

LA GRAVIMETRIE DE TROU : UN EXEMPLE D'APPLICATION DANS LE GENIE CIVIL

BORÉHOLE GRAVIMETRY : AN APPLICATION EXAMPLE TO ENGINEERING

par P.J. LAURIN*, A. BLACK*, T.R. LAFEHR* et M. BICHARA**

Résumé

Le but de l'article est, après un bref rappel des caractéristiques de la gravimétrie de trou, de présenter un exemple où la gravimétrie de trou s'est révélée très utile dans un problème de Génie Civil.

Il s'agissait, à partir d'un forage exécuté dans un dôme de sel :

- 1) de déterminer la proximité des limites de celui-ci
- 2) de déterminer l'étendue de blocs d'anhydrite rencontrés par le forage.

Ce forage était destiné au lessivage du sel, afin de constituer un réservoir naturel pour le pétrole.

Alors que du fait des contrastes de densité très peu importants entre sédimentaire et sel, le premier but ne put être atteint, le second le fut. Ceci permit de conclure que le forage pouvait être utilisé pour le lessivage du sel.

Abstract

The aim of this paper is, after a review of some theoretical aspects of BHGM, to present an example in engineering where its use was found very useful.

The case concerned a well drilled in a salt dome. There were two objectives for this logging.

- 1) determining the proximity of edge of salt from the well
- 2) determination of the extension of high density formations (probably anhydrite blocks) within the salt which were encountered in drilling.

This well was planned to be used in leaching the salt in order to create a natural reservoir for petroleum.

Whereas, due to a low density contrast between the salt and sedimentary formation, the first point was inconclusive, it was possible to assert that there was no extension to the high density formations. This permitted the well to be planned for a leaching operation.

* EDCON : 305 Parfet Street, Denver, Colorado 80215

** C.P.G.F. : 77-79 avenue Victor Hugo, 92500 - RUEIL-MALMAISON

LA GRAVIMETRIE DE TROU : UN EXEMPLE D'APPLICATION DANS LE GENIE CIVIL

par P.J. LAURIN*, A. BLACK*, T.R. LAFEHR* et M. BICHARA**

I. - INTRODUCTION

Le passé du gravimètre de forage (bore hole gravity meter : BHGM) a été suffisamment étoffé pour qu'il soit actuellement considéré comme un important outil géophysique. SMITH (1950) dans son article, donne avec précision, les variations auxquelles on peut s'attendre en gravimétrie de forage. McCULLOGH (1965) conclut que le BHGM est en puissance, l'outil le plus prometteur quant à la détermination des densités (et des porosités) dans le sous-sol, pourvu que les mesures soient faites avec une extrême précision. BRADLEY (1974) relate plusieurs découvertes de gaz et de pétrole basées sur les densités (et porosité) déterminées par le BHGM.

Le BHGM possède plusieurs applications :

1. Comme appareil de diagraphies pour la détermination des densités in situ.
2. Comme gravimètre pour les études de proximité.
3. Comme moyen indirect pour la détermination des porosités.
4. Comme moyen indirect pour la détermination de la teneur en eau ou en fluide, et
5. Comme un moyen de préciser des contraintes sur les modèles sismiques.

La précision obtenue avec le BHGM (5 à 20 microgals) permet de déterminer densité et porosité avec une précision de 0,01 g/cm³ et 0,5 % respectivement.

La formule la plus employée pour la détermination de la densité pour une tranche comprise entre 2 stations dans un forage, est :

$$\rho = \frac{F}{4\pi G} - \frac{\Delta g / \Delta z}{4\pi G} \quad (1)$$

où ρ est la densité, F est le gradient à l'air libre, Δg est la différence de lecture (corrigée de la dérive luni-solaire et de la dérive instrumentale) entre les 2 stations séparées de Δz verticalement, et G est la

* EDCON : 305 Parfet Street, Denver, Colorado 80215

** C.P.G.F. : 77-79 avenue Victor Hugo, 92500 - RUEIL-MALMAISON

constante gravitationnelle. Cette formule résulte de l'hypothèse d'une terre composée de couches horizontales infiniment étendues.

