

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 54 (1988)
Heft: 127

Artikel: L'analyse krigeante appliquée aux données pétrolières
Autor: Jaquet, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-211745>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'analyse krigéante appliquée aux données pétrolières

avec 6 figures
O. JAQUET*

Résumé

Une variable régionalisée — épaisseur de la couche réservoir — en provenance d'un champ de gaz est décomposée par analyse krigéante. Les cartes des composantes obtenues peuvent être associées à des milieux de sédimentation présentant des caractéristiques physiques favorables pour l'exploration pétrolière.

Abstract

A regionalized variable — thickness of the reservoir layer — from a gas field is decomposed by factorial kriging analysis. The maps of the obtained components may be associated with depositional environments presenting favourable characteristics for the petroleum exploration.

Introduction

L'analyse krigéante est une méthode géostatistique, élaborée par MATHERON (1982), permettant la décomposition d'une variable régionalisée et de cartographier les différentes composantes obtenues.

A partir du variogramme expérimental d'une variable régionalisée, un modèle de variogramme gigogne composé de plusieurs schémas de base est ajusté. La portée de chacun des schémas déterminés est associée à une certaine échelle spatiale.

L'analyse krigéante permet d'estimer par cokrigage les différentes composantes correspondant aux échelles spatiales ou «bandes de fréquences». L'estimation de chacune des composantes est réalisée aux noeuds d'une grille régulière en vue de leur cartographie.

GALLI et SANDJIVY (1985), comparant théoriquement l'analyse krigéante (domaine spatial) et l'analyse spectrale (domaine fréquentiel) ont montré leur équivalence formelle. L'analyse krigéante semble offrir des possibilités opératoires plus larges que l'analyse spectrale, car l'analyse spectrale n'est pas directement applicable à des données implantées à maille irrégulière.

*O. JAQUET, géologue et géostatisticien, Ch. Biolleyre 46, 1066 Epalinges.

L'analyse krigeante — utilisée en géophysique (CHILES et GUILLEN, 1984), en géochimie (SANDJIVY, 1984) et en télédétection (MA et ROYER, 1987) — est appliquée dans cette étude à des données pétrolières en provenance d'un champ de gaz.

Rappel théorique: analyse krigeante monovariable dans le cas stationnaire

MATHERON (1982) a développé la théorie générale de l'analyse krigeante. Dans le cas monovariable, la variable régionalisée $z(x)$ — informée aux points expérimentaux x_α — est interprétée comme une réalisation d'une fonction aléatoire stationnaire (d'ordre 2) $Z(x)$, admettant une décomposition de la forme:

$$Z(x) = \sum_{u=1}^U Y_u(x)$$

Les $Y_u(x)$ sont des fonctions aléatoires stationnaires mutuellement orthogonales. Cette décomposition se rapporte directement au modèle de variogramme $G(h)$:

$$G(h) = \sum_{u=1}^U G_u(h)$$

A chaque $Y_u(x)$ correspond un schéma de variogramme $G_u(h)$ associé à une certaine échelle spatiale. L'estimation des composantes $Y_u(x)$ est réalisée par cokrigage utilisant une combinaison linéaire des Z_α expérimentaux avec les poids λ_u^α :

$$Y_u^*(x) = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_u^\alpha Z_\alpha$$

$Y_u^*(x)$ est l'estimateur de $Y_u(x)$. La moyenne $m = E[Z(x)]$ est inconnue:

$$E[Z(x)] = \sum_u E[Y_u(x)] = m$$

L'estimateur $Y_u^*(x)$ doit être sans biais quelle que soit la valeur (inconnue) de m :

$$E[Y_u^*(x) - Y_u(x)] = 0$$

$$E[\sum_{\alpha} \lambda_u^\alpha Z_\alpha - Y_u(x)] = 0$$

$$m \sum_{\alpha} \lambda_u^\alpha - E[Y_u(x)] = 0$$

Pour filtrer m les poids λ_u^α doivent vérifier la condition d'universalité:

$$\sum_{\alpha=1}^N \lambda_u^\alpha = 0$$

qui impose:

$$E[Y_u(x)] = 0$$

et le modèle devient:

$$Z(x) = \sum_u Y_u(x) + m$$

Le passage aux estimateurs, démontré par Matheron (1982), donne la relation de cohérence:

$$Z^*(x) = \sum_u Y_{u^*}(x) + m^*$$

La minimisation de la variance d'estimation:

