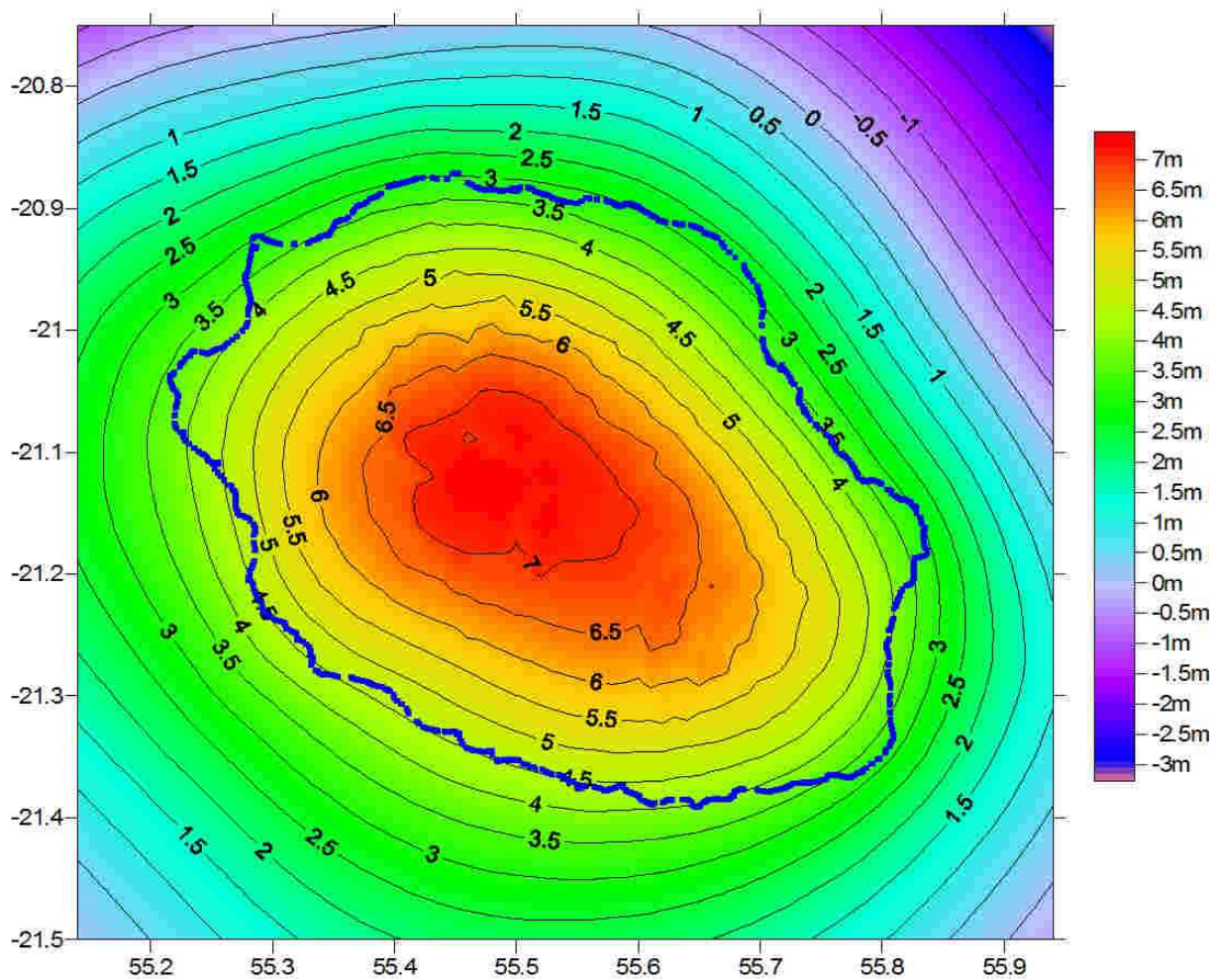


ILE DE LA RÉUNION

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



SOMMAIRE

1	QUASI-GEOÏDE GRAVIMETRIQUE QGGR06	1
1.1	ÎLE DE LA REUNION	1
1.1.1	<i>Gravimétrie terrestre</i>	1
1.1.2	<i>Gravimétrie marine</i>	1
1.1.3	<i>MNT</i>	2
1.2	ÎLE MAURICE	2
1.2.1	<i>Gravimétrie terrestre</i>	2
1.2.2	<i>Gravimétrie marine</i>	2
1.2.3	<i>MNT</i>	2
1.3	MODELE DE CHAMP	3
2	GRILLE DE CONVERSION ALTIMETRIQUE RAR07	3
2.1	PROCESSUS DE CONSTITUTION	3
2.2	ÉCARTS ENTRE LA GRILLE ET LES OBSERVATIONS DE NIVELLEMENT	3
2.3	QUALITE DU MODELE	5
3	COMPARAISON AU MODELE GEOMETRIQUE	5
4	UTILISATION DE LA GRILLE RAR07	6
