

P214^{10's}

DECONVOLUTION GRAVIMETRIQUE TRIDIMENSIONNELLE
ET A TROIS COUCHES DE L'ANTICLINAL DU PAYS DE BRAY

par : E. ALESSANDRELLO, M. BICHARA et J. LAKSHMANAN (1)

Paper read at the 43rd meeting of the European Association of Exploration Geophysicists, Venice, 1981.

(1) Compagnie de Prospection Géophysique Française
77-79, avenue Victor-Hugo
92500 - RUEIL-MALMAISON (FRANCE)

ABSTRACT

ALESSANDRELLO, E., BICHARA, M. and LAKSHMANAN, J. 1981, Three Dimensional, Three Layer Gravity Deconvolution of the Pays de Bray Anticline, Geophysical Prospecting, 00, 000-000.

Using an automatic procedure based on linear filtering, the authors have transformed existing gravity data into a 3 layer, 3 dimensional model. The Bouguer anomaly is first transformed by linear filtering, into density variations located between two planes, 1 100 and 2 500 meters deep. These densities are then transformed into thicknesses with a constant 0.4 gm/cc density contrast with two geological constraints for the 2nd - 3rd layer limit :

- minimum at 2 500 meters depth
- maximum below a variable limit given by geology

This gives the contact between second and third layer.

Differences between measured and computed gravity are then applied by a similar procedure to a layer located between depths of 0 and 500 meters, giving the contact between first and second layer.

Very interesting secondary anticlines and transverse faults are shown by the various structural maps.

RESUME

ALESSANDRELLO, E., BICHARA, M. et LAKSHMANAN, J., 1981, Déconvolution Gravimétrique Tridimensionnelle et à Trois Couches de l'Anticlinal du Pays de Bray, Geophysical Prospecting 00, 000-000.

Utilisant un procédé automatique de déconvolution basé sur un filtrage linéaire, les auteurs ont transformé des données gravimétriques existantes en un modèle tridimensionnel à trois couches. L'anomalie de Bouguer est d'abord transformée par filtrage linéaire, en variations de densité d'une plaque horizontale, située entre 1 100 et 2 500 de profondeur. Ces densités sont ensuite transformées en épaisseurs en utilisant un contraste constant de densité de 0,4 gm/cm³, avec deux contraintes géologiques pour la limite entre la 2ème et la 3ème couche :

- minimum fixe à 2 500 m de profondeur
- maximum situé sous une limite variable en chaque point, fixée d'après la géologie.

Ayant obtenu ainsi le contact entre la deuxième et la troisième couche, la différence entre le champ mesuré et le champ dû à cette première structure, est appliquée à une deuxième plaque située entre 0 et 500 m de profondeur, pour en déduire le contact entre la première et la deuxième couche.

Les diverses cartes structurales obtenues mettent en évidence plusieurs anticlinaux secondaires, ainsi que de nombreuses failles transversales.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique du Pays de Bray, entreprise par le département Hydrogéologie de la C.P.G.F. pour le compte de la Direction Départementale de l'Agriculture de Seine-Maritime, il a été décidé d'effectuer une interprétation quantitative de la carte gravimétrique de la France au 1/200.000ème, éditée par le B.R.G.M.

Le programme de calcul mis au point par LAKSHMANAN (1973), BICHARA et LAKSHMANAN (1979) permet, moyennant des contraintes géologiques de construire un modèle tridimensionnel à 3 couches. La méthode fondée sur un principe de filtrage linéaire, est beaucoup plus rapide que le procédé itératif décrit par LA PORTE (1962) qui ne considèrerait qu'un modèle à deux couches.

L'originalité du système réside en l'établissement de cartes de densité de couches planes, d'épaisseur finie, puis en leur transformation en cartes structurales à l'aide de contraintes géologiques.

2. DONNEES GEOPHYSIQUES

Nous avons utilisé la carte gravimétrique de la France au 1/200.000ème, éditée par le B.R.G.M., feuilles de :

- ABBEVILLE
- ROUEN
- AMIENS
- PARIS

Nous avons utilisé l'anomalie de Bouguer fournie, avec densité de 2,3 ; la densité des stations est malheureusement faible (5 à 10 km² par station, soit l'équivalent d'une maille carrée de 2,5 à 3 km de côté) et les mesures anciennes (gravimètre North American du B.R.G.M.).

Nous avons discrétisé manuellement cette carte à la maille de 2km x 2km dans un secteur englobant l'axe anticlinal de Neufchatel-en-Bray à Beauvais. Le nombre de points utiles est de 20 x 20 = 400 points, mais pour les calculs, un carré de 28 x 28 = 784 points ont été utilisés.

La carte de l'anomalie de Bouguer est représentée en figure 2.

On observe que les valeurs augmentent de 30 milligals vers le Sud-Ouest jusqu'à l'axe anticlinal, le long duquel les valeurs varient de - 15 au Sud-Est à - 4 milligals au Nord-Ouest.

Au-delà de cet axe principal, les valeurs restent élevées, puis, dans l'angle Nord-Est de la zone traitée, diminuent de nouveau (- 20) pour remonter tout à fait à l'angle N.E. (-13).

L'amplitude maximale de variation de g est ainsi de (- 4) - (- 30) = 26 milligals, l'anomalie moyenne par rapport au minimum est de 17 milligals, la médiane étant de 22.7 milligals.

3. INTERPRETATION SYSTEMATIQUE PAR PLAQUES HORIZONTALES A DENSITE VARIABLE

A chaque plaque, on fait correspondre successivement l'ensemble de l'anomalie de Bouguer, donnant ainsi 4 interprétations successives.

Nous avons choisi les profondeurs suivantes (par rapport à un plan de référence + 100 NGF) :

- 2 500 - 3 500 m
- 1 500 - 2 500 m
- 500 - 1 500 m
- 0 - 500 m

On obtient des cartes de densité à partir desquelles on reconstitue un champ calculé, une carte des écarts constatés et une carte du coefficient de corrélation (r_0) entre champ calculé et champ mesuré calculé sur une fenêtre mobile de 7 x 7 points

$$r_0 = \frac{\sum (Th_i - Tho) (Expi - Expo)}{\sqrt{\sum (Th_i - Tho)^2 (Expi - Expo)^2}}$$

où Th_i est la valeur calculée au point courant i ,

Tho est la valeur calculée au point examiné o ,

$Expi$ la valeur expérimentale du Bouguer au point i ,

$Expo$ la valeur expérimentale du Bouguer au point analysé o ,

Δ_1 , Δ_2 sont les intervalles définissant la fenêtre

Remarquons que l'utilisation du coefficient de corrélation ou plutôt d'un coefficient de similitude (pour la détermination de la profondeur) a été pronée par NAUDY (1971). Toutefois, il convient de noter deux points ici :

- . la méthodologie définie par NAUDY suppose plusieurs formes standard à la cause anormale, (ici la forme de la "cause anormale" est déterminée par déconvolution),
- . NAUDY suppose une anomalie bidimensionnelle (examen de profils), ici l'étude est faite pour une anomalie tridimensionnelle.

Les figures 3, 4, 5 et 6 représentent les 4 cartes de densité calculées.

Les statistiques générales sont les suivantes :

- anomalie de Bouguer : . maximale - 2,30 milligals
- . médiane - 8,2
- . minimale - 30,90
- . variation { amplitude 28,60
- médiane (M) 22,7

Profondeurs	Ecart type		coefficient de corrélation		Densités		
	Mgal	% de M	Ensemble	axe anticlinal	Max	Min	Amplitude
0 - 500 m (0 - 1000m)	0,05	0,2 %	0,999986	0,999992	-0,11 (-0,06)	-1,51 (-0,76)	1,40 (0,70)
500 - 1500m	0,15	0,7 %	0,99988	0,99993	-0,016	-0,814	0,80
1500 - 2500m	0,21	0,9 %	0,99964	0,99983	+ 0,53	-0,94	1,47
2500 - 3500m	0,46	2,0 %	0,99772	0,99859	+ 0,57	-1,12	1,69

Pour fournir une série homogène de densités, correspondant toutes à une même épaisseur de plaque de 1000m, la plaque de 0 - 500 m a été transformée en une plaque 0 - 1000 m.

La figure 7 montre la variation de l'écart type général en fonction de la profondeur du centre de la plaque. On constate que l'écart augmente avec la profondeur sans présenter de minimum absolu; cependant on note un accroissement net de cet écart type moyen au-delà de 2000 m de profondeur.

Pour le coefficient de corrélation, les chiffres obtenus sont très proches de 1, et ce, d'autant plus que la profondeur choisie est correcte.

Les valeurs obtenues montrent une diminution appréciable à partir d'une profondeur de 2000 m pour l'ensemble de la zone, de 1700m pour l'anticlinal principal c'est-à-dire de 1200m pour son toit, et de 2200 m pour un synclinal situé à 8 km au Sud-Ouest du centre de l'anticlinal.

