

Henrique GARCIA PEREIRA
 TRAITEMENT DES DONNÉES DE PROSPECTION GÉOCHIMIQUE
 BASÉ SUR L'ANALYSE STRUCTURALE

par Henrique GARCIA PEREIRA*

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	144
ABSTRACT	145
A - Objectifs	147
B - Présentation des données	147
C - Méthode de traitement des données	149
D - Résultats	153
E - Teneur dans l'eau	153
F - Teneur dans l'alluvion	154
G - Conclusions	158

Traitement de Données de prospection géochimique basé sur l'analyse structurale

ILLUSTRATIONS

FIG.	1 - Localisation des échantillons	146
	2 - Plan de section des échantillons	148
	3 - Variogramme global de la radiométrie ($Z(x) = 0^\circ, 90^\circ$)	150
	4 - Variogramme global de la radiométrie ($Z(x) = 30^\circ, 60^\circ$)	151
	5 - Variogramme global de la teneur dans l'eau ($Z(x) = 0^\circ, 90^\circ$)	151
	6 - Variogramme global de la teneur dans l'eau ($Z(x) = 30^\circ, 60^\circ$)	152
	7 - Variogramme global de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) = 0^\circ, 90^\circ$)	152
	8 - Variogramme global de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) = 30^\circ, 60^\circ$)	153
	9 - Variogramme de la radiométrie ($Z(x) = 120 \text{ ch/s}, \theta = 0^\circ, 90^\circ$)	155
	10 - Variogramme de la radiométrie ($Z(x) = 120 \text{ ch/s}, \theta = 30^\circ, 60^\circ$)	155
	11 - Variogramme de la teneur dans l'eau ($Z(x) = 10 \text{ ppb}, \theta = 0^\circ, 90^\circ$)	156
	12 - Variogramme de la teneur dans l'eau ($Z(x) = 10 \text{ ppb}, \theta = 30^\circ, 60^\circ$)	156
	13 - Variogramme de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) = 3 \text{ ppm}, \theta = 0^\circ, 90^\circ$)	157
	14 - Variogramme de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) = 3 \text{ ppm}, \theta = 30^\circ, 60^\circ$)	157
	15 - Localisation des anomalies	158

SCIENCES DE LA TERRE, Série "Informatique Géologique", n° 14
 Géologie Mathématique et Informatique Géologique, Section 12-1
 (Mathematical Geology and Geological Information Science)
 26ème Congrès Géologique International, Paris, 7-17 Juillet 1980
 Pages 143-159, 15 figures, 2 tableaux.

* Chargé de Recherche au CYPH, Université de Lisbonne (Portugal).

TRAITEMENT DE DONNÉES DE PROSPECTION GÉOCHIMIQUE BASÉ SUR L'ANALYSE STRUCTURALE

par Henrique GARCIA PEREIRA*

TABLE DES MATIERES

RESUME	146	ZUSAMMENFASSUNG	146
ABSTRACT	146		
A - Objectifs	147	E - Teneur dans l'eau	153
B - Présentation des données ...	147	F - Teneur dans l'alluvion	154
C - Méthode de traitement des données	149	G - Conclusions	158
D - Radiométrie	153	Références	159

ILLUSTRATIONS

Fig.	1 - Localisation de la zone globale	148
	2 - Plan de position des échantillons	149
	3 - Variogramme global de la radiométrie ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)	150
	4 - Variogramme global de la radiométrie ($\theta = 30^\circ, 60^\circ$)	151
	5 - Variogramme global de la teneur dans l'eau ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)	151
	6 - Variogramme global de la teneur dans l'eau ($\theta = 30^\circ, 60^\circ$)	152
	7 - Variogramme global de la teneur dans l'alluvion ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)	152
	8 - Variogramme global de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) < 180$)	153
	9 - Variogramme de la radiométrie ($Z(x) < 120$ ch/s, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$)	155
	10 - Variogramme de la radiométrie ($Z(x) < 120$ ch/s, $\theta = 30^\circ, 60^\circ$)	155
	11 - Variogramme de la teneur dans l'eau ($Z(x) < 10$ ppb, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$)	156
	12 - Variogramme de la teneur dans l'eau ($Z(x) < 10$ ppb, $\theta = 30^\circ, 60^\circ$)	156
	13 - Variogramme de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) < 3$ ppm, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$)	157
	14 - Variogramme de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) < 3$ ppm, $\theta = 30^\circ, 60^\circ$)	157
	15 - Localisation des anomalies	158

* Chargé de Recherche au CVRM, Université de Lisbonne (Portugal)

RÉSUMÉ

Le procédé classique pour la définition d'anomalies au cours d'une campagne de prospection géochimique ne tient pas compte de la structure régionalisée des variables mesurées. Ce travail est un exemple de traitement de données géochimiques essayant de lier la structure intrinsèque des variables mesurées avec leur distribution spatiale. La décision sur le choix des anomalies est ainsi basée sur un critère objectif, les anomalies étant des individus où des structures se détachant de la structure de fond.

Un exemple d'application de la méthode est présenté, sur des données relatives à la prospection uranifère de la région d'Alentejo, Portugal.

ABSTRACT

*Geochemical exploration data processing
based on the structural Analysis*

The classical procedure used to the anomalous threshold definition in a geochemical exploration campaign does not take into account the regionalized structure of the measured variables. This paper is an example of processing geochemical data in which the structure of the measured variables is linked to its spatial distribution. The decision on the anomalies selection is so based on an objectif criterium, in the sense that anomalies are individuals or structures coming out from the background structure.

A case story applied to uranium stream sediment data from the Alentejo Area (Portugal) is presented.

ZUSAMMENFASSUNG

*Datenverarbeitung nach geochemischer Absuchung
gestützt auf Strukturanalyse*

Die klassische Behandlung zur Definition der Unregelmässigkeiten im Laufe einer Feldarbeit in der geochemischen Prospektion nimmt keine Rücksicht auf die Struktur der gemessenen Grössen. Dieser Artikel ist ein Beispiel der Behandlung von geochemischen Data wo man den Zusammenhang zwischen der Struktur der gemessenen Variablen und ihrer örtlichen Verteilung stellt. Die Entscheidung über die Auswahl der Unregelmässigkeiten beruht auf einem objektiven Kriterium, indem die Unregelmässigkeiten selbst Individuen oder Strukturen sind, die von der Grundstruktur hervorra-gen.

Ein Beispiel dieser Methode ist die Verwendung über Data der Uranprospektion in der Gegend von Alentejo, Portugal.

A - OBJECTIFS

L'application des méthodes d'analyse structurale géostatistique à la prospection géochimique a été essayée dans le cas de roches par DAVID (1974) et de sols par CROISSANT (1976, 1977a, 1977b).

Le but de ces méthodes est de chercher la structure globale des variables sur le champ analysé, en définissant un "fond moyen" qui prend en compte la variabilité spatiale des données disponibles.

Dans le cas où des structures anomaliques sont présentes dans les données, la variographie globale n'est pas utilisable parce qu'on doit traiter un "mélange" de populations.

Dans ce travail, on propose la recherche d'un seuil qui sépare l'étendue des variables régionalisées en deux populations avec une signification structurale - le "fond" étant une structure à grande échelle, avec une variabilité réduite dans l'espace ; les "anomalies" constituant une structure locale très erratique.

A partir de ces hypothèses sur le comportement des deux populations, on coupe arbitrairement l'étendue de chaque variable en deux domaines à partir d'un seuil qu'on fixe en différentes positions. Ensuite, le variogramme des valeurs de la variable strictement inférieures à ce seuil est calculé pour différentes directions de l'espace et on étudie l'évolution, en fonction de la borne adoptée, de la structure caractérisée par les paramètres du variogramme. D'autre part, la distribution spatiale des valeurs supérieures au seuil est caractérisée par un paramètre statistique qui indique leur tendance à former des groupes (la distribution spatiale des anomalies doit être non poissonnienne dans le sens de la contiguïté). La position optimale de la borne est fixée par le double critère suivant :

1. Le "fond" doit être structuré en termes de variogramme
2. Les "anomalies" doivent être spatialement contigues dans une distribution non poissonnienne.

