

LA PROSPECTION MICROGRAVIMETRIQUE DANS LA DETECTION DES CAVITES SOUTERRAINES

par

Jean-Pierre COYETTE¹, Luc FUNCKEN¹, Albéric MONJOIE¹ & Jean-François THIMUS¹

(7 figures)

RESUME.— Cet article décrit l'utilisation de la méthode de prospection gravimétrique au-dessus d'une grotte. Parallèlement, un programme permettant le calcul de l'anomalie théorique de cette grotte a été mis au point. Ce programme, basé sur les transformations d'une intégrale de volume en une intégrale de surface, a permis la comparaison entre les résultats de l'anomalie théorique calculée et de l'anomalie mesurée. Cette comparaison peut mettre en évidence la présence de cavités non connues ou de phénomènes de décompression autour de cette cavité.

ABSTRACT.— **Microgravimetric Prospection and Caves Detection.**

This paper describes the utilization of microgravimetric prospection above a cavity. The comparison between theoretical and measured gravity anomalies shows the importance of rock decompression around the cavity. The theoretical gravity anomaly is calculated by a numerical program described here.

1.- INTRODUCTION

Parmi les différentes méthodes de prospection géophysique, la gravimétrie est fréquemment utilisée pour mettre en évidence la présence de cavités dans le sous-sol. Les microgravimètres de grande précision (Lacoste-Romberg Model D, donnant le microgal) ont permis d'augmenter les possibilités de la méthode.

La présence d'une cavité dans un massif entraîne un déficit d'attraction terrestre, fonction du volume de l'anomalie et de la différence de densité entre le remplissage de la cavité (vide, eau, débris) et le terrain encaissant. Dans le cas d'un massif calcaire, le déficit d'attraction mesuré est généralement plus important que celui de la cavité proprement dite, suite à des phénomènes de décompression et de dissolution autour de l'anomalie principale.

Afin de mettre en évidence et de quantifier ce phénomène, un programme numérique a été mis au point. Sur base des caractéristiques géométriques d'une cavité, le programme calcule l'anomalie gravimétrique théorique. Comparé aux résultats des mesures de terrain, il permet de mettre en évidence l'influence de la décompression et de la dissolution affectant les terrains environnants.

2.- EVALUATION NUMERIQUE DE L'ANOMALIE GRAVIMETRIQUE

L'anomalie gravimétrique a est donnée par la relation

$$a = \int_{\Omega} \frac{G z dm}{r^3} \quad (1)$$

- où G = constante gravitationnelle,
- dm = masse d'un volume infinitésimal de matière,
- z = coordonnée verticale de cette masse élémentaire par rapport au point d'observation I ,
- r = distance séparant la masse élémentaire du point d'observation I ,
- Ω = volume de la cavité étudiée.

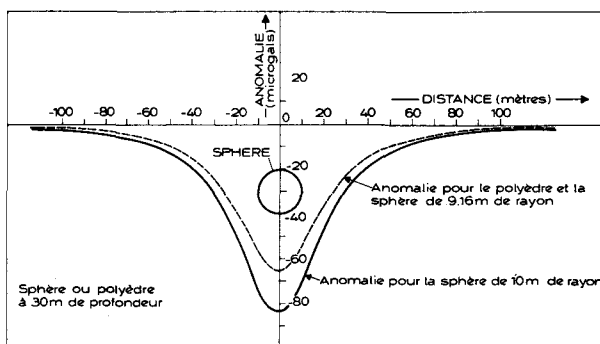


Figure 1

En désignant par

(u_i, v_i, w_i) les coordonnées du point I ,

(u, v, w) les coordonnées du point P ,

les composantes des vecteurs \vec{r} et \vec{z} se mettent sous la forme

¹ Université catholique de Louvain, Unité de Construction, Place du Levant, 1 - 1348 Louvain-la-Neuve.

$$\vec{r} : (u-u_i, v-v_i, w-w_i)$$

$$\vec{z} : (0, 0, w-w_i)$$

Dès lors, la relation (1) s'écrit

$$a = \int_{\Omega} \frac{G (w-w_i) \rho \, du \, dv \, dw}{[(u-u_i)^2 + (v-v_i)^2 + (w-w_i)^2]^{3/2}} \quad (2)$$

où ρ = masse spécifique du matériau encaissant.