Rappelons que les profondeurs réelles du toit de l'anticlinal pour les 5 forages connus sont de 1110, 1207, 1078, 959 et 979 mètres (par rapport à un plan de référence à l'altitude + 100).

Notons que si les courbes d'écart type et de coefficient de corrélation montrent toutes deux un quasi palier pour le centre de la plaque entre 1000 et 2000m de profondeur, on note une nouvelle amélioration des critères lorsque la plaque affleure. L'allure de ces courbes en "baionnette" peut suggérer qu'en plus des causes principales situées à 1000 - 2000m, s'ajoute du "bruit" dû, soit à des causes superficielles, soit à un bruit généré par le procédé lui-même.

Ces deux critères permettent ainsi d'apprécier la profondeur maximale d'une anomalie, rejoignant d'une certaine façon les règles de Bott et Smith (1959), établies pour des corps géométriquement simples.

Un troisième critère est l'amplitude de la variation de la densité calculée. Ces valeurs sont représentées figure 8, pour l'ensemble de la prospection, pour l'anticlinal principal et pour le synclinal "Sud-Ouest". Elles sont proches de la limite théorique pour la tranche 0 - 500 m. En effet, pour une plaque affleurante de l'épaisseur e faible, les densités $\bar{\sigma}_0$ seront données par :

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{23,87 \text{ g}}{e}$$

Compte-tenu d'une variation maximale de g de 28,6 milligals et $e = 500 \text{ m}$, on aurait $\bar{\sigma}_0 = 1,365$, alors qu'entre 0 et 500 m on obtient 1,40.

Les variations de densité en fonction de la profondeur d'une plaque s'accroissent plus rapidement à partir de 500 - 700 m, tant pour l'ensemble que pour l'anticlinal principal, pour aller vers 1,4 ou 1,6 pour des profondeurs du toit de 2000m environ.

Ces valeurs sont géologiquement impossibles ; pour les réduire, il faut épaissir semi-proportionnellement la plaque, ce qui ramène de toutes façons son toit à des cotes de l'ordre de 1000m (l'épaississement de la plaque vers le bas ne réduisant pas le contraste de densité de façon appréciable).

On ébauche ainsi une autre méthode de détermination maximale des profondeurs de structures gravimétriques.

4. PROCÉDE D'INTERPRÉTATION STRUCTURALE AVEC CONTRAINTES GÉOLOGIQUES

Ce calcul permettant une modélisation à trois couches, il a été nécessaire de schématiser la complexe réalité géologique.

Rappelons que dans la région considérée, on trouve d'une façon schématique, la série suivante (épaisseurs cumulées approximatives) :

	DENSITE SUPPOSEE	AU S.O. DE L'AXE ANTICLINAL	SOUS L'AXE	AU N.O. DE L'AXE ANTICLINAL
TERTIAIRE (sables-argiles-calcaires)	2,0	100m	0	150m
CRETACE (craies - marnes)		100+ 150 = 250m	0	150+ 150 = 300m
JURASSIQUE (marnes - calcaires)	2,4	250+ 1250 = 1 500m	1100 m	300+ 1200 =1500m
PERMOTRIAS (argiles - grès)		1500+ 1000 = 2 500m	absent	absent
PRIMAIRE (calcaires-schistes-grès)			absent	absent
SOCLE CRISTALLOPHYLLIEN (gneiss+intensions locales de basaltes)	2,8			

Ces épaisseurs sont indiquées par rapport à un plan de référence à l'altitude + 100 NGF.

On suppose pour commencer que l'anomalie est due à des variations de densité d'une plaque horizontale. On a ici choisi les limites de la profondeur égales à 1 100 et 2 500 (épaisseur de 1 400 m) compte-tenu :

- des résultats de calcul précédent
- des données géologiques

La carte obtenue (fig. 9) montre des densités variant de - 0,60 à + 0,20, c'est-à-dire un écart maximum de 0,80. Cette amplitude de variation excessive (par rapport au $2,8 - 2,4 = 0,4$ de principe) montre que l'on doit avoir :

- une épaisseur de plaque plus grande que 1 400 m
- et/ou une deuxième source d'anomalies plus superficielles se superposant à la première.

Un premier essai avec le même toit et une base plus haute (dans ce cas le Primaire et le Permotrias seraient englobés dans le socle) conduisait à des contrastes de densité encore plus grands. Nous en avons déduit qu'une schématisation plus correcte consistait à regrouper le Primaire et le Permotrias avec le Jurassique.

L'analyse des directions structurales de cette carte est très intéressante. L'on observe, outre une série d'axes anticlinaux et synclinaux parallèles à l'anticlinal principal, plusieurs accidents transversaux très nets, notamment au Sud-Ouest de l'axe anticlinal principal. Ces accidents transversaux sont orientés NE-SO ou ENE-OSO et sont à rapprocher des structures géologiques décrites notamment par WEBER (1973), POMEROL (1977) DEBEGLIA (1980).

La deuxième étape (enchaînée automatiquement) a été de transformer cette répartition de densités en variations d'épaisseur en supposant :

- une base plane à 2500 m de profondeur (- 2400 NGF)
- un toit variable situé entre 2 butées : une butée inférieure à 2500 m de profondeur, une butée supérieure déterminée d'après les données géologiques, et décalée d'environ 100 m vers le haut pour donner une certaine liberté au calcul.
- un contraste de densité de 0,4 (socle = 2,8 sédimentaire = 2,4).

Le "butoir" supérieur est représenté figure 10.

La transformation en hauteurs est faite en deux temps :

- Première itération avec transformation pseudo-linéaire

(h $\# \frac{(2500 - 1100) \times \Delta \sigma}{2,8 - 2,4}$, corrigée de l'influence du déplacement au centre de gravité du nouveau prisme).

- Deuxième itération retouchant le sommet du prisme par traitement de la différence entre champ calculé et champ mesuré.

D'autres itérations sont possibles, mais l'amélioration vis-à-vis du coût est faible. Après avoir obtenu la carte structurale finale, on en calcule le champ, puis la différence avec le champ mesuré.

Ce résidu, dû en grosse partie à la butée (principalement le long de l'anticlinal principal et dans le Nord de la zone traitée), est affecté à une première couche située entre 5 et 500 m de profondeur, correspondant schématiquement à l'ensemble tertiaire + Crétacé (dans d'autres cas, il pourrait être affecté à une variation de densité du socle).

Un traitement structural semblable est effectué sur ce résidu :

- carte de densité entre 5 et 500 m (- 400 NGF)
- transformation en structure avec l'hypothèse d'un contraste de densité de 0,4 (première couche à 2,0, deuxième couche à 2,4).

On a ainsi établi un modèle à 3 couches.

Une schématisation des contraintes (butoir, première couche, densités) est représentée figure 11.

Les cartes fournies par le programme sont les suivantes :

- Anomalie de Bouguer,
- Courbes de niveau de la structure profonde,
- Reconstitution : champ dû à la structure profonde,
- Différence entre l'anomalie de Bouguer et la première reconstitution,
- Courbes de niveau de la structure superficielle,
- Reconstitution : champ dû à la structure superficielle
- Dernier reste
- Pour chaque étape : cartes d'écarts et de coefficients de corrélation

Pour alléger le présent article, seules les 2 premières cartes fournies ici. L'ensemble de l'interprétation est illustré par une coupe Nord-Est - Ouest (figure 13).

5. COMMENTAIRES

Carte structurale profonde (fig. 12)

Cette carte montre une série d'anticlinaux et de synclinaux N.O.-S.E. et parallèles à l'anticlinal principal du Pays de Bray.

On note également plusieurs accidents transversaux plus courts dont certains peuvent être reliés entre eux ; on voit en particulier un accident N.E.-S.O., allant de l'anticlinal principal vers l'angle S.O. de l'étude.

Cinq sondages où le socle cristallophyllien a été rencontré reportés après coup. On constate les écarts suivants :

	<u>Altitude réelle</u>	<u>Altitude d'altimétrie</u>
FORAGE 1 (Ferrières-en-Brays)	- 1 010	
FORAGE 2 (aux Maurais 101)	- 1 107	
FORAGE 3 (Hodenc-en-Bray, PB 402)	- 978	
FORAGE 4 (Villers Vermont)	- 859	
FORAGE 5 (Hanaches - PB 101)	- 879	

La faiblesse de ces écarts nous a nous-mêmes étonnés, en particulier en ce qui concerne le forage 1, situé sur un anticlinal secondaire sur le flanc Sud-Ouest de l'anticlinal principal, très peu visible sur la carte de Bouguer.