B - PRÉSENTATION DES DONNÉES

Le fichier de base est constitué par 8 337 échantillons obtenus au cours d'une campagne de prospection uranifère dans une zone de 2 880 km² située au centre du Portugal - région d'Alentejo.

La zone globale est représentée dans la figure 1 (Pereira, 1979) où on peut remarquer la position des gisements d'uranium connus, et la division en 18 cartes 1 : 25 000 numérotées de 323 à 410.

L'information sur chaque échantillon porte sur ses coordonnées dans un référentiel arbitraire, la radiométrie mesurée par scintillomètre en ch/s (variables V_1), la teneur en U_3O_8 dans l'eau en ppb (variable V_2), la teneur dans l'alluvion (stream-sediment) en U_3O_8 (variable V_3 , mesurée en ppm) et un code pour le faciès géologique.

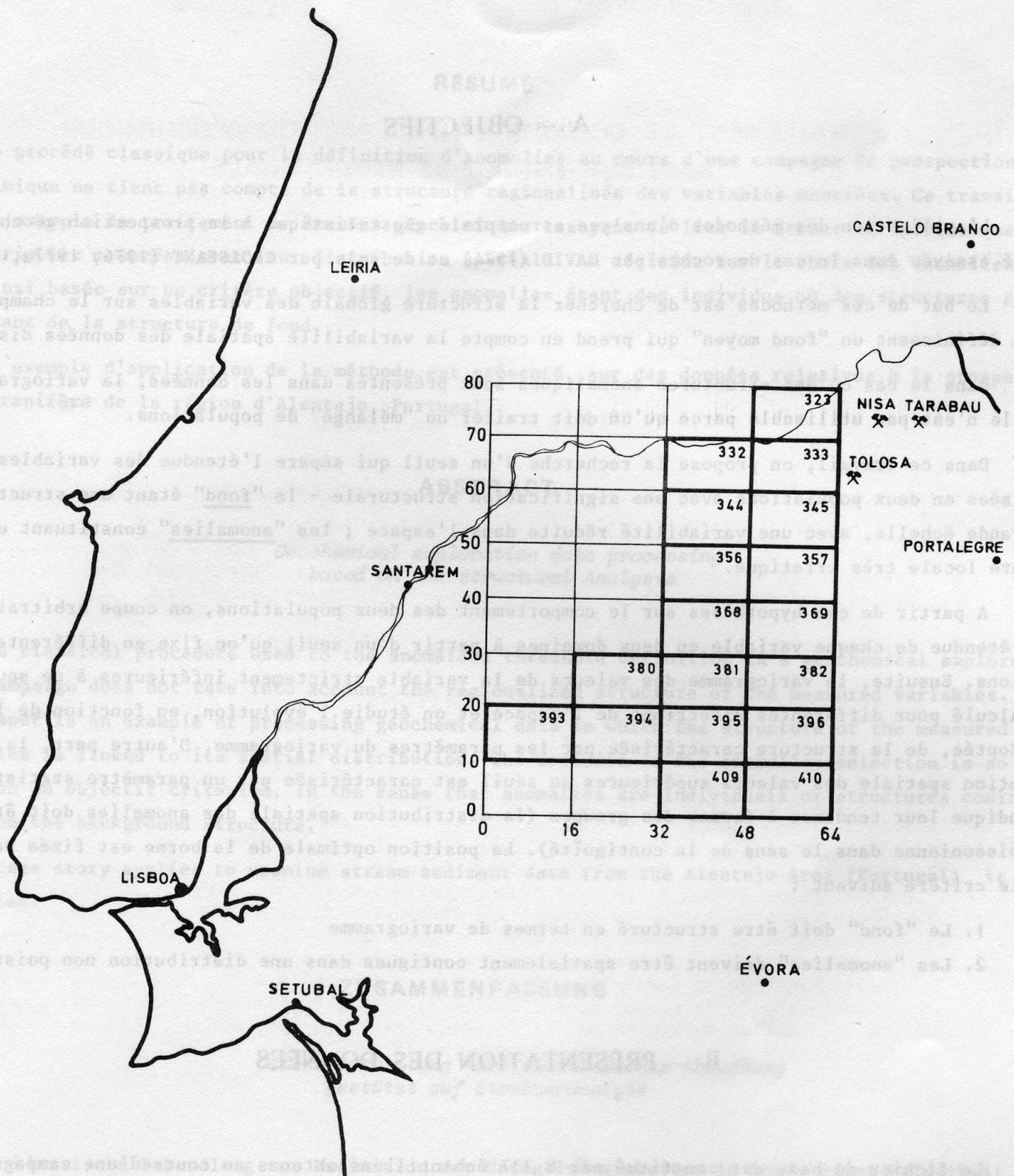


Figure 1 - Localisation de la zone globale

Une exploitation préalable du fichier étant faite (Pereira, Royer, 1979), on a sélectionné une zone de 640 km^2 (cartes 356, 357, 368, 369) pour tester la méthode de traitement envisagée. Cette zone contient 1 711 échantillons dont la localisation est présentée dans la figure 2 (Pereira, Royer, 1979).