4.1	CONVERSION ALTIMETRIQUE.....	6
4.2	DESCRIPTION DE LA GRILLE RAR07	6
4.2.1	<i>Caractéristiques</i>	6
4.2.2	<i>Description du fichier texte RAR07_bl.gra</i>	6

1 QUASI-GEOÏDE GRAVIMETRIQUE 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 REUNION

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 ALTIMETRIQUE 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 Réunion). 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 Réunionnaises 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^r 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

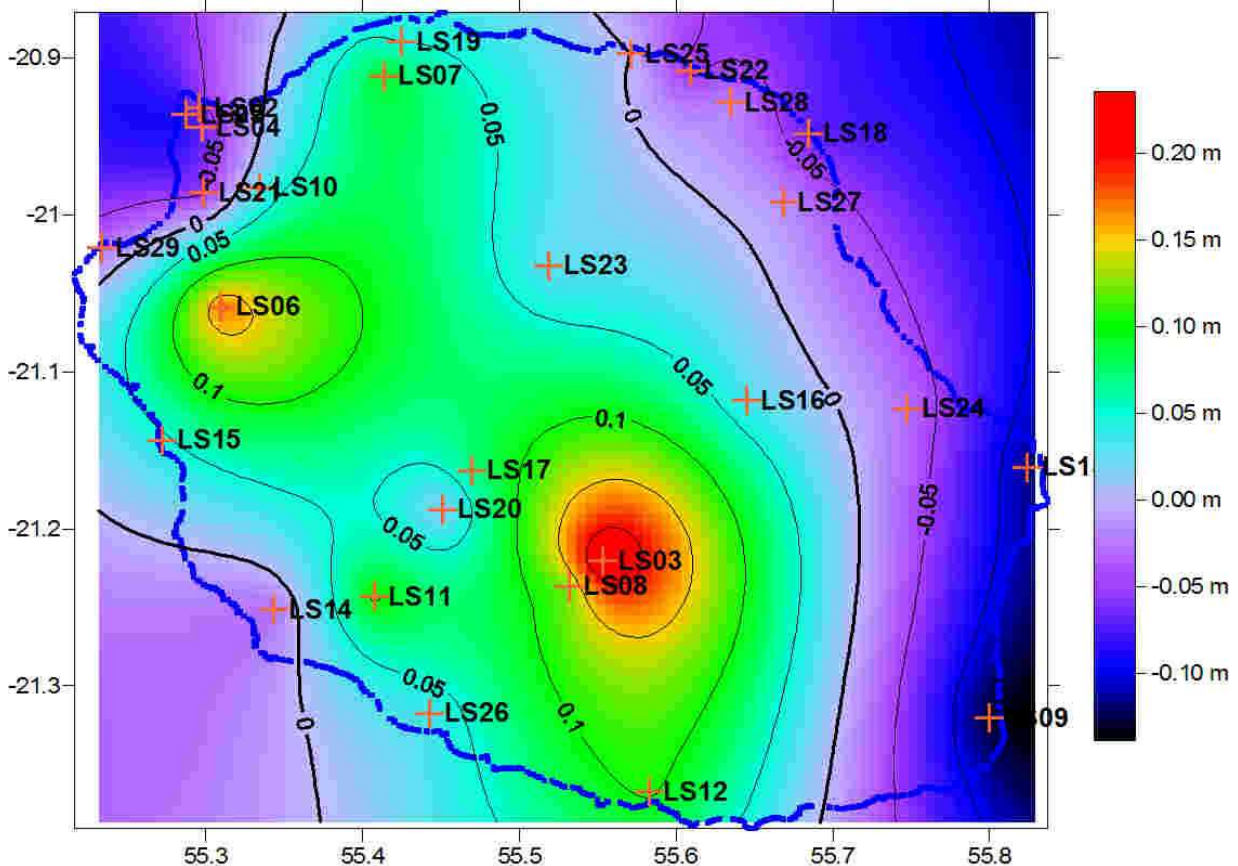
-les données GPS ont été acquises en mode « temps réel »