Si ρ est en g/cm^3 , Δz en mètres, Δg en centièmes de milligals, (1) devient :

$$\rho = 3.687 - 0.119 \cdot \Delta g / \Delta z \quad (2)$$

ANOMALIE DE BOUGUER

(1) peut encore s'écrire :

$$\Delta g = (F - 4\pi G\rho) \Delta z$$

Si l'on se donne a priori une répartition de densité $\rho = \rho(z)$, on aura une répartition théorique de $\Delta g_t = \Delta g_t(z)$. L'anomalie de Bouguer est par définition la différence entre cette répartition théorique et la répartition expérimentale mesurée :

$$AB = \Delta g_{exp} - \Delta g_t$$

En général, on utilise les logs de densité gamma-gamma pour avoir une répartition $\rho(z)$. L'analyse de l'anomalie de Bouguer, SNYDER (1976) se révèle souvent très utile.

II. - EVALUATION D'UN DOME DE SEL

Le cas dont nous parlons ici concerne deux puits localisés à l'intérieur d'un dome de sel situé au Gulf Coast dans l'état du Texas. Le dome de sel en question est destiné à servir de réservoir naturel pour l'U.S. Strategic Petroleum Reserve. La campagne de mesure a été entreprise à la demande de "Sandia Laboratories" pour le "Department of Energy" des Etats-Unis.

En quelques mots, le procédé utilisé pour créer une cavité dans un dome de sel, est de faire un ou plusieurs puits à l'intérieur de celui-ci et d'y injecter sous contrôle, de l'eau pure. Le sel dissous est ainsi retiré. Ce procédé mené correctement, occasionne une cavité verticale cylindrique autour du forage. Toutefois, cette opération de lessivage ne peut être menée à bien que si dans le sel, il n'existe pas d'inclusions de matériaux non solubles. Ceci semblait être le cas pour le forage 103-B à Bryan Mound où l'on a mis en évidence des inclusions de haute densité à l'intérieur du dôme de sel ; ces inclusions étant, on le pense, dues, soit à de l'anhydrite disséminé à l'intérieur du dôme de sel, soit tout simplement à des blocs isolés d'anhydrite.

Les diagraphies gamma-gamma représentées figures 1, 2 et 3 montrent d'une part des densités relativement basses pour le sel dans la région de "Gulf Coast", d'autre part des zones de densité élevée dont il est fait mention ci-dessus, dues probablement à des inclusions d'anhydrite insoluble. Les diagraphies conventionnelles ne permettant pas de définir l'extension de ces inclusions, on décida de faire appel à la gravimétrie de forage pour estimer cette extension. Les résultats obtenus sont représentés figures 4, 5 et 6. Sur ces figures, nous avons aussi représenté les résultats de la diagraphie de densité gamma-gamma. On remarquera d'une part que les zones de densités élevées, mises en évidence par la diagraphie gamma-gamma, correspondent à de faibles augmentations de la densité, telle que mesurée par le gravimètre de forage. D'autre part, la densité obtenue par le gravimètre de forage est plus élevée que celle obtenue par diagraphie classique, et correspond mieux aux densités usuelles, connues pour le sel dans la région. Ceci est dû au fait que la diagraphie gamma-gamma ne concerne que quelques centimètres autour du forage, alors que le gravimètre de forage intègre une masse de terrain plus importante dans ce cas particulier (au vu de la maille de mesure, ainsi que de la longueur prospectée) : plusieurs dizaines de mètres.

La première remarque faite montre que l'extension latérale des zones d'anhydrite détectées par la diagraphie gamma-gamma est peu importante. Cette conclusion est confirmée par la forme de l'anomalie de Bouguer représentée sur les figures 4, 5, 6. En effet, cette anomalie ne présente aucune analogie avec l'anomalie théorique représentée figure 7 et qui correspond à un cylindre horizontal infiniment étendu. Tout corps relativement étendu (quelques mètres) devant présenter le même type d'anomalie (avec évidemment, une amplitude d'anomalie différente), on en conclura que les anomalies rencontrées ne correspondent pas à des corps à grande extension latérale.

Un second but à cette prospection était de déterminer la position de la limite du dôme du sel. A cet effet, une diagraphie a été exécutée dans un autre forage, à proximité du 103-B. Malheureusement, à la profondeur où se trouvait le contact dôme de sel-sédiments (3 200 - 3 600 pieds), le contraste de densité entre sel et sédiments n'est pas suffisant (voir figure 8) pour qu'une détermination précise de la limite sel-sédiment soit possible.

