et réciproquement.
- (8) Choix des fichiers de départ et d'arrivée.

Une fenêtre permettant de saisir le nom des fichiers et de choisir entre différents formats apparaît :



Choisir le fichier et cliquer sur le bouton **Ouvrir**. Pour le fichier de sortie, au lieu du bouton Ouvrir, vous avez le bouton **Enregistrer**.

(8b) Choix des formats des fichiers de départ et d'arrivée.

Chaque liste de formats des données dépend du type de coordonnées choisi.

Les fichiers de coordonnées sont des fichiers texte (ASCII).

Les [formats](#) sont les suivants :

Avec un nom → [Nom][blanc][Coordonnée 1][blanc][Coordonnée 2][blanc][Coordonnée 3]

Sans nom → [Coordonnée 1][blanc][Coordonnée 2][blanc][Coordonnée 3]

Les Coordonnées 1, 2 et 3 sont définies par l'utilisateur dans la fenêtre de format des données.

Toute ligne blanche ou commençant par le caractère '*' n'est pas lue et ne réapparaît pas dans le fichier d'arrivée.

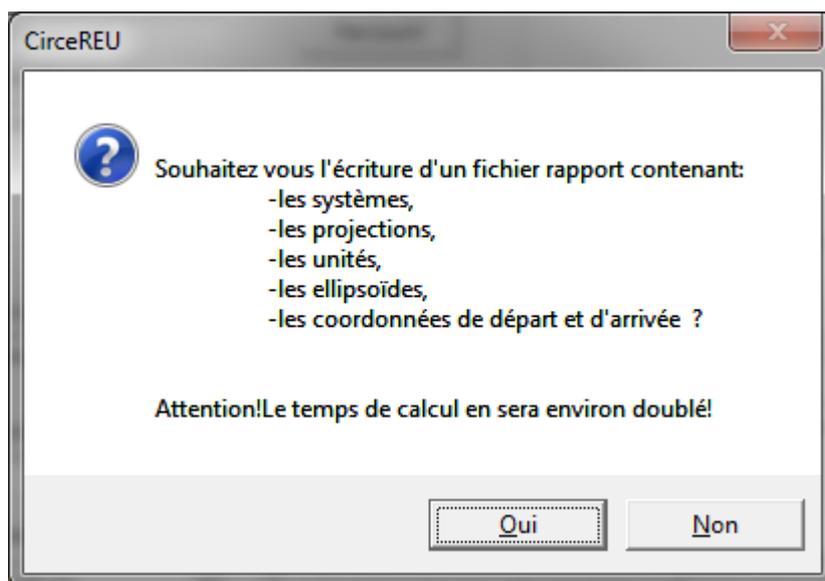
Un fichier d'arrivée est réutilisable directement en entrée pour une nouvelle transformation.

On se reportera au chapitre [Les Interdits](#), tous les cas n'étant pas autorisés.

(9) En sortie, avec des coordonnées planes, vous avez la possibilité d'écrire pour chaque point, la convergence des méridiens et l'altération linéaire en cliquant dans la case *Impression de l'altération linéaire*.

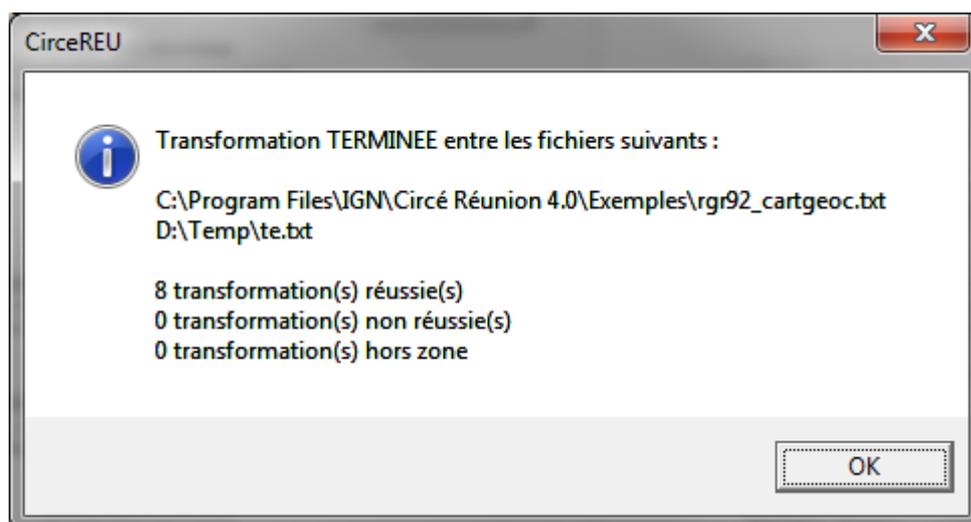
(10) Cliquez sur le bouton **Calculer** ou la touche **Entrée** du clavier.

Le logiciel vous propose alors l'écriture d'un fichier [rapport](#) :



Si vous répondez **Oui**, une fenêtre de saisie du nom du fichier apparaît. Cette fenêtre est identique à la saisie du nom de fichier de coordonnées.

Vous n'avez plus qu'à suivre les indications.



Pendant la transformation, une barre de défilement invite à patienter.

A l'issue de la transformation, une fenêtre récapitule les résultats et les noms de fichiers.



Attention :

Si le format Degrés Minutes Secondes est choisi, la saisie dans le fichier des coordonnées géographiques devra se faire selon le format $\pm dd.mmssss$ en s'inspirant des exemples suivants :

12°01'45.24" de longitude ouest devient -12.014524

4°12'04.06" de latitude nord devient 4.020416

Les Interdits

Le tableau suivant récapitule les différentes possibilités de transformations .

* [Dans ce tableau , on note l'abréviation **SLT** pour les *Systèmes Locaux Terrestres* tels que la NTF]

	Type de coordonnées au départ	Autorisation de départ	Type de coordonnées autorisées à l'arrivée
Transformation standard	E N	Oui	E N / $\lambda \varphi$ / X Y Z (sauf SLT)
	E N altitude	Oui	E N altitude / $\lambda \varphi$ altitude / X Y Z (sauf SLT)
	E N hauteur	SLT interdit	E N hauteur / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)
	$\lambda \varphi$	Oui	E N / $\lambda \varphi$ / X Y Z (sauf SLT)
	$\lambda \varphi$ hauteur	SLT interdit	E N hauteur / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)
	$\lambda \varphi$ altitude	Oui	E N altitude / $\lambda \varphi$ altitude/ X Y Z (sauf SLT)
	X Y Z	SLT interdit	X Y Z (sauf SLT) / E N hauteur / $\lambda \varphi$ hauteur
Transformation grille	E N	Oui	E N / $\lambda \varphi$ / X Y Z (sauf SLT)
	E N altitude	Oui	E N altitude/ E N hauteur / $\lambda \varphi$ altitude / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)
	E N hauteur	SLT interdit	E N altitude/ E N hauteur / $\lambda \varphi$ altitude / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)
	$\lambda \varphi$	Oui	E N / $\lambda \varphi$ / X Y Z (sauf SLT)
	$\lambda \varphi$ hauteur	SLT interdit	E N altitude/ E N hauteur / $\lambda \varphi$ altitude / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)
	$\lambda \varphi$ altitude	Oui	E N altitude/ E N hauteur / $\lambda \varphi$ altitude / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)
	X Y Z	SLT interdit	E N altitude/ E N hauteur / $\lambda \varphi$ altitude / $\lambda \varphi$ hauteur / X Y Z (sauf SLT)

La saisie de (E N h) est interdite en entrée pour les SLT, d'une part pour réduire les risques d'erreur, d'autre part en raison de la nature bidimensionnelle de ces systèmes triangulés.

Cependant la valeur de la hauteur est fournie automatiquement en sortie par le programme, même si elle ne peut être réutilisée en entrée dans le cas des SLT.

Les systèmes locaux terrestres, issus de triangulation, sont des systèmes bidimensionnels.

Géodésiquement, il est donc incorrect de parler de coordonnées tridimensionnelles (géographiques ou cartésiennes) dans ce type de système.

Cependant, Circé doit prendre en compte les éventuels besoins de transformations standards métriques pour la navigation, il autorise donc ces coordonnées, mais on conseille de les utiliser uniquement dans la page *transformation standard*, et non dans la page *transformation grille* qui permet des transformations plus précises.

Fichiers utilisés

Fichiers d'initialisation

Fichier de configuration de l'application

C'est un fichier texte nommé "CirceREU.ini".

Ce fichier contient des informations concernant le répertoire contenant le programme, le nom des fichiers utilisés... Il est créé à l'installation.

Fichier des données des systèmes, projections, ellipsoïdes, méridiens et paramètres de transformation standard

C'est un fichier texte.

Ce fichier nommé "data.txt", contient tous les paramètres indispensables aux transformations. Il doit être présent dans le répertoire où est installé CirceREU.exe.

On attire l'attention de l'utilisateur à ne pas faire de modifications dans ce fichier pour éviter de commettre des erreurs qui compromettraient l'exactitude des résultats, voire le bon fonctionnement du logiciel.

Fichiers de conversion altimétrique

- **Système IGN89 (via la grille RAR07)**

C'est un fichier texte nommé "rar07.mnt".

ENTETE (sur une seule ligne) :

- la longitude minimale
- la longitude maximale
- la latitude minimale
- la latitude maximale
- le pas en longitude
- le pas en latitude
- l'ordre de rangement (formats internes du SGN)
- présence des coordonnées de chaque nœud ? (0 non, 1 oui)
- le nombre de valeurs par nœud (hors code de précision)
- présence du code de précision ? (0 non, 1 oui)
- la translation en mètres (autant de valeurs que de valeurs par nœud)
- la description détaillée de la grille

CORPS : 1 enregistrement pour tous les nœuds de la grille.

Pour le programme Circé Réunion, l'organisation des enregistrements est séquentielle par lignes Ouest – Est successives du Nord au Sud.