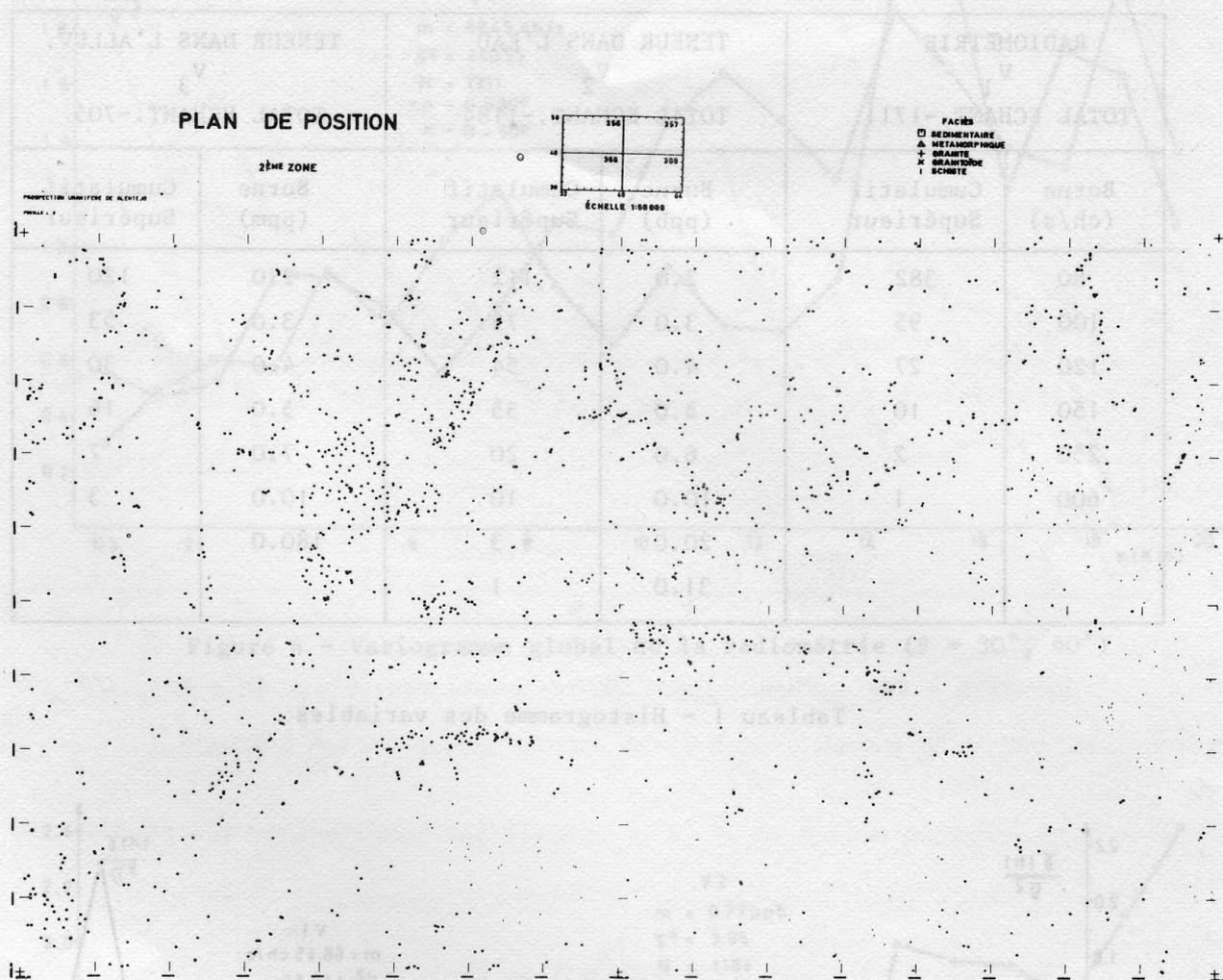


Figure 2 - Plan de position des échantillons

C - MÉTHODE DE TRAITEMENT DES DONNÉES

Dans la zone sélectionnée, un histogramme est calculé pour chaque variable. Le cumulatif supérieur pour différents seuils est présenté dans le Tableau 1.

Les variogrammes réduits ($\gamma(h)/\sigma^2$) calculés pour toute l'étendue des variables sont tracés sur les figures 3, 4, 5, 6, 7, qui indiquent également la moyenne (m), la variance (σ^2) et le nombre de points (N) ceci pour différentes directions définies par l'azimut θ ($^\circ$). L'intervalle angulaire adopté est 15° et le pas varie entre 0.25 et 2.0 km.

Le comportement du variogramme global des variables est bien différencié. En ce qui concerne la radiométrie et la teneur dans l'eau, on peut détecter une certaine structure.

RADIOMETRIE V ₁ TOTAL ECHANT.-1711		TENEUR DANS L'EAU V ₂ TOTAL ECHANT.-1184		TENEUR DANS L'ALLUV. V ₃ TOTAL ECHANT.-705	
Borne (ch/s)	Cumulatif Supérieur	Borne (ppb)	Cumulatif Supérieur	Borne (ppm)	Cumulatif Supérieur
80	382	2.0	112	2.0	120
100	95	3.0	73	3.0	53
120	27	4.0	54	4.0	30
150	10	5.0	35	5.0	16
250	2	6.0	20	7.0	7
600	1	10.0	10	10.0	3
		20.0	3	180.0	1
		31.0	1		

Tableau 1 - Histogramme des variables

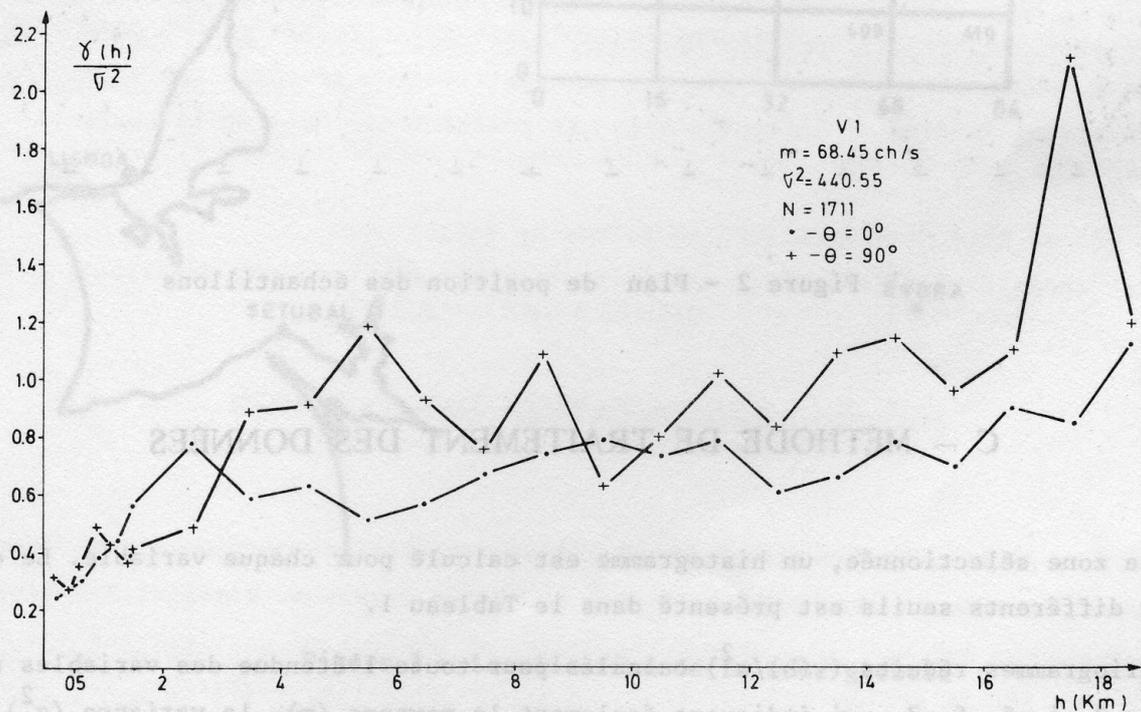


Figure 3 - Variogramme global de la radiométrie ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)

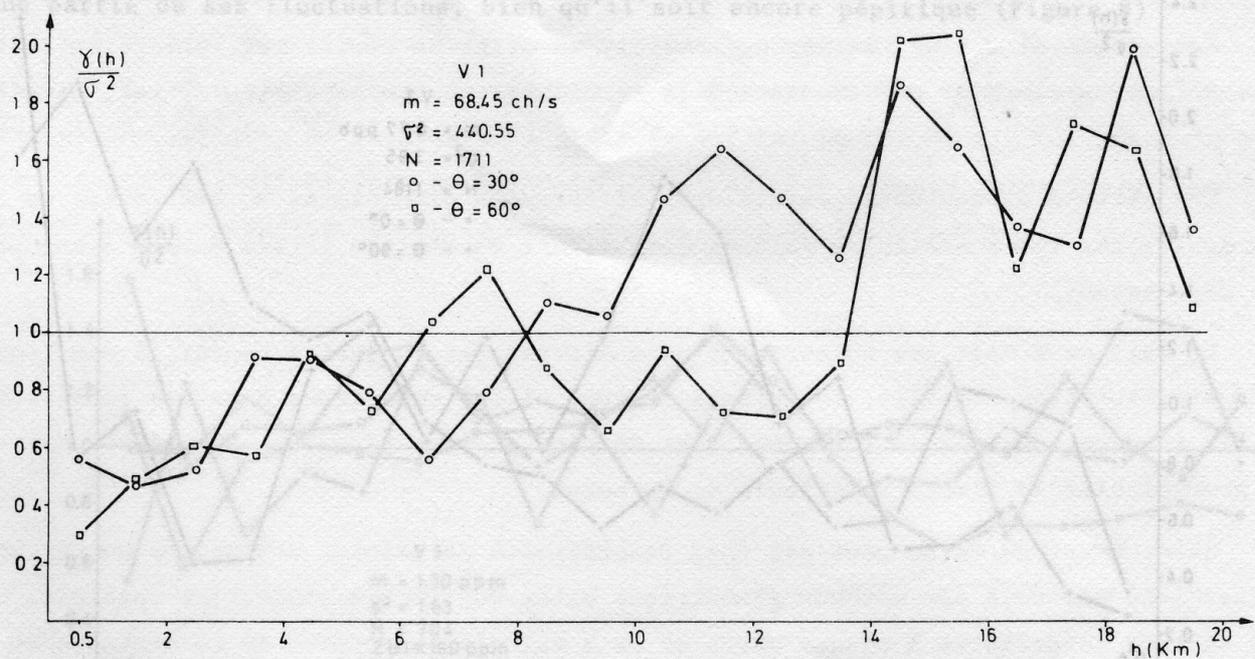


Figure 4 - Variogramme global de la radiométrie ($\theta = 30^\circ, 60^\circ$)