Afin de faciliter l'évaluation de l'intégrale (2), on opère un changement de variables :

$$u' = u - u_i$$

$$v' = v - v_i$$

$$w' = w - w_i$$

$$D'où \quad a = \int_{\Omega} \frac{G w' \rho \, du' \, dv' \, dw'}{(u'^2 + v'^2 + w'^2)^{3/2}} \quad (3)$$

si on pose

$$f = - (u'^2 + v'^2 + w'^2)^{-1/2}$$

$$g = G \rho$$

la relation (3) devient

$$a = \int_{\Omega} \frac{\partial f}{\partial w'} \quad g \, d \Omega$$

Par le théorème de Gauss, on sait que

$$\int_{\Omega} \frac{\partial f}{\partial w'} \, g \, d \Omega = - \int_{\Omega} \frac{\partial g}{\partial w'} \, d \Omega + \int_{\Gamma} f \, g \, n_{w'} \, d \Gamma$$

où $n_{w'}$ sont les cosinus directeurs de la normale à la surface frontière Γ par rapport à la direction w' .

Comme $g = c^{te}$ sur Ω

il en résulte que $\frac{\partial g}{\partial w} = 0$ et donc

$$a = \int_{\Gamma} \frac{- G \rho \, n_{w'} \, d \Gamma}{(u'^2 + v'^2 + w'^2)^{1/2}} \quad (4)$$

Pour évaluer cette intégrale de surface, on a recours à une triangulation de la surface Γ

$$\Gamma = \bigcup_k T_k$$

où T_k désigne la $k^{\text{ème}}$ maille triangulaire.

Il en découle que

$$a = \sum_k - G \rho \int_{T_k} \frac{n_{w'} \, d \Gamma_k}{(u'^2 + v'^2 + w'^2)^{1/2}}$$

Les intégrales de surface s'évalueront par intégration numérique.

En désignant par

$$F = \frac{n_{w'}}{(u'^2 + v'^2 + w'^2)^{1/2}}$$

et en notant F_p et W_p la valeur de F et le poids associé au droit d'un point d'intégration, on réécrit (4) sous la forme finale

$$a = \sum_k (- G \rho (\sum_p W_p F_p))$$

Le bon fonctionnement du programme a été vérifié pour différentes formes géométriques simples. Par exemple, l'anomalie théorique d'un polyèdre de 32 faces inscrit dans une sphère de 10 m coïncide avec celle d'une sphère de même volume et est légèrement plus faible que celle de la sphère de 10 m de diamètre entourant le polyèdre. La figure 2 illustre les résultats obtenus pour ce schéma avec une profondeur de 30 m pour le centre de l'anomalie.

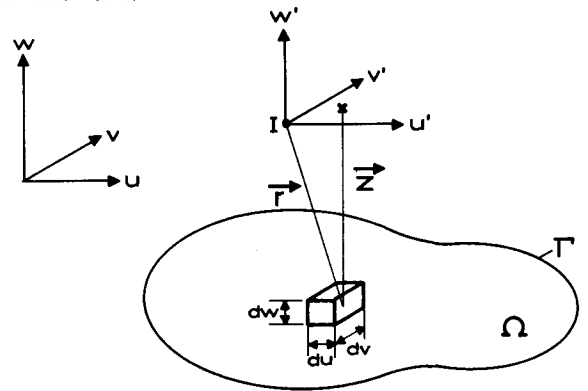


Figure 2

3.- MESURES EXECUTEES SUR TERRAINS

A.- SITUATION

La cavité choisie pour cette étude est la grotte karstique "Trou du Moulin" ou "Chantoir du Rouge Thier", à Deigné dans le "Vallon des Chantoirs" entre Louveigné et Remouchamps (fig. 3). Située dans les calcaires givetiens (Gva), elle comporte une grande galerie d'environ 100 m de long inclinée à plus ou moins 40° et des réseaux de diaclases et conduits karstiques de moyenne importance.

B.- LEVE DE LA GEOMETRIE DE LA GROTTTE

Un cheminement au théodolite (Wild T-1) comportant 11 stations a permis de situer avec précision la situation de la cavité sous la surface.