$$\text{Var}[Y_{u^*}(x) - Y_u(x)] = -\sum_{\alpha\beta} \lambda_u^\alpha \lambda_u^\beta G(x_\alpha, x_\beta) + 2\lambda_u^\alpha G_u(x_\alpha, x)$$

sous la contrainte:

$$\sum_\alpha \lambda_u^\alpha = 0$$

conduit à un système de cokrigeage pour chaque $Y_u(x)$ avec $N+1$ équations:

$$\begin{aligned} \sum_\alpha \lambda_u^\alpha G(x_\alpha, x_\beta) &= G_u(x_\beta, x) - \mu \\ \sum_\alpha \lambda_u^\alpha &= 0 \end{aligned}$$

où μ est un multiplicateur de Lagrange.

Dans cette étude, l'estimation des $Y_u(x)$ est réalisée en voisinage glissant. Ce choix se justifie par le contexte géologique. Ainsi, le modèle s'exprime:

$$(x)_{*w} + (x)_{*n} \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha = (x)_{*z}$$

$m^*(x)$ est une moyenne locale dépendant de la taille du voisinage.

$m(x)$ est assimilée à une fonction de basse fréquence à l'échelle du voisinage. L'estimation de $m(x)$ est ajoutée à la composante $Y_{u^*}(x)$ de grande portée (= «basse fréquence»). La carte de la composante de grande portée est représentée par $Y_{u^*}m(x)$:

$$Y_{u^*}m(x) = Y_{u^*}(x) + m^*(x)$$

Les données

Les données sont issues de 214 forages, implantés à maille irrégulière en provenance d'un champ de gaz d'Europe du Nord (Fig. 1). La variable mesurée E4 est l'épaisseur de la couche réservoir qui est formée de roches sédimentaires carbonatées.