-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 :

Altitude RAR07 = Altitude IGN89 + 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

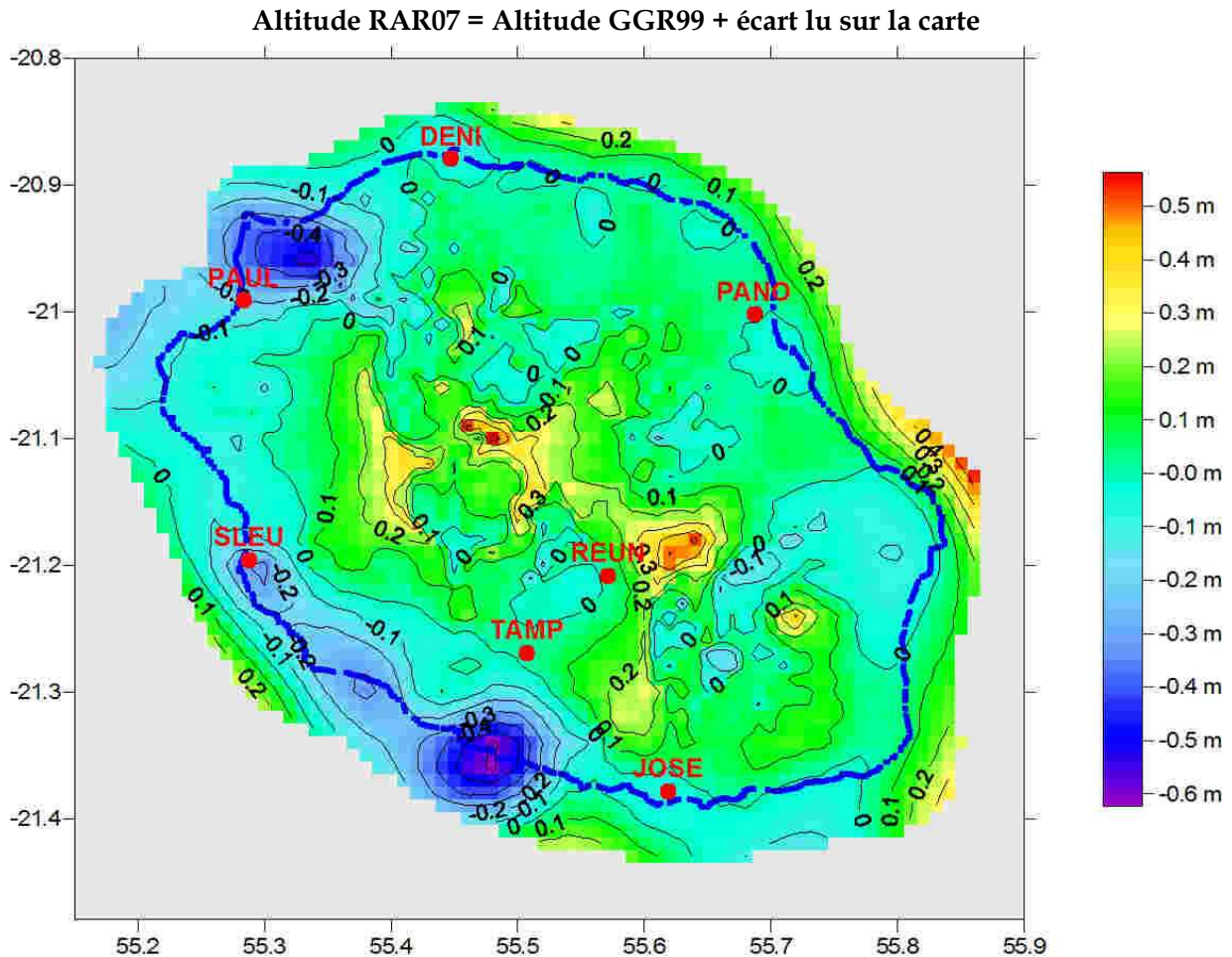
2.3 QUALITE DU MODELE

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 MODELE GEOMETRIQUE

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 Réunion antérieures à 3.2. Le graphique ci-dessous représente la carte des écarts entre ces deux modèles. Il doit être utilisé dans le sens :



On constate :

-la zone Nord-Ouest présente des écarts importants, de l'ordre de 0.5 m en valeur absolue. Ce n'est pas une surprise, on sait qu'elle présente des problèmes, mais il est impossible de savoir si la cause est la gravimétrie ou le GPS et le nivellement.