CONCLUSION

En l'absence des résultats obtenus par la gravimétrie de forage, le puits 103-B apparaissait comme étant impropre à servir à une opération de lessivage. Du fait des résultats donnés par le gravimètre de forage, le "Department of Energy" décida de planifier le lessivage du sel à partir de ce forage dans les semaines qui suivirent.

La gravimétrie de forage est utilisée par l'industrie pétrolière depuis plusieurs années. L'information obtenue par cet outil ne peut être acquise par d'autres méthodes. Le BHGM est le seul outil géophysique pouvant

servir à déterminer une densité globale concernant un volume important de roche. Son introduction dans le domaine du Génie Civil est cependant récente. Toutefois, il convient de noter que la fréquence de son utilisation ne fait que croître et nous pensons que cette tendance ne fera que se confirmer dans les prochaines années.

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figures 1, 2 et 3 : Portions de diagraphies FDC de Schlumberger

4, 5 et 6 : Diagraphies BHGM d'EDCON et diagraphies FDC de SCHLUMBERGER

7 : Anomalie de Bouguer (suivant axe vertical) pour un cylindre horizontal infini

8 : Coupe densité profondeur pour le sédimentaire et le sel du Gulf Coast

(.) FDC : Log de densité de formation

(..) BHGM : Gravimètre de forage

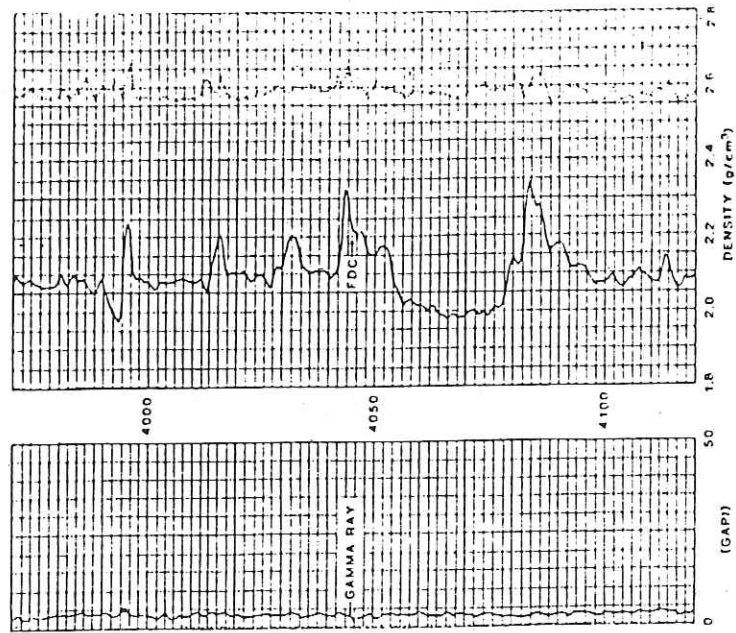


FIGURE 3

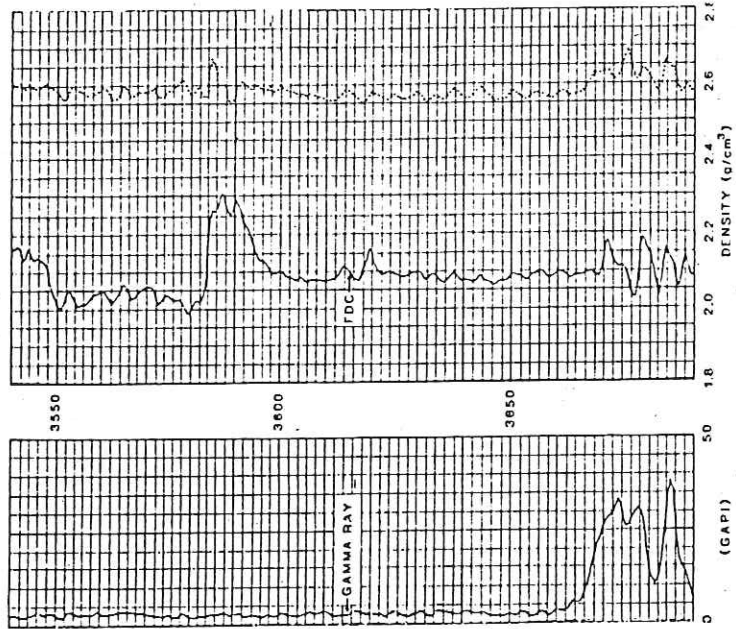


FIGURE 2

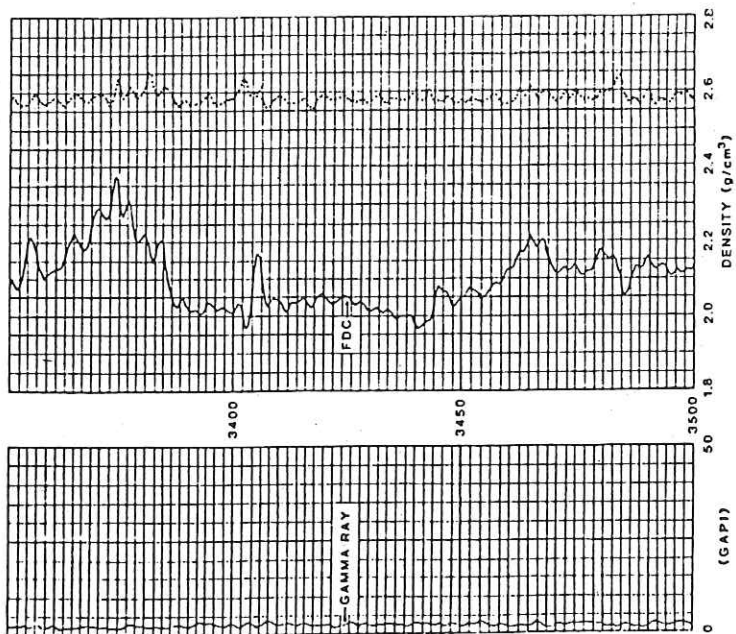


FIGURE 1

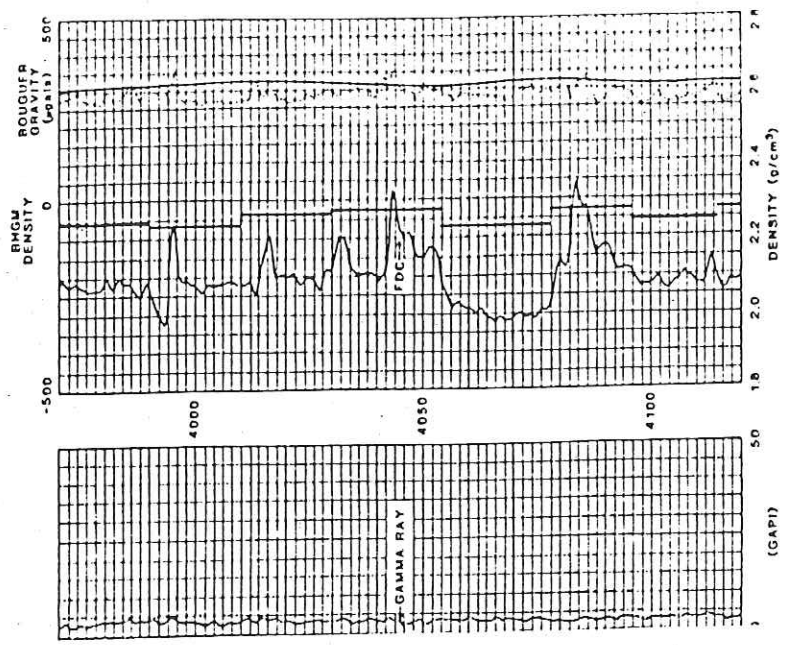


FIGURE 4

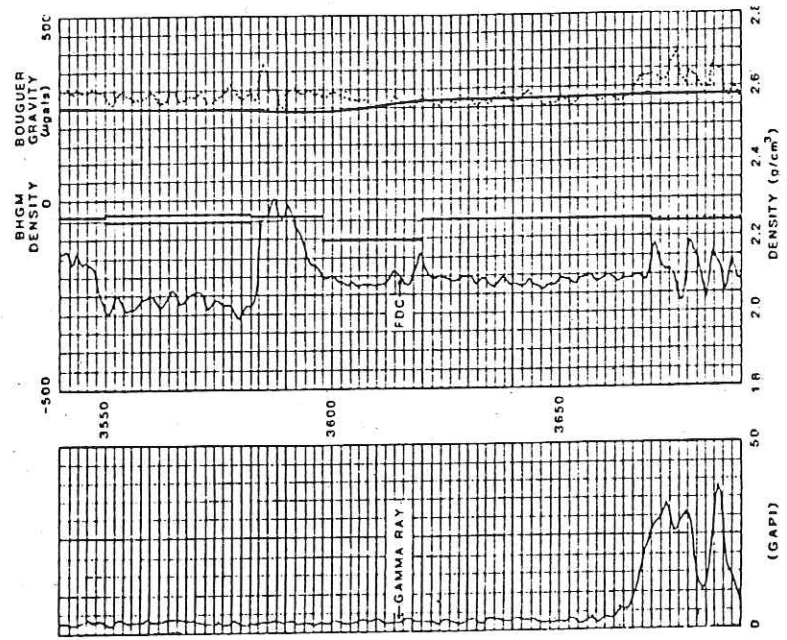


FIGURE 5

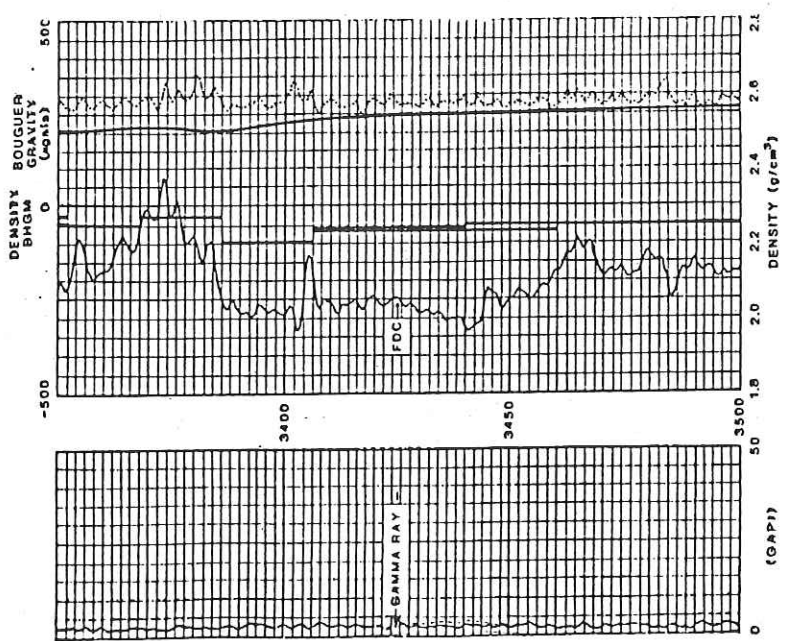
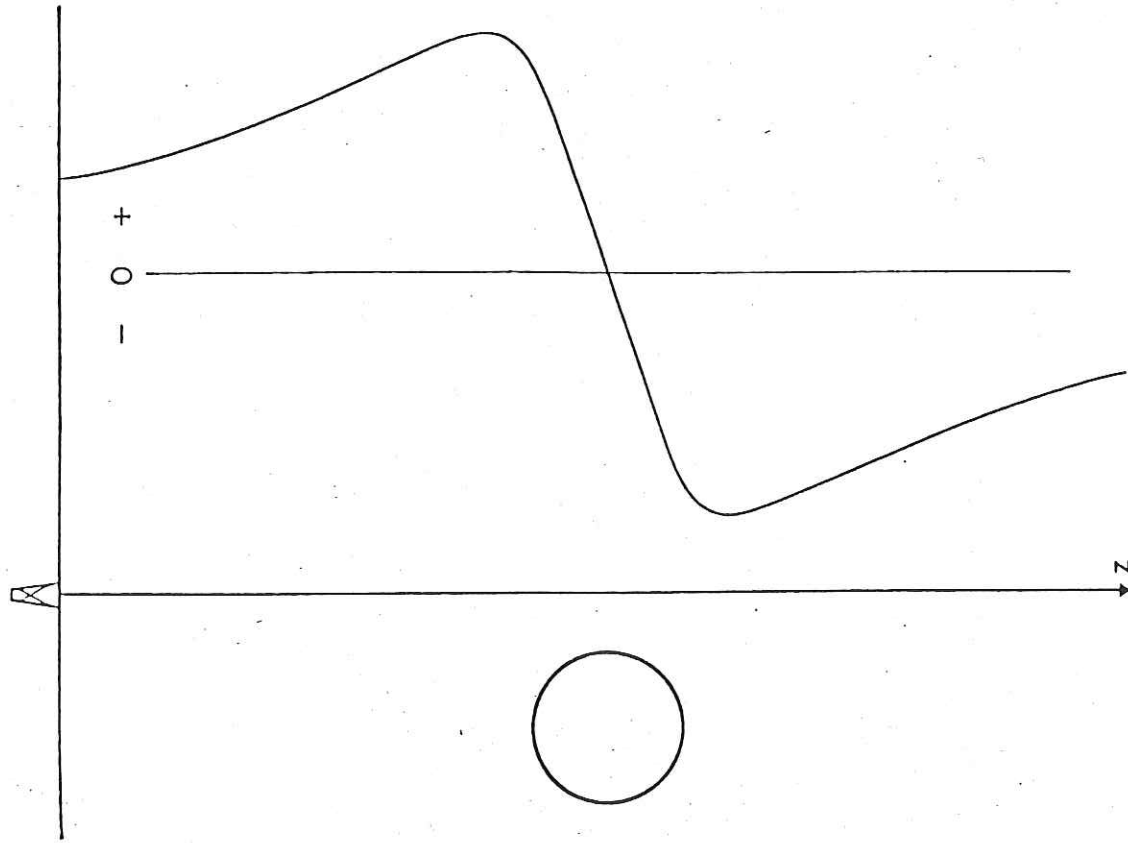
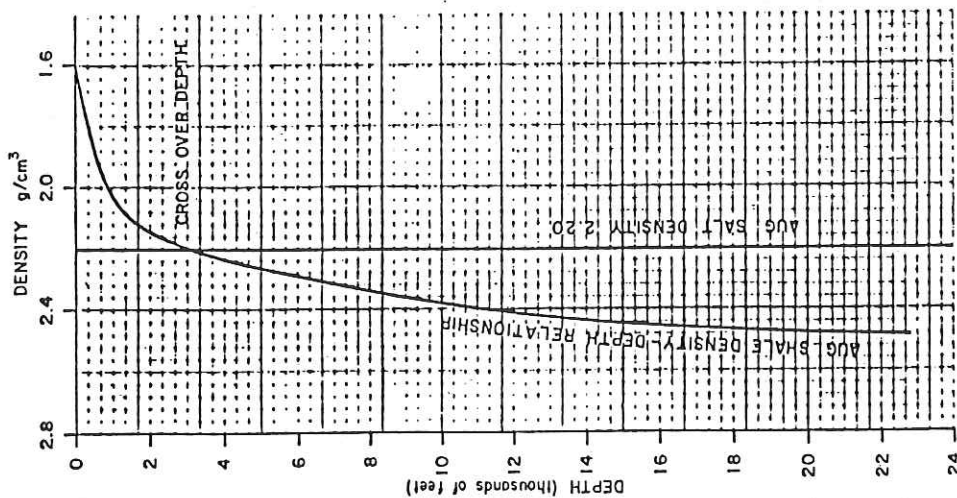