Extrait du début du fichier rar07.mnt :

```
55.14 55.94 -21.5 -20.75 0.01 0.01 2 0 1 1 0. LA REUNION - Grille de conversion
altimétrique IGN89 vers RGR92 (réalisation 07)
-1.07 99 -0.9977 99 -0.9296 99 -0.8634 99 -0.8 99 -0.7395 99 -0.682 99 -0.6283 99
-0.5771 99 -0.5281 99 -0.4804 99 -0.4344 99 -0.3915 99 -0.3524 99 -0.3175 99 -
0.2867 99
```

Les coordonnées et les pas en longitude et latitude de l'en-tête sont exprimées en degrés décimaux dans le système RGR92. Les coordonnées des nœuds ne sont pas répétées dans le corps du fichier. Les pas de grilles sont égaux à $1/100^{\circ}$ de degré en longitude et $1/100^{\circ}$ de degré en latitude.

Codes de Précision

- Tous les nœuds situés sur ou à proximité immédiate des terres émergées ont un code de précision 02 (entre 5 et 10 cm). Les autres nœuds ont un code de précision de 99 (supérieur à 1 mètre, et hors zone d'application de la surface de conversion)

*Ce fichier doit être présent dans le répertoire où est installé **circereu.exe**.*

Fichiers de coordonnées

Dans tous les fichiers, sont autorisés :

- Les lignes blanches
- Les commentaires (ligne commençant par le caractère '*')

Fichiers de coordonnées à transformer

Un certain nombre de formats existent et sont utilisables :

- **Avec un nom de point**

Le format est :

[Nom (20 car)][blanc][Coordonnée 1][blanc][Coordonnée 2][blanc][Coordonnée 3]

- **Coordonnées cartésiennes (Nom X Y Z)**

Les coordonnées sont:

1 → X
2 → Y
3 → Z

Exemple:

```
*fichier exemple de transfo de Circé pour la Réunion  
*RGR92 cartésiennes
```

```
Point1 3393180.7080 4873117.8610 -2320214.902
```

- **Coordonnées géographiques et hauteur sur ellipsoïde (Nom Lon Lat Hauteur ou Nom Lat Lon Hauteur)**

Les coordonnées sont:

1 → λ ou 1 → φ
2 → φ ou 2 → λ
3 → h ou 3 → h

Exemple:

```
*fichier exemple de Circé pour la Réunion  
*Coordonnées système RGR92 géographiques
```

```
Point1 55.20000 -21.28000 10.0000
```

- **Coordonnées géographiques et altitude (Nom Lon Lat Altitude ou Nom Lat Lon Altitude)**

Les coordonnées sont:

1 → λ ou 1 → φ
2 → φ ou 2 → λ
3 → H ou 3 → H

Exemple:

*fichier exemple de Circé pour la Réunion
*Coordonnées système Piton des Neiges géographiques

Point1 55.20000 -21.28000 6.771

▪ **Coordonnées planes et altitude (Nom E N Altitude)**

Les coordonnées sont:

1 → E

2 → N

3 → H

Exemple:

*fichier exemple de Circé pour la Réunion
*Coordonnées système RGR92 planes projection UTM Sud fuseau 30 Altitude
IGN89

Point1 313256.461 7645798.648 6.771

▪ **Sans nom de point**

Les formats sont strictement identiques en enlevant le champ du nom

Fichiers de coordonnées transformées

Les formats des coordonnées sont les mêmes que pour les fichiers avant la transformation.

Le début des fichiers contient des renseignements sur la transformation effectuée, ainsi que la date du travail.

Si des erreurs de formats de coordonnées (par exemple un caractère au milieu des chiffres) sont détectées, un commentaire indiquera l'erreur dans le fichier après transformation. Vous pourrez donc le réutiliser ensuite tel quel, sans avoir à le modifier en voulant supprimer ces lignes. Au passage suivant, ces lignes auront disparues.

Exemple d'un fichier :

```
*Mardi 9/9/2008 -- 16:04:21
*Résultat de la transformation de type Standard entre:
*SYSTEME : Piton des Neiges
*COORDONNÉES : Géographiques
*ELLIPSOÏDE : International (Hayford 1909)
*MERIDIEN : Greenwich
*UNITE : Degrés Minutes Secondes
```

```
*SYSTEME : RGR92
*COORDONNÉES : Planes
*ELLIPSOÏDE : GRS 1980
*PROJECTION : UTM Sud fuseau 40
```

```
*SYSTEME ALTIMETRIQUE : IGN89 (via RAR07)
```

```
*
*          Nom                E                N                Alt        Conv(Radians)  Alt
Lin(mm/km)  préc. plani        préc alti
93.8        974210801        342122.248        7666098.474        3069.619        -0.009552        -
                de 5 à 10cm                de 5 à 10cm
```

	97414D01	334534.375	7653583.375	890.893	-0.010070	-
63.6	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
	974131303	323966.954	7657779.017	359.045	-0.010691	-
19.3	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
	974040201	332782.668	7649383.374	332.961	-0.010196	-
56.4	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
	974080901	327773.018	7682196.260	269.966	-0.010341	-
35.6	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
	974080701	328323.513	7685101.170	174.264	-0.010294	-
37.9	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
	974100702	366415.442	7671449.988	56.773	-0.008062	-
180.8	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
	974131201	321978.258	7658295.776	1.361	-0.010809	-
10.6	de 5 à 10cm		de 5 à 10cm			
* Fin Mardi 9/9/2008 -- 16:04:21						

Fichiers "rapport"

Fichier rapport

Avant le début du calcul en mode fichier, le programme vous propose de créer votre fichier rapport. Il vous donne quelques renseignements de plus que le fichier résultat:

- le nom des fichiers
- les coordonnées d'entrée et les coordonnées de sortie sur une même ligne,
- les données des ellipsoïdes
- ...

Exemple :

```
IGN / SGN / Information géodésique           Mardi 9/9/2008 -- 16:08:02
2 avenue Pasteur, 94165 Saint Mandé Cedex.
Tel : 01 43 98 80 00 / Fax : 01 43 98 84 50 / Site internet : www.ign.fr
```

```
-----
Transformation de type Standard
-----
```

```
COORDONNÉES          INITIALES          :          Fichier
D:\Transfos_Calculs\Circe_Reunion_2008\Tests\pdn_geodms_alti.txt
Référentiel géodésique : Piton des Neiges
Ellipsoïde           : International (Hayford 1909) (a= 6378388.000, e2= 0.006722670022)
Méridien origine     : Greenwich
Coordonnées géographiques en Degrés Minutes Secondes(lon, lat, altitude)

COORDONNÉES FINALES : Fichier D:\Transfos_Calculs\Circe_Reunion_2008\Tests\test.txt
Référentiel géodésique : RGR92
Ellipsoïde           : GRS 1980 (a= 6378137.000, e2= 0.006694380023)
Projection           : UTM Sud fuseau 40
Coordonnées planes E, N, Altitude en mètres
-----
```

3069.619	974210801	55.290913896	-21.051301504	3069.619		342122.248	7666098.474
	97414D01	55.244179038	-21.115747049	890.893		334534.375	7653583.375
890.893							
	974131303	55.183701136	-21.093739135	359.045		323966.954	7657779.017
359.045							
	974040201	55.233953675	-21.141344158	332.961		332782.668	7649383.374
332.961							
	974080901	55.205795761	-20.562480873	269.966		327773.018	7682196.260
269.966							
	974080701	55.211807371	-20.545054374	174.264		328323.513	7685101.170
174.264							
	974100702	55.431242742	-21.022616030	56.773		366415.442	7671449.988
56.773							
	974131201	55.172828266	-21.091987696	1.361		321978.258	7658295.776
1.361							

Fichier LOG.TXT

Le fichier "log.txt" est un fichier qui se crée automatiquement à l'ouverture du programme et qui garde une trace de toutes les transformations que vous effectuez, jusqu'à la fermeture du programme.

Il écrase le précédent, donc si vous voulez le conserver, n'oubliez pas de le renommer.

Exemple :

```
-----
Mardi 9/9/2008 -- 16:09:37
POINT : Transformation : Standard
SYSTEME DE DEPART : RGR92 Géographiques Degrés Minutes Secondes
Ellipsoïde : GRS 1980
Méridien : Greenwich
lon= 55.0900000000 lat= -21.0748000000 h = 0.0000
SYSTEME D'ARRIVEE : Piton des Neiges Géographiques Degrés Minutes Secondes
Ellipsoïde : International (Hayford 1909)
Méridien : Greenwich
lon= 55.0921127423 lat= -21.0702909962 h = -9.8576
-----

Mardi 9/9/2008 -- 16:09:54
POINT : Transformation : Standard
SYSTEME DE DEPART : RGR92 Géographiques Degrés Minutes Secondes
Ellipsoïde : GRS 1980
Méridien : Greenwich
lon= 55.3224000000 lat= -21.0748000000 h = 0.0000
SYSTEME D'ARRIVEE : Piton des Neiges Géographiques Degrés Minutes Secondes
Ellipsoïde : International (Hayford 1909)
Méridien : Greenwich
lon= 55.3244998859 lat= -21.0703264236 h = -3.4395
-----

Mardi 9/9/2008 -- 16:10:01
POINT : Transformation : Standard
SYSTEME DE DEPART : RGR92 Géographiques Degrés Minutes Secondes
Ellipsoïde : GRS 1980
Méridien : Greenwich
lon= 55.3224000000 lat= -21.0748000000 alt = 200.0000
SYSTEME DE D'ARRIVEE : Piton des Neiges Planes
Ellipsoïde : International (Hayford 1909)
Projection : Gauss-Laborde Réunion
E= 161298.5973 N= 49899.5534 alt = 200.0000
Convergence : 0.001621 (Degrés Minutes Secondes) Altération linéaire : 0.0 mm/km
-----

Mardi 9/9/2008 -- 16:10:31
POINT : Transformation : Standard
SYSTEME DE DEPART : Piton des Neiges Géographiques Degrés Minutes Secondes
Ellipsoïde : International (Hayford 1909)
Méridien : Greenwich
lon= 55.0951124690 lat= -21.0702917550 alt = 5.0000
SYSTEME DE D'ARRIVEE : Piton des Neiges Planes
Ellipsoïde : International (Hayford 1909)
Projection : Gauss-Laborde Réunion
E= 121649.5277 N= 49865.7600 alt = 5.0000
Convergence : -0.075877 (Degrés Minutes Secondes) Altération linéaire : 18.2 mm/km
-----
```

Trucs et Astuces

- **Changement d'unités des coordonnées calculées (mode interactif)**
Après un calcul avec des coordonnées géographiques à l'arrivée, si voulez voir les coordonnées dans une autre unité disponible, il suffit de changer l'unité dans la fenêtre d'arrivée sans recalculer.
- **Changement d'unités de la convergence des méridiens (mode interactif)**
Après un calcul avec des coordonnées planes, si voulez voir la convergence des méridiens dans une autre unité disponible, il suffit de changer l'unité dans la fenêtre d'arrivée sans recalculer.
- **Changement d'Est en Ouest (ou Ouest en Est) des coordonnées géographiques calculées**
Après un calcul, si voulez voir les coordonnées géographiques en Est ou Ouest, il suffit de cliquer sur le bouton opposé sans recalculer.