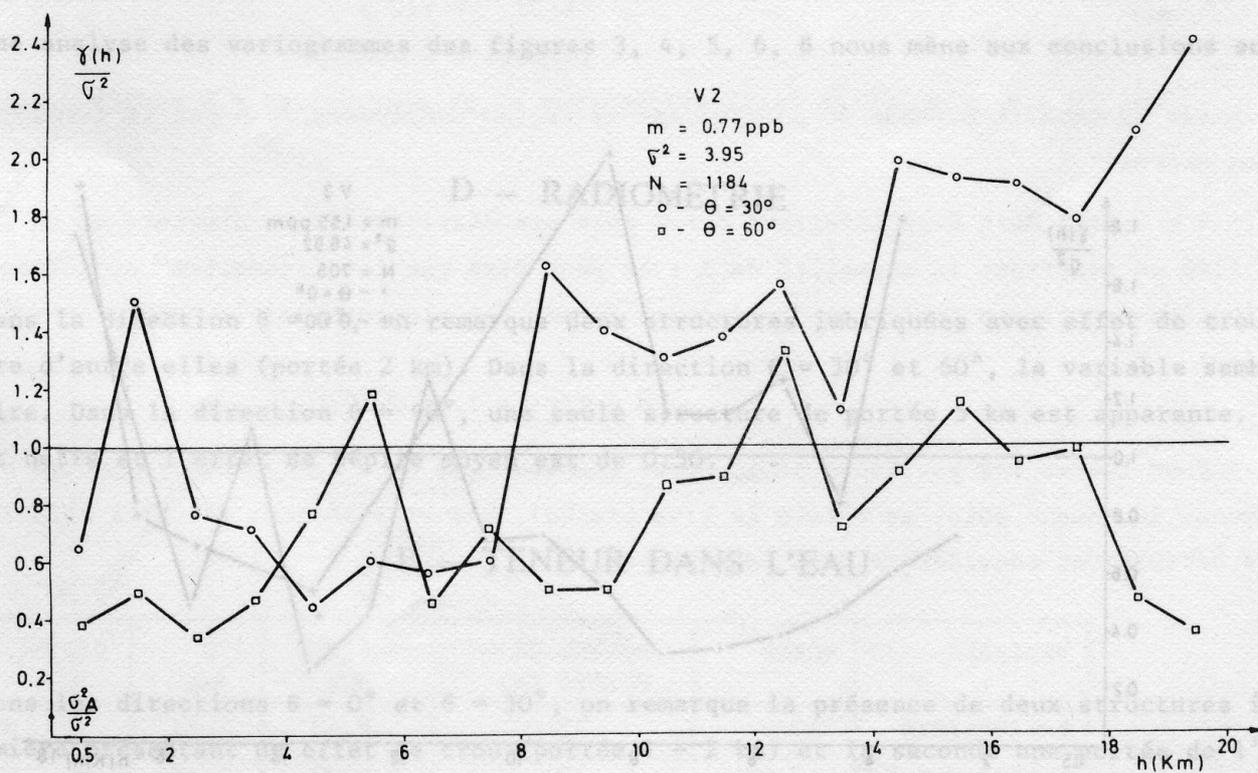


Figure 5 - Variogramme global de la teneur dans l'eau ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)

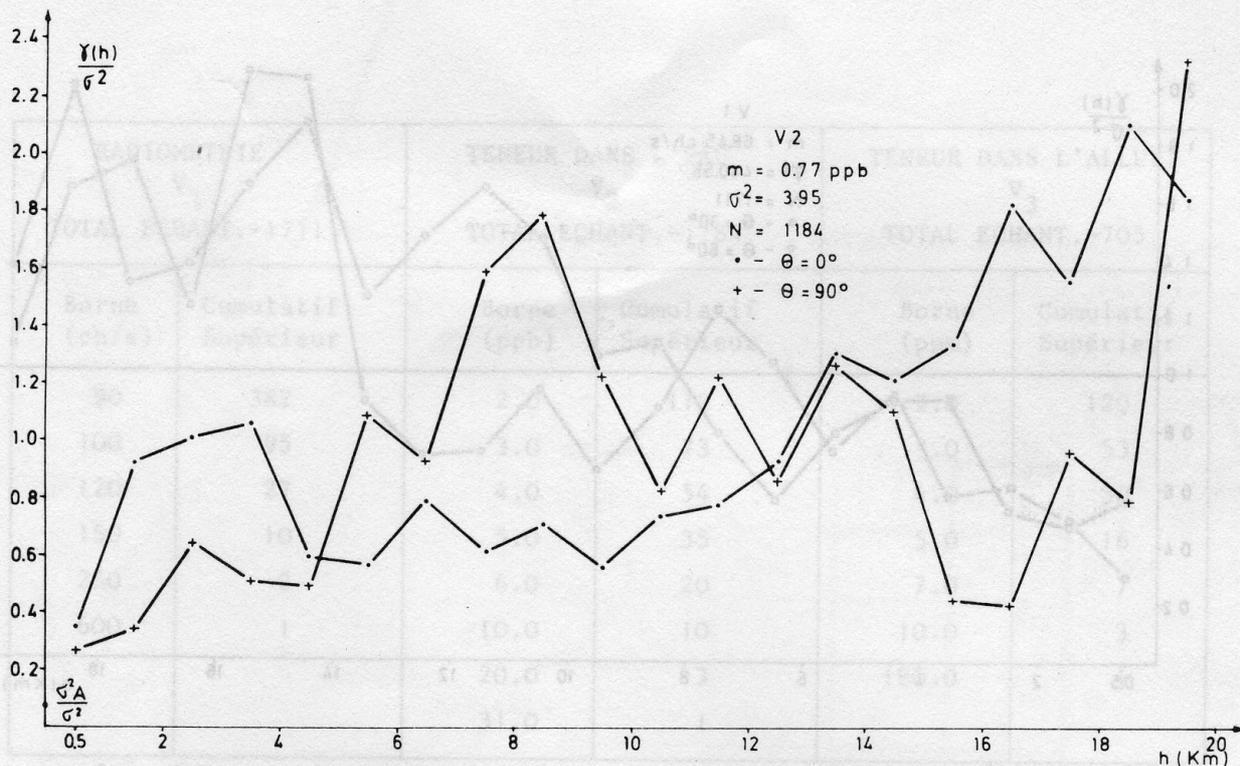


Figure 6 - Variogramme global de la teneur dans l'eau ($\theta = 30^\circ, 60^\circ$)

