

COMITE BELGE
DE
GEOLOGIE DE L'INGENIEUR

P206
BELGISCH COMITE
VOOR
INGENIEURSGEOLOGIE

GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE URBAINES
GEOLOGIE EN GEOTECHNIEK BIJ STADSBOUW



C.B.G.I. 1975 B.C.I.G.

COLLOQUE NATIONAL
NATIONAAL COLLOQUIUM

Bruxelles, 7, 8, 9/X/1975 Brussel

TIRE - A - PART

AFDRUK

DETECTION DE CAVITES SOUTERRAINES DE PETITES DIMENSIONS PAR MICRO-
GRAVIMETRIE REALISEE EN COURS DE TRAVAUX.

J.P. MICHEL

Ingénieur chef de Service au bureau d'études Tractionel à
Bruxelles.

J.C. ERLING

Géologue géophysicien à la Compagnie de Prospection Géophysique
Belge (GEOBEL) à Bruxelles.

RESUME :

La découverte de cavités étirées d'environ 2 mètres carrés de section lors de l'ouverture des fouilles d'un bâtiment à Charleroi a fait craindre l'existence de galeries d'exploitation minière à faible profondeur.

Une prospection par microgravimétrie serrée localement à maille de 1,50 m et réalisée dans les fouilles en cours de creusement a permis de localiser deux axes d'anomalie négative.

L'interprétation des mesures, du fait de l'irrégularité du fond de fouille et la présence d'immeubles à proximité, a nécessité l'utilisation d'un programme de calcul automatique basé sur la méthode de VALLABH SHARNA.

Trois sondages carottés, implantés au droit des anomalies maxima ont mis en évidence des zones de roches altérées et très fracturées.

La prospection gravimétrique a été réalisée durant un week-end et n'a pas exigé l'arrêt du chantier.

DETECTION DE CAVITES SOUTERRAINES DE PETITES DIMENSIONS PAR MICRO-
GRAVIMETRIE REALISEE EN COURS DE TRAVAUX.

J.P. MICHEL

Ingénieur chef de Service au bureau d'études Tractionel à
Bruxelles

J.C. ERLING

Géologue géophysicien à la Compagnie de Prospection Géophysique
Belge (GEOBEL) à Bruxelles.

INTRODUCTION

Lors de la phase terminale de l'ouverture des fouilles de la
Maison des Mutualités à Charleroi, l'Entreprise chargée des travaux
mit à jour deux cavités souterraines de forme allongée et partielle-
ment comblées. La présence de petits niveaux de charbon fit immédiate-
ment envisager l'existence d'un réseau de petites galeries dues à des
exploitations pirates.

Cet immeuble comprenant 10 étages et deux niveaux de sous-sol
est appuyé directement sur le substratum rocheux formé à cet endroit
de Westphallien gréseux à niveaux de schistes houillers.

Le Bureau d'Etude N.M.V. chargé de l'élaboration du projet, avait
prévu une fondation par piliers encastrés dans le rocher sain pour ré-
partir la majeure partie des charges, le radier général ne reprenant en
principe que les charges appliquées par les deux sous-sol. Etant donné
l'hétérogénéité du terrain, des forages de reconnaissance exécutés au
droit des piliers principaux avaient été recommandés. C'est au cours
de l'exécution des derniers forages que des cavités furent décelées.
A ce moment là environ 60 % des fondations étaient déjà bétonnés et le
fond de la fouille se situait à environ 8,50m de profondeur, avec les
excavations des piliers descendus à 3 m sous ce niveau.

A la suite de cette découverte, le Bureau N.M.V. et le Bureau SECO, chargés du contrôle, décidèrent, d'un commun accord, de prospecter en profondeur la zone où ces cavités paraissaient se concentrer.

Dans ce cas particulier, la seule méthode de prospection susceptible d'être utilisée sans entraver lourdement la marche du chantier et de préciser l'existence de cavités, était la microgravimétrie. Le problème toutefois, du fait de la petite dimension des cavités, associée à la configuration de la surface, se situait à la limite des possibilités de détection.

PROSPECTION GRAVIMETRIQUE

Principe de la méthode

Cette méthode consiste à mettre en évidence les variations relatives de densité existant dans le sol. Ces variations se traduisent en surface par des modifications de l'intensité du champ de la pesanteur dont la composante verticale est mesurée directement au moyen d'un gravimètre.