Erreurs logicielles bloquantes

Erreurs	Solutions
Impossible d'ouvrir le fichier "toto.txt"	Vérifier que le fichier "toto.txt" est bien dans le répertoire de CirceREU.exe
Erreur dans le fichier "data.txt" : Mauvais format à la ligne 10	Désinstaller puis réinstaller Circé pour réinitialiser le fichier DataREU.txt

Erreurs de lecture des fichiers

Erreurs	Solutions
Le fichier toto.txt est déjà utilisé	Donner un autre nom de fichier
Impossible de lire et d'écrire dans le même fichier	Donner un autre nom de fichier

Erreurs de saisie

Erreurs	Solutions
Impossible de passer du type de coordonnées X Y Z au type de coordonnées Nom Lon Lat Altitude	Changer de types pour qu'ils soient compatibles
Ne pas saisir de signe négatif	Changer de radio bouton (Est ou Ouest)

Erreurs géodésiques

Erreurs	Solutions
---------	-----------

Il est interdit de rentrer des hauteurs sur l'ellipsoïde dans le système ...	Choisir Altitude ou Sans Info
Les coordonnées que vous avez saisies sont hors de la zone d'application de la grille	Impossible de calculer, vous n'êtes plus sur la Zone Territoriale, essayer avec l'onglet standard
Les coordonnées que vous avez saisies sont hors de l'emprise du référentiel de départ (ou d'arrivée)	Impossible de calculer, vous n'êtes plus sur la zone d'application du référentiel (la zone d'application est précisée dans la fenêtre du message d'avertissement)

Aide Géodésique

A tout moment dans le programme, vous pouvez accéder à l'aide géodésique, en cliquant sur le bouton *Aide Géodésique* ou en tapant *F1*.

Cette aide est la compilation de plusieurs fichiers au format HTML, présents dans le sous-répertoire *aide html* du répertoire d'installation (par exemple *C:\Program Files\IGN\Circé Réunion 4.0*).

La lecture de ce fichier n'est possible qu'avec Internet Explorer version 3.0 et ultérieures.

Si vous ne possédez pas Internet Explorer, vous pourrez quand même lire les fichiers au format html extérieurement au programme, mais il ne se passera rien quand vous cliquerez sur le bouton d'aide.

Annexe A: Algorithmes nécessaires à la projection cartographique Gauss-Laborde

CALCUL DE LA LATITUDE ISOMETRIQUE.

Numéro : **ALG0001.**

Description :

Calcul de la latitude isométrique sur un ellipsoïde de première excentricité e au point de latitude φ .

Variables :

- paramètres en entrée :

φ : latitude.

e : première excentricité de l'ellipsoïde.

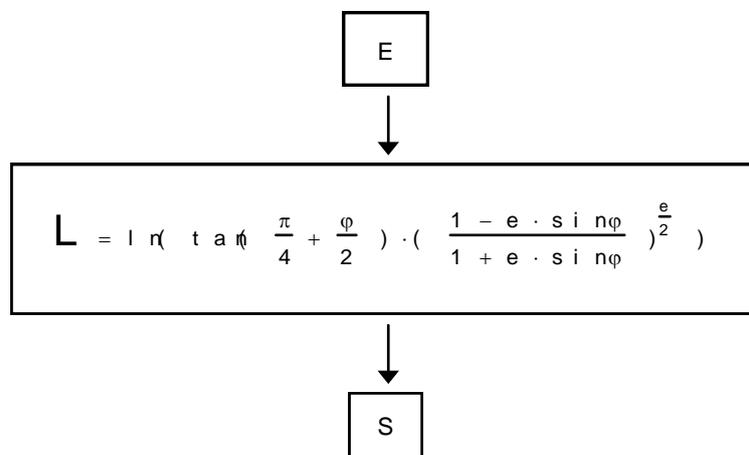
- paramètre en sortie :

L : latitude isométrique.

Schéma séquentiel :

E : φ , e .

S : L



CALCUL DE LA LATITUDE ISOMETRIQUE.

Jeux d'essai :

φ (rad)	0,872 664 626 00	-0,300 000 000 00	0,199 989 033 70
e	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98

\mathcal{L}	1,005 526 536 49	-0,302 616 900 63	0,200 000 000 009
---------------	------------------	-------------------	-------------------

Remarque :

On notera $\mathcal{L}(\varphi, e)$ la valeur de la latitude isométrique sur l'ellipsoïde de première excentricité e au point de latitude φ .

CALCUL DE LA LATITUDE A PARTIR DE LA LATITUDE ISOMETRIQUE.

Numéro : **ALG0002.**

Description :

Calcul de la latitude φ à partir de la latitude isométrique L .

Variables :

- paramètres en entrée :

L : latitude isométrique.
 e : première excentricité de l'ellipsoïde.
 ε : tolérance de convergence.

- paramètre en sortie :

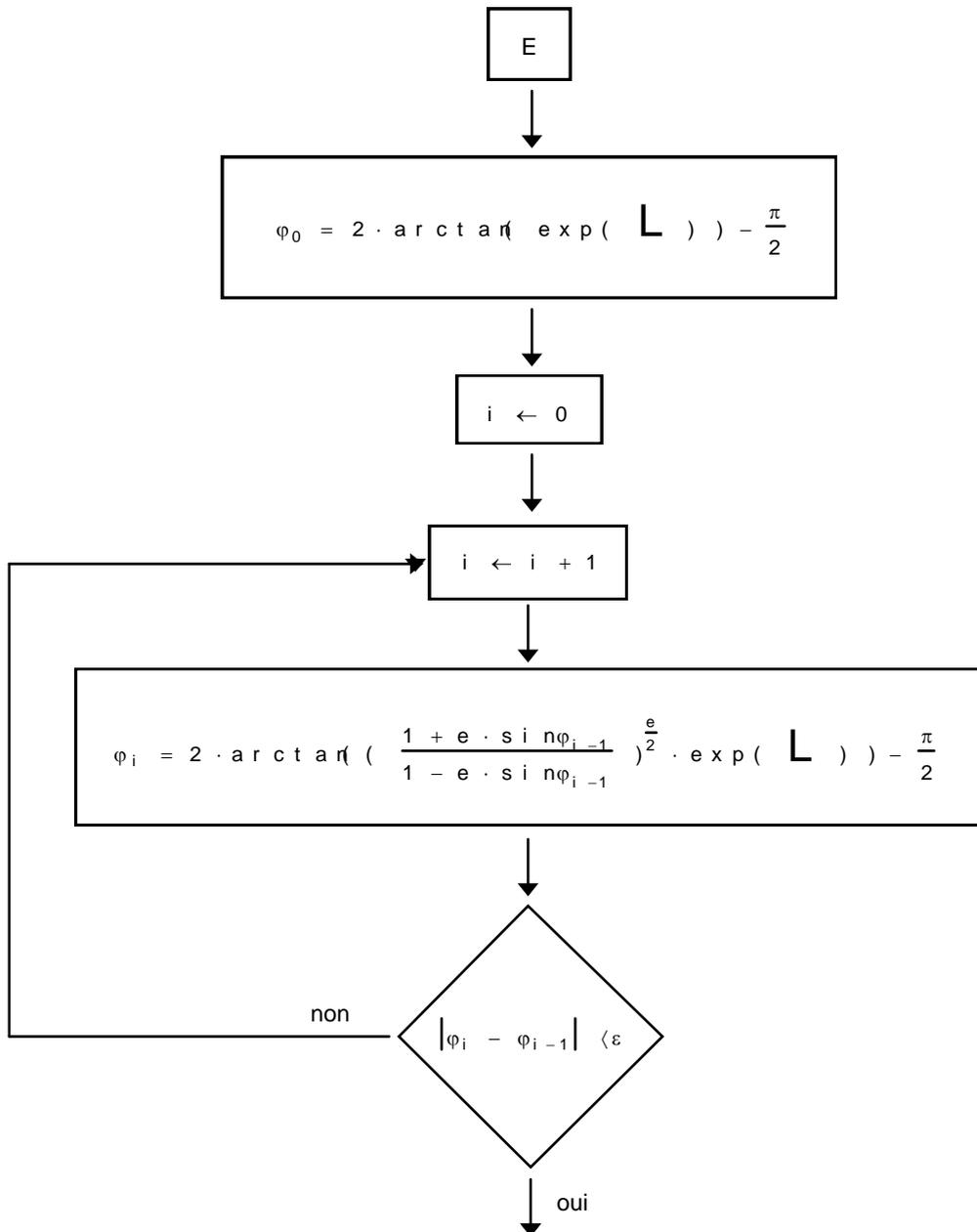
φ : latitude en radian.

CALCUL DE LA LATITUDE A PARTIR DE LA LATITUDE ISOMETRIQUE.