Deux autres sondages existent à l'extérieur de la zone traitée, à l'angle Nord-Est et un autre à l'extérieur, à l'angle Nord-Ouest. Les écarts sont plus importants :

- . F6 (Belleuse) altitude réelle - 871 au lieu de - 1300 environ
- . F7 (Mardivilliers) altitude réelle -1144 au lieu de - 1650 environ
- . F8 (Compainville PB 201) altitude réelle - 861 au lieu de - 700 environ

Ces écarts peuvent être expliqués par :

- l'extrapolation imprécise de nos résultats à l'extérieur de la zone traitée
- la moins bonne qualité de la déconvolution en bordure et particulièrement aux angles
- pour les forages F6 et F7, l'influence de la zone légère orientée N.O. - S.E. et recoupant l'angle Nord-Est de la prospection
- l'influence d'un éventuel régional

La dernière hypothèse est la plus vraisemblable car, en dehors du F1, tous les forages de l'axe anticlinal ont des profondeurs réelles plus grandes que les profondeurs calculées, alors que les forages F6 et F7, au Nord-Est, ont des profondeurs réelles plus faibles que les profondeurs calculées.

{ Reconstitution : champ d0 à la structure profonde
{ Différence entre l'anomalie de Bouguer et la première reconstitution

La carte reconstituée ressemble beaucoup à l'anomalie de Bouguer et la carte des différences est plus significative. L'écart type est de 1,86 milligals, soit 8,2 % de l'amplitude médiane de l'anomalie de Bouguer. Les écarts sont essentiellement liés aux points où l'on a atteint la butée géologique, situés pour partie, le long de l'axe anticlinal principal. De ce fait, la carte de différence constitue un "fantôme" atténué de l'anomalie de Bouguer.

Carte structurale superficielle

On retrouve l'axe anticlinal principal, ainsi qu'un autre axe anticlinal situé à 11 km au N.E. de l'axe principal.

Trois accidents transversaux apparaissent dont un (à peu près médian) correspond à l'accident transversal principal. L'accident situé le plus au Nord n'était pas visible sur les autres cartes.

{ Reconstitution : champ dû à la structure
{ Dernier reste

La reconstitution, c'est-à-dire le champ dû à la structure superficielle est le reflet fidèle de l'anomalie analysée lors de la dernière déconvolution. L'écart type est de 0,17 milligals, soit 3,8 % de la médiane de l'amplitude de l'anomalie analysée (4,5 milligals), ou encore de 0,8 % de la médiane de l'amplitude de l'anomalie de Bouguer d'origine (22,7 milligals). Ce dernier chiffre est à confronter avec l'écart de 8,2 %, obtenu lors de la construction de la structure profonde.

Encore convient-il de noter que les écarts les plus notables proviennent :

- de 4 points encore en butée sur l'axe anticlinal, donnant des différences de 0,63, 0,96, 0,31 et 0,37 milligals.
- des effets de bord.

Si l'on éliminait les 4 points en butée et la ligne périphérique du tableau, l'écart type serait de 0,13 milligals (0,6 %).

Compte-tenu de ces remarques, on note que la carte du dernier reste s'organise encore logiquement. On y voit en premier, un mouvement anticlinal étendu, de faible amplitude, axé sur l'axe de l'anticlinal, et peut être dû à une variation régionale liée à la nature du socle.

Ce "régional" correspond aux valeurs relatives suivantes :

Nord-Est	: - 0,4 milligals
Axe anticlinal	: + 0,2 à + 0,3 milligals
Sud-Ouest	: - 0,2 milligals

Les gradients correspondants sont très faibles : 0,1 milligal pour 5 km.

En dehors de ce régional, on trouve encore deux axes "anticlinaux" parallèles mais décalés par rapport à l'axe anticlinal principal et celui qui l'accompagne au Sud.

La comparaison avec la carte structurale profonde suggère que la déconvolution profonde a été trop puissante et qu'il conviendrait peut-être de "comblé" en partie deux axes synclinaux qui bordent l'axe anticlinal principal du Pays de Bray. D'autres interprétations géologiques restent possibles.

Effets de bord

Les effets de bord signalés plus haut sont essentiellement dûs au calcul du champ reconstitué et non à la déconvolution elle-même. En effet, au moment du traitement des données du Pays de Bray, la reconstitution se faisant sur le modèle limité au bloc étudié sans extrapolation extérieure. L'amélioration présente du programme a éliminé depuis cet effet mineur.

Interprétation géologique finale

L'ensemble de l'interprétation est illustré par la figure 13, qui est une coupe diagonale Sud-Ouest - Nord-Est. Sur cette coupe, ont été reportés :

- le résultat de la déconvolution profonde (limite entre deuxième et troisième couche)
- le "butoir" géologique (limite supérieure pour le toit de la deuxième couche)
- le résultat de la déconvolution superficielle du résiduel

En comparant la limite gravimétrique entre la première et la deuxième couche avec l'interprétation géologique établie d'après les données de surface, on constate une coïncidence remarquable de cette limite avec la base du Kimmeridgien, sauf dans une zone située entre 2 et 13 km au Nord-Est de l'anticlinal principal.

Si l'on veut maintenir une continuité des épaisseurs, il faut abaisser simultanément les deux contacts. Pour respecter l'anomalie gravimétrique positive, il faut alors en affecter une partie au socle dont la densité moyenne serait dans cette zone de 3,0 au lieu de 2,8 gm/cm³. Cet axe plus lourd constituerait l'anticlinal important mais d'allure adoucie visible sur la carte de Bouguer, et dont l'axe est à 9 km au Nord-Est de l'anticlinal principal. Cette partie de l'interprétation a été réalisée par un procédé semi-automatique utilisant la formule bien connue pour l'anomalie d'un prisme bidimensionnel.

Enfin, il subsiste entre l'interprétation géologique et la déconvolution, des écarts locaux correspondant à des anomalies négatives. Nous avons interprété ces anomalies comme étant dues à des déficits de masse le long de failles verticales, la densité de la deuxième y étant réduite à 2,3 gm/cm³ par exemple, sur une largeur limitée à quelques centaines de mètres. Cette baisse de densité pourrait également affecter le socle.

6. COMPARAISON ENTRE PROCÉDES CLASSIQUES DE FILTRAGE ET CARTES DE DENSITÉ

Le but de cet article n'est pas de discuter du détail des fondements théoriques de la méthodologie décrite. Toutefois, il nous semble utile de placer ce que l'on a nommé "déconvolution gravimétrique" dans le contexte des procédés classiques de filtrage (par transformation de Fournier, ou par opérateur de convolution).

Notons tout d'abord que ce que l'on appelle "déconvolution" n'est en fait qu'un filtrage particulier. Toutefois, deux différences devraient être soulignées :

a) Le filtrage classique d'une carte a pour but soit l'obtention d'une autre représentation privilégiant certains points (dérivée seconde, résiduel régional), soit l'obtention du champ mesuré vers le haut ou vers le bas. La "déconvolution gravimétrique" a pour but l'obtention d'une carte de densité à une profondeur et pour une épaisseur de plaque que l'on se donne.

b) Les filtrages classiques, du moins théoriquement, peuvent être faits parfaitement. Cela est dû au fait que la représentation fréquentielle des opérateurs (de prolongement vers le haut ou vers le bas et de dérivée seconde) classiques est une expression analytique simple (FULLER 1967). A notre connaissance, il n'existe pas de représentation analytique de l'opérateur de "déconvolution".

On pourrait néanmoins argumenter que le prolongement vers le bas est aussi un opérateur de densité qui de plus, a l'avantage d'être (du moins théoriquement) connu parfaitement. En fait, le prolongement vers le bas ne pourrait donner qu'une répartition superficielle des densités, ce qui a moins de sens physique et est bien moins utile pour une modélisation structurale. Nous ajouterons à ce désavantage le fait que dans le cadre des expériences que nous avons faites, le prolongement vers le bas nous semble plus générateur de bruit que la "déconvolution". De toutes façons, le prolongement vers le bas peut et a été utilisé pour obtenir des représentations structurales (LAPORTE 1963). L'utilisation des cartes de densités n'est qu'une généralisation simplificatrice du procédé.

7. CONCLUSIONS

Le traitement tridimensionnel et à trois couches des données gravimétriques existantes dans la région du Pays de Bray a permis de fournir aux géologues un outil structural puissant, pour la localisation de divers accidents tels qu'anticlinaux secondaires et failles transversales, notamment en ce qui concerne un anticlinal secondaire presque invisible sur la carte de l'anomalie de Bouguer.

La modélisation en 3 couches a été possible ici grâce à l'introduction de contraintes géologiques, s'agissant d'une région déjà bien connue.

La reconstitution du toit du socle, confrontée avec les résultats de 5 forages profonds anciens, donne un écart type de 72 mètres, soit de 6,4 % de l'épaisseur du sédimentaire (même en incluant les 3 forages situés à l'extérieur de la zone étudiée, on a un écart type de 201 mètres, soit de 18 %). Bien entendu, ce résultat remarquable tient en partie à la constance latérale des densités en présence et du bon contraste de densité entre le sédimentaire et le socle.