FIGURE 6



ANOMALIE DE BOUGUER
CYLINDRE HORIZONTAL INFINI
FIGURE 7



CONTRASTE DE DENSITÉ SEL SEDIMENTAIRE
GULF COAST - Tiré de NETTLETON 1934
FIGURE 8

REFERENCES

- Bradley, J.W., 1974, The commercial application and interpretation of the borehole gravimeter in Contemporary Geophysical Interpretation, a Symposium : Geophysical Society of Houston, December 4-5, 25 p.
- Clark, Editor, Handbook of Physical Constants, GSA Memoir 97.
- Dobrin, Milton B., 1960, Introduction to Geophysical Prospecting.
- EDCON, 1977, Borehole Gravity Meter Manual : Lakewood, Colorado, Exploration Data Consultants, Inc., 39 p.
- LaFehr, T.R., 1980, Gravity Method : Geophysics, v. 45, n° 11, p. 1634-1639.
- LaFehr, T.R., 1981, Rock density from borehole gravity surveys, in progress.
- LaFehr, T.R., 1982, An integrated geophysical interpretation of the MORS salt dome, Denmark : in preparation.
- McCulloch, Thane, 1965, A confirmation by gravity measurements of an underground density profile based on core densities, Geophysics, vol. 30, pp. 1108-1132.
- Nettleton, L.L., 1939, Determination of density for reduction of gravimeter observations, Geophysics, vol. 4.
- Smith, N.J., 1950, The case for gravity data from boreholes : Geophysics, v. 15, p. 605-636.
- Snyder, Donald D., 1976, The Borehole Bouguer Gravity Anomaly - Application to interpreting borehole gravity surveys. SPWLA seventeenth annual logging symposium transactions.