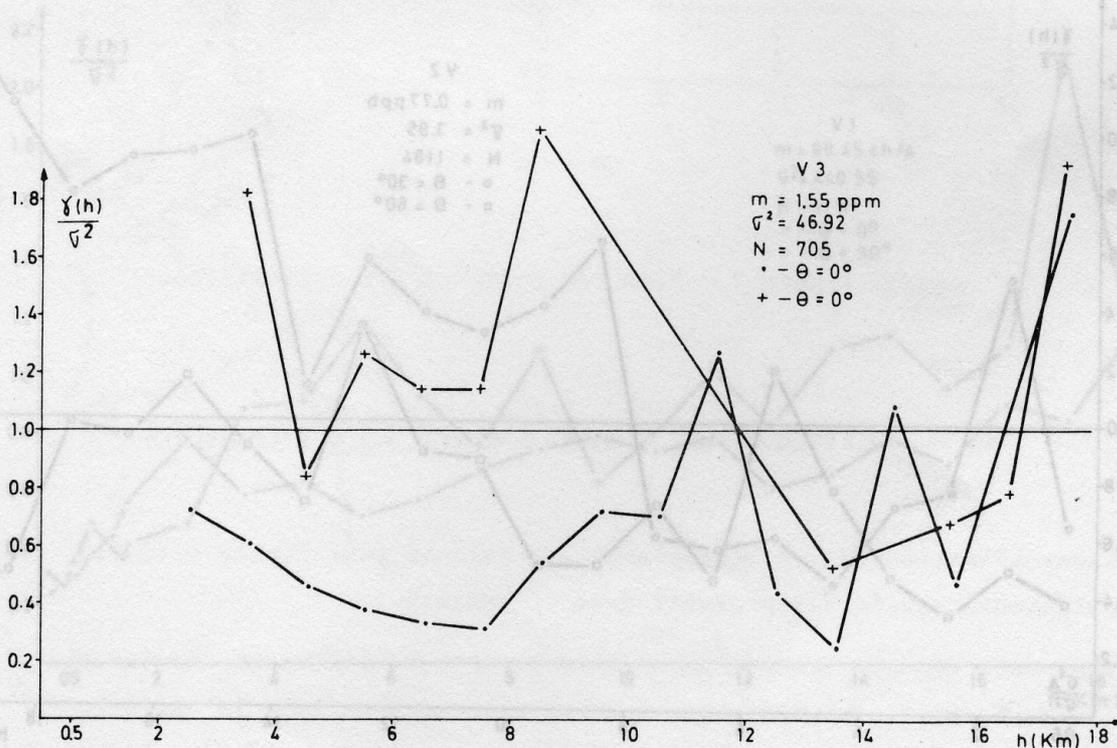


Figure 7 - Variogramme global de la teneur dans l'alluvion ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)

Par contre, la teneur dans l'alluvion est une variable complètement erratique dans son étendue globale. Cependant, si on élimine un échantillon aberrant (teneur 180.0 ppm) le variogramme perd une partie de ses fluctuations, bien qu'il soit encore pépitique (Figure 8)

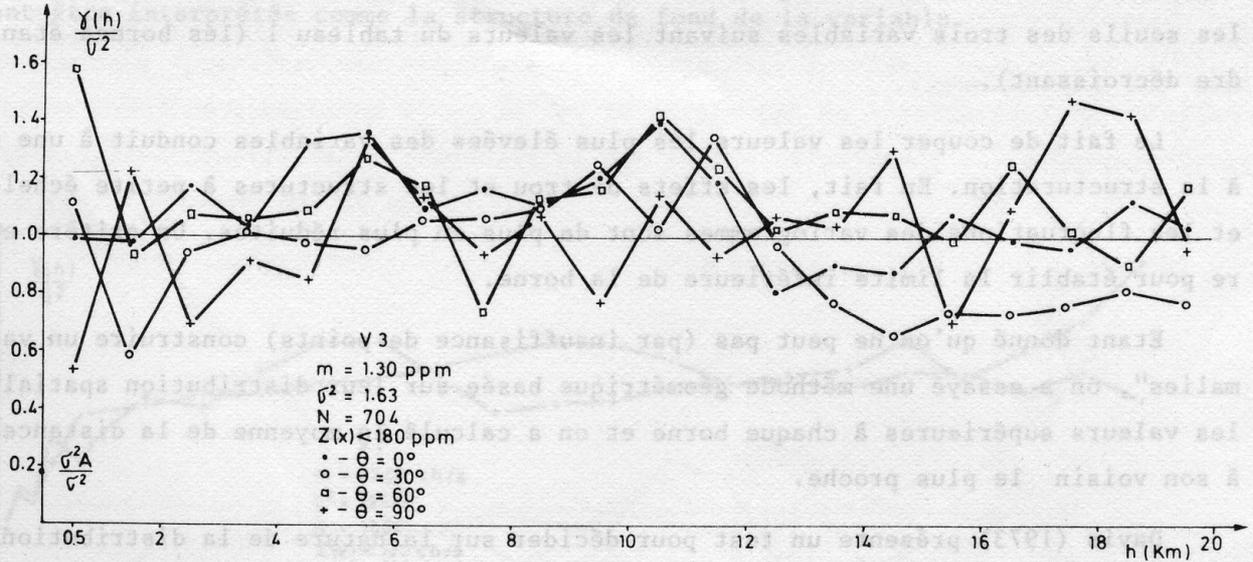


Figure 8 - Variogramme global de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) < 180$)

Une analyse des variogrammes des figures 3, 4, 5, 6, 8 nous mène aux conclusions suivantes :

D - RADIOMETRIE

Dans la direction $\theta = 0^\circ$, on remarque deux structures imbriquées avec effet de trou dans la première d'entre elles (portée 2 km). Dans la direction $\theta = 30^\circ$ et 60° , la variable semble non stationnaire. Dans la direction $\theta = 90^\circ$, une seule structure de portée 5 km est apparente. L'anisotropie est nette et l'effet de pépité moyen est de 0.30.

E - TENEUR DANS L'EAU

Dans les directions $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 30^\circ$, on remarque la présence de deux structures imbriquées, la première présentant un effet de trou (portée 1 - 2 km) et la seconde une portée de l'ordre 8-12 km. Les directions d'azimut $\theta = 60^\circ$ et 90° semblent présenter une seule structure de portée 5-6 km. Un effet de pépité moyen de 0.30 est apparent. La répétition du prélèvement de 30 points a conduit à une variance d'analyse et d'échantillonnage de $\sigma_A^2 = 0.26$, ce qui donne $\sigma_A^2/\sigma^2 = 0.07$ ou $C_o - \sigma_A^2/\sigma^2 = 0.23$ (effet de pépité dû à des micro-régionalisations).

F - TENEUR DANS L'ALLUVION

Pour toute direction, le variogramme est un effet de pépite pur, exception faite à la direction 90° où on remarque une tendance à la structuration. Le paramètre σ_A^2 est, dans ce cas, de 0.3; $\sigma_A^2/\sigma^2 = 0.18$.

Une série d'autres variogrammes, dans différentes directions, a été tracée en faisant varier les seuils des trois variables suivant les valeurs du tableau 1 (les bornes étant prises par ordre décroissant).

Le fait de couper les valeurs les plus élevées des variables conduit à une tendance générale à la structuration. En fait, les effets de trou et les structures à petite échelle disparaissent et les fluctuations des variogrammes sont de plus en plus réduites. Un critère est alors nécessaire pour établir la limite inférieure de la borne.

Etant donné qu'on ne peut pas (par insuffisance de points) construire un variogramme d'"anomalies", on a essayé une méthode géométrique basée sur leur distribution spatiale. On a reporté les valeurs supérieures à chaque borne et on a calculé la moyenne de la distance de chaque point à son voisin le plus proche.

Davis (1973) présente un test pour décider sur la nature de la distribution de points dans le plan basé sur la statistique du voisin le plus proche. Pour une distribution poissonnienne, on peut calculer E(D) et VAR(D) :

$$E(D) = 1/2 p^{-1/2}$$

$$VAR(D) = 0.0683/p$$

où p est la densité moyenne de points dans la région considérée et D est la distance du voisin le plus proche.

