



GEOIDE GEOMETRIQUE FRANCAIS

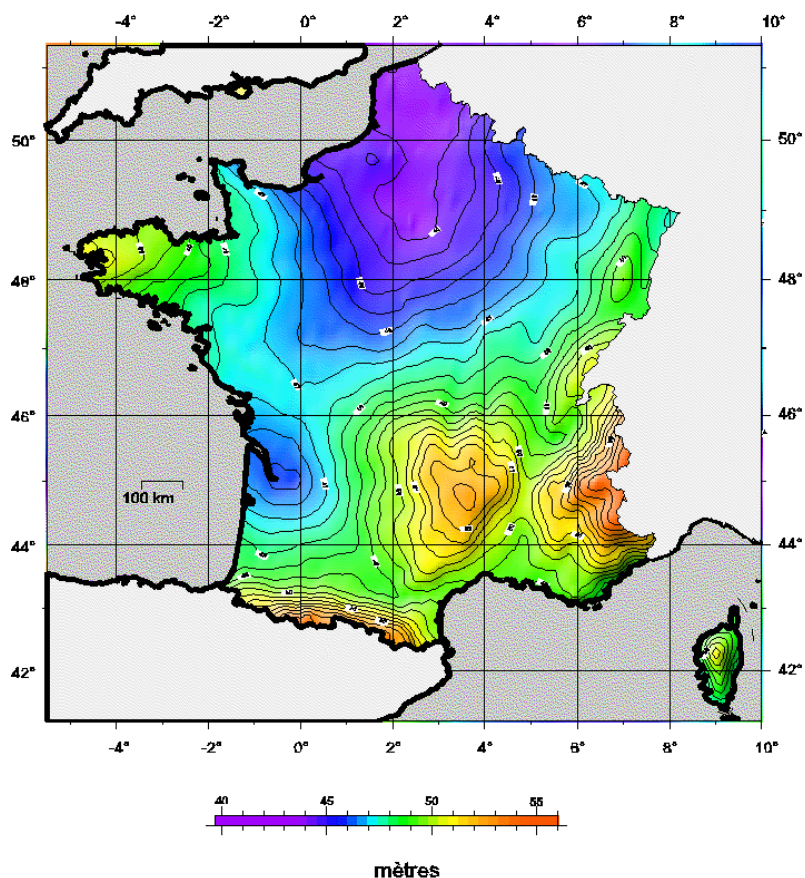
GRILLE DE CONVERSION ALTIMETRIQUE RGF93 $\leftrightarrow$ IGN 69/IGN 78

NOTICE D'UTILISATION

GGF97

S
G
N

2
7
9
0
6



Version 1.0
Janvier 1998

SOMMAIRE

1. PRESENTATION DES REFERENCES RGF93 ET IGN69/78	1
1.1. RGF93	1
1.2. IGN69/78	1
2. LE GEOÏDE, NOTIONS ELEMENTAIRES.....	2
2.1. DEFINITION	2
2.2. METHODES D'OBTENTION D'UN GEOÏDE	2
2.3. SURFACE GEOMETRIQUE DE CONVERSION ALTIMETRIQUE GGF97	3
2.3.1. <i>Processus général d'obtention</i>	3
2.3.2. <i>Précision attendue</i>	4
2.3.3. <i>Description du modèle</i>	4
2.3.4. <i>Utilisation du modèle</i>	4
2.3.5. <i>Devenir du modèle</i>	4
3. GRILLE DE CONVERSION ALTIMETRIQUE RGF93 ⇔ IGN69/IGN78.....	5
4. INTERPOLATION BILINEAIRE	7
5. APPLICATION NUMERIQUE.....	8
6. UTILISATION DE LA GRILLE EN BASE DE DONNEES EXCEL 5.0.....	9
7. CARTE DU MODELE GGF97.....	11
ANNEXES :	
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	A0

1. Présentation des références RGF93 et IGN69/78

1.1. RGF93

Il s'agit de la réalisation française, tridimensionnelle et géocentrique, du système de référence Européen ETRS89 au travers de sa réalisation ETRF93, elle-même reliée de façon précise au système mondial ITRS.