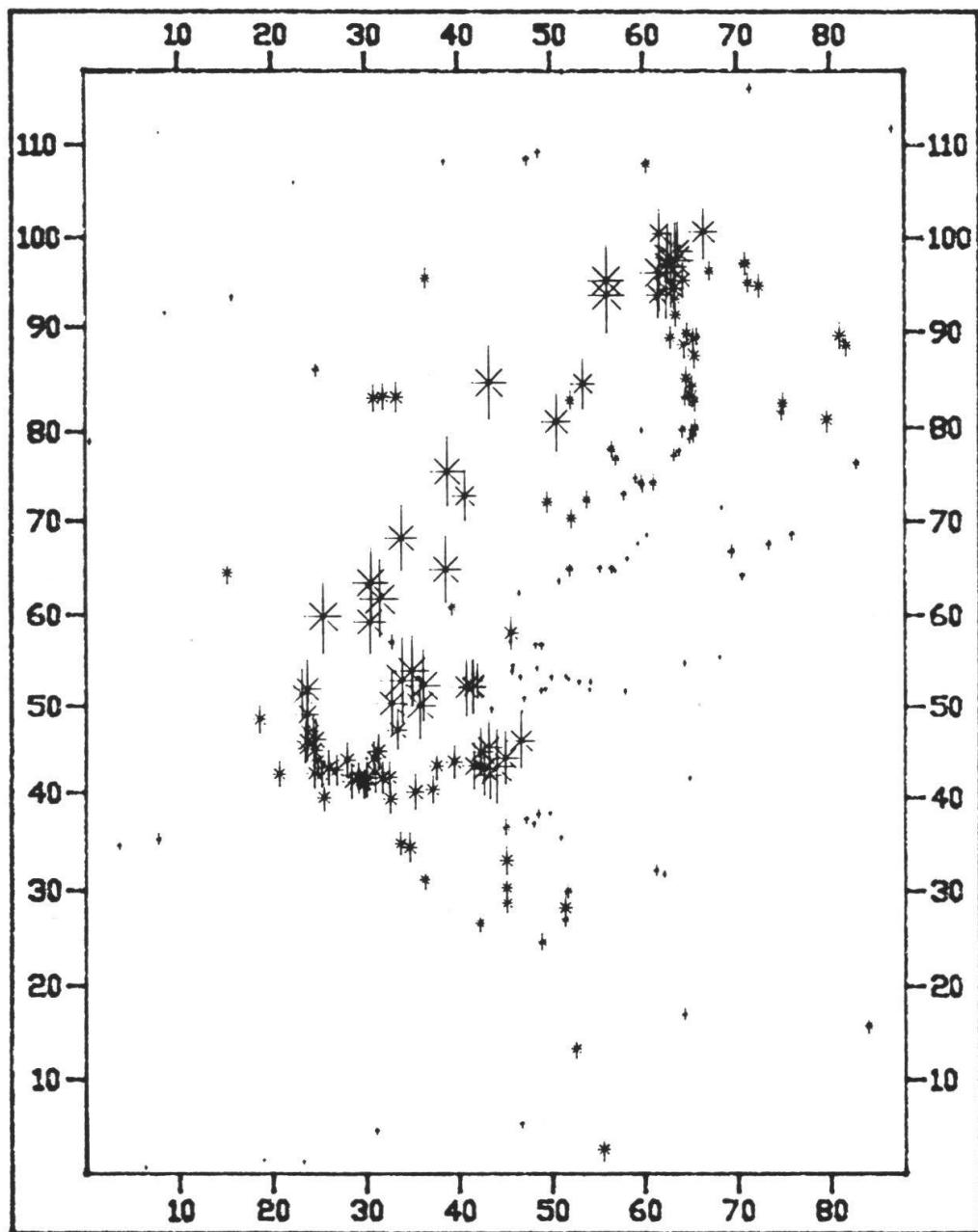


Fig. 1. Carte d'implantation des forages, la taille des symboles est proportionnelle à l'épaisseur de la couche réservoir (les coordonnées sont exprimées en kilomètres).

Variogrammes expérimentaux

Les variogrammes expérimentaux de la variable régionalisée E4 sont calculés dans quatre directions: E-O, NE-SO, N-S et NO-SE.

Le variogramme moyen est superposé aux variogrammes directionnels (Fig. 2).

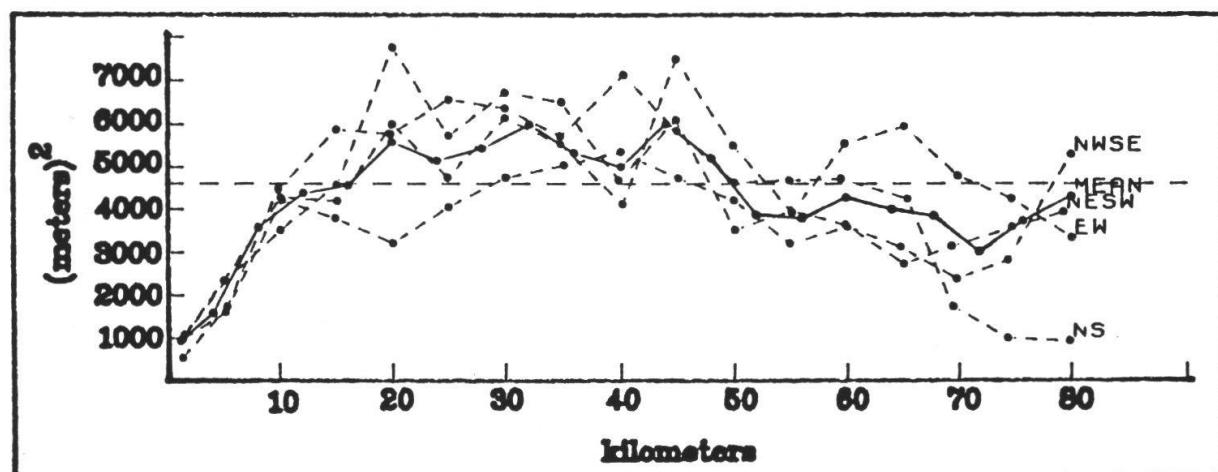


Fig. 2. Variogrammes expérimentaux directionnels et moyen de E4.

Ajustement du variogramme

Les faibles anisotropies présentées par les variogrammes directionnels de E4 peuvent être négligées. Le variogramme expérimental moyen est ajusté jusqu'à 50 kilomètres par un modèle gigogne composé de deux schémas de base sphériques (Fig. 3), dont les paramètres sont les suivants:

Structure 1:	palier C11 =	2'600 m ²
	portée a1 =	10 km
Structure 2:	palier C21 =	2'900 m ²
	portée a2 =	30 km