Pour rappel, l'anomalie provoquée par un cylindre horizontal infini de rayon R, dont le centre est situé à une profondeur Z et dont la masse de densité σ_2 est englobée dans un milieu de densité σ_1 , est donnée par la relation
$$\Delta g = 4,2 \Delta \sigma R^2 \frac{Z}{Z^2 + X^2}$$
 avec Δg exprimé en 10^{-2} milligal, $\Delta \sigma = \sigma_2 - \sigma_1$, X, Z et R en mètre; X étant la distance séparant le gravimètre du plan vertical passant par l'axe du cylindre.

Dans le cas particulier de cette étude, les cavités recherchées pouvaient donner des anomalies de forme étirée, assez pointues en amplitude et atteignant un maximum de - 2 à - 4 centième de milligal.

Pour de telles investigations, on constate comme l'indique la figure 1, que des estimations sur la probabilité de détection d'une cavité pour une maille donnée, sont fonction de la dimension et de la profondeur de la cavité. Il est admis généralement qu'une cavité non décelable avec un appareillage sensible à quelques microgals est de trop petite dimension ou encore se situe à une profondeur trop grande pour influencer les fondations d'un bâtiment, pour autant que la dimen-

sion de la maille soit bien adaptée et ce dans le cas de fondations superficielles.

**PROBABILITE DE DETECTION D'UNE CAVITE ALLONGEE
MAILLE de 5 x 5 m**

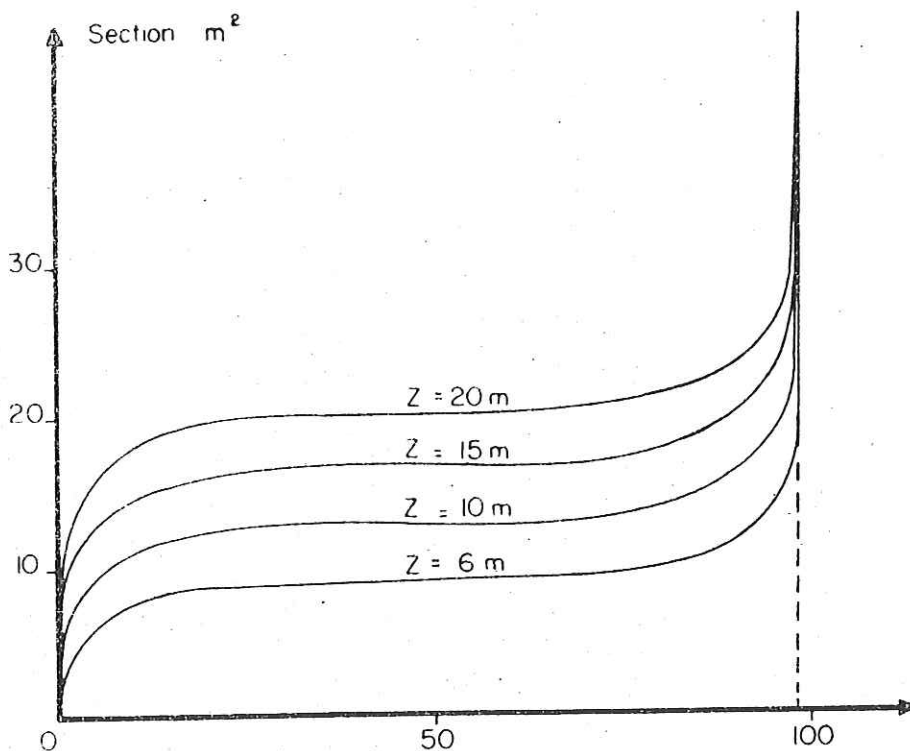


Fig. 1

- Exécution des mesures :

L'appareil utilisé est un gravimètre de très haute précision LACOSTE ET ROMBERG modèle D basé sur le principe suivant : une petite masse située à l'extrémité d'un fléau horizontal est maintenue par un système de ressorts; les déplacements du fléau, sollicités par les variations de g , sont compensés par une vis micrométrique donnant un affichage direct de la mesure au microgal ($10^{-9}g$).