Le levé des parois de la cavité a été effectué par photographie de celles-ci avec report des points de mesures et en utilisant un clinomètre (détermination de l'angle vertical), un compas de précision (mesure de

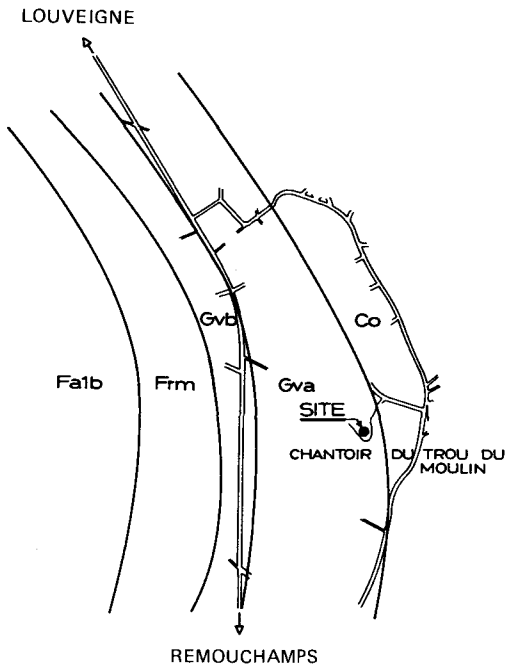
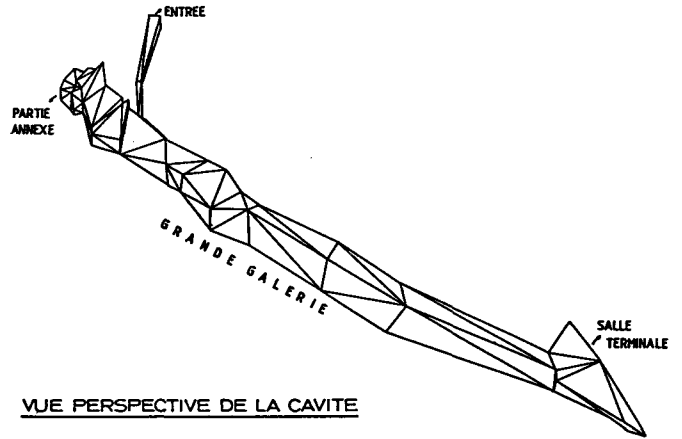


Figure 3

l'angle horizontal) et un topofil (mesures des longueurs). Ces différents points sont rattachés aux stations théodolites et permettent alors la connaissance en x, y, z du contour de la cavité.

La figure 4 donne une représentation de la grotte ainsi définie par 91 points et 174 triangles.



VUE PERSPECTIVE DE LA CAVITE

Figure 4

C.- LEVE GRAVIMETRIQUE DE SURFACE

Un levé gravimétrique de surface a été réalisé comme représenté à la figure 5. Un profil longitudinal au-dessus de l'axe de la galerie et 6 profils transversaux perpendiculaires à celui-ci ont été exécutés.

Après les corrections classiques d'altitude, de latitude, topographique, de dérive et déduction de l'anomalie régionale, on obtient la carte d'anomalies gravimétriques résiduelles - c'est-à-dire les anomalies provoquées par l'existence de la grotte et des phénomènes connexes (fig. 6).

Le calcul de l'anomalie gravimétrique théorique provoquée par la grotte schématisée à la figure 4 a été