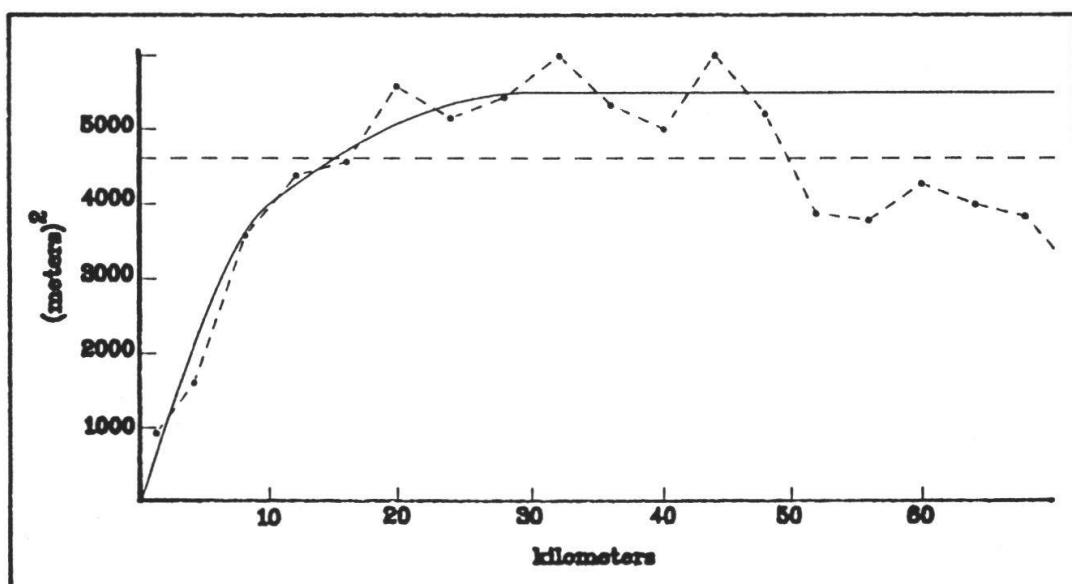


Fig. 3. Modèle de variogramme gigogne à 2 schémas sphériques ajusté au variogramme expérimental.

Le modèle de variogramme ajusté présente un palier. Cela implique que E4 — épaisseur de la couche réservoir — est considérée comme une réalisation d'une fonction aléatoire qui, par hypothèse est supposée stationnaire dans tout voisinage jusqu'à 50 kilomètres de diamètre.

Analyse krigante

Les composantes $Y_1(x)$ et $Y_2(x)$, associées respectivement aux portées de 10 et 30 kilomètres, sont estimées par cokrigage aux noeuds d'une grille régulière (dimensions de la maille: $3 * 3 \text{ km}$) afin d'être représentées par des isolignes. La moyenne locale $m(x)$ est estimée par krigage, et elle est ensuite ajoutée à la composante estimée $Y_2^*(x)$.

La taille du voisinage glissant utilisé est de 8 points. Celle-ci est suffisante pour l'estimation de la composante $Y_2(x)$ de grande portée.