La précision des mesures est de 5 microgals. De ce fait, les anomalies mesurées sont significatives à partir d'un centième de milligal.

Remarque :

Les mesures effectuées avec cet appareil sont des mesures relatives, rattachées à une base fixe, choisie arbitrairement et à laquelle on a affecté la valeur 0.

Les mesures étant limitées au fond de fouille, toutes les hétérogénéités d'une dimension inférieure à celle de la fouille sont parfaitement décelables.

La prospection a été effectuée principalement en fond de fouille du bâtiment (60 points de mesure). La maille a été resserrée de 3,50 m à 1,50 m dans la partie Sud du terrain jugée la plus critique. Quelques mesures d'étalonnage (8 points de mesure) ont été réalisés à l'extérieur de la fouille dans une zone jugée apparemment saine (voir fig. 5 et 6).

- Dépouillement :

Obtention de l'anomalie de Bouguer

Le premier document obtenu est la carte des mesures brutes corrigées, dite carte de "l'anomalie de Bouguer". Cette carte a été établie en effectuant sur chaque point de mesure plusieurs corrections :

- la correction instrumentale et lunisolaire, obtenue à partir d'une courbe de dérive donnant la variation de lecture à la base en fonction du temps et à l'aide de tables donnant les variations lunisolaires.
- la correction d'altitude, qui est assez importante (204 microgals par mètre pour une densité des terrains de surface $\sigma = 2.5$). Tous les points ont été ramenés sur un même plan horizontal passant par la base choisie.
- la correction de latitude, qui est de 80.10^{-2} milligals par kilomètre dans la direction Nord Sud à la latitude de CHARLEROI. Elle résulte de l'aplatissement des deux pôles terrestres où l'attraction est plus forte qu'à l'équateur.

- la correction de terrain, résultant principalement des influences latérales de la fouille.

La valeur de Bouguer exprimée en 10^{-2} milligals est donnée par la relation :

$$\Delta g \text{ Bouguer} = \Delta l \cdot k \pm (0,3086 - 0,0418 \sigma) \Delta z + \Delta \gamma + \Delta T$$

- Δl = lectures corrigées de la dérive en 10^{-2} milligal
 k = coefficient de l'appareil (1,1636 pour le Lacoste D7)
 σ = densité des terrains de surface
 Δz = dénivelé topographique en cm par rapport à la base
 $\Delta \gamma$ = valeur de la correction de latitude en 10^{-2} milligal
 ΔT = valeur de la correction de terrain en 10^{-2} milligal

- Calcul de la correction de terrain :

De toutes les corrections précédentes, la correction de terrain qui fait intervenir l'influence des masses latérales était la plus importante dans cette étude, du fait que les mesures ont été effectuées au fond d'une fouille profonde et relativement étroite.

Un calcul manuel de cette correction est assez fastidieux et dans le cas présent, il risquait de ne pas être suffisamment précis.

Nous avons donc développé une méthode de calcul automatique sur ordinateur de cette correction. Cette méthode consiste à créer un modèle mathématique de la fouille et de son environnement. Les figures 2 et 3 schématisent le procédé utilisé.

Pour faciliter les calculs, nous avons ramené le maillage des mesures à un maillage régulier (3,5 x 3,5 mètres) débordant légèrement la zone étudiée. On a dressé en fait un tableau d'altitudes englobant la zone intéressée.

Comme l'indique la figure 2, la topographie a été décomposée en un ensemble de parallélépipèdes centrés sur les points de mesure et de hauteur ΔZ , qui est la dénivelé d'un point par rapport à la base choisie.