Dans les régions où les données géologiques sont inexistantes, le procédé contient différents moyens (écarts type, coefficients de corrélation et densités limites) pour déterminer automatiquement une carte des profondeurs maximales de la structure.

Il convient enfin de rappeler que l'outil d'interprétation décrit ci-dessus est régulièrement utilisé depuis plusieurs années à la C.P.G.F. ; diverses améliorations lui sont apportées chaque année.

Bien entendu, cette méthodologie nouvelle ne rend pas les méthodes classiques obsolètes. Il sera toujours nécessaire de séparer les anomalies résiduelles des tendances régionales ; les méthodes classiques pour la détermination des profondeurs sont toujours utiles et sont régulièrement employées à la C.P.G.F. Néanmoins, les cartes de densité fournissent une nouvelle approche pour l'étude de l'anomalie de Bouguer dont l'utilité a été démontrée en de nombreux cas. De plus, compte-tenu d'un contraste de densité supposé, ces cartes peuvent aisément être transformées en cartes en courbes de niveau du socle dont le contrôle par forages s'est avéré positif.

En dernier lieu, signalons qu'une transposition de ces techniques vers la prospection magnétique (terrestre, maritime ou aérienne) a été effectuée et est utilisée à C.P.G.F.

CAPTIONS OF ILLUSTRATIONS

LEGENDES DES FIGURES

1. Location of the survey
Situation de l'étude
2. Bouguer anomaly (in milligals)
Anomalie de Bouguer (milligals)
3. Inverted density between 2500 and 3500 m (gm/cc)
Densité obtenue par inversion, entre 2500 et 3500 m (gm/cm³)
4. Inverted density between 1500 and 2500 m (gm/cc)
Densité obtenue par inversion entre 1500 et 2500 m (gm/cm³)
5. Inverted density between 500 and 1500 m (gm/cc)
Densité obtenue par inversion entre 500 et 1500 m (gm/cm³)
6. Inverted density between 0 and 1000 m (gm/cc)
Densité obtenue par inversion entre 0 et 1000 m (gm/cm³)
7. Variation of mean square differences and correlation coefficients with depth
 - a) correlation coefficient, whole area
 - b) correlation coefficient, main anticline
 - c) correlation coefficient, south west syncline
 - d) average mean square differenceThe arrow indicates average depth computed in next step

Variation des écarts types et des coefficients de corrélation avec la profondeur

- a) coefficient de corrélation, ensemble de la prospection
- b) coefficient de corrélation, anticlinal principal
- c) coefficient de corrélation, synclinal du Sud-Ouest
- d) écart type moyen

La flèche indique la profondeur calculée à l'étape suivante

8. Variation of densities with depth

- a) whole area
- b) main anticline
- c) south west syncline

The arrow indicates depth to top of slab computed in next step

Variation des densités avec la profondeur

- a) ensemble de la prospection
- b) anticlinal principal
- c) synclinal Sud-Ouest

La flèche indique la profondeur jusqu'au toit de la plaque, calculée à l'étape suivante

9. Structural map, densities between 1100 and 2500 m

- a) fault
- b) major anticline
- c) density (gm/cc)

Carte structurale, densités entre 1100 et 2500 m

- a) faille
- b) anticlinal principal
- c) densité (gm/cm³)

10. Geological "buffer"

minimum depths below sea level, of 2nd - 3rd layer limit

"Butoir" géologique

profondeurs minimales sous le niveau de la mer, du contact entre seconde et troisième couches

11. Geological constraints of the model

- a) ground level (average elevation + 100 above sea level)
- b) sea level
- c) geological "buffer" for top of third layer
- h) height of 2nd - 3rd layer limit above base located at 2500 m depth below datum
- ho) height of 1st - 2nd layer limit above base located at 500 m depth below datum

Contraintes géologiques du modèle

- a) altitude moyenne du terrain + 100 NGF
- b) niveau de la mer
- c) "butoir" géologique pour le toit de la troisième couche
- h) hauteur de la limite 2^{ème} - 3^{ème} couches, au-dessous d'une base située à 2500 m de profondeur
- ho) hauteur de la limite 1^{ère}-2^{ème} couche avec base située à 500 m de profondeur

12. Basement map

- a) depth below sea level (meters)
- b) cross section
- c) wells

Carte en courbes de niveau du socle

- a) profondeurs sous le niveau de la mer (mètres)
- b) coupe d'interprétation
- c) forages

13. Interpreted cross section

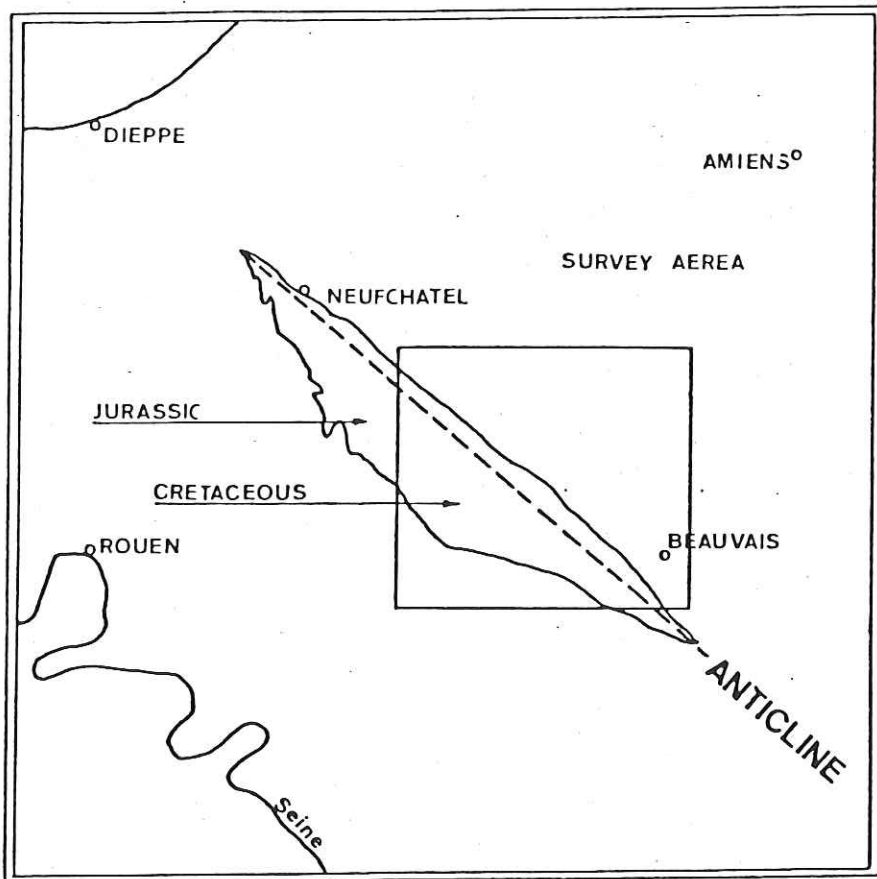
- a) sea level
- b) 1st - 2nd layer gravity limit
- c) interpreted base of Kimmeridgien
- d) 2nd - 3rd layer gravity limit
- e) geological upper "buffer" for limit d
- f) interpreted basement
- g) low density, faulted zones
- h) geological limits, after drill holes

Coupe d'interprétation

- a) niveau de la mer
- b) limite 1ère - 2ème couches d'après déconvolution
- c) base interprétée du Kimmeridgien
- d) limite 2ème - 3ème couches, d'après déconvolution
- e) "butoir" supérieur géologique pour la limite d
- f) toit interprété du socle
- g) zones faillées, à plus faible densité
- h) limites géologiques, d'après forages

R E F E R E N C E S

- BICHARA, M. and LAKSHMANAN, J., 1979
Automatic deconvolution of gravimetric anomalies,
Geophysical Prospecting, vol. 27, n° 4, 1979, 798-807
- BOTT, M.H.P. and SMITH, R.A., 1958
The estimation of limiting depth of gravitating bodies,
Geophysical Prospecting, 6, 1-10
- DEBEGLIA, N., 1977
Apports de synthèses géophysiques à la connaissance du socle du Bassin de Paris,
1977, B.R.G.M. Orléans, 77 SGN 535 GPH
- FULLER, B., 1967
Mining Geophysics, vol. 2, published by S.E.G., TULSA, October 1967
- LAKSHMANAN, J., 1973
Gravity and gamma-gamma mapping of sink-hole areas in Lutetian Gypsum,
North East of Paris,
I.A.E.G. Symposium on Eng. Geology, Hanover, September 1973
- LA PORTE, M., 1963
Calcul de la forme d'une structure homogène à partir de son champ gravimétrique,
Geophysical Prospecting, 11 (1), 271-291
- NAUDY, H., 1971
Automatic determination of depth on aeromagnetic profiles,
Geophysics, vol 36, n° 4 (August 1971)
- POMEROL, B., 1980
Style tectonique des Pays au Nord-Ouest de l'Oise - Rôle des différentes
directions structurales,
Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, 1980, vol. 17; n° 4, p. 21-25
- WEBER, D., 1973
Le socle antetriasique sous la partie Sud du Bassin de Paris d'après les données
géophysiques, Bull. B.R.G.M. Orléans, Sect. II, 1973, p. 219-343