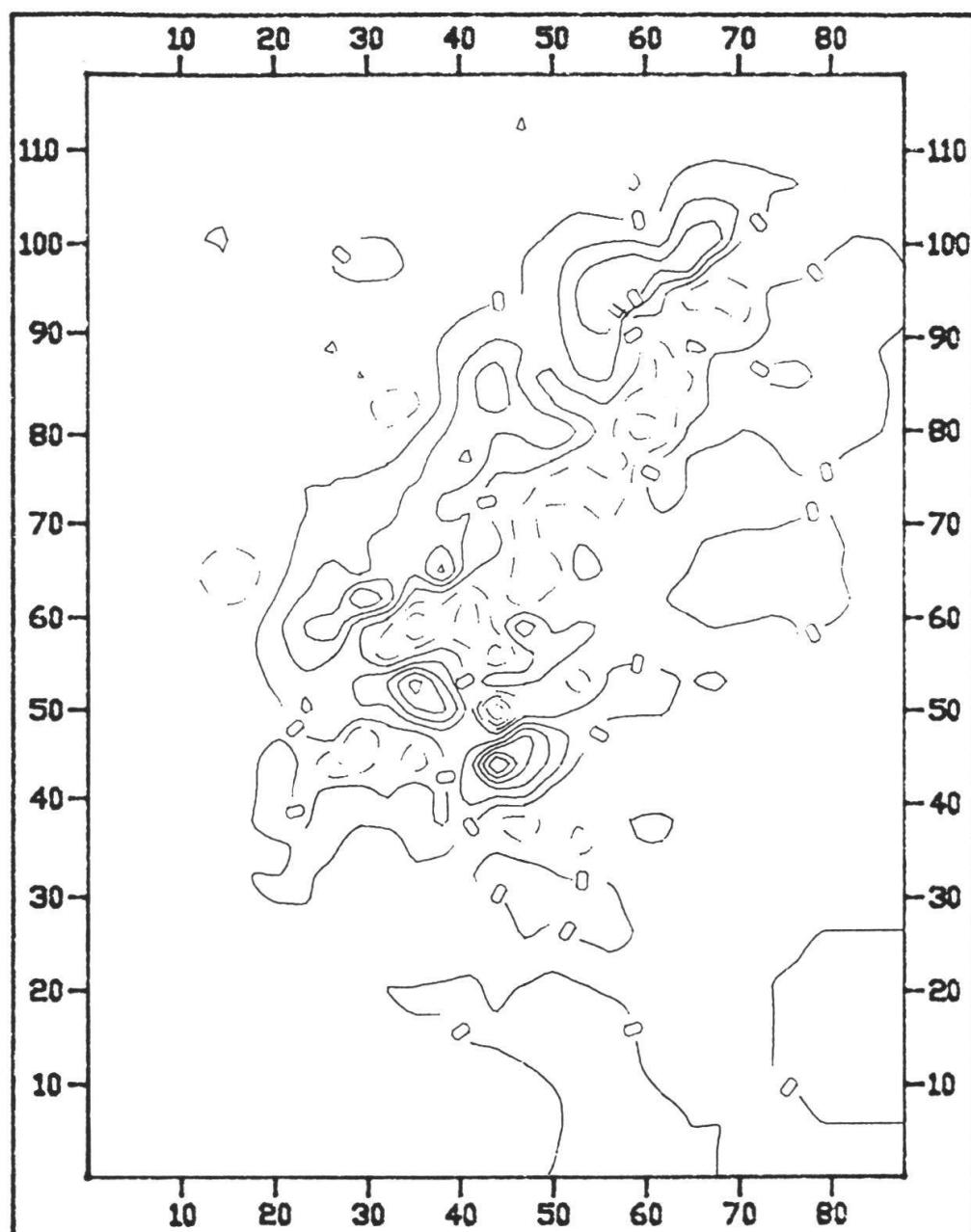


Fig. 4. Carte de la composante $Y_1^*(x)$ de portée 10 km.

La carte de la composante $Y1^*(x)$ de portée 10 kilomètres, (Fig. 4), montre les caractéristiques structurales relatives de «haute fréquence» de E4. La carte de la composante $Y2^*m(x)$ de portée 30 kilomètres, (Fig. 5), présente les caractéristiques structurales relatives de «basse fréquence» de E4.

