

VALIDATION DES DONNEES GRAVIMETRIQUES *

Michel SARRAILH, Bureau Gravimétrie International,
michel.sarrailh@cnes.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente les techniques de validation des données gravimétriques; qui sont souvent hétérogènes et mal géoréférencées; et exécutées dans le cadre des prospections minières et pétrolières. Il faut savoir que le calcul d'un géoïde, dépend non seulement du gravimètre (le g est connu avec une précision de quelques centièmes de mGal à 1 mGal pour les gravimètres plus anciens) mais aussi de la précision de l'altitude et des coordonnées planimétriques de la station. La précision de l'altitude est le plus souvent déterminante : une erreur de 3 m entraîne une erreur de 1 mGal sur l'anomalie à l'air libre. Il est alors nécessaire de bien connaître les systèmes de référence non seulement gravimétriques mais aussi planimétriques et altimétriques utilisés pour chaque levé, sous peine d'introduire des erreurs systématiques, qui se répercuteront sur les hauteurs du géoïde. Il faut insister sur l'intérêt de disposer de Modèles Numériques de Terrain "MNT" précis et détaillé, qui est très important à différents titres :

- pour le calcul des anomalies de Bouguer complètes, en prenant en compte réellement l'effet du terrain, ce qui permettra de mieux détecter les mesures erronées, tout particulièrement en zone montagneuse,
- pour le contrôle des datums planimétriques et altimétriques utilisés par les levés gravimétriques,
- pour l'utilisation des levés gravimétriques, pour lesquels on ne dispose que des cartes d'anomalies de Bouguer -c'est un cas fréquent dans le domaine de la recherche pétrolière . La connaissance de l'altitude permettra alors de restituer l'anomalie à l'air libre.
- pour la détermination de l'effet résiduel du terrain pour le calcul du géoïde.

Le logiciel DIVA développé par le BGI, et qui utilise une méthode de prédiction de l'anomalie résiduelle basée sur la collocation, est décrit d'une manière sommaire.

ABSTRACT :

This article presents techniques of gravimetric data validation; which are often heterogeneous and not well georeferenced; and executed in the setting of the mining and oil prospections. It is necessary to know that the calculation of a geoid, depends, not only on the gravimeter (the g is known with a precision of a few hundredth of mGal to 1 mGal for the more ancient gravimeters) but also of the precision of the altitude and planimetric coordinates of the station. The precision of the altitude is the most often determining : an error of 3m this means an error of 1 mGal on the anomaly to the free air. it is then necessary to know very well the reference systems not only the gravimetric ones but also the planimetric and the altimetric used for each survey for fear of introducing systematic errors, that will reverberate on heights of the geoid. It is necessary to insist on the importance to have a precise and detailed terrain Model, that is very important to different titles:

- for the calculation of the complete Bouguer anomalies, by taking really into consideration the effect of the land, thing which will permit to detect better the erroneous measures, most particularly in mountainous zone,
- for planimetric and altimetric datum used for gravimetric surveys.
- for the use of gravimetric surveys for which we have only anomalies of bouguer maps - it is a frequent case in the field of oil prospection. The knowledge of the altitude will permit to restore the anomaly to the free air then.
- for the determination of the residual effect of the land for the calculation of the geoid.

The software DIVA developed by the BGI, and that uses a method of the prediction of the residual anomaly based on the collocation, is described of a summary manner.

* Ce papier a été présenté lors du 2^{ème} Atelier Nord Africain de Géodésie (Alger, 26-27 mai 2001)