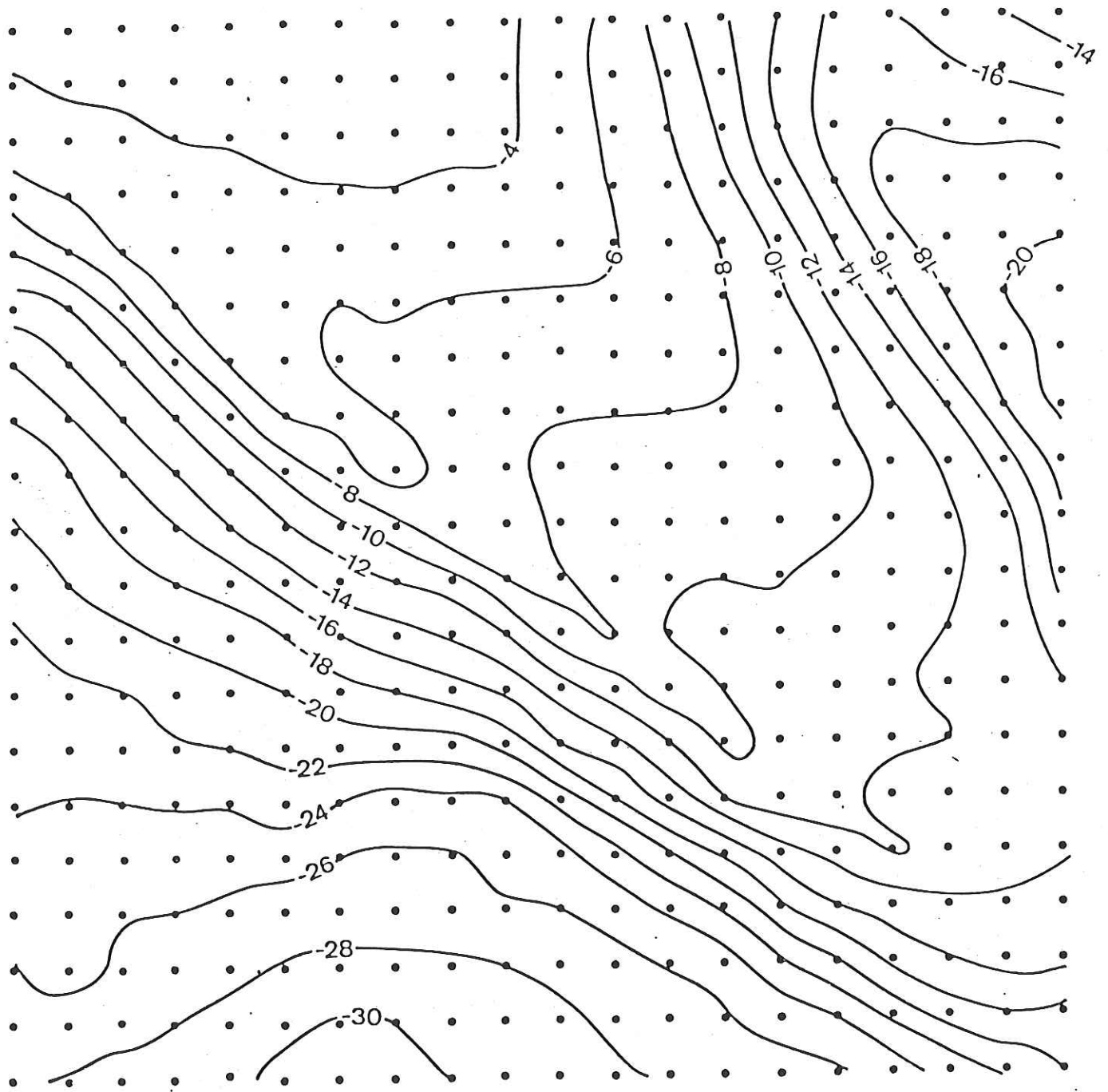


Fig 2

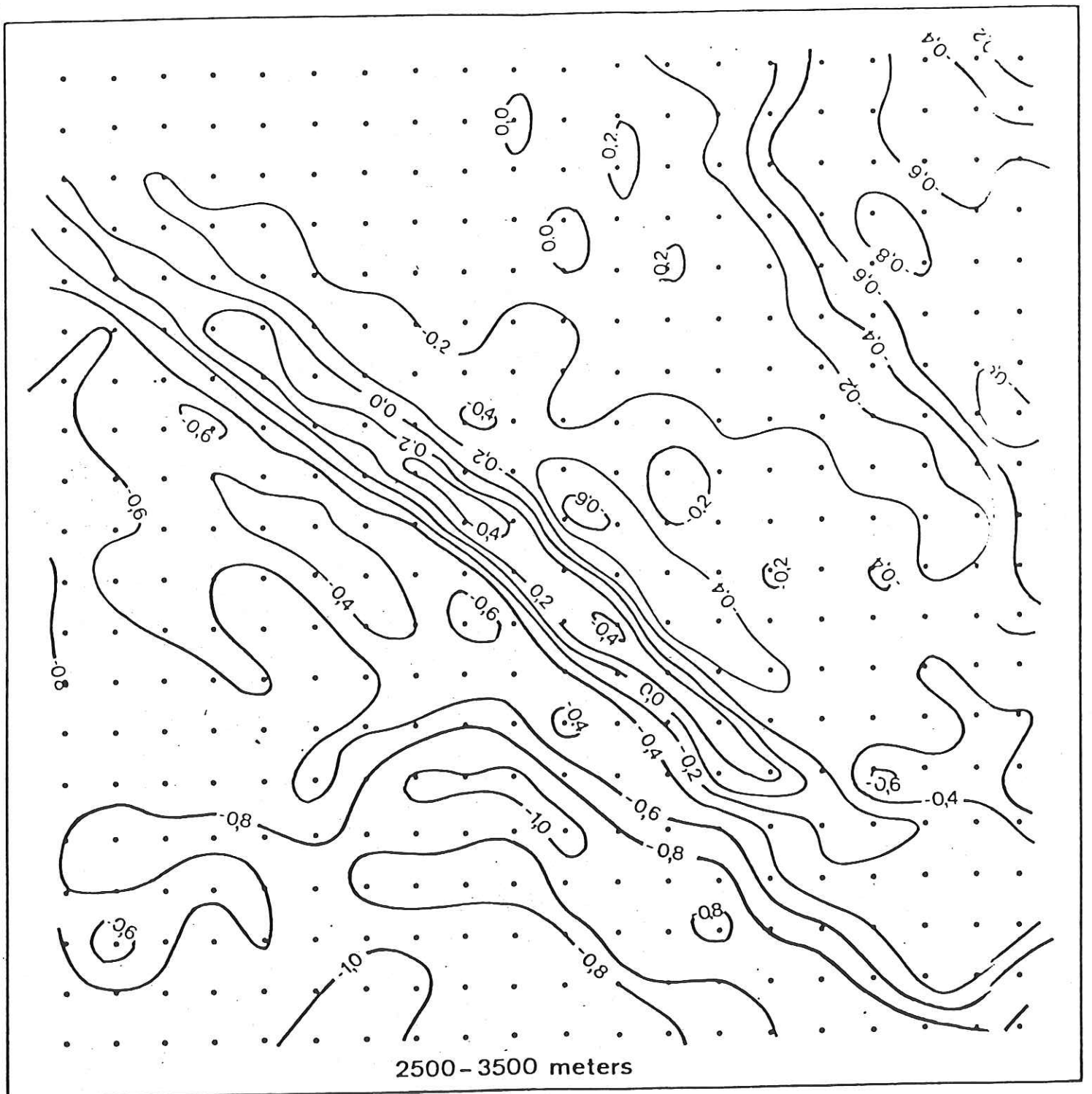
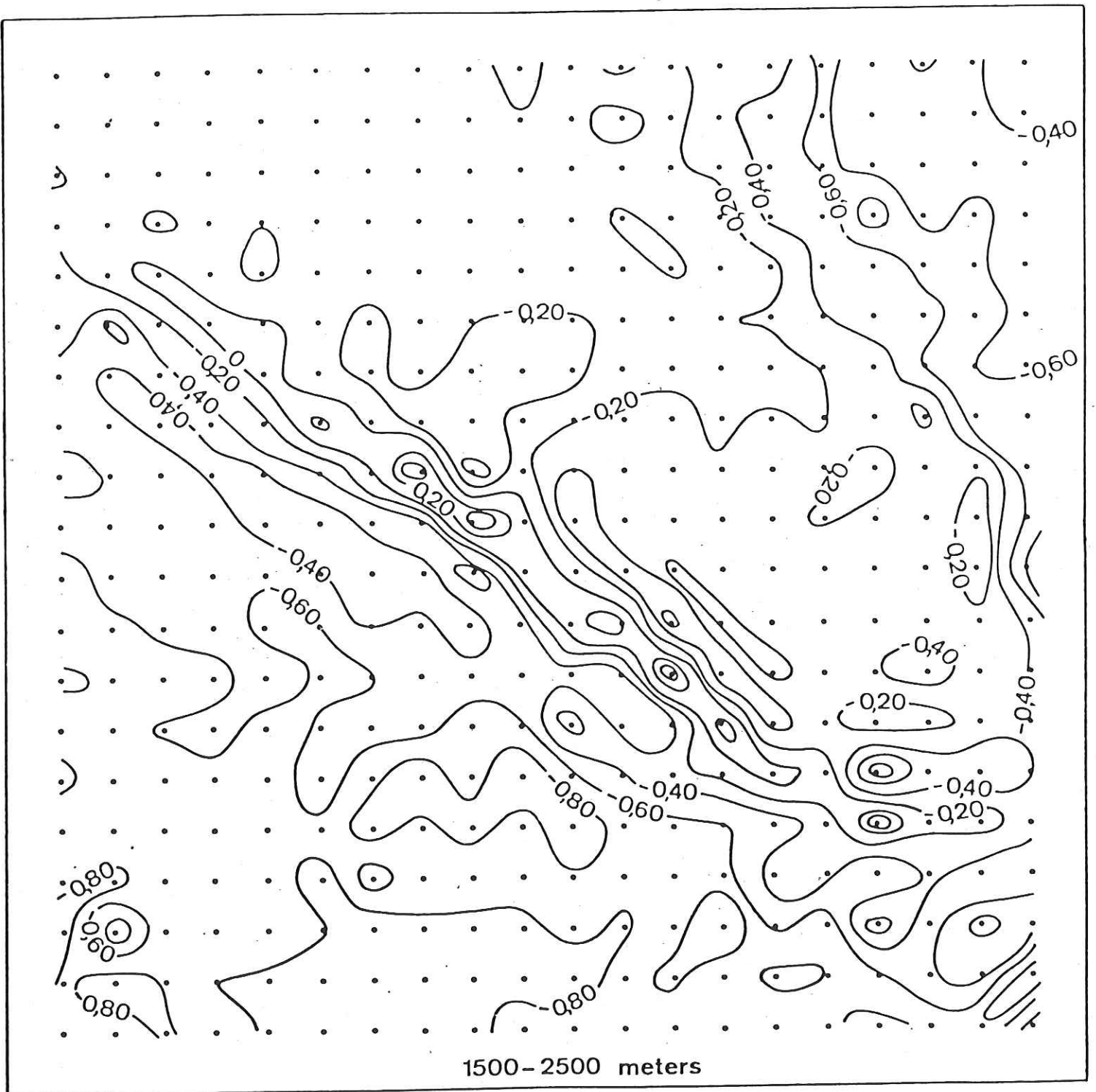