CORRECTION DE TERRAIN

UTILISATION DU PROGRAMME TERCOR DE CALCUL AUTOMATIQUE

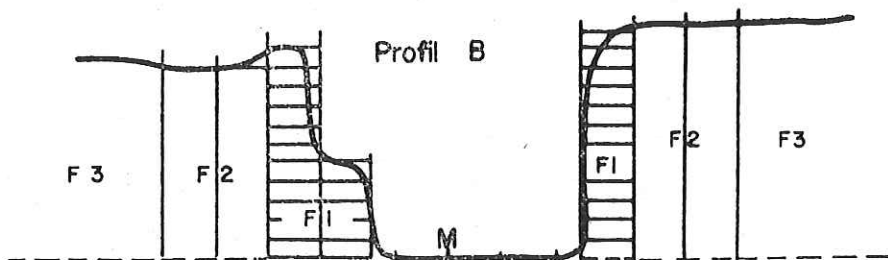


Fig 2

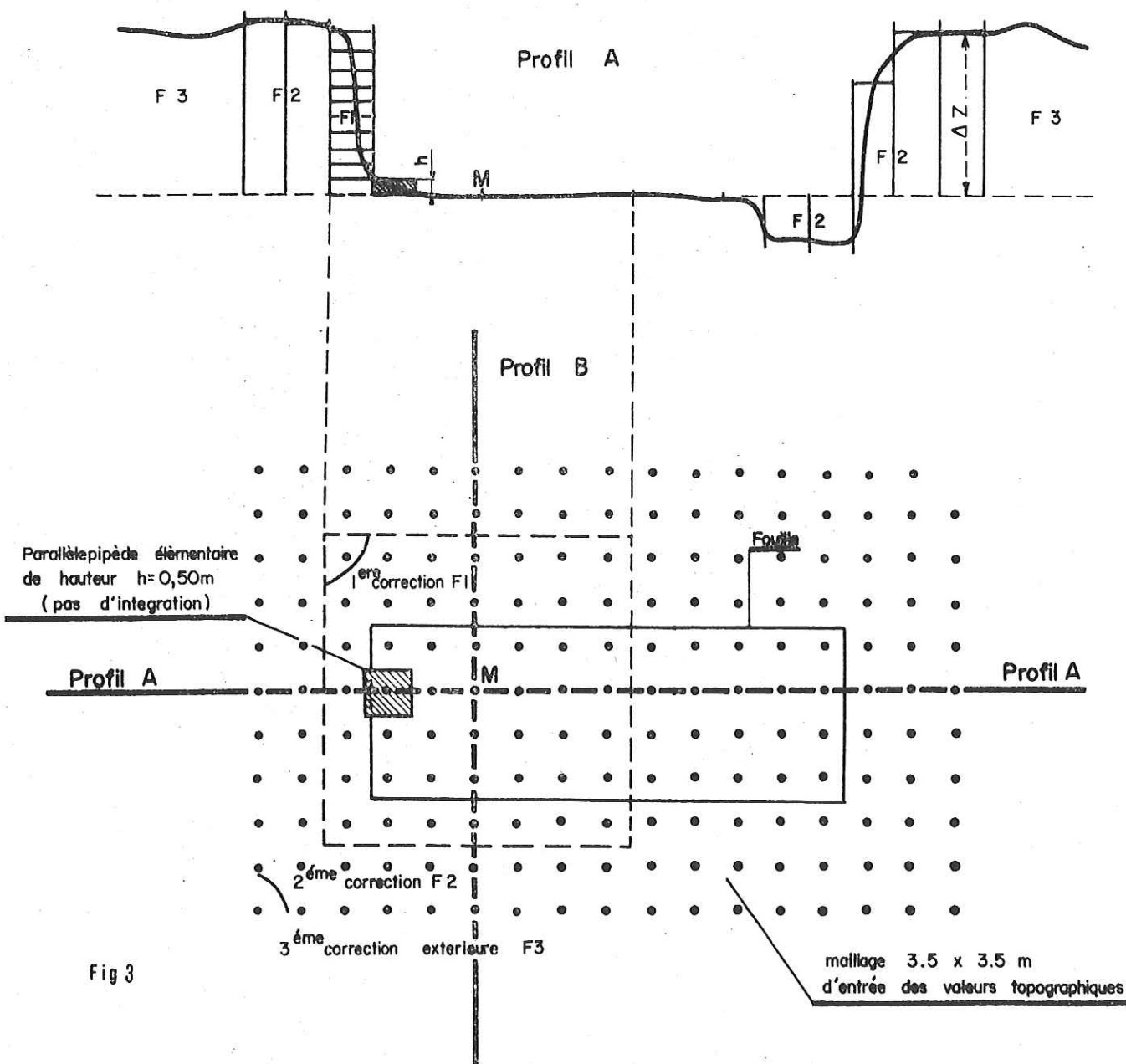


Fig 3

Le programme TERCOR utilisé décompose la correction de terrain en trois corrections successives :