Schéma séquentiel :

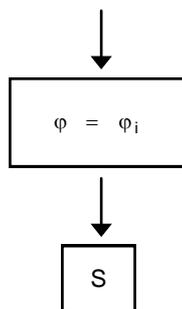
E : L, e, ε .

S : φ .



CALCUL DE LA LATITUDE A PARTIR DE LA LATITUDE ISOMETRIQUE.

Schéma séquentiel (suite) :



Jeux d'essai :

\mathcal{L}	1,005 526 536 48	-0,302 616 900 60	0,200 000 000 0
e	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98
ε	1.10 ⁻¹¹	1.10 ⁻¹¹	1.10 ⁻¹¹

φ (rad)	0,872 664 626 00	-0,299 999 999 97	0,199 989 033 69
-----------------	------------------	-------------------	------------------

Remarque :

On notera $\mathcal{L}^{-1}(\mathcal{L}, e)$ la valeur de la latitude à partir de la latitude isométrique \mathcal{L} pour un ellipsoïde de première excentricité e .

TRANSFORMATION DE COORDONNEES

$\lambda, \varphi \longrightarrow X, Y$ Gauss-Laborde.

Numéro : **ALG0034.**

Description :

Transformation de coordonnées géographiques en coordonnées planes dans le système de projection Gauss-Laborde.

Variables :

- paramètres en entrée :

λ : longitude.
 φ : latitude.
 e : première excentricité de l'ellipsoïde.
 λ_C : longitude origine par rapport au méridien origine.
 $n1$: exposant de la projection ellipsoïde-sphère.
 $n2$: rayon de la sphère intermédiaire.
 X_S, Y_S : constantes sur X, Y.
 c : constante de la projection.

- paramètres en sortie :

X, Y : coordonnées en projection Gauss-Laborde du point.

Algorithme utilisé :

ALG0001 : calcul de la latitude isométrique \mathcal{L} au point de latitude φ sur l'ellipsoïde.

Algorithme dont les résultats sont utilisés en entrée :

ALG0046 : détermination des paramètres de calcul $c, \lambda_C, n2, n1, X_S, Y_S$ à partir des paramètres de définition usuels. Trois cas sont répertoriés dans cet algorithme :

- la sphère de courbure,
- la sphère bitangente,
- la sphère équatoriale.

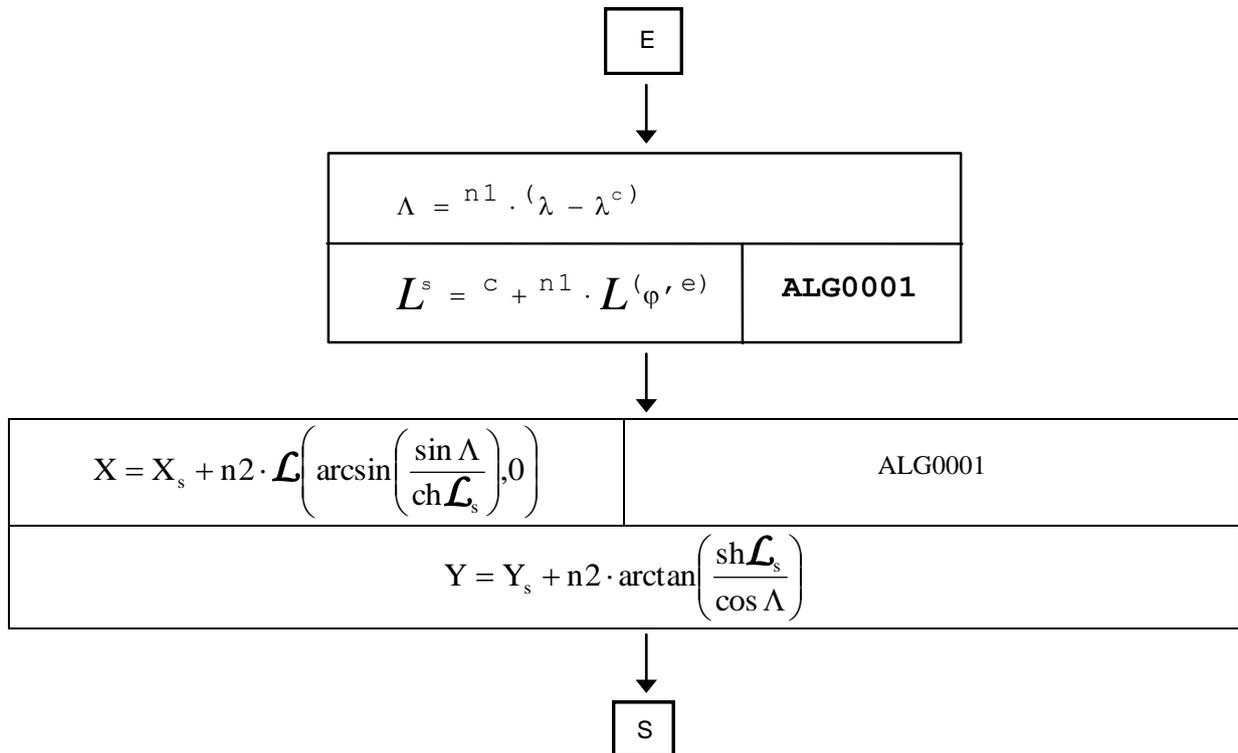
TRANSFORMATION DE COORDONNEES

$\lambda, \varphi \longrightarrow X, Y$ Gauss-Laborde.

Schéma séquentiel :

E : $\lambda, \varphi, e, \lambda_c, n1, n2, X_s, Y_s, c.$

S : X, Y.



Notations utilisées :

$L(\varphi, e)$: latitude isométrique L au point de latitude φ sur l'ellipsoïde de première excentricité e .

TRANSFORMATION DE COORDONNEES

$\lambda, \varphi \longrightarrow X, Y$ Gauss-Laborde.

Jeux d'essai :

e	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98
n1	1,002 559 356 938 9	1,0
n2 (m)	6 362 463,555 6	6 372 009,612 0
c	-0,000 407 020 69	0,0
λ_c (rad)	0,969 239 511 27	-0,925 024 503 56
X_S (m)	160 000,000 0	300 000,000 0
Y_S (m)	2 388 648,451 7	0,000 0
λ (rad)	0,968 657 734 83	-0,890 117 918 50
φ (rad)	-0,366 519 142 94	0,087 266 462 56

X (m)	156 534,177 0	521 634,317 5
Y (m)	62 916,925 0	552 678,296 0

TRANSFORMATIONS DE COORDONNEES

X, Y Gauss-Laborde \longrightarrow **λ, φ** .

Numéro : **ALG0035**.

Description :

Transformation de coordonnées planes en projection Gauss-Laborde, en coordonnées géographiques.

Variables :

- paramètres en entrée :

X, Y : coordonnées planes du point en projection Gauss-Laborde.

e : première excentricité de l'ellipsoïde.

λ_C : longitude origine par rapport au méridien origine.

n1 : exposant de la projection ellipsoïde-sphère.

n2 : rayon de la sphère intermédiaire.

X_S, Y_S : constantes sur X, Y.

c : constante de la projection.

ε : tolérance de convergence.

- paramètres en sortie :

λ : longitude.

φ : latitude.

Autres algorithmes utilisés :

ALG0001 : calcul de la latitude isométrique \mathcal{L} au point de latitude φ .

ALG0002 : calcul de la latitude φ à partir de la latitude isométrique \mathcal{L} .

Algorithme dont les résultats sont utilisés en entrée :

ALG0046 : détermination des paramètres de calcul c, λ_C , n2, n1, X_S , Y_S à partir des paramètres de définition usuels. Trois cas sont répertoriés dans cet algorithme :

- la sphère de courbure,
- la sphère bitangente,
- la sphère équatoriale.

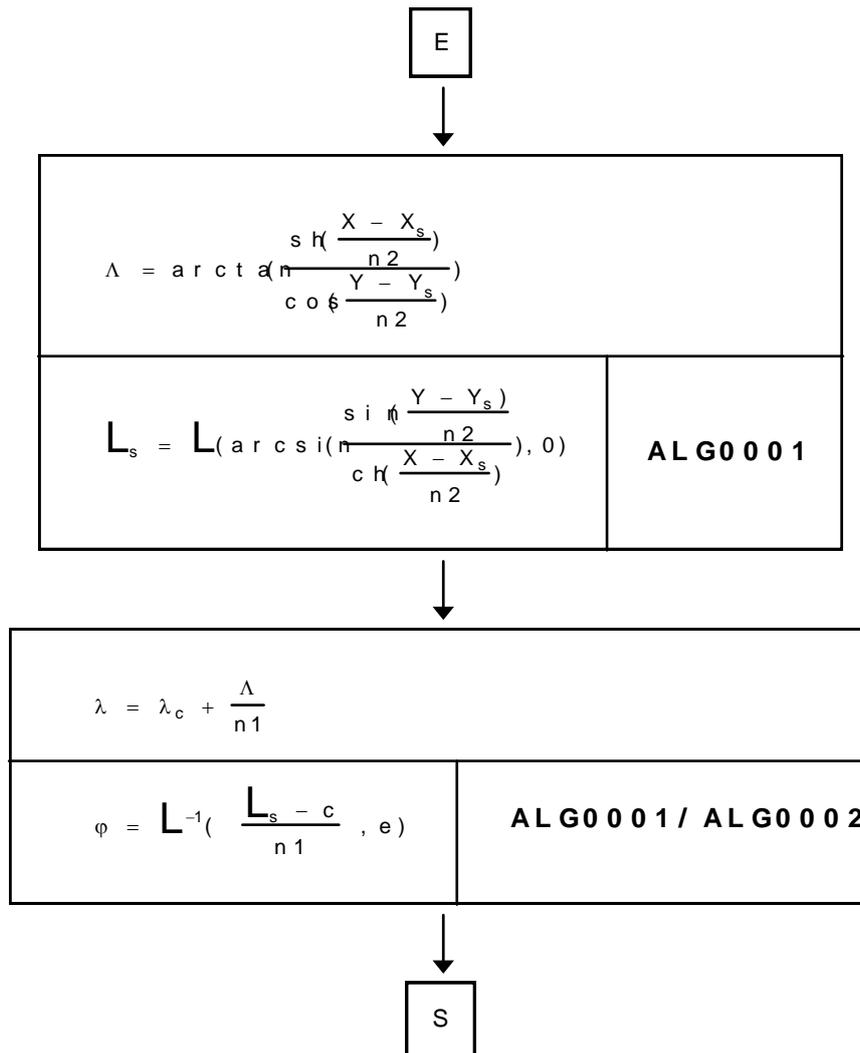
TRANSFORMATIONS DE COORDONNEES

X, Y Gauss-Laborde \longrightarrow **λ, φ** .