$R = \bar{D}/E(D)$ doit être inférieur à 1.0 pour une distribution en clusters et un test peut être utilisé en admettant la normalité de D : on peut dire que les "anomalies" ne suivent pas une distribution de Poisson (elles ont tendance à former des clusters) si la condition suivante est remplie :

$$\bar{D} < E(D) - 1.96 \sqrt{VAR(D)/n}$$

Pour toutes les positions de la borne (tableau 1), on a calculé le paramètre \bar{D} (distance moyenne de chaque point au voisin le plus proche). Les statistiques pour les valeurs minimales de $R = \bar{D}/E(D)$ sont considérées dans le tableau 2.

VARIABLE	BORNE	NOMBRE DE POINTS (n)	E(D) Km	\bar{D} Km	$E(D) - 1.96 \sqrt{\frac{VAR(D)}{n}}$
RADIOMETRIE	120	27	2.43	1.53	1.95
TENEUR (EAU)	10.0	10	4.00	2.19	2.70
TENEUR ALLUV.	3.0	53	1.74	1.34	1.49

Tableau 2 - Statistiques du voisin le plus proche pour les minimum de $\bar{D}/E(D)$

Dans les figures 9 et 10 sont présentés les variogrammes des valeurs inférieures à la borne finale ($Z(x) < 120$ ch/s) pour la variable radiométrie. En comparant ces variogrammes avec ceux des figures 3 et 4, on peut remarquer la tendance à l'apparition d'un schéma de transition bien marqué, presque isotropique, de portées de l'ordre de 5-7 km. La non-stationnarité et la présence des deux structures étaient dues au "trouble" causé par les valeurs anomaliques. Ces variogrammes peuvent être interprétés comme la structure de fond de la variable.

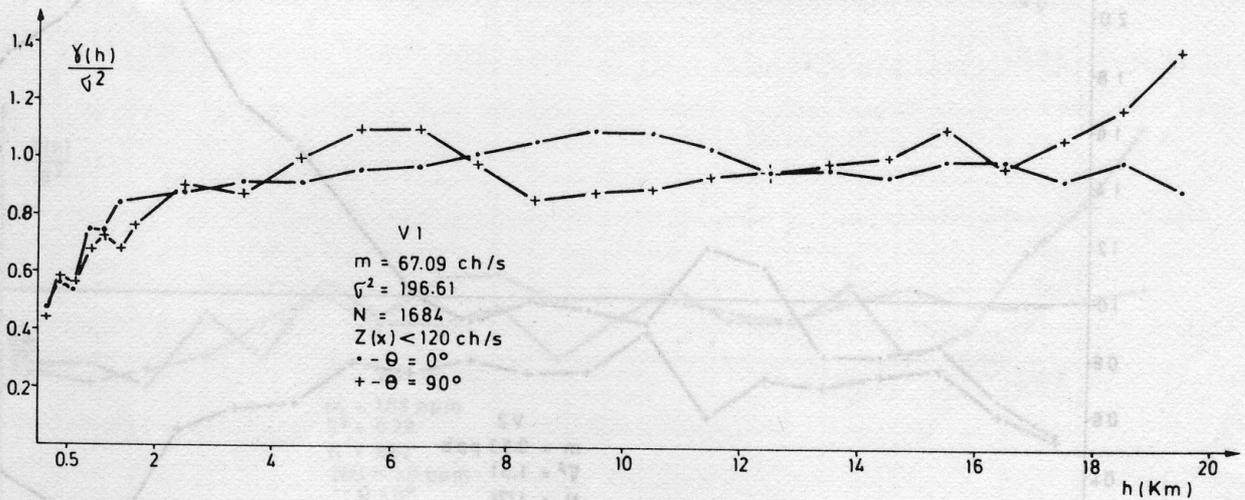


Figure 9 - Variogramme de la radiométrie ($Z(x) < 120$ ch/s, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$)

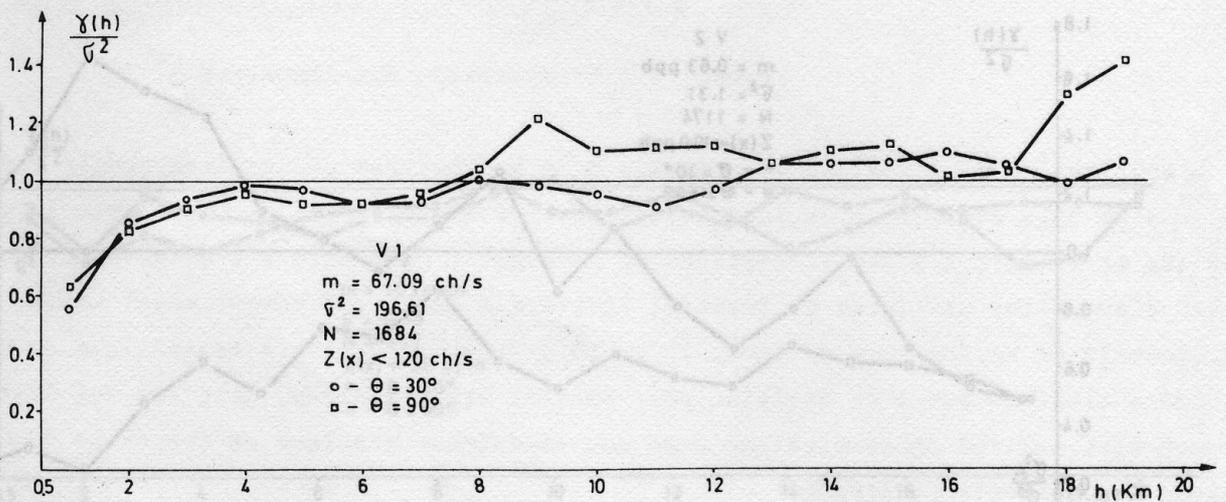


Figure 10 - Variogramme de la radiométrie ($Z(x) < 120$ ch/s, $\theta = 30^\circ, 60^\circ$)

Dans les figures 11 et 12 sont présentés les variogrammes des valeurs inférieures à la borne finale ($Z(x) < 10.0$ ppb) pour la variable teneur dans l'eau. En comparant ces variogrammes avec ceux des figures 5 et 6, on est mené aux conclusions suivantes : dans les directions $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 30^\circ$, les deux structures se maintiennent avec un effet de trou encore apparent. Dans les directions 60° et 90° , une seule structure avec un palier inférieur à la variance a priori est à remarquer. La structure de fond correspondant à cette variable est anisotrope, un phénomène de transition unique ne peut être détecté dans les directions d'azimut 0° et 30° . La part de l'effet de pépite dû à des micro-régionalisations est encore de $C_0 - \sigma_A^2/\sigma^2 = 0.20$ (du même ordre de grandeur que précédemment).