fig. 3



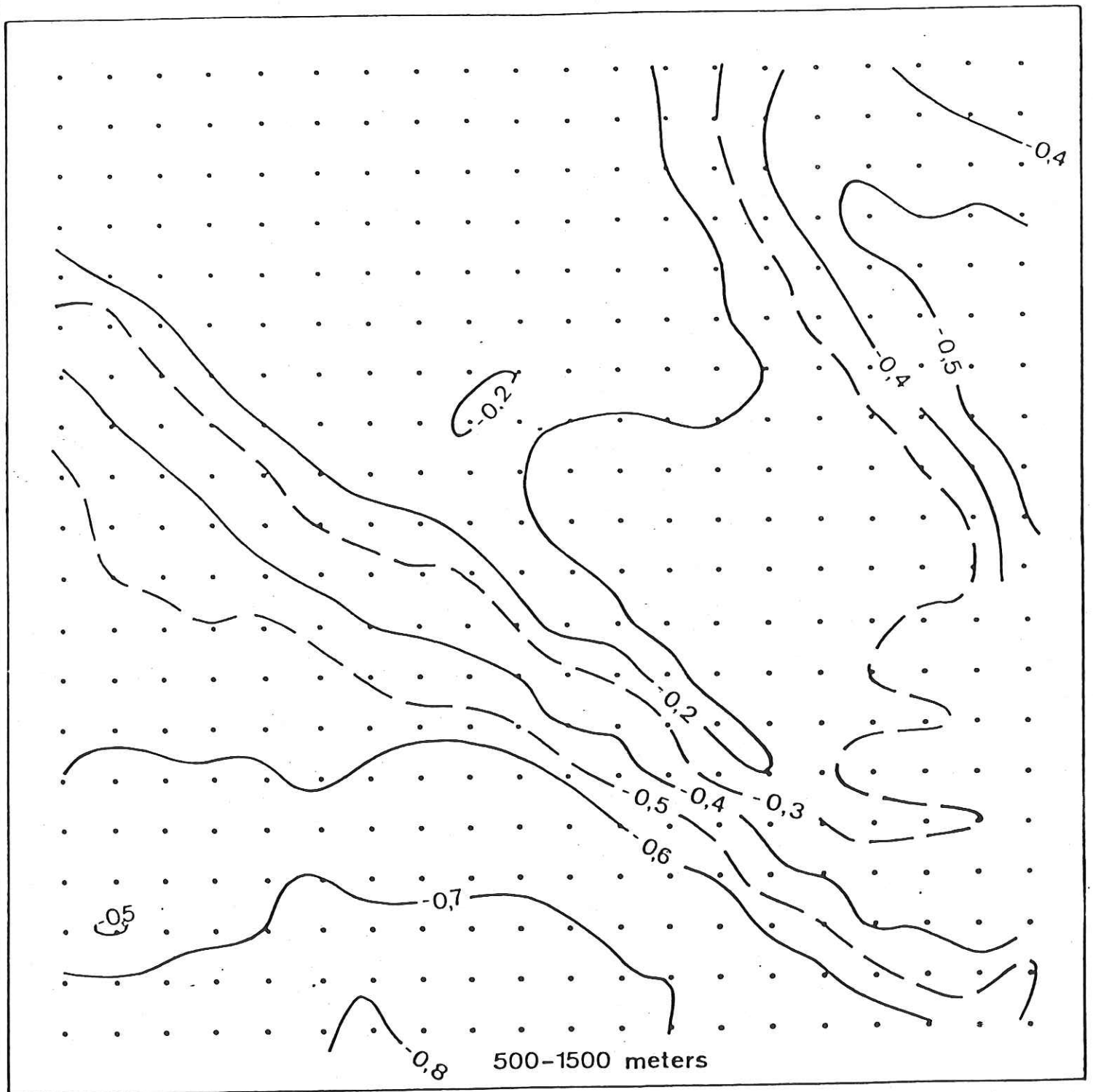


fig. 5

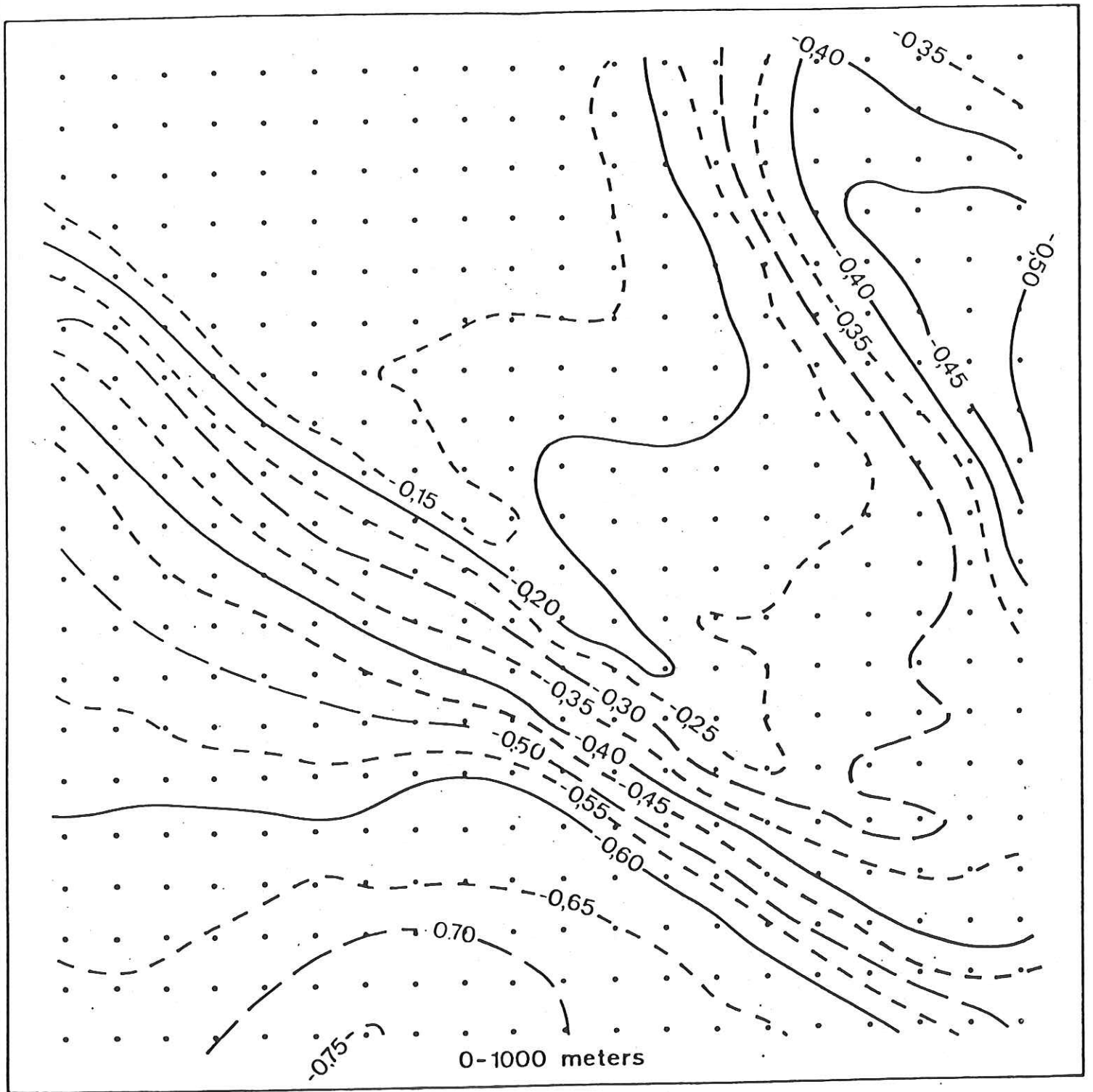