Schéma séquentiel :

E : X, Y, λ_c , e, n1, n2, X_s , Y_s , c, ε .

S : λ, φ .



Notations utilisées :

- $L(\varphi, e)$: latitude isométrique L au point de latitude φ sur l'ellipsoïde de première excentricité e , calculée avec la tolérance ε .
- $L^{-1}(L, e)$: latitude φ à partir de la latitude isométrique L sur l'ellipsoïde de première excentricité e , calculée avec la tolérance ε .

TRANSFORMATIONS DE COORDONNEES

X, Y Gauss-Laborde \longrightarrow **λ, φ** .

Jeux d'essai :

e	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98
n1	1,002 559 356 938 9	1,0
n2 (m)	6 362 463,555 6	6 372 009,612 0
c	-0,000 407 020 69	0,0
λ_c (rad)	0,969 239 511 27	-0,925 024 503 56
X_S (m)	160 000,000 0	300 000,000 0
Y_S (m)	2 388 648,451 7	0,000 0
X (m)	156 534,177 0	521 634,317 0
Y (m)	62 916,925 0	552 678,296 0
ϵ	1.10^{-11}	1.10^{-11}

λ (rad)	0,968 657 734 83	-0,890 117 918 58
φ (rad)	-0,366 519 142 94	0,087 266 462 56

PARAMETRES DE PROJECTION

Projection de Gauss-Laborde.

Numéro : **ALG0046.**

Description :

Détermination des paramètres de calcul des principaux types de projections de Gauss-Laborde en fonction des paramètres de définition usuels.

Variables :

- paramètres en entrée :

a : demi-grand axe.
e : première excentricité de l'ellipsoïde.
 λ_0 : longitude origine par rapport au méridien origine.
 φ_0 : latitude du point origine.
 k_0 : facteur d'échelle au point origine.
 X_0, Y_0 : coordonnées planes du point origine.
 ε : tolérance de convergence.

- paramètres en sortie :

e : première excentricité de l'ellipsoïde.
 λ_C : longitude origine par rapport au méridien origine.
 φ_C : latitude du point origine (sphère).
c : constante de la projection.
n1 : exposant de la projection ellipsoïde-sphère.
n2 : rayon de la sphère intermédiaire.
 X_S, Y_S : constantes sur X, Y.

PARAMETRES DE PROJECTION

Projection de Gauss-Laborde.

Variables (suite) :

Autres algorithmes utilisés :

ALG0001 : calcul de la latitude isométrique L au point de latitude φ .

ALG0002 : calcul de la latitude φ à partir de la latitude isométrique L .

Trois types de projections Gauss-Laborde sont répertoriés dans cet algorithme :

- sphère de courbure,
- sphère équatoriale,
- sphère bitangente.

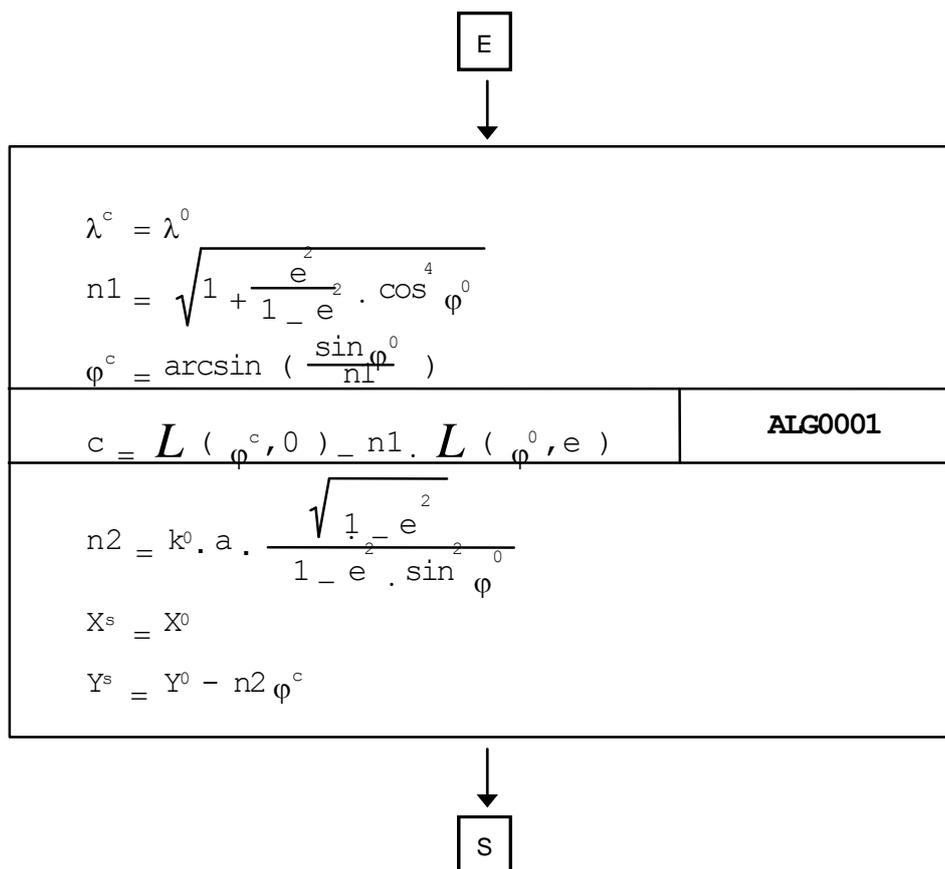
PARAMETRES DE PROJECTION

Projection de Gauss-Laborde.

Schéma séquentiel :

E : a , e , λ_0 , φ_0 , k_0 , X_0 , Y_0 , ε .
 S : e , λ_c , φ_c , c , n1 , n2 , X_s , Y_s .

Cas de la sphère de courbure :

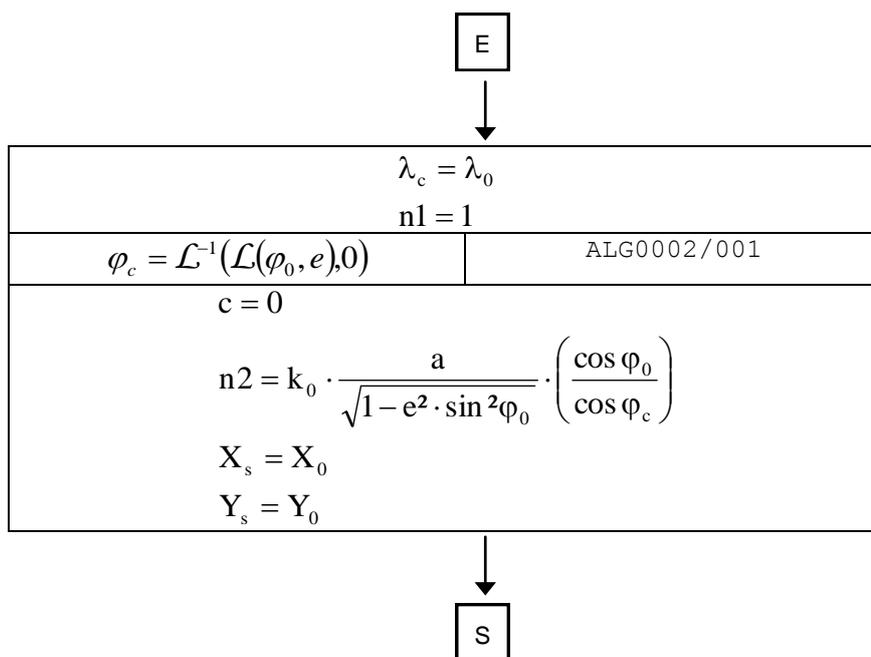


Suite des autres types de projections Gauss-Laborde à la page suivante.

PARAMETRES DE PROJECTION
Projection de Gauss-Laborde.

Schéma séquentiel (suite) :

Cas de la sphère équatoriale :

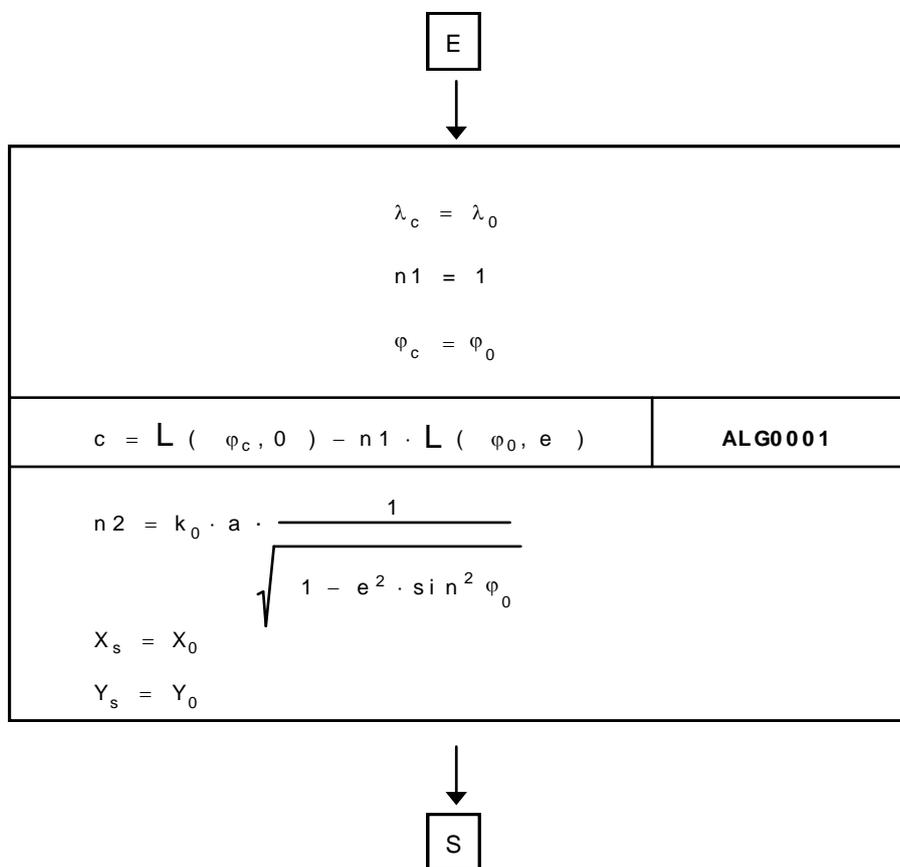


Suite des autres types de projections Gauss-Laborde à la page suivante.

