

## DETERMINATION DIRECTE DES DENSITES DU SOL ET DE REMBLAIS A PARTIR DE MESURES GRAVIMETRIQUES

### DIRECT DETERMINATION OF SOIL AND EMBANKMENT DENSITIES FROM GRAVITY MEASUREMENTS

BICHARA Marc\*, LAKSHMANAN Jacques\*

#### Résumé

Lorsque des mesures gravimétriques sont réalisées sur un sol à altitude variable, les valeurs lues sont à corriger de l'altitude du point de mesure, et aussi de l'altitude des points alentour (corrections de terrain). La corrélation entre les valeurs gravimétriques mesurées sur un sol à altitude variable et les altitudes, permet d'apprécier la densité de la tranche de terrain située au-dessus des points bas. Une méthode graphique pour analyser un profil a été décrite par NETTLETON il y a 40 ans. Les auteurs décrivent une procédure automatique, tridimensionnelle, permettant de cartographier la densité des terrains. Un exemple pratique d'évaluation de la densité de remblais est ensuite exposé.

#### Summary

When gravity is measured on an irregular surface, elevation and lateral terrain effect have to be corrected. Correlation between gravity and elevation supplies density of the ground located above low points. Nettleton described a graphical method 40 years ago. The present paper describes an automatic three-dimensional procedure. An example of application to embankment density evaluation is supplied.

#### 1. Base de la méthode employée

La C.P.G.F. a développé dès 1976, dans le cadre des prospections micro-gravimétriques, une méthode de Nettleton généralisée. Il s'agit de déterminer la densité des couches de surface, telles que l'anomalie de Bouguer ne soit ni en corrélation directe avec la topographie (ce qui est le cas lorsque la densité initiale est trop faible), ni en corrélation inverse avec la topographie (densité initiale trop élevée). Nettleton (1940) avait, dès avant guerre, exposé la méthode qui porte son nom. Il s'agissait de réaliser un profil gravimétrique perpendiculairement à un relief, puis de calculer manuellement l'anomalie de Bouguer pour diverses densités. La bonne densité, choisie par l'oeil, était celle pour laquelle l'anomalie de Bouguer ne présentait pas de corrélation avec la topographie.

Dans la méthode employée ici, nous avons utilisé les points de mesure réels, à maille semi-régulière de côtés AX, AY. Nous supposons que la densité est constante ( $\sigma$  (ij)) dans chaque prisme de côtés AX, AY entourant le point (ij), au-dessus d'un niveau de référence régulièrement variable, reliant les points bas de la topographie. C'est-à-dire que nous considérons que l'altitude Z est donnée par :

$$Z = \text{REG}(Z) + z_0$$

où REG(Z) est la partie régionale et  $z_0$  la partie résiduelle de Z.

Nous supposons qu'en-dessous de ce niveau de référence, la densité peut être variable ( $\sigma_1$  (ij)), mais de façon régulière et indépendante de la topographie, et que d'autre part, l'anomalie de Bouguer G est également décomposable en :

$$G = \text{REG}(G) + g_0$$

REG(G) est lié à G par le même opérateur que le sont REG(Z) et (Z) (voir fig. 1).

On supposera (ce qui est vérifié expérimentalement) qu'un changement de densité ne fait varier que  $g_0$  et non la partie régionale, c'est-à-dire que l'on a :

$$G(i,j,\sigma_0) = \text{REG}(G) + g_0(i,j,\sigma_0)$$

$$\text{et } g(i,j,\sigma) = \text{REG}(G) + g_0(i,j,\sigma)$$

Si l'anomalie de Bouguer initialement calculée est  $G_0$ , correspondant à une densité constante  $\sigma_0$ , on cherche donc  $\sigma$  (ij), tels que  $Z_0$  et  $g_0$  soient des variables indépendantes. On a :

$$g_0(i,j,\sigma, \sigma_1) = g_0(i,j,\sigma_0) + \frac{4}{3}\Pi$$

$$\left\{ \sigma_0 \cdot (\text{REG}(Z) + z_0) - \sigma(i,j) \cdot z_0 - \sigma_1(i,j) \cdot \text{REG}(Z) \right\} \\ - \frac{1}{\sigma_0} \left\{ C(i,j) \cdot (\sigma_0 - \sigma(i,j) + \Sigma C(k,1) \cdot (\sigma_0 - \sigma(k,1))) \right\}$$

où  $C(i,j)$  est la correction de terrain liée au premier prisme entourant le point (ij)

et  $C(k,1)$  la correction de terrain liée à un prisme quelconque de densité

$\sigma(k,1) \cdot C(i,j)$  et  $C(k,1)$  sont calculées avec la densité  $\sigma_0$ .