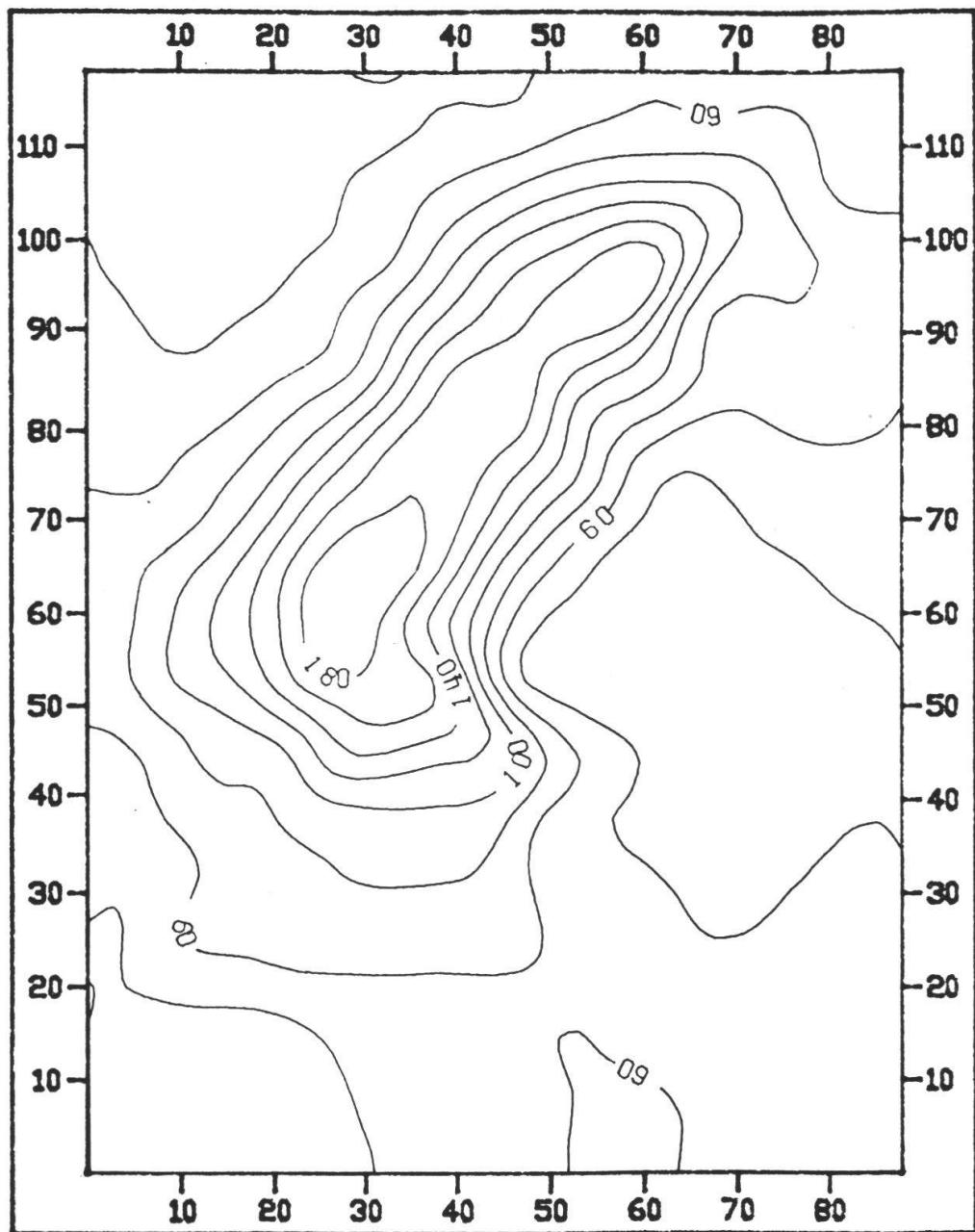


Fig. 5. Carte de la composante $Y2^*m(x)$ de portée 30 km.