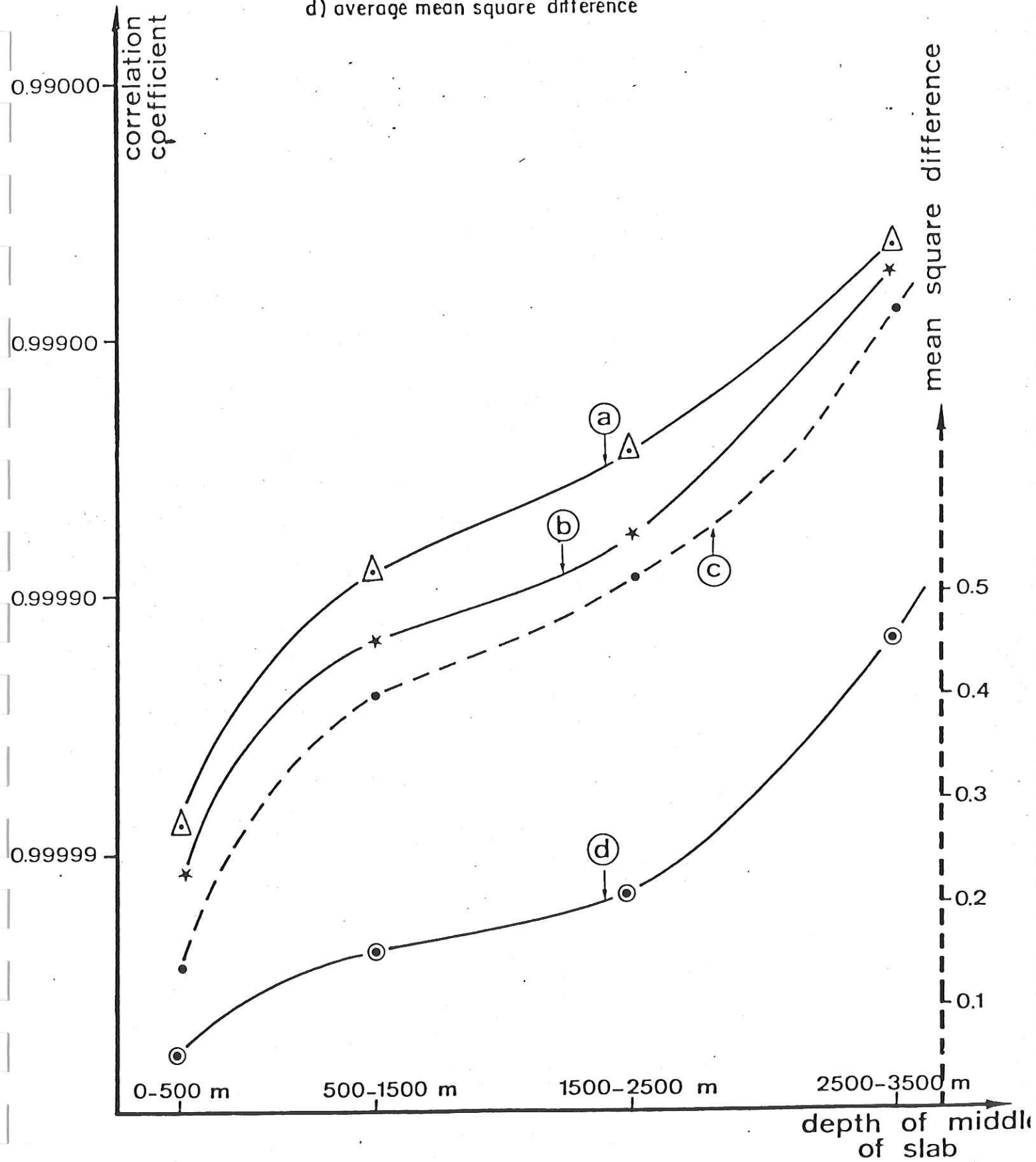
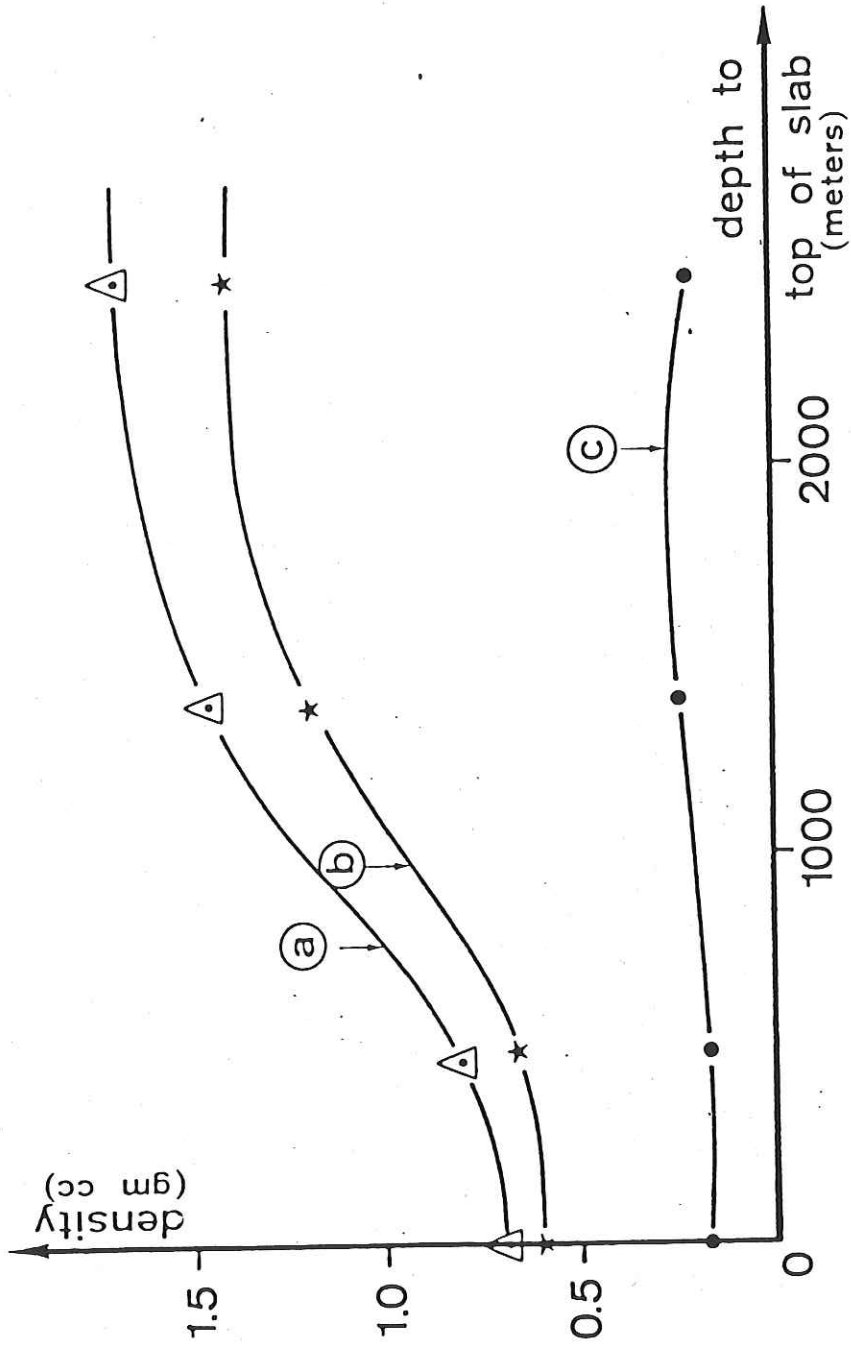