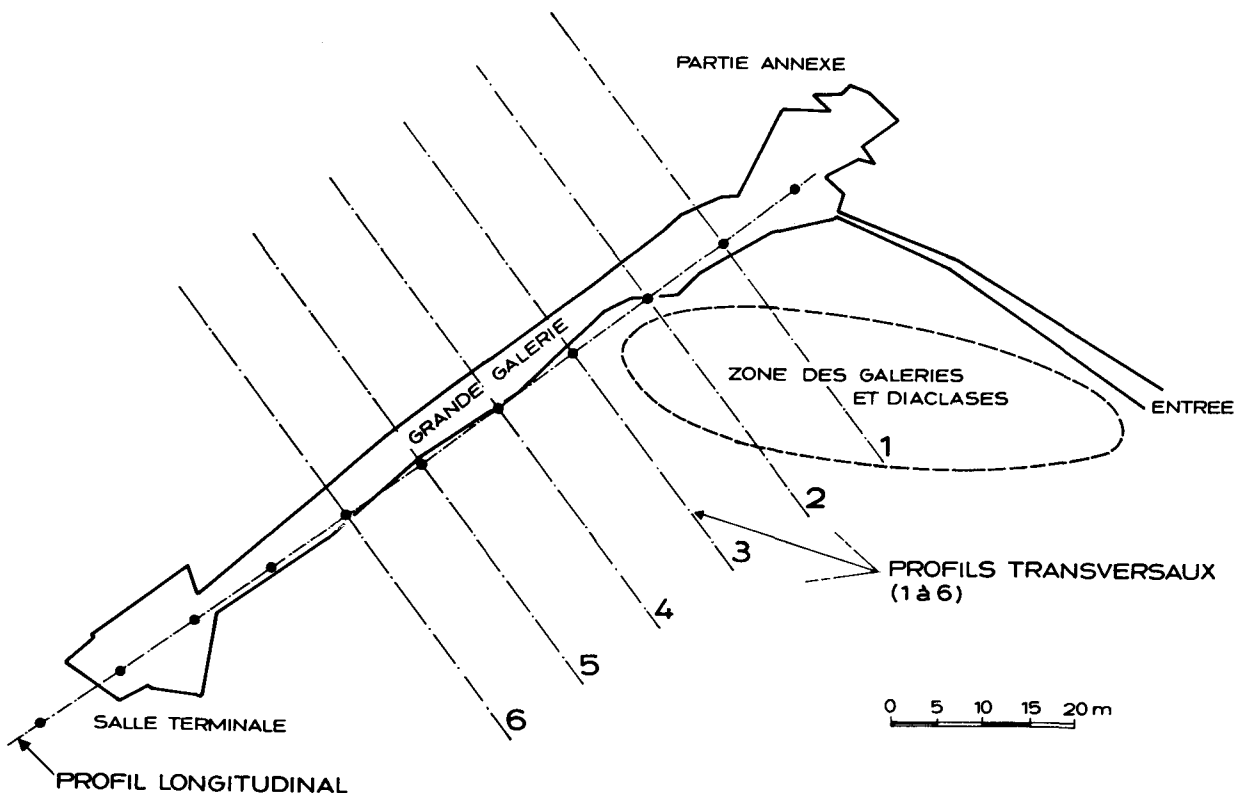
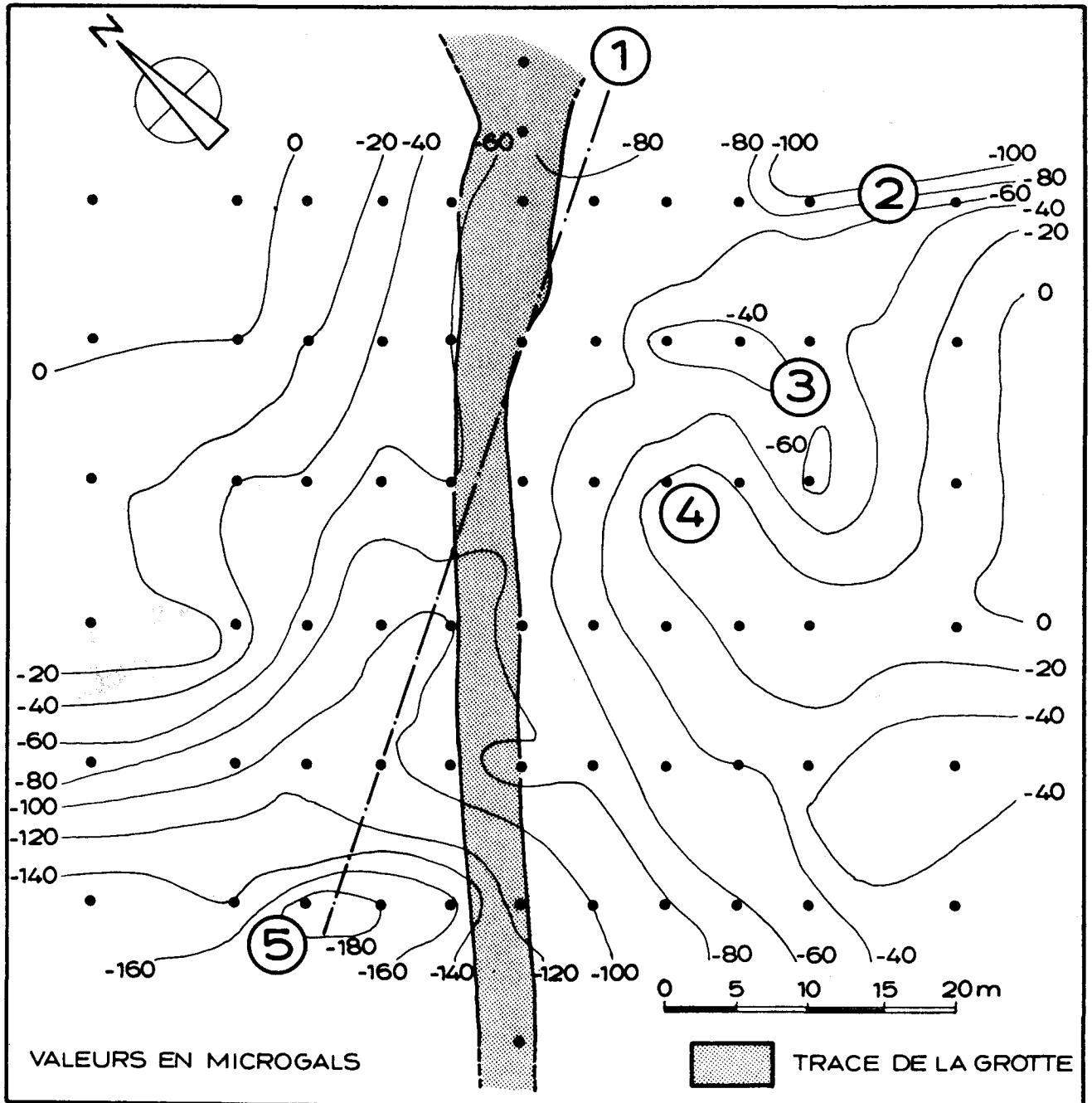