Par ailleurs, la cohérence du système ETRS89 avec WGS84 est métrique.

L'accès à cette référence est assuré par l'existence de :

- Réseau de Référence Français (RRF) comprenant 23 sites qui matérialisent la référence.
- Réseau de Base Français (RBF) comprenant 1009 sites, soit un site tous les 25 km environ. La précision de ce réseau peut être estimée pour la planimétrie à 2cm et de 1.5cm à 5cm en altimétrie (valeurs à 1 sigma).
- Réseau de Détail Français (RDF).

La technique d'observation est celle de la mesure satellitaire GPS assurant une cohérence de niveau centimétrique aux coordonnées publiées des différents points.

Les coordonnées sont exprimées soit sous la forme tridimensionnelle géographique (longitude, latitude, hauteur ellipsoïdale), soit sous forme bidimensionnelle, selon la projection Lambert-93, unique pour l'ensemble du territoire.

Le RBF a été conçu pour que tout utilisateur soit à moins de 15 km d'un point du RBF et autorise ainsi l'utilisation de GPS monofréquence avec une qualité centimétrique. La connexion réalisée avec les autres pays (Belgique, Allemagne, Suisse) montre une cohérence de 2-3 cm en planimétrie et des valeurs plus aléatoires sur la composante verticale avec ces réalisations nationales de l'ETRS89.

1.2. IGN69/78

Un système de référence altimétrique est défini par :

- un point fondamental : point pour lequel on fixe arbitrairement l'altitude. Ce point est en général proche d'un marégraphe et rattaché au "niveau moyen des mers" localement défini.
- un type d'altitude : dynamique, orthométrique, normal.

	IGN69	IGN78
Point fondamental	Rivet n° M.ac 0-VIII situé sur le site du Marégraphe de Marseille. Altitude : 1.661 m	Repère MM" 3 situé sur le site du Marégraphe d'Ajaccio Altitude : 3.640 m
Type d'altitude	Normale	Normale

L'accès à cette référence "théorique" se fait au travers d'une réalisation (on parle aussi de référentiel altimétrique) qui est définie par un ensemble de points matérialisés (repères de nivellement) avec des altitudes déterminées à partir d'observations et selon un processus de calcul.

IGN69	IGN78
Altitudes calculées à partir des mesures de 1962 à 1969, des 39 polygones de 1er ordre (France continentale) sur 13700 km.	Altitudes calculées à partir des mesures faites en 1978, du polygone de 1er ordre.

L'IGN69 et l'IGN78 sont hiérarchisés en 4 ordres, et on évalue la précision relative à : $((2 \text{ à } 5) \sqrt{D_{\text{en km}}}) \text{ mm}$, D étant la distance entre repères exprimée en km.

2. Le Géoïde, notions élémentaires

2.1. Définition

Le géoïde est la surface équipotentielle du champ de gravité, dont le prolongement terrestre correspond au niveau moyen des mers. C'est aussi la surface "théorique" de référence des altitudes orthométriques.

Le quasi-géoïde est la surface "théorique" de référence des altitudes normales. Ces 2 surfaces dépendent du modèle de champ de gravité choisi. Ce sont des modèles théoriques.

La surface de conversion altimétrique est la surface de référence des altitudes calculées ($H = 0$). Elle n'est pas confondue avec le géoïde, l'écart (déformation de plus ou moins grande longueur d'onde) correspondant au système de référence altimétrique et de sa réalisation (systématismes liés aux observations, mouvements des repères).

Toutes ces surfaces sont définies (modélisées) relativement à une surface géométrique de référence, un ellipsoïde, et un système géodésique donné.

2.2. Méthodes d'obtention d'un géoïde

Il existe de nombreux modèles de surfaces (géoïde ou quasi-géoïde / surface de conversion altimétrique) issus de différents types de détermination :

- astro-géodésie :

La méthode consiste à déterminer les coordonnées astronomiques et géodésiques de points, de calculer la déviation de la verticale en ces points et d'interpoler pour d'autres points. On obtient des modèles locaux correspondant aux systèmes géodésiques nationaux (exemple du modèle de Levallois pour la France continentale). On parle de *géoïdes astro-géodésiques*. Leur précision est de quelques mètres.