On constate :

-un point dans la partie Sud de l'île est problématique, l'écart est d'environ 0.5 m, à proximité de Saint-Pierre. Il semble que celui-ci soit bien connu des géomètres locaux, car il présente une faute concernant le nivellement.

-sur les parties en altitude et à proximité du volcan, les écarts sont de l'ordre de 30 à 40 cm. On peut en conclure que RAR07 constitue a priori une amélioration du modèle géométrique par prise en compte de la gravimétrie.

<p>Ecart-type des écarts : 15.1 cm Valeur minimale : -62 cm Valeur maximale : 56 cm</p>
--

4 UTILISATION DE LA GRILLE RAR07

4.1 CONVERSION ALTIMETRIQUE

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_bl.gra

Cette grille est diffusée au format GravSoft.

EN TETE : 3 lignes :

-21.50	-20.75
55.14	55.94
0.01	0.01

On y trouve l'emprise de la grille (coordonnées exprimées dans le système de référence RGR92), ainsi que les pas en latitude et longitude. Toutes ces valeurs sont exprimées en degrés décimaux.

CORPS : Le fichier rend compte d'un parcours de la grille tel que :

-on part du coin Nord-Ouest

-on décrit la ligne de latitude maximale d'Ouest en Est, par 81 valeurs (nombre obtenu du fait de l'emprise et du pas choisis en longitude)

-on revient au bord Ouest de la ligne suivante

-on décrit la ligne de latitude suivante d'Ouest en Est, par 81 valeurs

-etc...il y a 76 lignes de latitude à décrire (nombre obtenu du fait de l'emprise et du pas choisis en latitude)

Les enregistrements du fichier sont organisés par bloc. Un bloc correspond à une ligne de latitude constante sur le terrain. Etant donné ce qui est dit ci-dessus, le fichier contient donc 76 blocs de 81 valeurs. Par ailleurs, le format GravSoft autorise à stocker au maximum 8 valeurs par ligne physique du fichier. Donc on a, par bloc : 10 lignes physiques composée chacune de 8 valeurs, et 1 ligne physique composée de 1 valeur.

9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
9999	9999	3.543	3.658	3.775	3.882	3.986	4.087
4.186	4.286	4.383	4.477	4.564	4.643	4.723	4.796
4.874	4.947	5.015	5.087	5.161	5.226	5.289	5.353
5.394	5.428	5.457	5.478	5.496	5.502	5.525	5.507
5.548	5.438	5.503	5.394	5.362	5.318	5.237	5.158
5.096	4.977	4.863	4.739	4.596	4.454	4.321	4.180
3.997	3.803	3.604	3.386	3.153	2.926	2.709	9999
9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
9999							

NOTION DE BLANCHIMENT

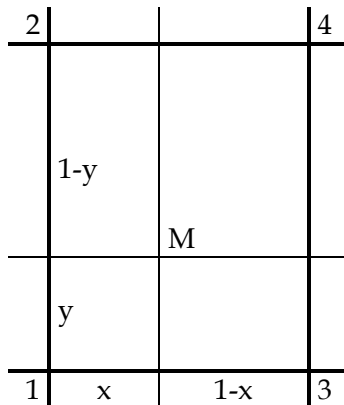
La grille diffusée ici est dite « blanchie », c'est-à-dire que les valeurs en mer sont codées à 9999, à l'exception de celles situées près des côtes (5 à 10 km) qui sont laissées à leur valeur réelle pour permettre l'interpolation sur les parties terrestres de bord de mer.

INTERPOLATION BILINEAIRE

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

- les longitudes $\lambda_1 (= \lambda_2)$ et $\lambda_3 (= \lambda_4)$
- les latitudes $\varphi_1 (= \varphi_3)$ et $\varphi_2 (= \varphi_4)$

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

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