Figure 5



CARTE D'ANOMALIES RESIDUELLES MESUREES

Figure 6

fait par le programme décrit plus haut et les résultats sont donnés à la figure 7.

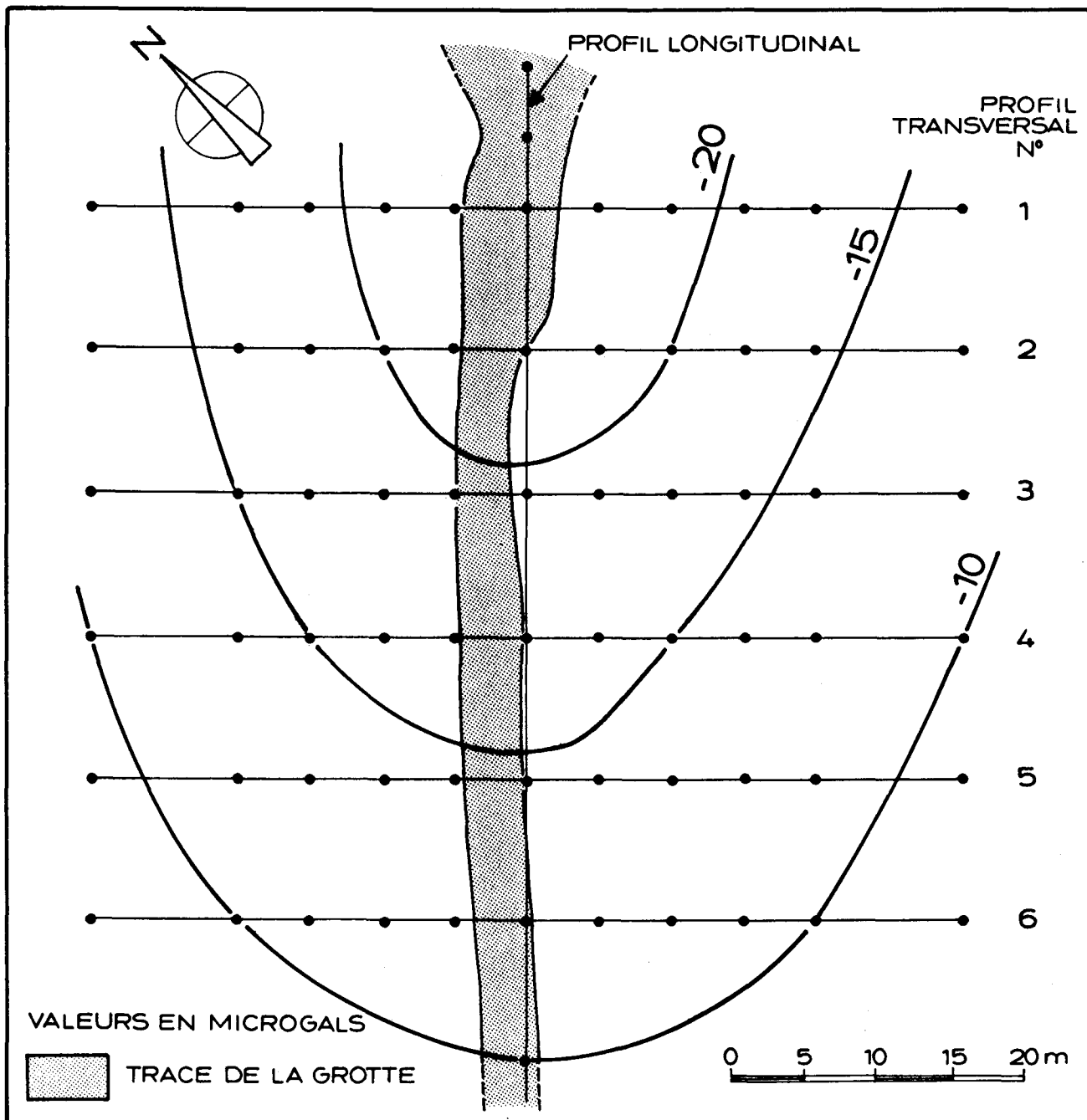
4.- COMPARAISON ENTRE LES ANOMALIES THEORIQUES ET MESUREES