- la gravimétrie :

Le géoïde est calculé à partir des mesures du champ de gravité. Des corrections préalables sont nécessaires pour ramener les mesures à une surface de référence. Le géoïde gravimétrique permet de voir les moyennes longueurs d'ondes.

- combinaison des méthodes gravimétriques et d'étude de la perturbation de la trajectoire de satellites avec des mesures d'altimétrie par satellite. Ces modèles globaux ont une précision meilleure que le mètre . Par exemple, le modèle OSU91A a une précision moyenne de 57 cm, meilleure sur les océans.

- les simulations à partir de MNT (Modèle Numérique de Terrain):

A l'aide d'un MNT et d'une hypothèse de densité de la roche, on peut calculer le géoïde induit par la topographie. Cette méthode permet de voir les courtes longueurs d'ondes. Elle ne prend pas en compte le sous sol et le modèle ainsi obtenu doit être ensuite ajusté sur des mesures.

- Rattachement par GPS de repères de nivellement. Pour chaque point GPS nivelé on évalue l'écart suivant : **$N = \text{hauteur sur l'ellipsoïde} - \text{altitude normale}$**

On obtient ainsi une surface de conversion altimétrique entre un modèle mathématique associé à une référence géodésique (Système RGF93, ellipsoïde IAG GRS80 dans notre cas) et un référentiel altimétrique donné (IGN69/IGN78 dans notre cas). Cette méthode permet de voir les moyennes longueurs d'onde.

2.3. Surface géométrique de conversion altimétrique GGF97

2.3.1. Processus général d'obtention

Comme expliqué précédemment, on obtient la hauteur au dessus de la surface d'altitude nulle IGN78/IGN69 sur l'ellipsoïde GRS80-WGS84 en faisant la différence pour chaque point GPS nivelé : $N = h_e - \text{altitude normale(IGN69/IGN78)}$.

Une interpolation de ces valeurs sur une grille régulière est ensuite réalisée. Le choix de la méthode d'interpolation est important et détermine la régularité du modèle. La méthode utilisée ici est une interpolation bilinéaire ajustée par moindres carrés avec contrainte d'égalité de pente à chaque noeud.

Enfin, pour éviter les effets de bord, le modèle gravimétrique mondial OSU91 est appliqué en dehors de la France.

On appellera abusivement "géoïde géométrique" la surface de conversion altimétrique ainsi obtenue.

2.3.2. Précision attendue

. précision des techniques

Le nivellement géométrique donne une précision qui va de $((2 \text{ à } 5) \sqrt{D_{\text{en km}}}) \text{ mm}$, D étant la distance entre repères exprimée en km. La précision du GPS est moins bonne pour les hauteurs sur l'ellipsoïde que pour les composantes planimétriques, elle est due essentiellement à la méconnaissance du retard troposphérique. On a pu constater dans le cas du RBF les grandeurs suivantes : 1,5 cm d'écart type en plaine, 3 cm pour des dénivelées moyennes (3 à 400 m), 6 cm pour des dénivelées fortes (~ 1000 m). C'est donc la précision du GPS qui limite la précision des données pour le géoïde.

. variations du géoïde

Le RBF fournit un échantillonnage du sol français avec un point tous les 25 km soit 1 point pour 516 km². Il permet donc de voir les longueurs d'onde supérieures à 50 km.

. estimation de la précision du modèle

Elle est estimée de 10 à 15 cm en plaine et de 30 à 50 cm sur les reliefs.

2.3.3. Description du modèle

Le géoïde obtenu présente une amplitude de 11 mètres, de +43.5 m dans le nord de la France à +54.5 m dans les Alpes. Il est marqué par les grandes structures géologiques :

- Les bassins sédimentaires parisien et aquitain forment des creux de géoïde de 3-4 mètres.
- Les reliefs induisent des bosses de géoïde marquées.
- Les vallées du Rhône et de la Durance sont visibles.