PARAMETRES DE PROJECTION
Projection de Gauss-Laborde.

Schéma séquentiel (suite) :

Cas de la sphère bitangente :



Notations utilisées :

$L(\varphi, e)$: latitude isométrique L de φ sur l'ellipsoïde (L_S sur la sphère si $e=0$), calculée avec la tolérance ε .

$L^{-1}(L, e)$: latitude isométrique inverse sur l'ellipsoïde (sur la sphère si $e=0$), calculée avec la tolérance ε .

PARAMETRES DE PROJECTION
Projection de Gauss-Laborde.

Jeux d'essai :

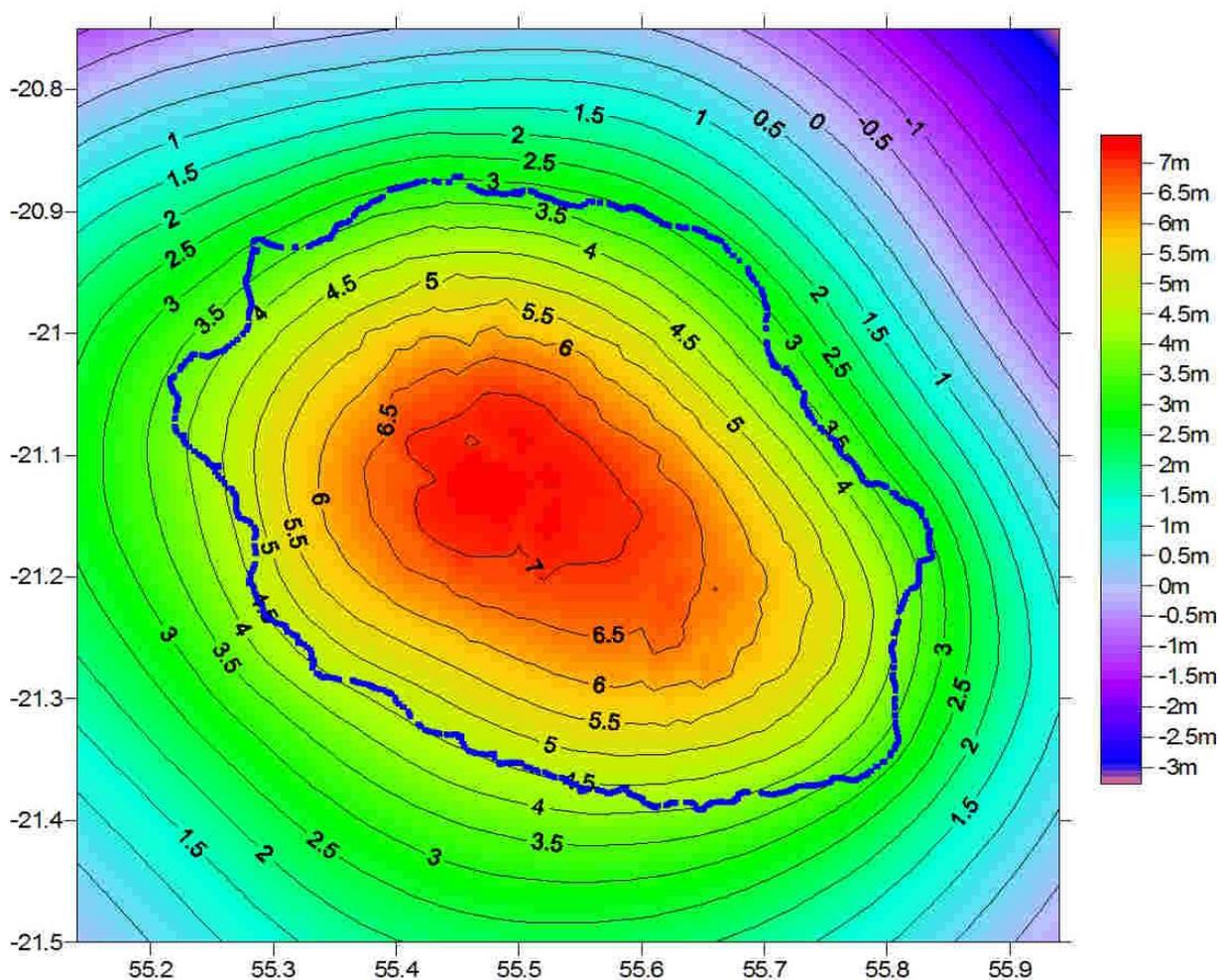
	Sphère de courbure	Sphère équatoriale
a (m)	6 378 388,000 0	6 378 388,000 0
e	0,081 991 889 98	0,081 991 889 98
λ_0 (rad)	0,969 239 511 27	-0,925 024 503 56
φ_0 (rad)	-0,368 555 360 38	0,000 000 000 00
k_0	1,0	0,999
X_0 (m)	160 000,000 0	300 000,000 0
Y_0 (m)	50 000,000 0	0,000 0
ε	1.10^{-11}	1.10^{-11}

e	6 378 388,0	6 378 388,0
λ_c (rad)	0,969 239 511 27	-0,925 024 503 56
φ_c (rad)	-0,367 569 642 05	0,000 000 000 00
c	-0,000 407 020 694	0,0
n1	1,002 559 356 939	1,0
n2 (m)	6 362 463,555 6	6 372 009,612 0
X_s (m)	160 000,000 0	300 000,000 0
Y_s (m)	2 388 648,451 7	0,000 0

Annexe B: Descriptif technique du quasi-géoïde gravimétrique QGGR06 et de la grille de conversion altimétrique RAR07

ILE DE LA REUNION

DESCRIPTIF TECHNIQUE DU QUASI-GÉOÏDE GRAVIMÉTRIQUE QGGR06 ET DE LA GRILLE DE CONVERSION ALTIMÉTRIQUE RAR07



1 Quasi-géoïde gravimétrique QGGR06

Il a été calculé en 2005-2006 par le LAREG et le SGN, suite à une forte demande des utilisateurs locaux de disposer d'une surface de conversion altimétrique plus précise que la grille géométrique GGR99. Le Conseil Général de La Réunion a également contribué à sa réalisation, par le financement d'acquisition de données gravimétriques par l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC). Le processus de calcul est basé sur la méthode dite « de retrait et restauration » et la technique du « terrain résiduel ». Pour constituer un tel modèle, on a besoin de données gravimétriques, d'un modèle numérique de terrain (MNT), et d'un modèle de champ. On trouvera ci-dessous les données qui ont été utilisées.

1.1 Ile de la Réunion

1.1.1 Gravimétrie terrestre

Bureau Gravimétrique International (BGI)

- Origine : Données mesurées par divers organismes et centralisées par le BGI
- Méthode d'obtention : diverses
- Couverture : mondiale
- Système : indéterminé

Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP)

- Origine : mesures terrain IPGP
- Méthode d'obtention : mesures de gravité relative avec un Scintrex CG3-M
- Couverture : Ile de La Réunion, plus précisément sur le Piton de la Fournaise et aux alentours.
- Système : gravimétrie IGSN71, positionnement projection Gauss-Laborde.

Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC)

- Origine : Données mesurées par l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand
- Méthode d'obtention : Mesures de gravité relative avec un Scintrex CG3-M rattachées à un point absolu.
- Couverture : Ile de La Réunion.
- Système : gravimétrie IGSN71, positionnement WGS84.

1.1.2 Gravimétrie marine

Bureau Gravimétrique International (BGI)

Voir ci-dessus, mêmes caractéristiques

KMS

- Origine : KMS (cadastre danois).
- Méthode d'obtention : Gravimétrie issue d'altimétrie par satellite. Attention : sur terre, les anomalies sont celles de EGM96 ; en mer proche des côtes (de l'ordre de 50 km), c'est un passage progressif des valeurs issues de l'altimétrie à celles issues de EGM96.
- Couverture : mondiale.
- Système : gravimétrie IGSN71, positionnement WGS84

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM)

- Origine : croisières SHOM.
- Méthode d'obtention : Mesures par gravimètre marin KSS31.
- Couverture : Près de la côte sud-est de l'île de La Réunion.
- Système : gravimétrie IGSN71, positionnement WGS84.

1.1.3 MNT

Partie terrestre

Le point de départ est le MNT BDTopo en projection Gauss-Laborde au pas de 12.5 m. On en a dérivé un MNT en coordonnées géographiques RGR92 au pas de 0.5 seconde, ce pas très fin étant judicieux pour rendre compte du relief très accidenté de l'île.

Partie marine

On utilise les données bathymétriques du SHOM :

- Origine : croisières SHOM
- Couverture : pourtour de l'île
- Système géodésique : on suppose que c'est du RGR92
- Système altimétrique : traditionnellement, le niveau de référence employé par le SHOM est celui des plus basses mers, alors que celui de l'IGN est le niveau moyen. Il faut donc prendre en compte ce décalage, et considérer (d'après le SHOM) que le zéro SHOM est situé environ 50 cm en dessous du zéro IGN.