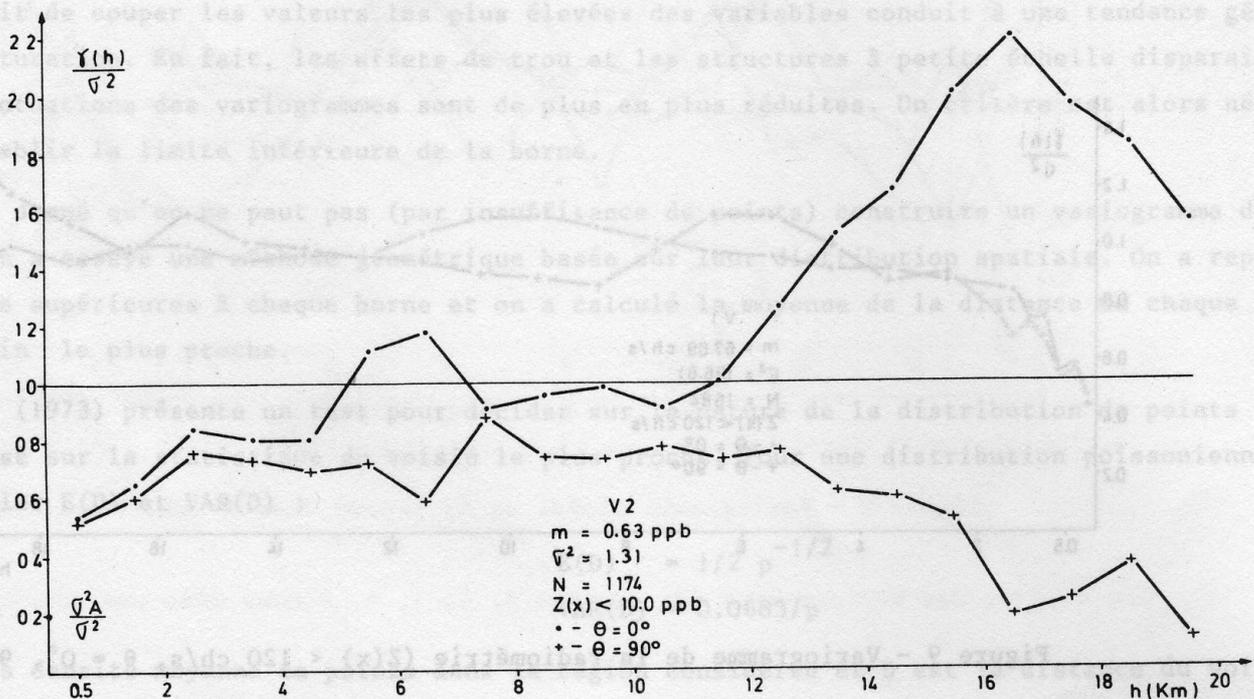


Figure 11 - Variogramme de la teneur dans l'eau ($Z(x) < 10$ ppb, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$)

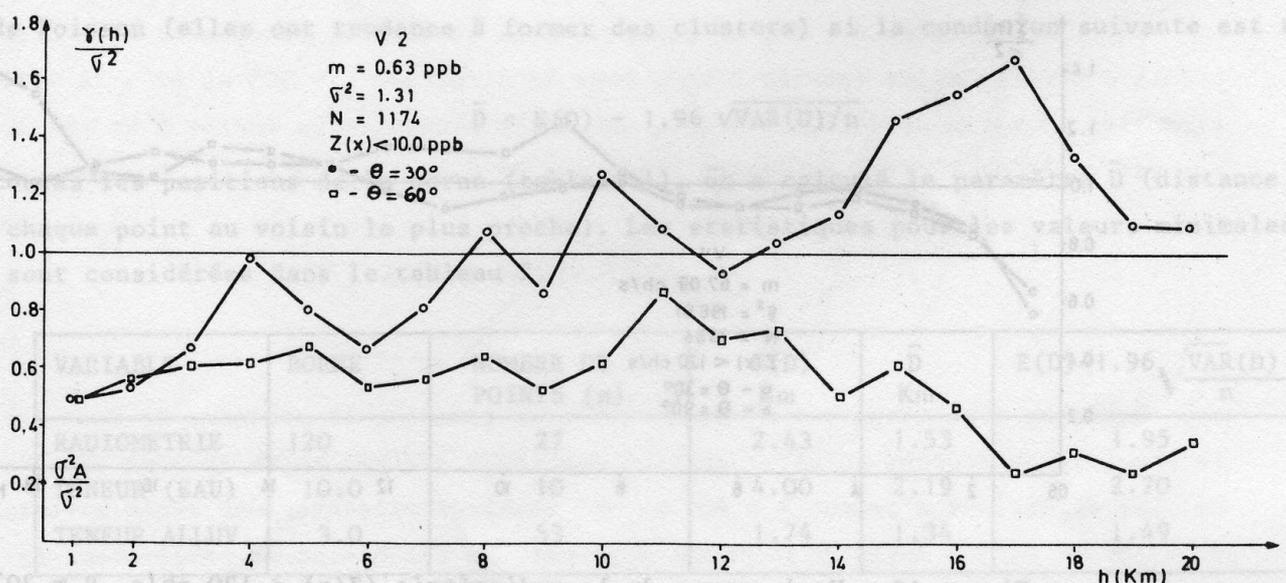


Figure 12 - Variogramme de la teneur dans l'eau ($Z(x) < 10$ ppb, $\theta = 30^\circ, 60^\circ$)

Dans les figures 13 et 14 sont présentés les variogrammes des valeurs inférieures à la borne finale ($Z(x) < 3.0$ ppm) pour la teneur dans l'alluvion. En comparant ces variogrammes avec ceux de la figure 8, on voit apparaître une structure très nette dont le comportement près de l'origine est parabolique pour les directions 0° et 90° et la portée est de l'ordre de 5 km. L'effet de pépite dû à des micro-régionalisations disparaît et une légère anisotropie est apparente (portée supérieure dans les directions 60° et 90°).

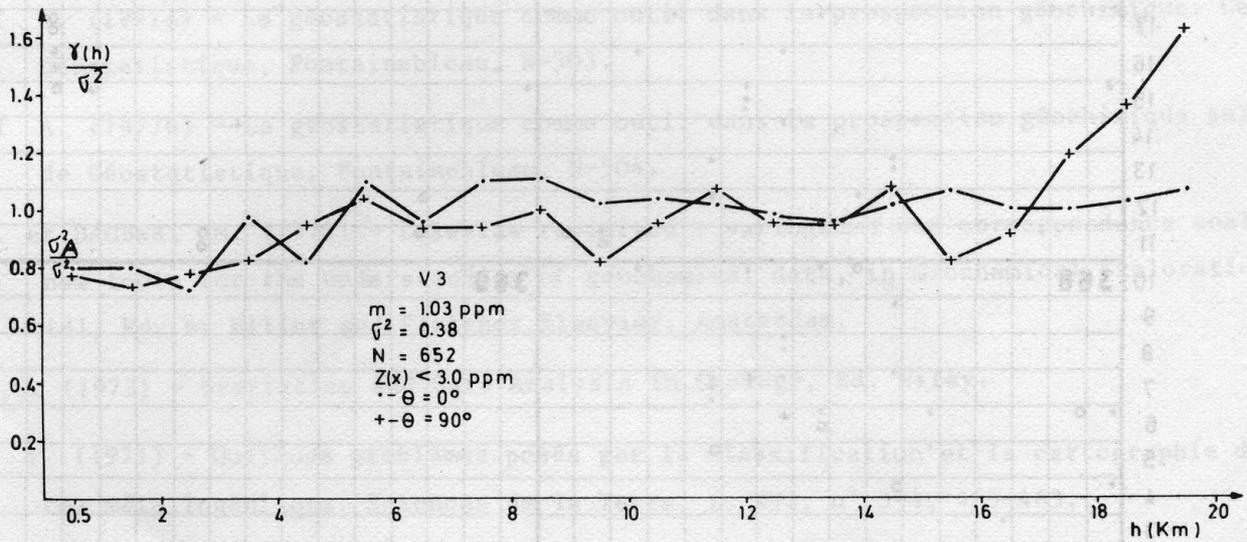


Figure 13 - Variogramme de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) < 3$ ppm, $\theta = 0^\circ, 90^\circ$)