2.3.4. Utilisation du modèle

C'est une grille régulière au pas carré de 0.1 degré de type modèle numérique de terrain, des écarts N de la surface de niveau 0 au dessus de l'ellipsoïde IAG GRS80. Elle s'utilise avec un interpolateur bilinéaire dont l'algorithme est fourni dans le présent document. Dans les paragraphes suivants, sont examinées successivement la structure du fichier (3), l'algorithme d'interpolation bilinéaire 3D (4), et enfin , une application numérique en exemple (5).

2.3.5. Devenir du modèle

Ce modèle est une réalisation provisoire et de précision moyenne . Sa diffusion est mise en oeuvre pour répondre à une demande urgente pour les applications topographiques générales. Il va être avantageusement remplacé au cours de l'année 1998 par des modèles plus précis et mixtes (incluant des données gravimétriques). Les développements actuels tendent à vouloir proposer à l'utilisateur des modèles tels que les altitudes calculées par GPS soient cohérentes avec celles obtenues par nivellement de précision.

3. Grille de conversion altimétrique RGF93 ⇔ IGN69/IGN78

La grille de paramètres de conversion altimétrique RGF93⇔IGN69/IGN78 est fournie :

- sous forme d'un fichier texte (ASCII)
- sous la forme d'un fichier EXCEL 5.0

Le fichier texte se présente selon le format suivant :

```
GR1D REFALT 024 20370201
GR1D1 -5.5000 10.0000 41.2000 51.3000 .1000 .1000
GR1D2 INTERPOLATION BILINEAIRE
GR1D3 PREC CM 01:5 02:10 03:20 04:50 99>100
-5.500000000 41.200000000 54.685 99 -0157
-5.500000000 41.300000000 54.795 99 -0156
-5.500000000 41.400000000 54.896 99 -0155
-5.500000000 41.500000000 54.975 99 -0155
-5.500000000 41.600000000 55.012 99 -0154
-5.500000000 41.700000000 55.040 99 -0154
-5.500000000 41.800000000 55.088 99 -0153
-5.500000000 41.900000000 55.155 99 -0153
-5.500000000 42.000000000 55.210 99 -0152
-5.500000000 42.100000000 55.209 99 -0152
-5.500000000 42.200000000 55.183 99 -0151
-5.500000000 42.300000000 55.148 99 -0150
-5.500000000 42.400000000 55.119 99 -0150
-5.500000000 42.500000000 55.112 99 -0149
```

EN TETE : 4 enregistrements :

GR1D : REFALT 024 : (RGF93) ; 20370201 (2 : coordonnées géographiques, 037 : ellipsoïde GRS80, 02 : degrés décimaux, 01 : méridien international (Greenwich)). C'est le système de référence des noeuds de grille
GR1D1 : longitude min.; longitude max.; latitude min.; latitude max.; pas en longitude; pas en latitude (ici les deux pas de grilles sont égaux : 0.1°).
GR1D2 : mode d'interpolation : INTERPOLATION BILINEAIRE
GR1D3 : codes de précision de la transformation

CORPS : 1 enregistrement par noeud de grille:

longitude, latitude, écart N, code de précision, caractère f50, n de feuille 1:50000
Ecart N c'est la correction à apporter à des hauteurs ellipsoïdales RGF93 pour obtenir des altitudes IGN69, $H(\text{altitude IGN69/IGN78}) = h_e (\text{hauteur ellipsoïdale}) - N$

[nota : caractère f50 : " " : feuille à 1:50000 existante.
" L " : feuille fictive en limite de zone d'application de la grille
" - " : feuille fictive hors zone d'application de la grille]

L'établissement de la grille de conversion ayant été effectué à partir d'un échantillonnage limité de points en colocation (1200 environ), l'évaluation de l'exactitude de la transformation peut être grandement améliorée par un retour d'information de la part des utilisateurs.

Organisation des enregistrements :

Elle est séquentielle par colonnes Sud-Nord successives d'Ouest en Est, soit sous forme symbolique :

$$\{_{i=1,m} \lambda_i \{_{j=1,n} \varphi_j N_{ij} \} \}$$

avec ici $m = 156$, $n = 111$ soit 17316 enregistrements (hors entête).