La recherche d'une précision accrue pour les applications géodésiques nécessite l'amélioration des méthodes de validation des données gravimétriques. Ces données sont bien souvent hétérogènes, considérant les différentes techniques de détermination des coordonnées et de l'altitude. La précision de l'anomalie à l'air libre utilisée pour déterminer le géoïde va dépendre non seulement du gravimètre (le Δg est connu avec une précision de quelques centièmes de mGal s à 1 mGal pour les gravimètres plus anciens) mais aussi de la précision de l'altitude et des coordonnées planimétriques de la station. La précision de l'altitude est le plus souvent déterminante : une erreur de 3 m entraîne une erreur de 1 mGal sur l'anomalie à l'air libre. Il est nécessaire de bien connaître les systèmes de référence non seulement gravimétriques mais aussi planimétriques et altimétriques utilisés pour chaque levé, sous peine d'introduire des erreurs systématiques, qui se répercuteront sur les hauteurs du géoïde. Ainsi, un levé de 100km dont les valeurs de g sont décalées d'une dizaine de mGals (ce pourrait être du à un référencement à la valeur de g à Postdam en 1930, référence utilisée jusque dans les années 70) entraînera un décalage du géoïde de 15 cm. Il est important de contrôler également les formules utilisées pour déterminer les anomalies de gravité, notamment de savoir quel ellipsoïde a été utilisé pour calculer le g théorique.

La disponibilité de Modèles Numériques de Terrain précis et détaillés est très importante à différents titres :

- pour calculer des anomalies de Bouguer complètes, prenant en compte réellement l'effet du terrain, ce qui permettra de mieux détecter les mesures erronées, tout particulièrement en zone montagneuse,
- pour contrôler les datums planimétriques et altimétriques utilisés par les levés gravimétriques,
- pour utiliser des levés gravimétriques, pour lesquels nous ne disposons que des cartes d'anomalies de Bouguer - c'est un cas fréquent dans le domaine de la recherche pétrolière . La connaissance de l'altitude permettra alors de restituer l'anomalie à l'air libre.
- pour déterminer l'effet résiduel du terrain pour le calcul du géoïde.

Détection des erreurs isolées

Les erreurs isolées, dues souvent à des erreurs de saisie sur g , x,y ou z . La méthode la plus simple consiste à cartographier l'anomalie de Bouguer, la moins corrélée avec la topographie. Le mieux est d'effectuer une triangulation de Delaunay des points de mesures, et de tracer les isanomales ou de produire une carte colorée, ainsi on associera plus facilement les extrêmes locaux ou les forts gradients et la station en cause (fig.1).

Le logiciel développé au BGI, Diva, utilise une méthode de prédiction de l'anomalie résiduelle basée sur la collocation. Après recherche des stations proches d'un point à contrôler, on prédit l'anomalie à partir de ces stations en utilisant une fonction de covariance basée sur la variance locale et une distance de corrélation fixée à priori pour accélérer le traitement.

Une estimation de l'erreur sur la valeur prédite est également obtenue. Après définition des seuils de détections, on peut ainsi automatiquement identifier des stations douteuses ou manifestement fausses. Cette étape automatique est suivie d'une étape interactive, un opérateur contrôlant la carte de l'anomalie de Bouguer et pouvant la modifier en validant les points douteux ou faux détectés précédemment (fig.2).

Détection d'erreurs systématiques

Les erreurs systématiques sont plus difficiles à identifier. Les méthodes diffèrent dans le cas des erreurs systématiques sur les coordonnées et dans le cas des erreurs sur g .

Détection des erreurs planimétriques et altimétriques

Si on dispose d'un modèle numérique de terrain, on peut contrôler les coordonnées planimétriques et altimétriques des stations à celles interpolées à partir du MNT, identifier des problèmes de datums et appliquer les corrections nécessaires.

Une étude systématique a été menée sur l'ensemble des levés gravimétriques disponibles sur la France (fig.3). Pour chaque levé les coordonnées et l'altitude des stations ont été comparées avec celle issues du MNT de maille 100mx120m référencé au datum NTF. On suppose que tous les points présentent des décalages constants sur x,y et z , déterminés par une méthode de minimisation des écarts entre les stations et le MNT. Cette méthode a été contrôlée à partir de cas synthétiques et a montré que, même en terrain relativement plat, avec des stations dont l'altitude est peu précise ($\pm 5m$), on retrouve les biais appliqués, avec une précision de l'ordre d'une dizaine de mètres, bien inférieure à la maille du MNT.