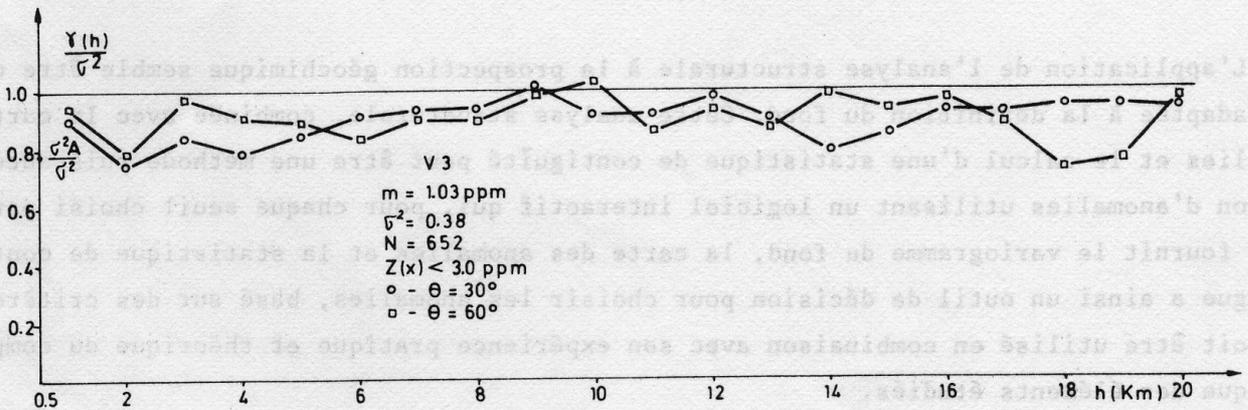


Figure 14 - Variogramme de la teneur dans l'alluvion ($Z(x) < 3$ ppm, $\theta = 30^\circ, 60^\circ$)

G - CONCLUSIONS

Pour l'essai rapporté dans ce travail, les anomalies détectées dans les cartes 356, 357, 368, 369 sont représentées dans la figure 15 sur un carroyage kilométrique. La structure globale des valeurs anomaliques est cohérente avec l'information géochimique existant sur la région.

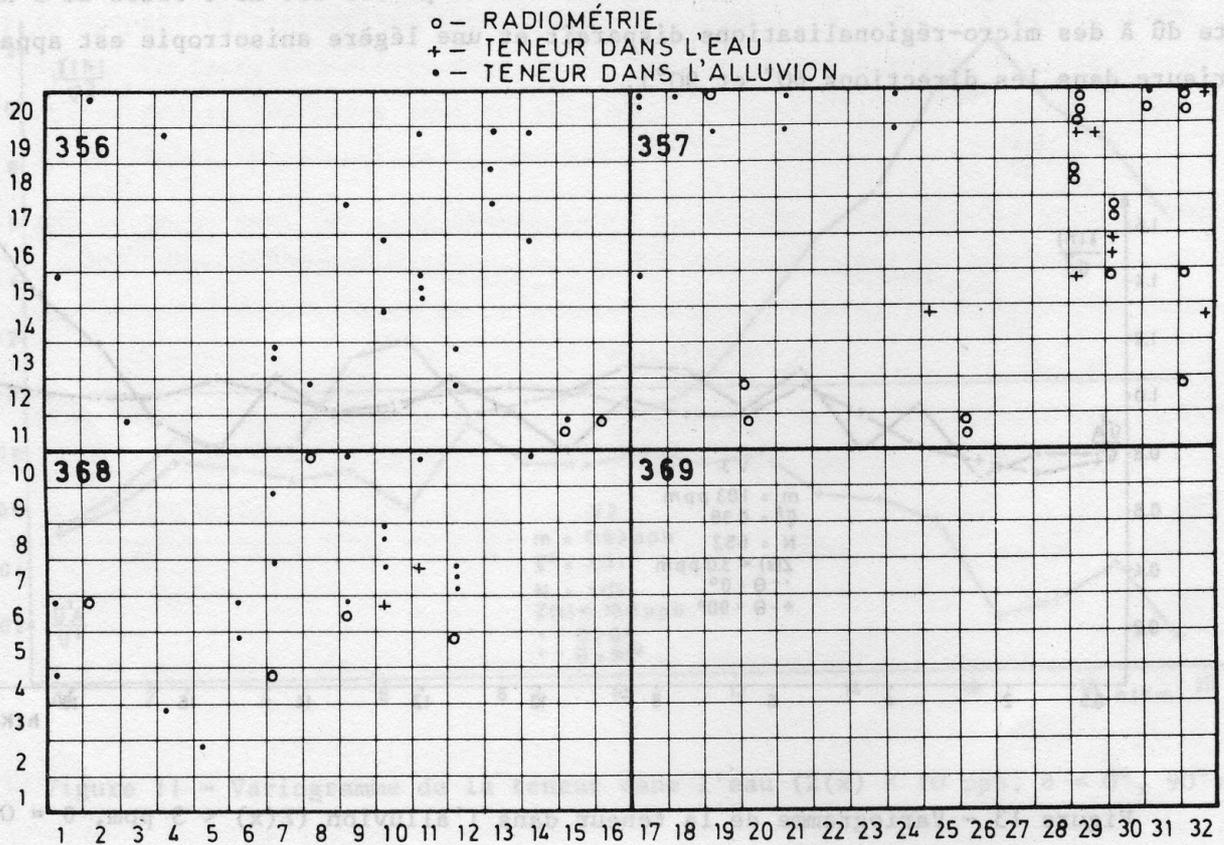


Figure 15 - Localisation des anomalies

L'application de l'analyse structurale à la prospection géochimique semble être une méthode bien adaptée à la définition du fond. Cette analyse structurale, combinée avec la cartographie des anomalies et le calcul d'une statistique de contiguïté peut être une méthode puissante pour la détection d'anomalies utilisant un logiciel interactif qui, pour chaque seuil choisi par l'utilisateur, fournit le variogramme du fond, la carte des anomalies et la statistique de contiguïté. Le géologue a ainsi un outil de décision pour choisir les anomalies, basé sur des critères objectifs, qui doit être utilisé en combinaison avec son expérience pratique et théorique du comportement géochimique des éléments étudiés.

REMERCIEMENTS

L'exploitation préalable du fichier a été faite au CRPG de Nancy avec la Collaboration de J.J. Royer à qui l'auteur doit l'appui informatique indispensable.

Les résultats ont été publiés grâce à l'aimable autorisation de la DGM de Lisbonne, qui a fourni les données récoltées par A. Peinador.

Ce travail est inscrit dans le cadre du projet SAVARN (Système d'Evaluation et Valorisation des Ressources Naturelles) qui est en cours au CVRM et partiellement financé par la JNICT. Le Professeur J. Rogado, responsable du projet, a exercé sur l'auteur une stimulation constante. A. J. Sousa a apporté une collaboration appréciée dans la partie finale du travail, en particulier dans l'adaptation du logiciel.

REFERENCES

- CROISSANT A. (1976) - Variography study of geochemical soil sampling data in Central Norway. Centre de Géostatistique, Fontainebleau, N-485.
- CROISSANT A. (1977a) - La géostatistique comme outil dans la prospection géochimique. Centre de Géostatistique, Fontainebleau, N-503.
- CROISSANT A. (1977b) - La géostatistique comme outil dans la prospection géochimique sol. Centre de Géostatistique, Fontainebleau, N-504.
- DAVID M. et DAGBERT M. (1974) - Lakeview revisited : variograms and correspondance analysis - new tools for the understanding of geochemical data, in Geochemical Exploration, 163-181, Ed. by Elliot and Fletcher Elsevier, Amsterdam.
- DAVIS J.C. (1973) - Statistics and Data Analysis in Geology, Ed. Wiley.
- LEYMARIE P. (1971) - Quelques problèmes posés par la classification et la cartographie des indices métallogéniques. Sciences de la Terre, t. XVI, n° 3-4, 455-463.
- PEREIRA H. (1979) - Cartografia automatica de variaveis geoquimicas. HGP/N-172, CVRM, Lisboa.
- PEREIRA H. et ROYER, J.J. (1979) - Rapport d'étude cartographique du fichier géochimique de prospection uranifère ALENTEJO (Portugal), C.R.P.G. Nancy.