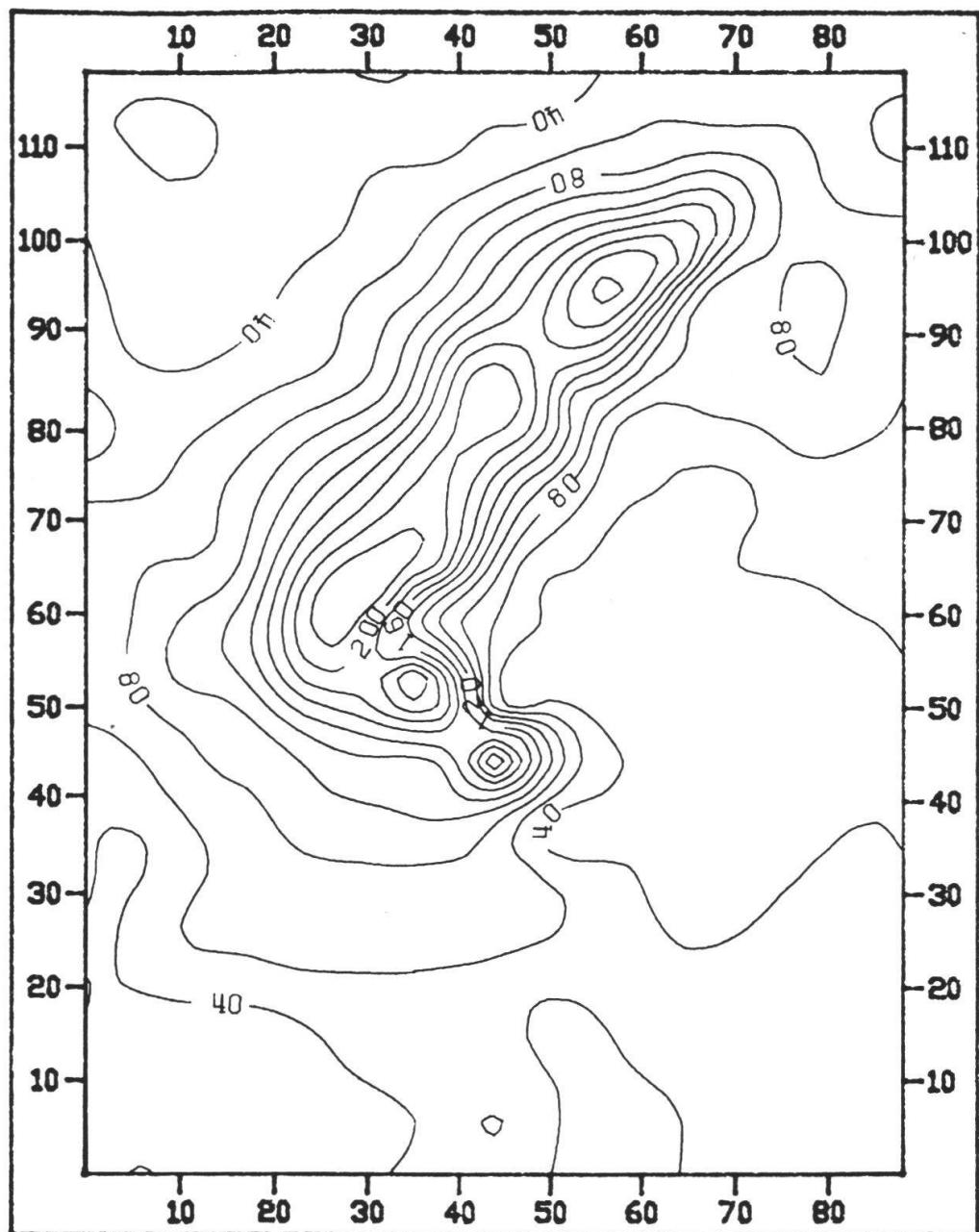


Fig. 6. Carte de l'estimateur $E4^*(x)$.

La somme des composantes $Y1^*(x)$ et $Y2^*m(x)$ est égale à l'estimateur $E4^*(x)$ obtenu par krigeage:

$$E4^*(x) = Y1^*(x) + Y2^*m(x)$$

La comparaison des cartes des composantes et de l'estimateur, (Fig. 4,5 et 6) montre bien la décomposition de $E4$.

Interprétation géologique

La couche réservoir E4 est formée de roches carbonatées. La variabilité de l'épaisseur de cette couche est due à différents phénomènes géologiques (variations du niveau marin, failles,...) ayant agi simultanément et de manière principalement verticale pendant la période de sédimentation. Ces phénomènes ont eu pour conséquence de faire varier les conditions lors du dépôt des sédiments carbonatés. Ces conditions de dépôts peuvent se caractériser par l'hydrodynamique du milieu. Deux milieux principaux sont distingués:

- milieu à haute énergie
- milieu à basse énergie.

Les conditions de dépôts à haute énergie correspondent à un milieu agité (courant, vagues,...) d'étendue restreinte. Les conditions de dépôts à basse énergie sont associées à un milieu calme de grande étendue. En un point donné, l'énergie du milieu a varié au cours de la période de sédimentation. L'épaisseur mesurée est la somme des différents faciès associés à ces conditions de dépôts.

Une interprétation est proposée qui associe la composante de petite portée avec le milieu à haute énergie, et la composante de grande portée avec le milieu à basse énergie. Ainsi, la carte de $Y1^*(x)$ représente les caractéristiques structurales relatives du «faciès de haute énergie» de la couche réservoir. Tandis que la carte de $Y2^*m(x)$ met en évidence les caractéristiques structurales relatives du «faciès de basse énergie» de la couche réservoir.

Cette hypothèse permet d'affiner le modèle géologique d'un point de vue sédimentologique et physique. Car, les roches formées à partir de sédiments carbonatés déposés dans un milieu à haute énergie présentent généralement de bonnes porosités.

Conclusions

Les résultats de la décomposition de la variable régionalisée — épaisseur de la couche réservoir — obtenus par analyse krigéante, méthode géostatistique, sont concluants. Pour que cette décomposition ait un sens physique, il est essentiel que lors de la modélisation du variogramme expérimental, les différentes structures mises en évidence puissent s'appuyer sur des connaissances géologiques du phénomène étudié.