On constate que certains levés présentent des décalages systématiques de 100 à 200m, la flèche servant d'échelle correspond à un décalage de 100m (fig.4). L'existence de plusieurs zones Lambert pour la carte de base peut expliquer des erreurs de conversions en coordonnées géographiques. Le plus important atteint 1km, pour un levé dans le Nord-Est de la France, rattaché à un ancien système cadastral rattaché à un datum allemand.

La validation de cette méthode d'ajustement des levés sur le MNT de référence, a été assurée en scannant une carte topographique au 1/25000 sur la zone du levé présentant cet écart important. On constate après correction des coordonnées un très bon accord entre la position des stations et le réseau des routes et des autres voies de circulation (fig.5).

En l'absence de modèle numérique de terrain précis, il est possible de contrôler le calage en planimétrie, soit en numérisant des cartes topographiques à grande échelle, comme précédemment, ou des orthophotos dérivées d'images satellites (fig.6) et en reportant les stations gravimétriques. Les stations étant très souvent situées sur des routes ou des pistes, on pourra souvent ainsi détecter les décalages en X et Y et les corriger.

Détection des erreurs sur g

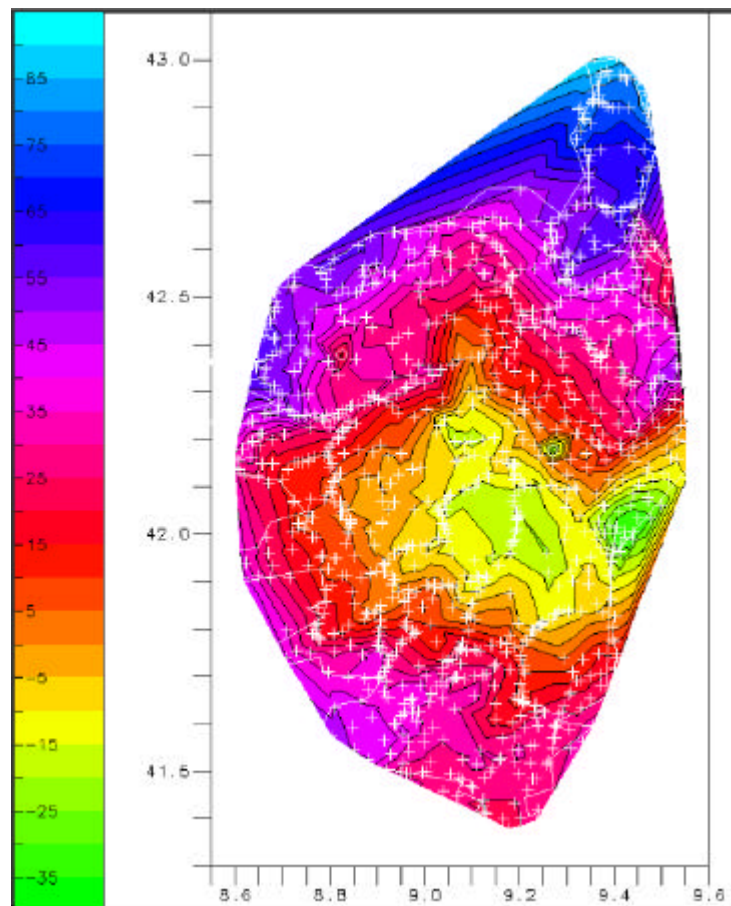
La première méthode consiste à identifier les stations de référence communes à plusieurs levés et comparer les valeurs de g observées. En l'absence de points communs et si les levés se recouvrent tout au moins partiellement, on peut utiliser des techniques de prédiction pour recalculer la valeur de l'anomalie au points d'un levé à partir des points voisins appartenant aux autres levés. L'histogramme ou la carte des écarts entre valeurs observées et valeurs prédites des anomalies sera un bon indicateur du calage du levé. Les points devront être proches (<2km) pour que ces écarts aient un sens. On le constate sur la fig.7 , où le schéma de gauche montre la dispersion des écarts quand la distance entre la station prédite et les stations servant à prédire augmente.