Si  $C(k,1)$  est petit par rapport à  $C(i,j)$  et si  $\sigma(k,1)$  est peu différent de  $\sigma(i,j)$ , on pourra en première approximation, écrire :

$$g_0(i,j,\sigma, \sigma_1) = g_0(i,j,\sigma_0) + \frac{4}{3}\Pi$$

$$\left\{ (\sigma_0 - \sigma(i,j)) \cdot \text{REG}(Z) + (\sigma_0 - \sigma(i,j)) \cdot z_0 \right\}$$

$$- \frac{1}{\sigma_0} \left\{ \Sigma C(k,1) \cdot (\sigma_0 - \sigma(i,j)) \right\}$$

\* Compagnie de Prospection Géophysique Française - Rueil-Malmaison - France.

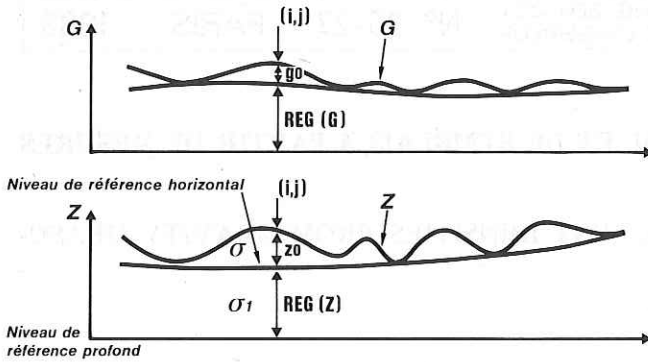


Fig. 1

On peut envisager deux cas : dans le premier, on supposera que  $\sigma_1(i,j) = \text{constante}$ , dans le deuxième,  $\sigma_1(i,j) = \sigma(i,j)$ . Pour cette dernière hypothèse, on obtient, en posant  $\Sigma C(k,1) = C1(k,1)$ ,

$$go(i,j,\sigma) = go(i,j,\sigma_0) + \frac{4}{3} \Pi (\sigma_0 - \sigma(i,j)) \cdot (REG(Z) + zo(i,j)) - \frac{(\sigma_0 - \sigma(i,j))}{\sigma_0} \cdot C1(i,j)$$

Si  $go(i,j,\sigma)$  et  $zi(i,j)$  sont des variables indépendantes, on devra avoir :

$$\Sigma go(i,j,\sigma) \cdot \Sigma zi(i,j) = N \cdot \Sigma go(i,j,\sigma) \cdot zi(i,j)$$

N étant le nombre de points situés à l'intérieur d'une fenêtre mobile. Si on pose

$$Z2(i,j) = REG(Z) + zo(i,j) - \frac{C1(i,j)}{\frac{4}{3} \Pi \sigma_0}$$

On aura :

$$\sigma(i,j) = \sigma_0(i,j) + \frac{\Sigma go(i,j,\sigma_0) \cdot zo(i,j) - \frac{1}{N} \Sigma go(i,j,\sigma_0) \cdot \Sigma zo(i,j)}{\frac{4}{3} \Pi \left\{ \Sigma Z2(i,j) \cdot zo(i,j) - \frac{1}{N} \Sigma Z2(i,j) \cdot \Sigma zo(i,j) \right\}}$$

En l'absence de corrections de terrain, on voit que ce calcul se ramène à une régression entre  $go$  et  $zo$ .

En utilisant des fenêtres mobiles appropriées pour la régionalisation et pour la corrélation, on peut ainsi calculer en chaque point  $(i,j)$ , la densité rendant minimale la corrélation entre altitude et gravité. Pour plus de précision, dans le cas de variations brutales de densité, ou lorsqu'on veut adopter une solution autre que celle des 2 cas cités plus haut, une méthode itérative peut s'avérer nécessaire.

## 2. Exemples d'application

La figure 2 représente un modèle théorique sans anomalie autre que le remblai, et où l'on a supposé que les calculs de chantier avaient été faits pour une densité supposée de  $20 \text{ KN/m}^3$ , alors qu'en réalité le modèle a été établi pour une densité réelle de  $16,5 \text{ KN/m}^3$

On constate la nécessité d'avoir un profil débordant largement de l'emprise du ramblai, pour apprécier correctement les "régionaux" topographiques et gravimétriques.

La densité recalculée par le programme donne des valeurs de densité pratiquement égales à  $1,65$  (entre  $1,645$  et  $1,655$ ) et une anomalie de Bouguer finale pratiquement plane.