- 1°) Une correction raffinée est effectuée à l'intérieur d'une fenêtre F1 choisie (7 x 7 points) et centrée sur un point de mesure M. Dans cette fenêtre chaque parallélépipède est décomposé en parallélépipèdes élémentaires de hauteur h représentant le pas d'intégration. On calcule l'influence de masse sur le point de mesure de chaque parallélépipède élémentaire par la méthode de VALLABH SHARNA. L'intégration de toutes ces influences donne la correction de terrain due aux masses se trouvant à l'intérieur de F1.

- 2°) Une correction grossière est effectuée dans la portion située entre F1 et F2 (tableau englobant tous les points). Ici chaque parallélépipède est assimilé à un cylindre vertical pour lequel on calcule l'influence globale de sa masse. On effectue ensuite la somme des influences.

- 3°) Une correction lointaine est effectuée à l'extérieur du tableau. Cette portion de terrain est supposée se trouver à une cote constante. La figure 4 donne le résultat du calcul ordinateur sur tous les points du tableau. Un artifice du programme permet de limiter le calcul aux points intéressés.

- Résultats :

Les résultats gravimétriques de l'étude apparaissent sur les deux cartes suivantes :

Carte de l'anomalie de Bouguer (fig. 5)

Cette carte représente les variations de la pesanteur, corrigées de toutes les influences, précédemment citées.

CARTE DES CORRECTIONS DE TERRAIN
(en centième de milligal)

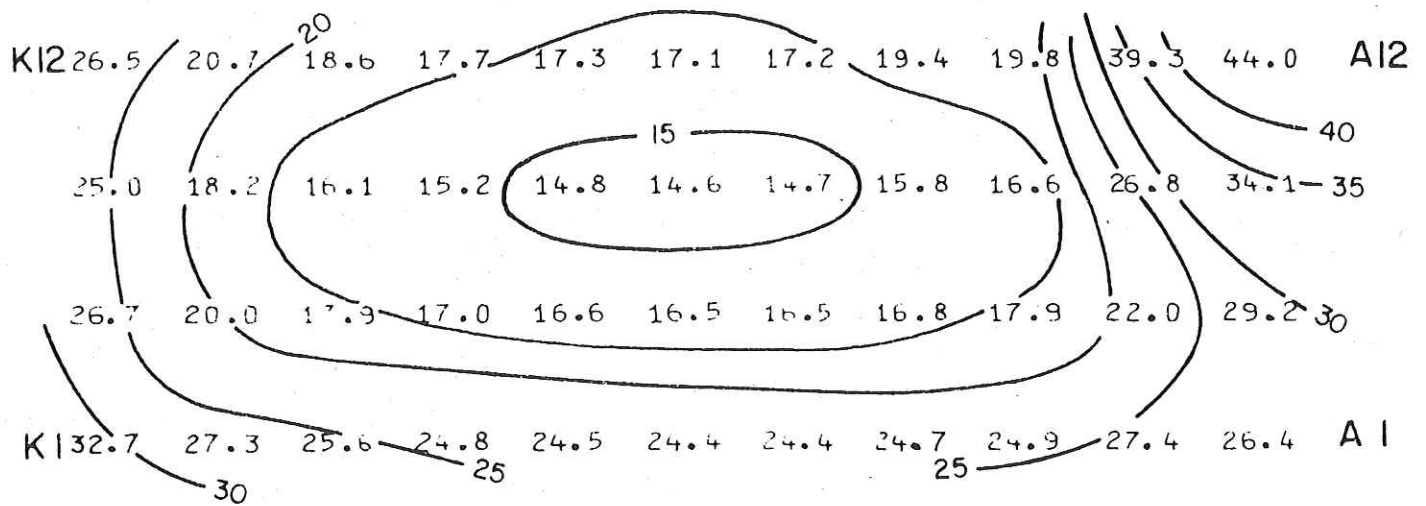


Fig 4

L'absence d'anomalies à faible et moyenne profondeur se traduit généralement par des variations gravimétriques assez régulières (gradient régional) indiquant l'influence des couches géologiques profondes.