Erreurs locales

Source d'erreur	Impact	Identification
Gravimètre, Numérisation, Formules utilisées, Unités	g, x, y, altitude, anomalies gravimétriques	Prédiction utilisant les points proches Cartes d'anomalies

Erreurs systématiques

Erreur	Impact	Identification
valeur de g aux stations de référence gravimétrique:	g, gravity anomalies	Inter comparaison sur la zone de recouvrement de deux ou plusieurs levés
ellipsoï de de référence erreur =f(latitude)	anomalies gravimétriques	id
datum XY datum Z	Latitude, longitude, anomalies	comparaison avec un MNT ou comparaison des coordonnées des stations avec des cartes topographiques numérisées ou des orthophotos



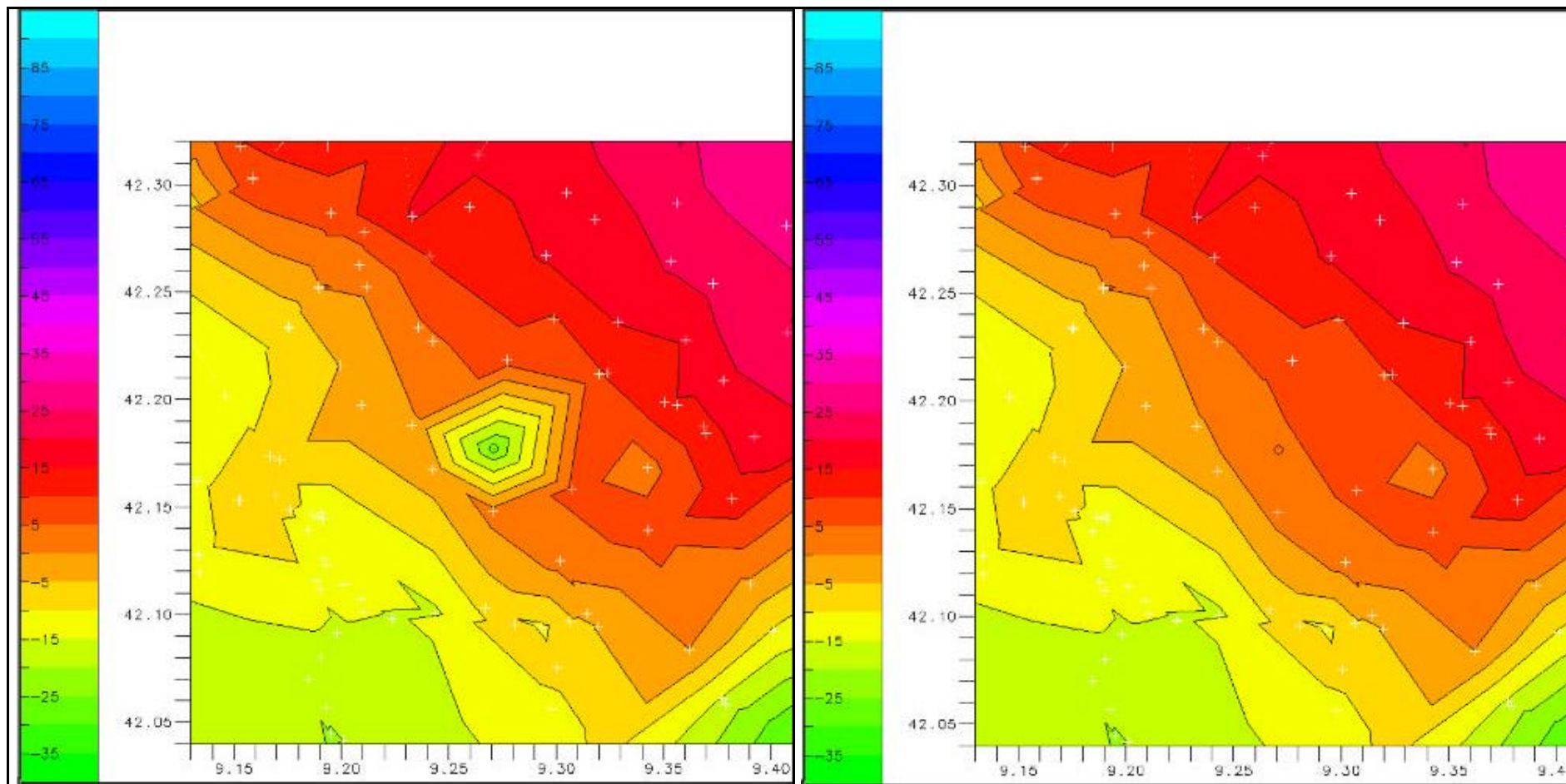


fig.3 : Couverture des levés gravimétriques français

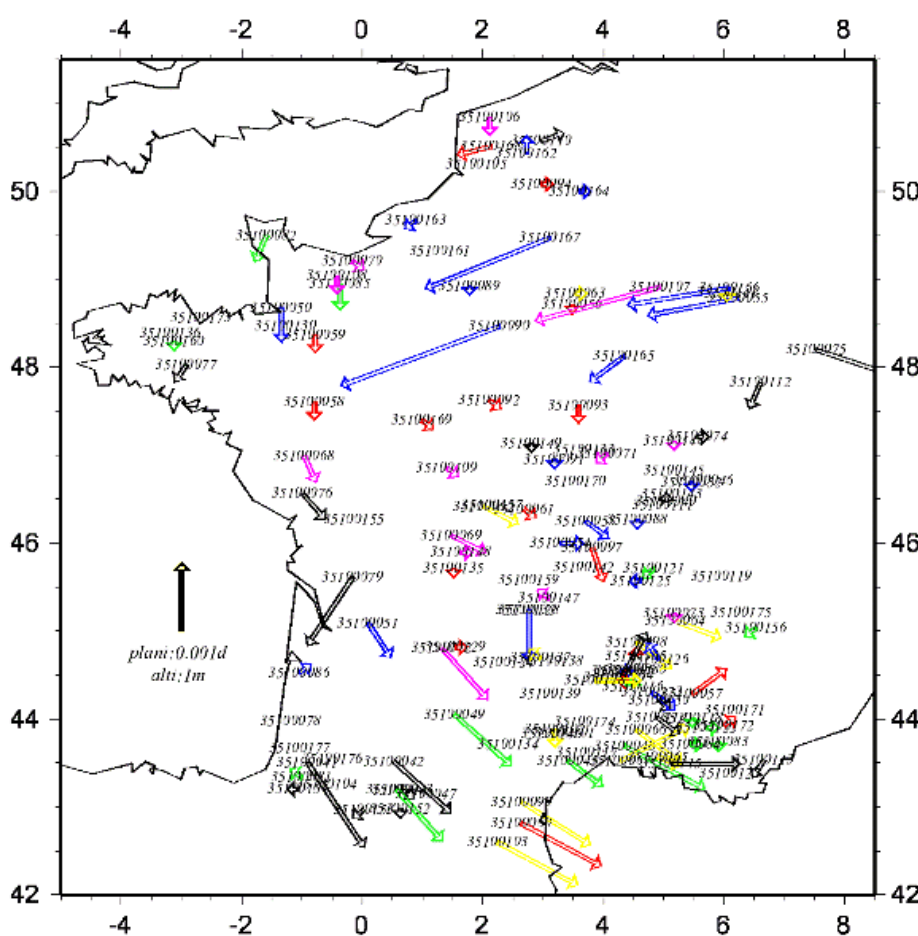
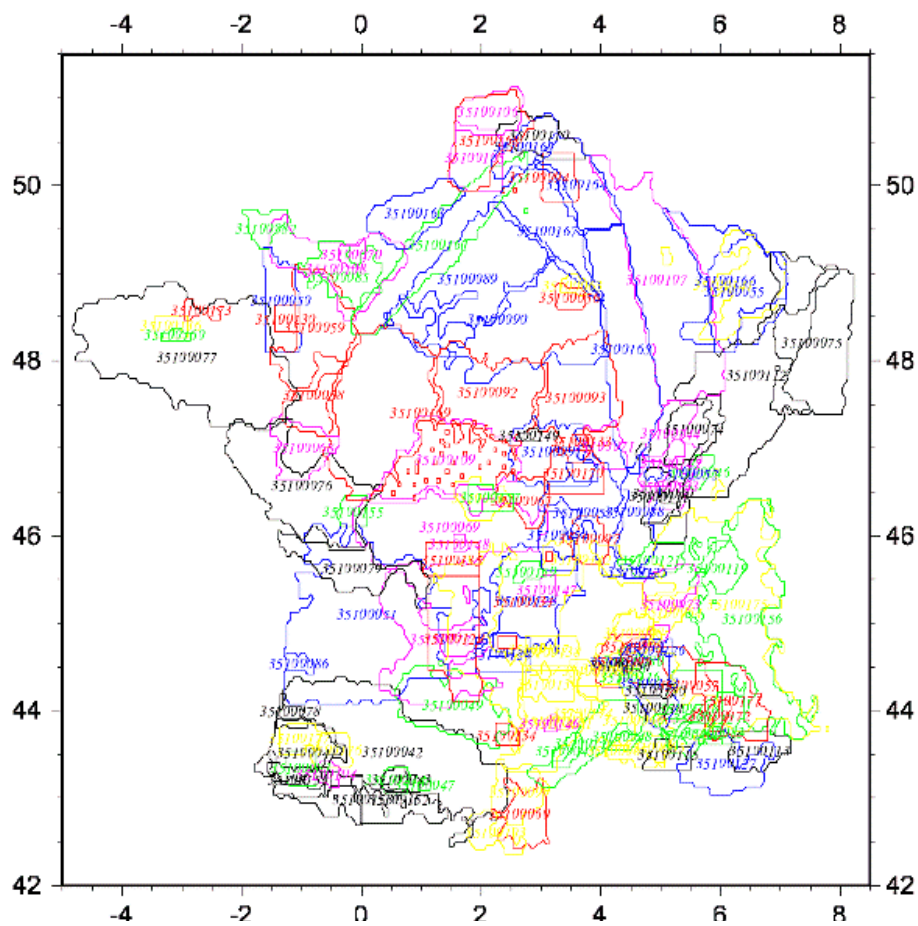