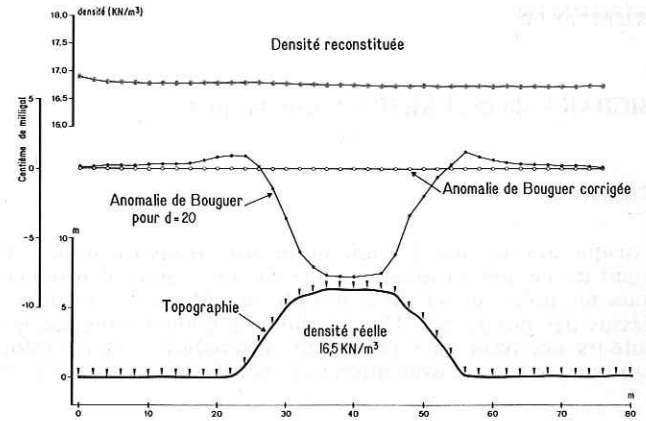


Fig. 2 : Modèle théorique

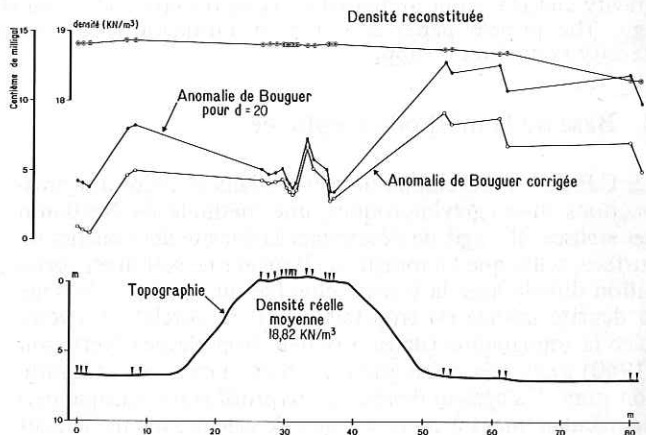


Fig. 3

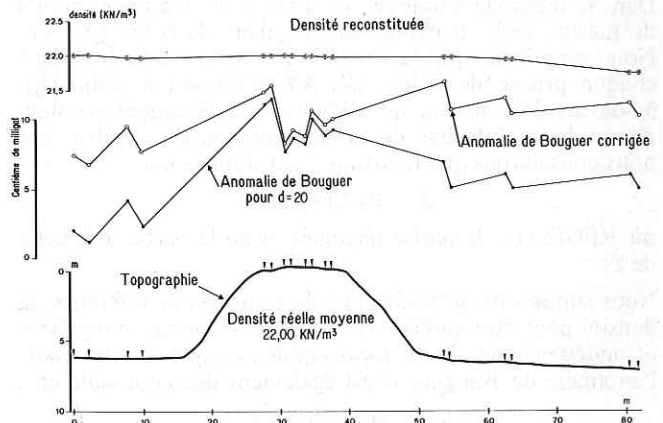


Fig. 4

Les figures 3 et 4 représentent des profils perpendiculaires à un remblai réel, la première dans une zone de plus faible densité, de l'ordre de  $18,8 \text{ KN/m}^3$ , la seconde dans une zone plus compacte ( $21,5 \text{ KN/m}^3$ ). Cet exemple est obtenu à partir de données écrites dans une autre communication (J.C. Erling, G. Roques, 1983).

Les mesures sont, comme dans la plupart des cas réels, très dispersées, du fait de l'hétérogénéité naturelle des matériaux, et du fait que plusieurs profils parallèles sont projetés sur un seul profil. Néanmoins, on arrive à des valeurs de densité satisfaisantes du fait du traitement statique. En effet, les calculs correspondant aux deux profils fournis concernent l'ensemble des mesures à l'intérieur d'une bande de 30 m de large, c'est-à-dire 56 points pour la figure 3 et 66 points pour la figure 2.

### 3. Conclusions

La méthode proposée permet d'évaluer la densité moyenne d'un remblai avec une précision de l'ordre de 1%. Pour un travail systématique, il convient de procéder par profils en travers, comprenant chacun un minimum de 10-12 points gravimétriques dont 3-4 sur le sommet du remblai.

### Références

- ERLING J.C. et ROQUES G. (1983) : Reconnaissance et traitement de cavités naturelles ou artificielles dans le domaine ferroviaire. Symposium International, Reconnaissance des sols et des roches par essais en place, Paris, mai 1983.
- NETTLETON L.L. (1940) : Geophysical Prospecting for Oil. McGRAW HILL, New York.