L'analyse spectrale, méthode équivalente à l'analyse krigéante, ne s'applique que sur des données implantées à maille régulière. Dans le cas contraire, les données doivent d'abord être interpolées aux noeuds d'une grille régulière. L'analyse krigéante présente l'avantage de travailler directement sur les données, car le calcul du variogramme ne nécessite pas une implantation régulière des données.

De plus, l'analyse krigéante, utilisée en voisinage glissant, permet une approche locale. Cette méthode est particulièrement bien adaptée à l'étude de phénomènes géologiques, mêmes non homogènes, car seule une hypothèse de stationnarité locale est requise.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse krigéante est appliquée dans le cas monovariable. Cette technique à d'autres possibilités, car l'analyse krigéante a été développée par MATHERON (1982) pour être appliquée dans le cas multivariable.

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement la compagnie pétrolière BEB ERDGAS und ERDÖL GmbH, Hanovre, Allemagne de m'avoir mis à disposition les données pour ce travail. Ainsi que, HANS WACKERNAGEL et ALAIN GALLI pour leurs précieux conseils durant cette étude qui fut réalisée au Centre de Géostatistique de Fontainebleau.

Tous les calculs et les figures ont été exécutées à l'aide du programme BLUEPACK 3-D.

Références

- CHILES, J.P. et GUILLEN A., 1984, Variogrammes et krigage pour la gravimétrie et le magnétisme: Sciences de la Terre, Série Informatique Géologique No 21, p.455-468.
- GALLI A., GERDIL-NEUILLET F. et DADOU C., 1984, Factorial kriging analysis: a substitute to spectral analysis of magnetic data: Verly G. et al. (Eds.), *Geostatistics for Natural Resources Characterization*, Reidel Publishing Company, p.543-557.
- GALLI A. et SANDJIVY L., 1985, Analyse krigante et analyse spectrale: Sciences de la Terre, Série Informatique Géologique No. 21, p.115-124.
- GALLI A and WACKERNAGEL H., 1987 Multivariate geostatistical methods for spatial data analysis: Diday E. et al., *Data Analysis and information* 5, North Holland, in press.
- MA Y.Z. et ROYER J.J., 1987, Le comportement des pondérateurs en analyse krigante. Comparaison avec les filtres classiques utilisés en traitement d'images: Séminaire CFSG, 15-16 juin 1987, Centre de Géostatistique, Fontainebleau, France, 24 p.
- MATHERON G., 1982, Pour une analyse krigante des données régionalisées: Note interne, N-732, Centre de Géostatistique, Fontainebleau, France, 22 p.
- SANDJIVY L., 1984, Analyse krigante des données géochimiques (étude d'un cas monovariable dans le modèle stationnaire): Sciences de la Terre, Série Informatique Géologique No 18, p.141-172.

Buchbesprechung

Geohistory, Global Evolution of the Earth (1987)

by M. OZIMA

IV + 165 p., 40 figs.; DM 48.—

Springer — Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo

In wenigen Jahrzehnten hat sich die Wissenschaft der Erdgeschichte von Annahmen, Fiktionen und einer Auswahl von möglichen Erklärungen bis heute zur präzisen Theorie — z.T. sogar mit Beweismitteln durch Experimente — entwickelt. Als wichtigste neue Hilfsmittel dienen die radiometrische Altersbestimmung und Computer mit hoher Gedächtnis-Kapazität.

In diesem (aus dem japanischen übersetzten) Buch sind diese beiden Instrumente voll genutzt worden. Das Inhaltsverzeichnis der Hauptkapitel soll den behandelten Bereich andeuten: 1. Erdgeschichte als Disziplin, 2. Die Erde als Planet im Sonnensystem, 3. Die Entwicklung der Erde, 4. Änderungen in der Erdkruste und 5. Mensch und Erdgeschichte.

Das registrierende Hauptgewicht führerer Behandlungen des Themas war eine Abfolge von Zuständen und kurzfristigen Ereignissen, dokumentiert mit Materialbeschreibungen (Stratigraphie). In der vorgelegten neuen Sicht bestimmen dynamische Entwicklungen den Ablauf der Erdgeschichte (nach diesem Autor) in bedeutend stärkerem Mass, als wir oft — dem Sichtbaren verhaftet — vermuten. Diese in die zukünftige Entwicklung weisende Einsicht in neue Forschung und in «andere» Überlegungen zur Erdgeschichte regt an.

GABRIEL WIENER