La comparaison des figures 6 et 7 montre des différences assez importantes :

- 1) les anomalies théoriques présentent des valeurs de loin inférieures aux anomalies mesurées : rapport de 2 à 10;
- 2) l'allure des courbes est différente et apparaît irrégulièrement pour l'anomalie mesurée.

Cependant, si on étudie de plus près le diagramme de la figure 6, on peut constater :

- 1) une correspondance entre le passage de la galerie principale et un axe d'anomalies négatives importantes (-80 à -190 microgals) moyennant un décalage angulaire d'environ 20 à 25° (point ①)
- 2) présence au nord-est, d'une zone à forte anomalie négative (point ②) due à l'existence de diaclases et



CARTE D'ANOMALIES RESIDUELLES CALCULEES

Figure 7

conduits karstiques secondaires non prise en compte dans les calculs de l'anomalie théorique.

- 3) présence d'une anomalie négative assez localisée (point ③) qui pourrait correspondre à un phénomène à faible profondeur (poche de dissolution).
- 4) présence d'une anomalie moins négative (point ④) : remontée du calcaire ?
- 5) présence d'une anomalie négative importante (- 190 microgals) : poche de dissolution ou chenal karstique vertical (point ⑤).

Les différences importantes constatées entre anomalies gravimétriques théoriques et résiduelles montrent l'importance des phénomènes de décompression et de dissolution autour du conduit principal ainsi que de l'altération superficielle. La réalisation de profil sismique en surface et dans la grotte a confirmé ces faits.

L'introduction dans le calcul théorique d'une zone décompressée sous le niveau du sol et autour de la cavité, avec pour ces terrains une densité plus faible, montre que le rapport entre les anomalies théoriques obtenues avec et sans zone détendue peut atteindre 7.

5.- CONCLUSIONS

L'étude illustre l'importance de la zone décomprimée et dissoute autour d'une cavité. Amplifiant le phénomène anomalique, elle facilite grandement la détection des phénomènes karstiques par la méthode gravimétrique.

Par ailleurs, le programme de calcul utilisé présente les avantages suivants :

- applications à toutes les formes géométriques possibles de cavité,
- utilisation également pour le calcul de l'anomalie topographique,
- prise en compte possible de l'existence d'une zone détendue.

BIBLIOGRAPHIE

- GRANT, F.S. & WEST, G.F., 1965. Interpretation Theory in applied Geophysics, Mac Graw-Hill : 127-185.
- HUNTER, S.C., 1976. Mechanics of Continuous Media-Ellis Horwood Limited, Chichester : 557.
- MONJOIE, A., 1977. Méthodes de prospection appliquées aux phénomènes karstiques. Colloque franco-belge de Karstologie appliquée. Ann. Soc. géol. Belg., 102 : 125-135.
- MONJOIE, A., 1981. Détection de phénomènes karstiques par méthodes géophysiques. Colloque CBGI, Gent, oct. 81 : 95-107.
- MONJOIE, A., SCHROEDER, Ch. & THIMUS, J.Fr., 1985. Détection de phénomènes karstiques par microgravimétrie. Colloque international de Karstologie appliquée, Liège. Ann. Soc. géol. Belg., 108 :
- TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E., KEYS, D.A., 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press : 218-434.