Cette carte met en évidence des variations régionales apparemment faibles.

On remarque surtout des déformations anormales du champ de la pesanteur sur trois axes bas :

B10 - I3, C8 - E1 et C11 - F14.

Ces axes convergent vers une zone de valeurs gravimétriques faibles centrées sur le point B10.

En coupe, ces anomalies se caractérisent par un gradient de bordure assez accentué (1 centième de milligal pour 2 mètres de distance) ce qui permet à priori de localiser les causes de ces anomalies à faible profondeur (moins de 10 mètres).

Carte de l'anomalie résiduelle (fig. 6)

Cette carte résulte de la carte précédente, filtrée des causes profondes. Nous avons en fait retranché de l'anomalie de Bouguer l'anomalie régionale, calculée avec l'hypothèse d'une structure géologique sub-horizontale.

Le calage vertical de l'anomalie régionale n'est pas très rigoureux, compte tenu de la faible surface prospectée. De ce fait, les anomalies décelées peuvent être plus importantes.

Le long des trois axes indiqués sur la carte précédente, on observe quelques anomalies de petite amplitude (- 2 à - 3 centièmes de milligal). L'anomalie la plus sérieuse (- 4 à - 6 centièmes de milligal) est centrée sur le point B10.

- Interprétation :

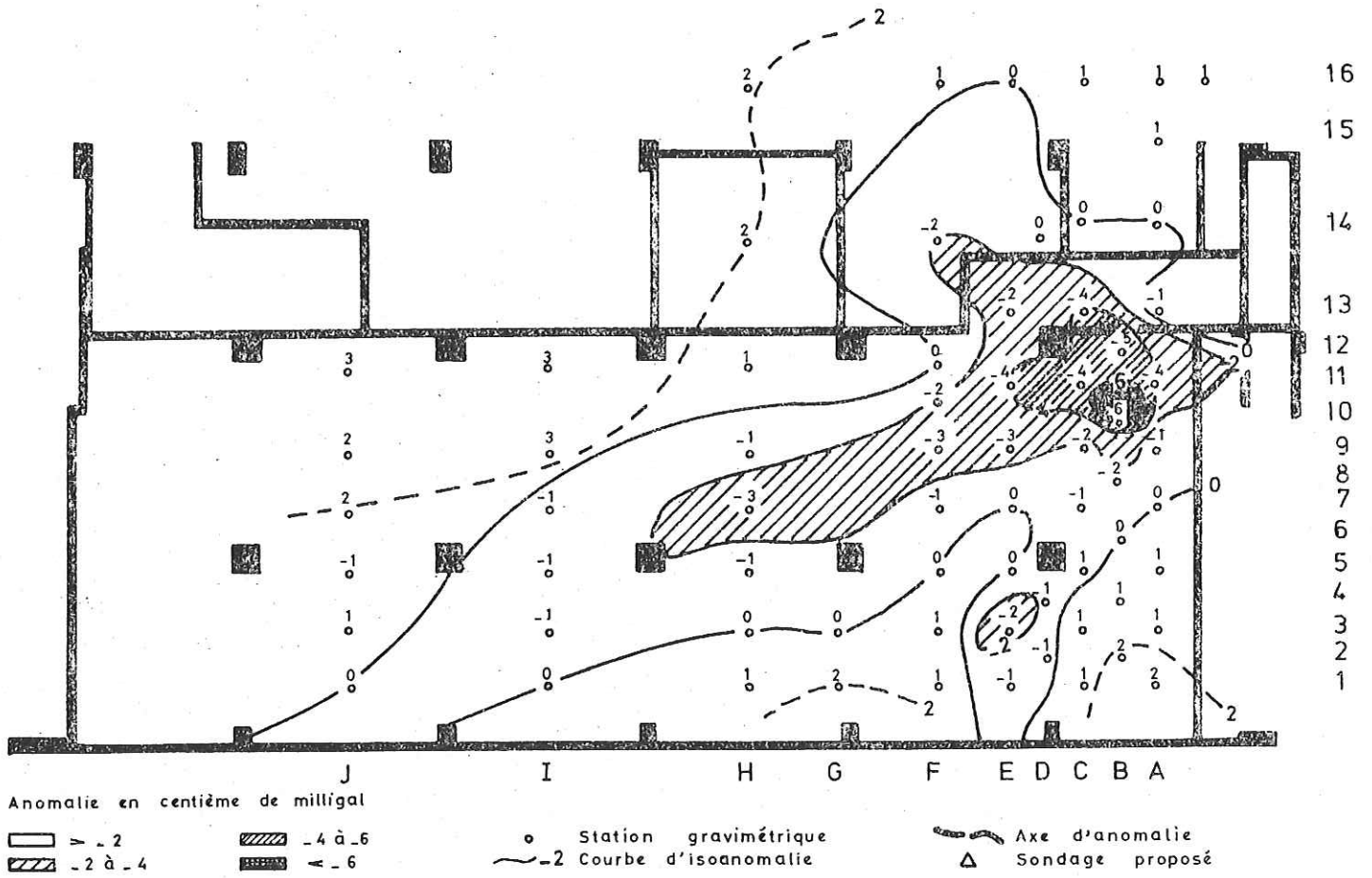
Une confrontation des anomalies mesurées avec des anomalies types calculées à partir de formes géométriques simples permet d'un point de vue purement théorique d'estimer la hauteur et la profondeur de vides probables.