Et celles de Sandwell :

- Origine : Scripps Institution of Oceanography, Université de Californie
- Méthode d'obtention : déduit d'altimétrie
- Couverture : mondiale
- Système : WGS84

1.2 *Ile MAURICE*

1.2.1 Gravimétrie terrestre

On utilise des données BGI

1.2.2 Gravimétrie marine

On dispose de données BGI et KMS

1.2.3 MNT

Partie terrestre

On utilise le modèle SRTM, le seul dont on dispose

- Origine : NASA
- Méthode d'obtention : par interférométrie radar, depuis la navette spatiale.
- Couverture : mondiale, sauf calotte polaire. Ce MNT ne possède pas de données bathymétriques.
- Système géodésique : WGS84-EGM96
- Pas : 3 secondes

Partie marine

Bathymétrie Sandwell uniquement

1.3 *MODELE DE CHAMP*

Modèle mixte composé des coefficients de GGM02S jusqu'au degré 100, et complété par ceux d'EGM96 jusqu'au degré 360.

2 Grille de conversion altimétrique RAR07

2.1 Processus de constitution

Pour créer une surface de conversion « hauteur ellipsoïdale/altitude » cohérente avec le système altimétrique local, il faut adapter le quasi-géoïde gravimétrique à un ensemble de points GPS nivelés, en nombre suffisant et de répartition homogène.

Cette opération a été possible suite à la campagne de mesures effectuée par le SGN en 2007.

Au cours de cette campagne, on a constitué par GPS le réseau de base RBR (Réseau de Base de la). Il est formé de 15 points matérialisés (anciennes bornes de 1992-1993), qui ont été observés par paquets de 3 lors de sessions d'au moins 8 heures.

On a également densifié ce réseau de base par un semis de 23 points secondaires. Parmi eux, 6 sont matérialisés (anciennes bornes de 1992-1993), les 17 autres ne le sont pas. Cet ensemble de points a été observé par des sessions individuelles d'au moins 3 heures, en simultanéité avec un ou plusieurs points du RBR réobservés pour l'occasion.

Les stations permanentes REUN, SLEU et PANO ont servi aux différents calculs GPS.

En ce qui concerne le nivellement, 13 points du RBR et 20 points secondaires ont été redéterminés en nivellement de précision.

Le quasi-géoïde gravimétrique QGGR06 a été adapté à ce jeu de points GPS nivelés, pour donner la Référence des Altitudes naises 2007 (RAR07). Pour cela, on dispose de l'anomalie d'altitude ζ_{GPSNIV} directement issue des observations des points GPS nivelés ; elle est égale à la différence entre la hauteur ellipsoïdale et l'altitude nivelée. On dispose également, grâce au quasi-géoïde gravimétrique, de la grandeur ζ_{GRAVI} qui est la hauteur de ce dernier par rapport à l'ellipsoïde de référence. On analyse la différence $\zeta_{\text{GPSNIV}} - \zeta_{\text{GRAVI}}$ par une méthode itérative. La première phase est le calcul puis le retrait d'une tendance linéaire. L'adaptation d'une fonction de covariance aux résidus permet, en chaque point GPS nivelé, de décomposer le résidu en signal et bruit, grâce à une interpolation par krigeage. Les points à fort bruit sont écartés. Une nouvelle itération du processus est alors mise en œuvre, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus aucun résidu hors norme, et dans le souci de maintenir une répartition homogène des points sur le territoire. On obtient ainsi la surface de conversion altimétrique souhaitée.

2.2 Ecarts entre la grille et les observations de nivellement

La grille est appliquée à un jeu de points indépendants, c'est-à-dire n'ayant pas participé à l'adaptation du quasi-géoïde à la référence altimétrique. Le jeu-test est composé de 28 points GPS nivelés, fournis par M^f Luc STRAUB, étudiant à l'INSA de Strasbourg, fruit de ses propres observations sur place lors de son stage de fin d'études. Nous le remercions pour sa précieuse collaboration.

Quelques précisions sur les observations terrain

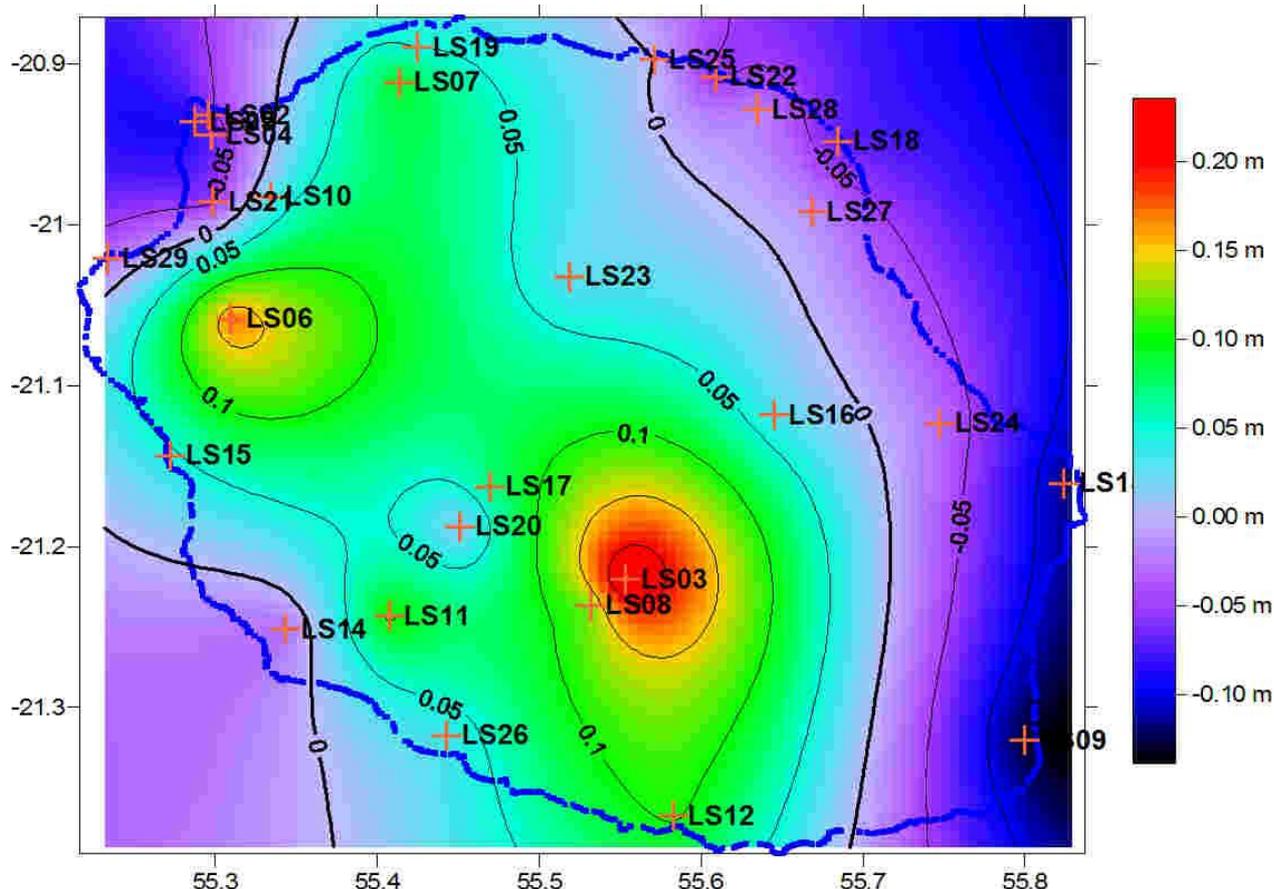
-les données GPS ont été acquises en mode « temps réel »

-le nivellement a été effectué sans contrôler la stabilité des repères

La méthode consiste à stationner un point GPS proche d'un repère de nivellement, à déterminer l'altitude GPS de l'ARP par utilisation de la grille, et par application de la dénivelée ARP-repère, obtenir l'altitude GPS du repère. Cette dernière est alors comparée à l'altitude nivelée connue du repère dans le référentiel altimétrique IGN89.

Les résultats sont visualisés par la carte suivante, qui doit être interprétée comme ceci :

$$\text{Altitude RAR07} = \text{Altitude IGN89} + \text{écart lu sur la carte}$$



Ainsi, on peut avoir une idée de la qualité du modèle en fonction du lieu. On constate les faits suivants:

- il existe deux zones présentant de gros écarts, mais elles sont en fait centrées sur des points eux-mêmes problématiques : le LS06 (écart de 0.17 m) et l'ensemble LS03-LS08 (écarts respectifs 0.24 et 0.12 m).
- la zone où l'écart est compris entre -5 et +5 cm correspond à la zone « utile » de l'île, c'est-à-dire approximativement la bande côtière.
- plus on monte vers les reliefs élevés, plus l'écart est important.