Ainsi, pour le i ème méridien compté séquentiellement à partir du méridien origine (GR1D1) et le j ème parallèle compté séquentiellement à partir du parallèle origine (GR1D1), on obtiendra le k ème enregistrement correspondant avec :

$$k = n (i - 1) + j$$

Code de précision :

Ils représentent une évaluation qualitative de l'exactitude de la transformation. Ils sont ici relatifs à des valeurs d'écart type volontairement arrondies :

01	5 cm
02	10 cm
03	20 cm
04	50 cm
99	> 1 m

Il est recommandé de tenir compte de ces valeurs, en particulier dans les zones limitrophes (frontières, littoral), pour lesquelles l'utilisation de la grille amène à une forme d'extrapolation. En effet, il n'existe pas de réalisation de la référence IGN69 en mer ou à l'étranger. A cette fin, le code 99 a été associé à tous les noeuds de grille situés hors de la zone d'application retenue par l'IGN.

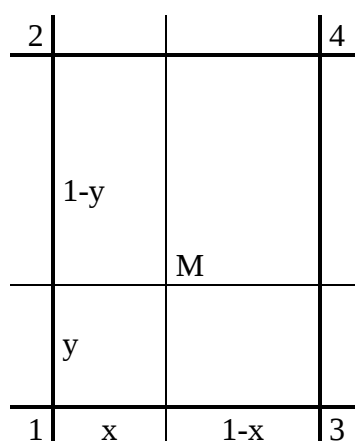
L'indication numérique de précision correspond à un écart type. Par exemple, le rayon du cercle de tolérance à 95% doit être pris 2,45 fois supérieur.

4. INTERPOLATION BILINEAIRE

Soit une maille élémentaire constituée des quatre noeuds 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 N_M en fonction des valeurs aux noeuds (N_1, N_2, N_3, N_4) par interpolation bilinéaire de la façon suivante :



Interpolation bilinéaire

$$N_M = (1-x)(1-y) N_1 + (1-x)y N_2 + x(1-y) N_3 + xy N_4$$

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 RGF93**, (ellipsoïde GRS80, méridien origine GREENWICH, degrés décimaux) et valeurs de N (en mètres) selon la convention :

N = hauteur sur l'ellipsoïde (IAG GRS80) - altitude normale (IGN69/IGN78)

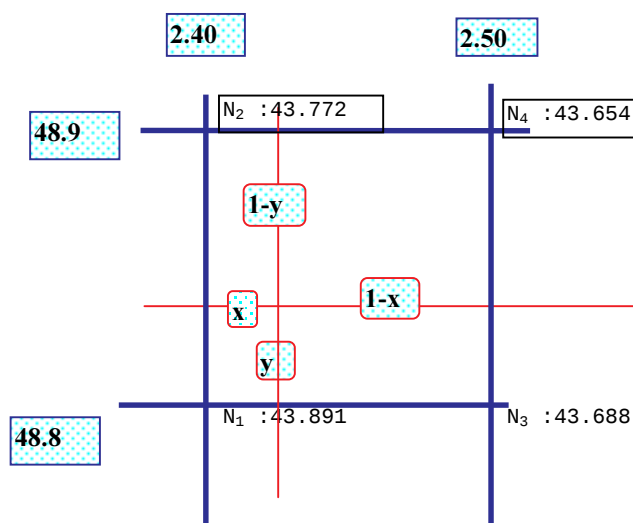
5. APPLICATION NUMERIQUE

RGF 93 $\lambda = 2^{\circ} 25' 29.89599''$ E $\varphi = 48^{\circ} 50' 40.00502''$ N
hauteur sur l'ellipsoïde GRS80 = 102.365

Extrait de grille (feuille n° 2314)

Longitude	Latitude	N	Code	Feuille
2.40	48.80	43.891	02	2314
2.40	48.90	43.772	02	2314
2.50	48.80	43.688	02	2314
2.50	48.90	43.654	02	2314