Disons, à la vue des résultats, qu'on peut émettre certaines hypothèses, à savoir que :

- il ne semble pas exister de cavités importantes sous le fond de fouille,
- les causes probables de ces anomalies (petits vides ou terrain altéré) se situent vraisemblablement dans les dix premiers mètres du terrain,
- on peut noter l'existence d'un vide probable principalement à l'emplacement du point B 10.

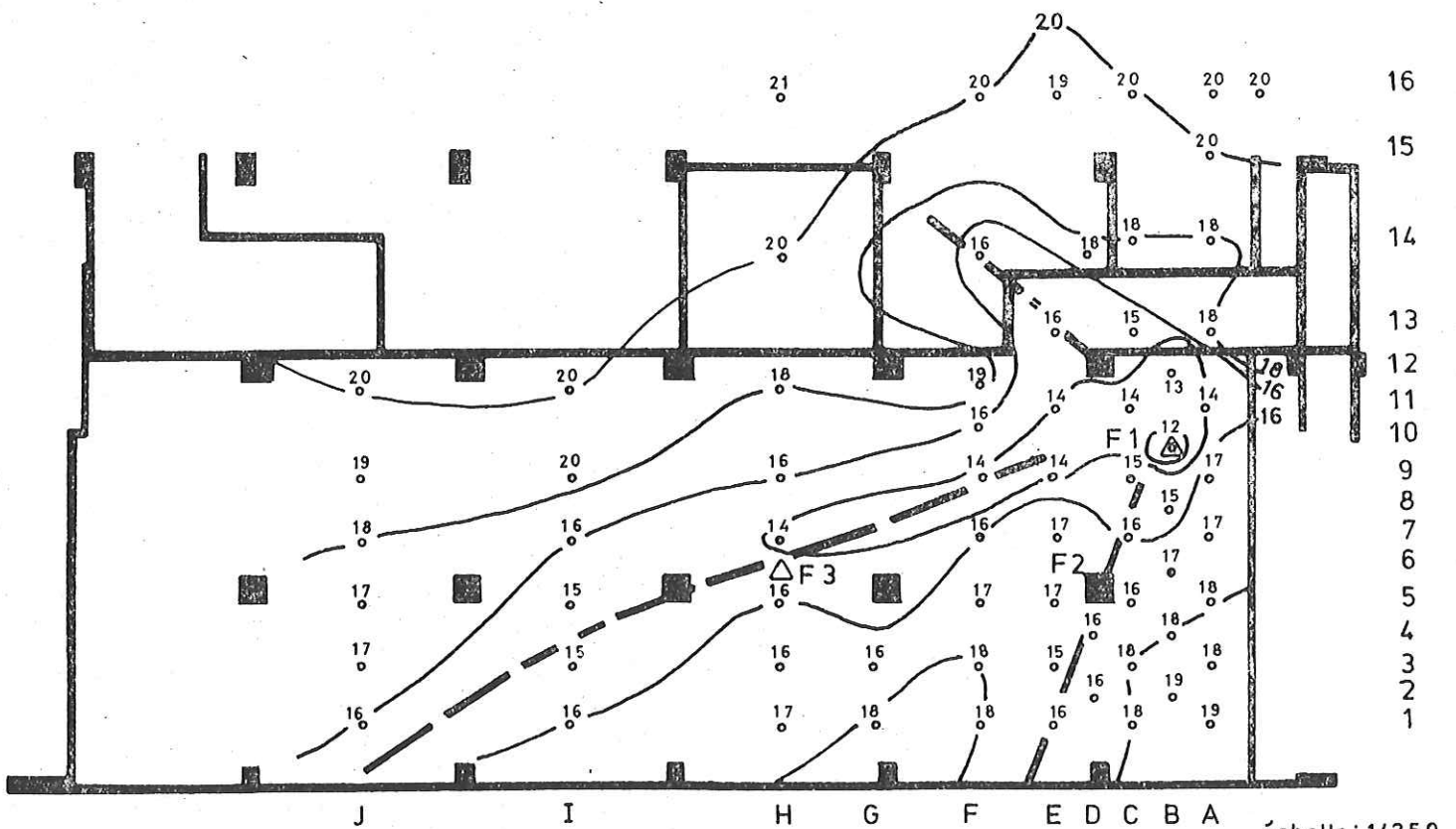
CARTE DE L'ANOMALIE RESIDUELLE

Fig. 6



CARTE DE L'ANOMALIE DE BOUGUER

Fig. 5



Suite à cette étude gravimétrique, nous avons proposé l'exécution de 3 sondages mécaniques de contrôle jusqu'à une profondeur de 12 mètres sur les points de plus forte anomalie (voir fig. 5).

RECONNAISSANCE MECANIQUE

Deux des trois sondages effectués sur des axes d'anomalie secondaire montrent l'absence d'accident grave dans le terrain.

A noter principalement en F2 un très faible pourcentage carotté entre 0,10 m et 1,80 m.

Ces quelques indices peuvent expliquer les petites anomalies décelées.

Le sondage F1 exécuté à l'aplomb de l'anomalie principale apparaît moins favorable que le précédent. Il met en évidence plusieurs indices à savoir :

- un faible pourcentage carotté (30 %) de 1,60 m à 3,30 m
- un terrain pulvérulent et peu consolidé de 9,70 m à 12 m. (pourcentage carotté quasiment nul).

Ce deuxième indice est significatif d'un niveau de faible densité, pouvant être pratiquement assimilé à un vide.

Le sondage F3 quant à lui a recoupé un niveau schisteux très fracturé de 5,40 m à 10,50 m.