fig.4 : Biais des levés gravimétriques/datum NTF, estimés en utilisant un modèle numérique de terrain de maille 100x120m



Position (croix rouge) of the gravity stations gravimétriques (source 3.510.007), coordonnées originales
Carte topographique au 1/25000



Position (croix rouge) des stations gravimétriques (source 3.510.007), coordonnées corrigées

Fig.5 : Contrôle de la position des stations gravimétriques avant (figure de gauche) et après correction des décalages des coordonnées x et y (figure de droite)

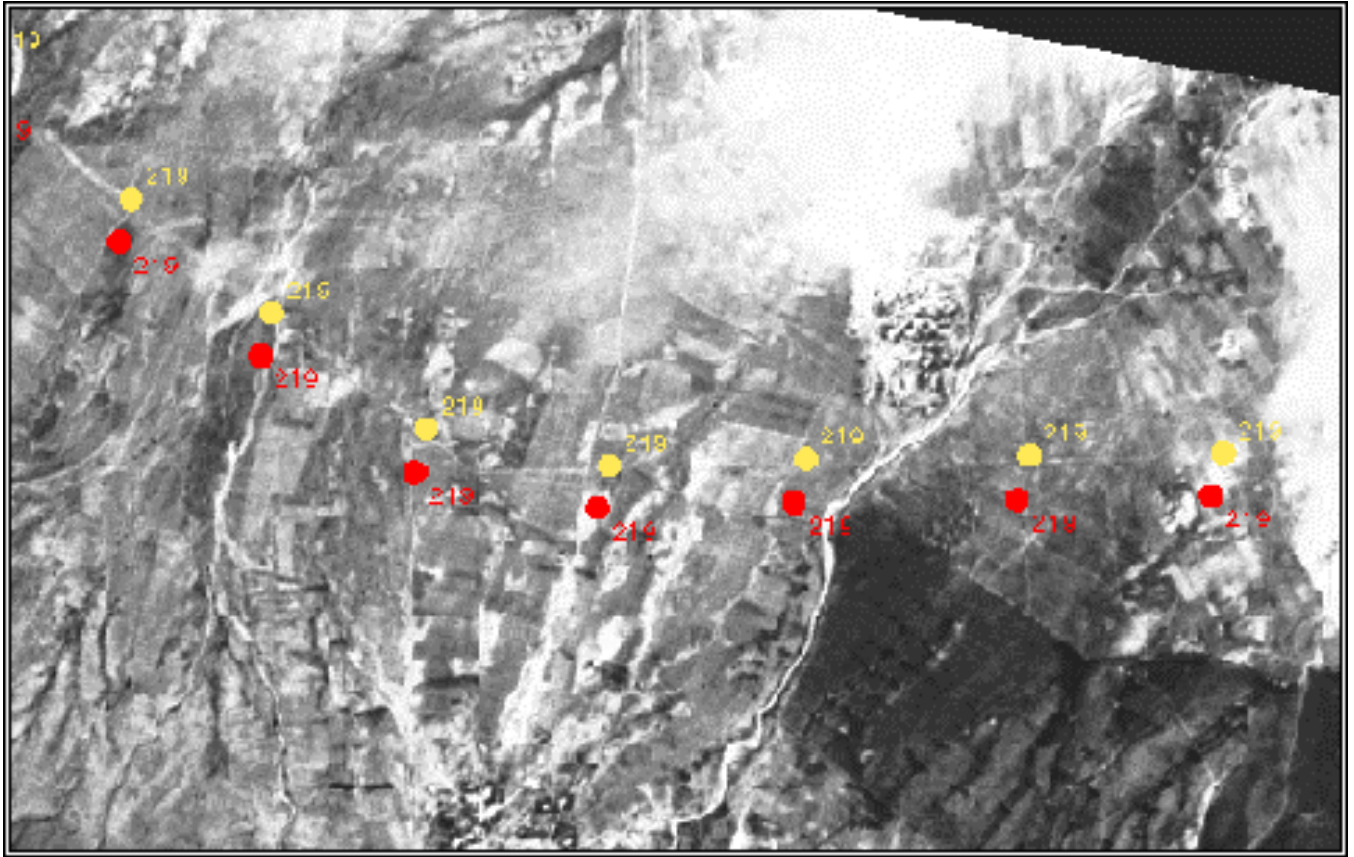
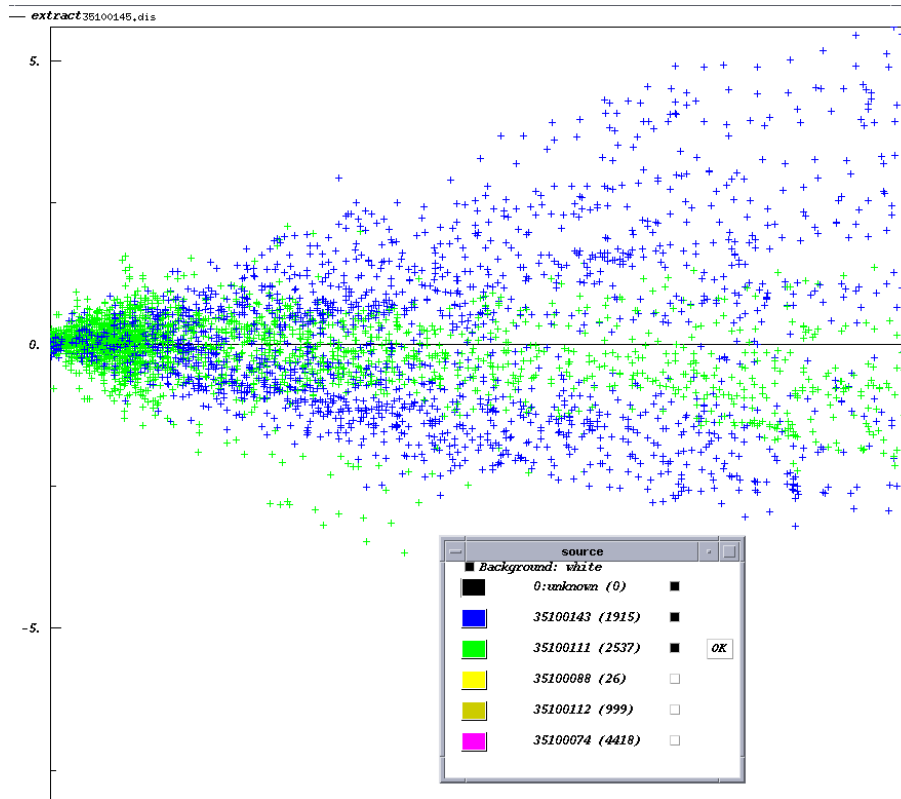
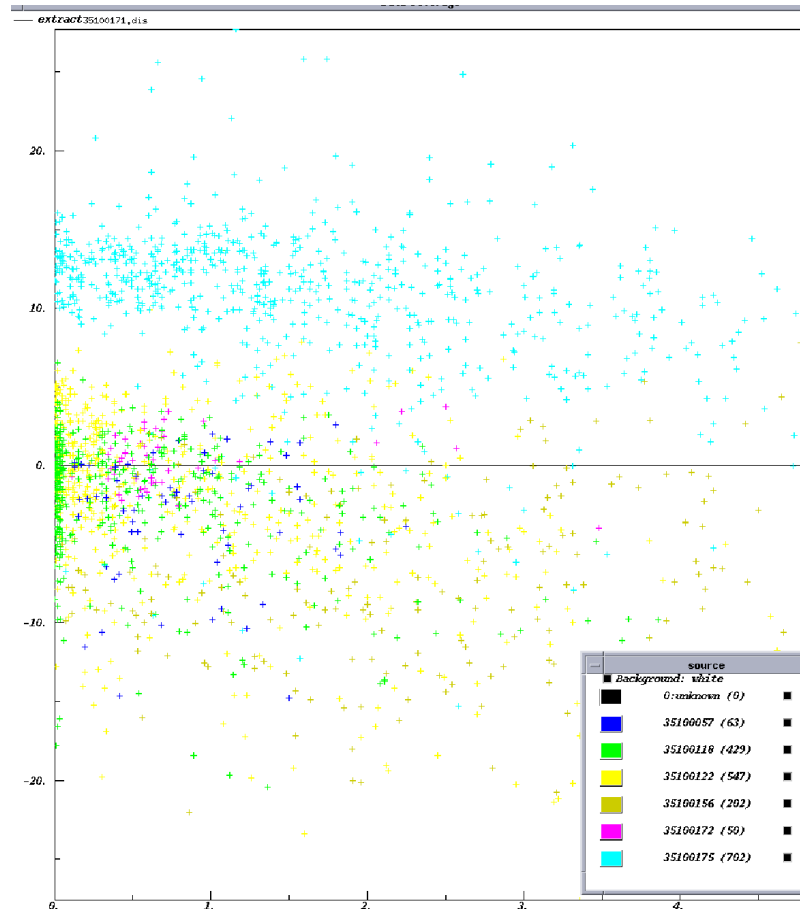


Fig.6 : Image Spot corrigée (1 pixel = 10 m) référencée à l'ellipsoïde GRS80
 Levé gravimétrique : points **rouges** référencés à l'origine à un datum local, décalés d'environ 160 m./ pistes, points **jaunes** référencés à GRS80, bien corrélés avec deux pistes orientées NO-SE et Est-Ouest



**Comparaison du levé no.3.510.145
Avec les levés no.3.510.143 & 3.510.111
Bon accord**



**Comparaison du levé no.3.510.171
Avec le levé no. 3.510.175
Décalage entre les deux levés,
Problèmes également pour les autres sources**

**Fig.7 : Études des décalages sur g entre différents levés :
Figure de gauche : bon accord des deux sources, figure de droite : une source présente un décalage systématique d'une dizaine de mGals.**