Description de l'interpolation :



$$\lambda_{\text{RGF93}} = 2^{\circ} 25' 29.89599'' = 2.424971108^{\circ}$$

$$\varphi_{\text{RGF93}} = 48^{\circ} 50' 40.00502'' = 48.844445839^{\circ}$$

$$x = 0.24971108$$

$$y = 0.44445839$$

$$N = (1-x)(1-y) N_1 + (1-x)y N_2 + x(1-y) N_3 + xy N_4 = 43.797$$

Altitude IGN69

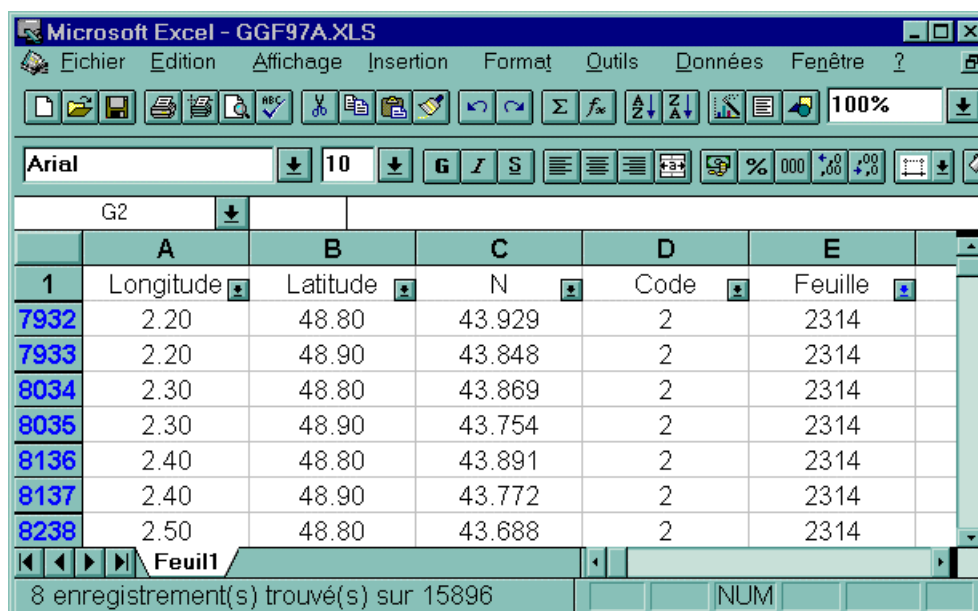
H = 58.568

$\sigma = 10$ cm (code de précision 02)

6. Utilisation de la grille en Base de données EXCEL 5.0

Un fichier GGF97A.XLS permet d'accéder rapidement aux informations contenues dans le fichier GGF97A.TXT sous le logiciel EXCEL 5.0 .

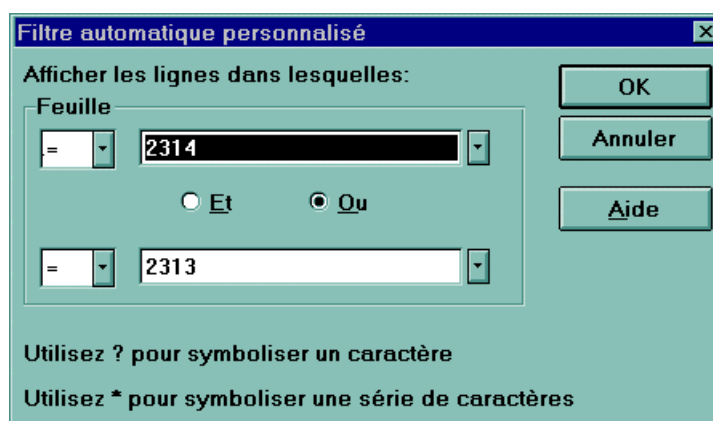
Les données apparaissent alors sous la forme suivante :



	A	B	C	D	E
1	Longitude	Latitude	N	Code	Feuille
7932	2.20	48.80	43.929	2	2314
7933	2.20	48.90	43.848	2	2314
8034	2.30	48.80	43.869	2	2314
8035	2.30	48.90	43.754	2	2314
8136	2.40	48.80	43.891	2	2314
8137	2.40	48.90	43.772	2	2314
8238	2.50	48.80	43.688	2	2314

En cliquant sur la flèche située à droite d'une des valeurs de la ligne 1 (Longitude, Latitude, N, Code, Feuille), vous pouvez filtrer les données de la grille selon des critères déterminés (>, =, <...).