Ecart-type des écarts : 8 cm
Valeur minimale: -13.2 cm
Valeur maximale : 24.3 cm

2.3 Qualité du modèle

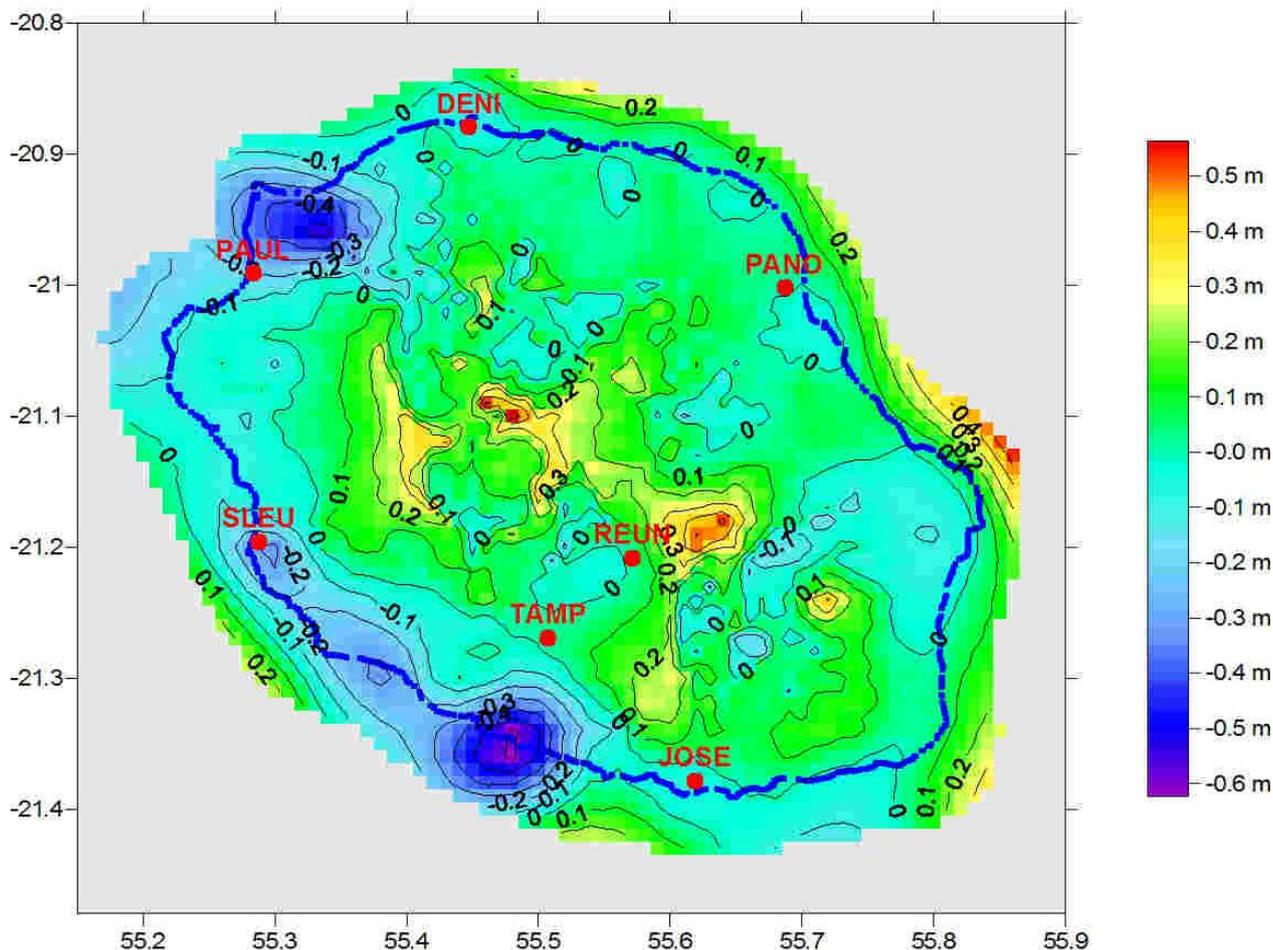
Le test « externe » décrit au paragraphe précédent, ainsi qu'un test « interne » (utilisant les points ayant servi à l'adaptation), permettent d'estimer la qualité de la grille RAR07.

La précision de la grille RAR07 est comprise entre 5 et 10 cm, à 1 sigma

3 Comparaison au modèle géométrique

Dans cette partie, nous comparons la nouvelle grille RAR07 à la grille géométrique GGR99. Rappelons que ce modèle géométrique est celui qui est utilisé dans les versions de Circé antérieures à 3.2. Le graphique ci-dessous représente la carte des écarts entre ces deux modèles. Il doit être utilisé dans le sens :

$$\text{Altitude RAR07} = \text{Altitude GGR99} + \text{écart lu sur la carte}$$



4 Utilisation de la grille RAR07

4.0 Conversion altimétrique

Cette surface représente la hauteur ellipsoïdale dans le système géodésique de la surface de cote 0 du système altimétrique. Ainsi on a :

$$H_{\text{IGN89}} = h_{\text{RGR92}} - \zeta_{\text{RAR07}}$$

- H_{IGN89} représente l'altitude IGN89
- h_{RGR92} la hauteur ellipsoïdale exprimée dans le référentiel RGR92
- ζ_{RAR07} la hauteur de la surface de conversion sur l'ellipsoïde du système géodésique.

Pratiquement la surface est représentée par une grille régulière rectangulaire dont les coordonnées des nœuds sont exprimées dans le système RGR92. Un interpolateur, généralement bilinéaire, permet d'exploiter la grille.

4.2 Description de la grille RAR07

4.2.1 Caractéristiques

Le produit final est une grille rectangulaire dont les caractéristiques sont :

longitude maximum	55.94°	minimum	55.14°
latitude maximum	-20.75°	minimum	-21.50°
pas en longitude	0.01°	pas en latitude	0.01°

système d'expression des coordonnées des nœuds : RGR92

4.2.2 Description du fichier texte RAR07.mnt

EN TETE : 1 enregistrement :

- la longitude minimale
- la longitude maximale
- la latitude minimale
- la latitude maximale
- le pas en longitude
- le pas en latitude
- l'ordre de rangement (formats internes du SGN)
- présence des coordonnées de chaque nœud ? (0 non, 1 oui)
- le nombre de valeurs par nœud (hors code de précision)
- présence du code de précision ? (0 non, 1 oui)
- la translation en mètres (autant de valeurs que de valeurs par nœud)
- la description détaillée de la grille

CORPS : 1 seul enregistrement pour toute la grille, avec pour chaque nœud de grille l'écart ζ_{RAR07} et le code de précision

Extrait du début du fichier rar07.mnt :

```
55.14 55.94 -21.5 -20.75 0.01 0.01 2 0 1 1 0. LA REUNION - Grille
de conversion altimétrique IGN89 vers RGR92 (réalisation 07)
-1.07 99 -0.9977 99 -0.9296 99 -0.8634 99 -0.8 99 -0.7395 99 -0.682
99 -0.6283 99 -0.5771 99 -0.5281 99 -0.4804 99 -0.4344 99 -0.3915
99 -0.3524 99 -0.3175 99 -0.2867 99
```

Les coordonnées et les pas en longitude et latitude de l'en-tête sont exprimées en degrés décimaux dans le système RGR92. Les coordonnées des nœuds ne sont pas répétées dans le corps du fichier. Les pas de grilles sont égaux à 1/100° de degré en longitude et 1/100° de degré en latitude. L'organisation des enregistrements est séquentielle par lignes Ouest – Est successives du Nord au Sud.

Ecart ζ_{RAR07} : c'est la correction à apporter à des hauteurs ellipsoïdales RGR92 pour obtenir des altitudes IGN89
 H (altitude IGN89) = h_e (hauteur ellipsoïdale RGR92) – ζ_{RAR07}

ORGANISATION DES ENREGISTREMENTS

Elle est séquentielle par lignes Ouest-Est successives du Nord au Sud, soit sous forme symbolique :

$$\{ i=1,n \varphi_i \{ j=1,m \lambda_j \zeta_{RAR07ij} \} \}$$

avec ici $n = 76$ et $m = 81$, soit 6156 enregistrements (hors entête). On a donc dans la grille 76 parallèles et 81 méridiens, bords inclus.

Ainsi, pour le $p^{\text{ème}}$ parallèle compté séquentiellement à partir du parallèle origine (GR1D1) et le $q^{\text{ème}}$ méridien compté séquentiellement à partir du méridien origine (GR1D1), la numéro k de l'enregistrement correspondant dans le fichier est donné par :

$$k = 81p + q + 1$$

CODES DE PRECISION

Ils représentent une évaluation qualitative de l'exactitude de la transformation. Ils sont ici relatifs à des valeurs d'écart type volontairement arrondies. On trouvera dans le fichier uniquement les codes suivants :

02	de 5 à 10 cm	terres émergées, constante pour toute l'île
99	supérieure à 1 m	hors zone d'application de la surface de conversion (en mer dans notre cas)

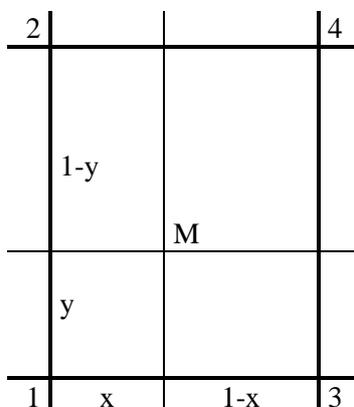
L'indication numérique de précision correspond à un écart type à 1 sigma.

INTERPOLATION BILINEAIRE

Soit une maille élémentaire constituée des quatre nœuds notés 1,2,3,4 délimitée par :

- les longitudes λ_1 (= λ_2) et λ_3 (= λ_4)
- les latitudes φ_1 (= φ_3) et φ_2 (= φ_4)

Pour un point M appartenant à cette maille et de longitude λ_M et de latitude φ_M , on obtient la valeur ζ_{RAR07M} en fonction des valeurs aux nœuds (ζ_{RAR071} , ζ_{RAR072} , ζ_{RAR073} , ζ_{RAR074}) par interpolation bilinéaire de la façon suivante :



Interpolation bilinéaire

$$\zeta_{RAR07M} = (1-x)(1-y)\zeta_{RAR071} + (1-x)y\zeta_{RAR072} + x(1-y)\zeta_{RAR073} + xy\zeta_{RAR074}$$

avec

$$x = \frac{\lambda_M - \lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \quad y = \frac{\varphi_M - \varphi_1}{\varphi_2 - \varphi_1}$$

Nota important

La grille de paramètres est fournie en longitude, latitude **dans le système géodésique RGR92**, (ellipsoïde GRS80, méridien origine GREENWICH, degrés décimaux) et valeurs de ζ_{RAR07} (en mètres) selon la convention :

$$\zeta_{\text{RAR07}} = \text{hauteur sur l'ellipsoïde (IAG GRS80)} - \text{altitude normale (IGN89)}$$