En résumé, ces sondages mécaniques n'ont rencontré aucun vide franc, mais ils ont mis en évidence l'existence de niveaux plus ou moins denses, qui sont vraisemblablement la cause des anomalies décelées.

CONCLUSIONS

La prospection par microgravimétrie a mis en évidence l'existence de deux axes d'anomalie négative traversant l'emprise des fondations.

Ces anomalies laissaient supposer la présence soit de cavités étirées non remblayées de faible section, soit de zones plus importantes comblées par des terrains nettement moins denses que le substratum.

Des trois sondages carottés réalisés au droit des anomalies les plus caractérisées, deux de ceux-ci ont traversé respectivement entre 5 et 10 et 9 et 12 m. de profondeur des zones de schistes complètement altérées quasi meubles.

Les fondations du bâtiment avaient été calculées pour reposer sur un terrain de qualité moyenne. Vu la profondeur à laquelle a été décelée la zone anormale, aucune modification n'a été apportée sur le plan des fondations, une répartition des efforts autour des zones de faiblesse étant assurée.

Toutefois, en raison des déficits de densité mis en évidence sous la fondation, il a été prévu de réaliser au droit de chaque appui un forage de 3 à 5 m de profondeur destiné à contrôler l'existence d'une épaisseur de roche compacte d'au moins trois mètres.

L'exemple de cette étude montre qu'une prospection gravimétrique bien conduite (gravimétrie suffisamment précise, maille bien adaptée etc...) mise en oeuvre dans des conditions topographiques particulières d'une fouille assez profonde, permet néanmoins d'enregistrer des petites variations de densité du terrain et à fortiori la présence de vides francs.