Exemple : vous désirez connaître la valeur de N pour les feuilles au 1/50 000 N° 2314 ou 2313, en sélectionnant "filtre personnalisé" dans la colonne feuille vous accédez au menu suivant :



Filtre automatique personnalisé

Afficher les lignes dans lesquelles:

Feuille

= 2314

☐ Et ☒ Ou

= 2313

Utilisez ? pour symboliser un caractère

Utilisez * pour symboliser une série de caractères

OK Annuler Aide

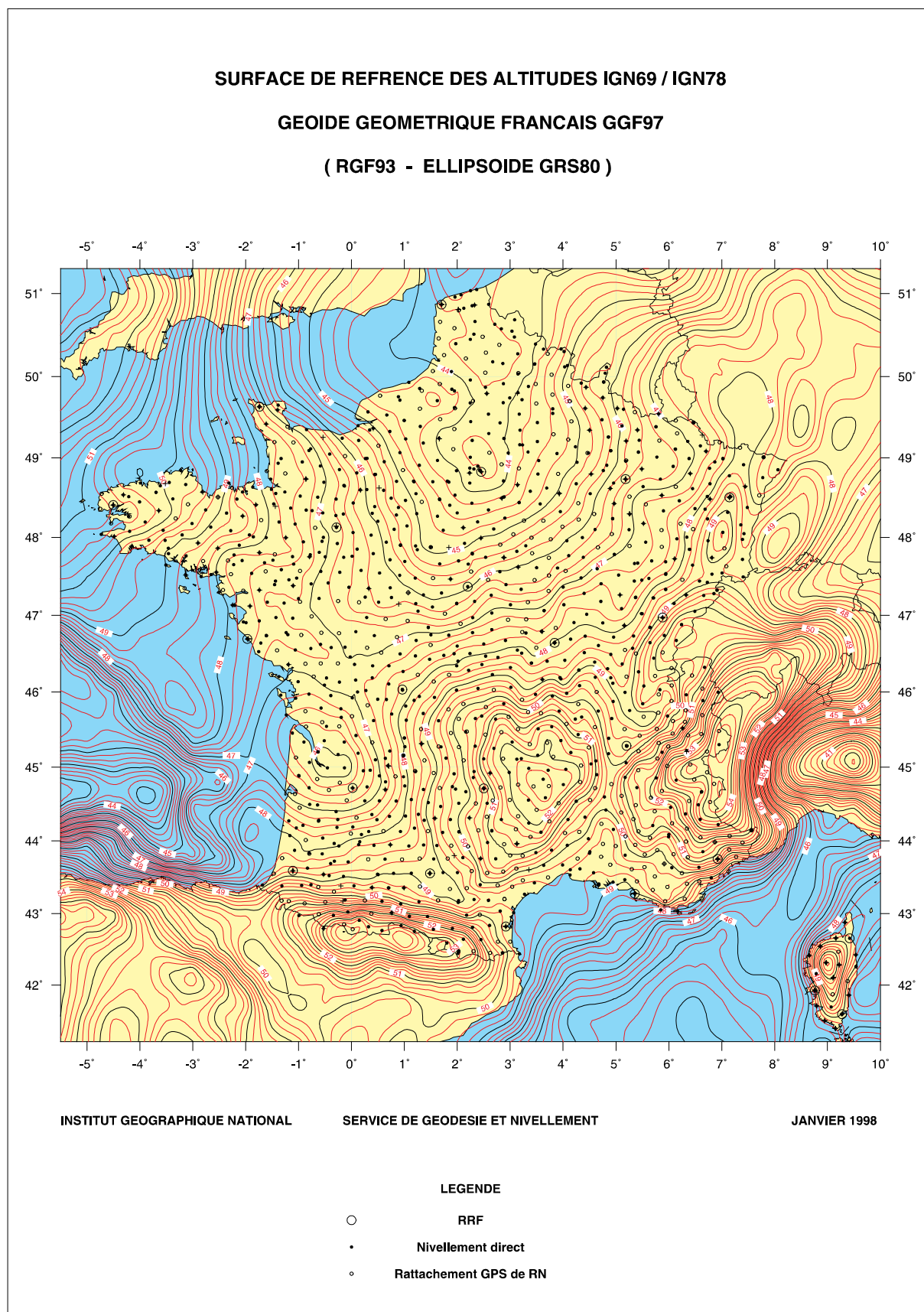
Le résultat de cette requête s'affiche alors dans la feuille principale :