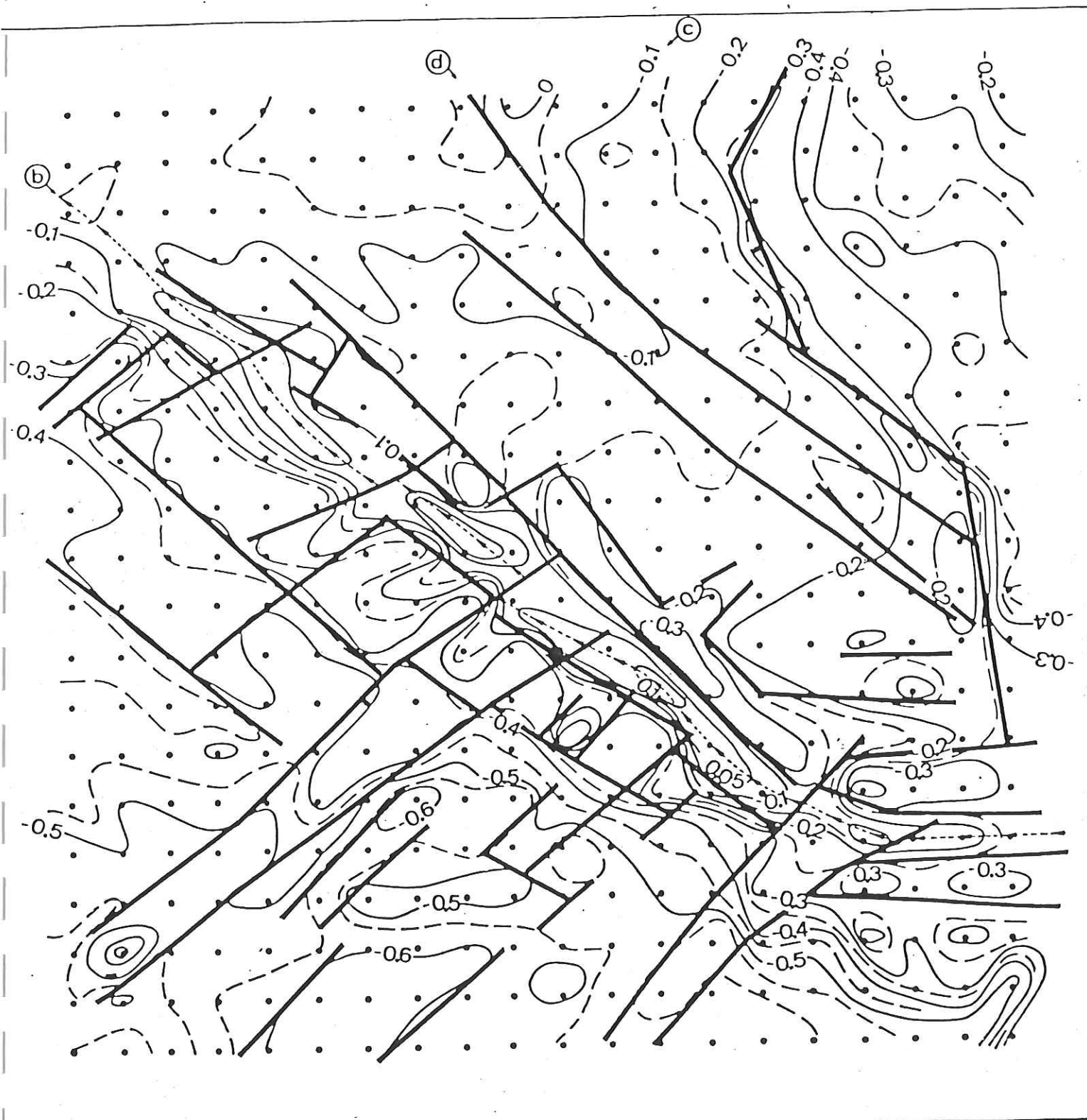
fig. 6

- a) correlation coefficient, whole area.
- b) correlation coefficient, main anticline
- c) correlation coefficient south west syncline
- d) average mean square difference



- a) whole area
- b) main anticline
- c) south west syncline





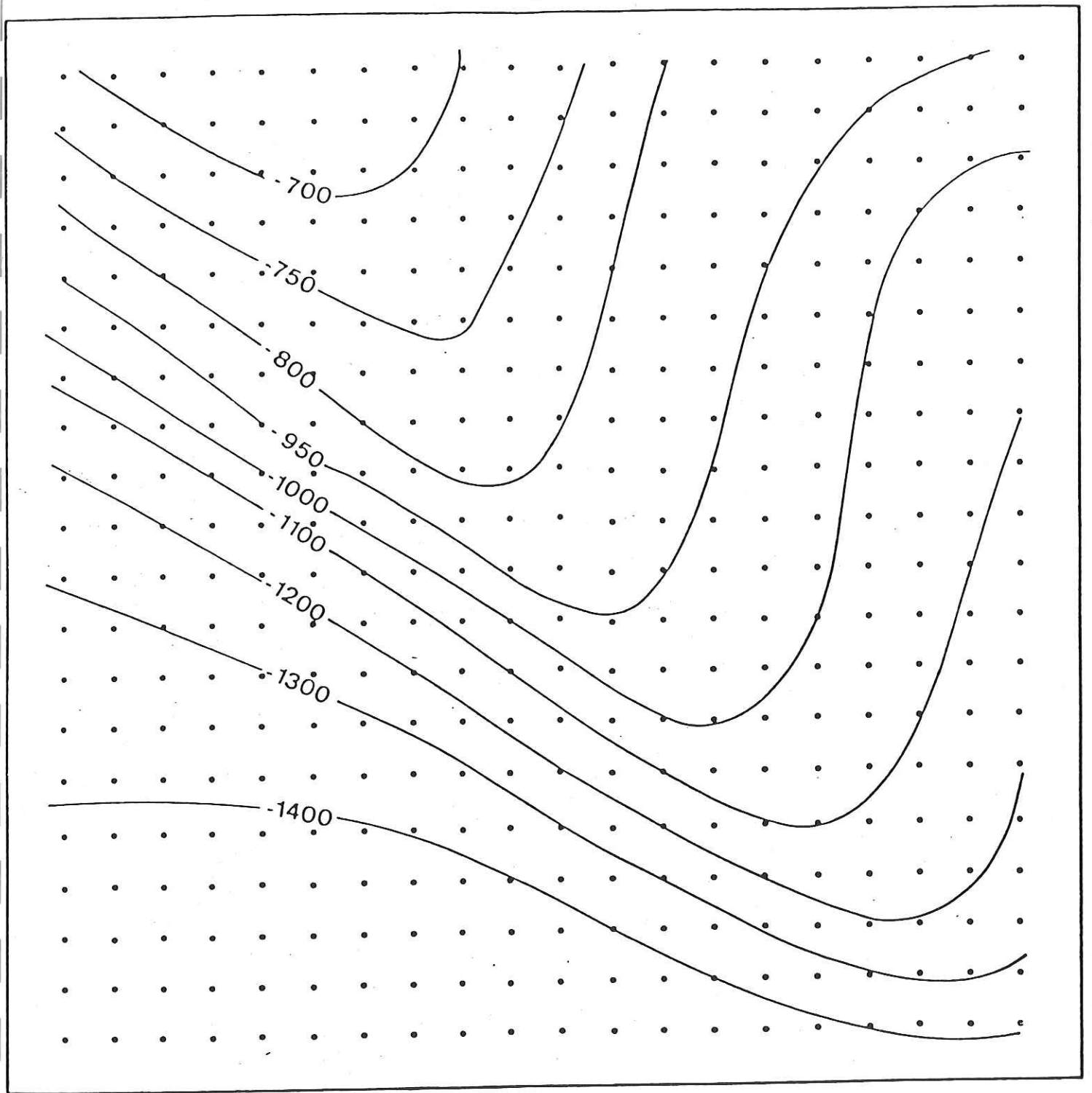


fig. 10