	A	B	C	D	E
1	Longitude	Latitude	N	Code	Feuille
7932	2.20	48.80	43.929	2	2314
7933	2.20	48.90	43.848	2	2314
7934	2.20	49.00	43.737	2	2313
7935	2.20	49.10	43.706	2	2313
8034	2.30	48.80	43.869	2	2314
8035	2.30	48.90	43.754	2	2314
8036	2.30	49.00	43.681	2	2313
8037	2.30	49.10	43.674	2	2313
8136	2.40	48.80	43.891	2	2314
8137	2.40	48.90	43.772	2	2314
8138	2.40	49.00	43.675	2	2313
8139	2.40	49.10	43.665	2	2313
8238	2.50	48.80	43.688	2	2314
8239	2.50	48.90	43.654	2	2314
8240	2.50	49.00	43.656	2	2313
8241	2.50	49.10	43.681	2	2313
15898					

16 enregistrement(s) trouvé(s) sur 15896

Remarques : Pour une utilisation spécifique (intégration dans d'autres logiciels, utilisation en mode fichier..) il est nécessaire de programmer les formules d'interpolation fournies chapitre 4 du présent document.

7. Carte du modèle GGF97



GLOSSAIRE

BDG	: Base de Données Géodésique de l'IGN ; structurée en plusieurs "domaines", d'après le type de réseau (géodésie, nivellement, sites spatiaux, ...) et la localisation géographique (France métropolitaine, DOM-TOM ou étranger).
ETRS89	: European Terrestrial Reference System 1989. Système de Référence Européen adopté par la sous-commission EUREF de l'AIG en mai 1990.
ITRS	: IERS Terrestrial Reference System. Système de référence de l'IERS matérialisé par un réseau mondial de 200 points environ obtenues par des techniques spatiales très précises (VLBI, Laser, Doris, GPS). L'IERS fournit chaque année une réalisation globale des données enregistrées, publiées sous l'appellation ITRFnn. La dernière en date est l'ITRF96.
EUREF	: Sous-commission de l'AIG (Association Internationale de Géodésie) pour le réseau européen de référence.
Exactitude	: Étroitesse de l'accord entre l'estimation d'une grandeur et la valeur nominale de cette grandeur (Réf. 2) (valeur nominale doit être comprise ici comme une réalisation numérique d'un système de référence)
Précision	: Étroitesse de l'accord entre une estimation et l'espérance mathématique de cette estimation (remarque: valeurs numériques exprimées à un sigma) cf référence 2.
IAG GRS80	: Geodetic Reference System 1980 ; système de référence, mais aussi l'ellipsoïde associé adopté par l'UIGG (Union Internationale de Géodésie et Géophysique) à Canberra en 1979.
NGF	: Nivellement Général de la France.
NBF	: Nivellement de Base Français, comprenant les 1er, 2ème et 3ème ordres du Réseau Français de Nivellement de Précision

NTF	: Nouvelle Triangulation de la France (Réseau triangulé observé de 1870 à 1991)
OSU91A	Modèle mondial de géoïde calculé par l'Ohio State University. Grille à pas régulier de 15'.
R.G.F.	: Réseau Géodésique Français : Matérialisation du nouveau système géodésique de référence RGF93.
WGS84	: World Geodetic System 1984 : Système géodésique mondial défini par le Department of Defense (DoD) des Etats-Unis.