



par Luc SANDJIVY

**ANALYSE KRIGEANTE  
DE DONNEES GEOCHIMIQUES  
(Etude d'un cas monovariabale dans le modele  
stationnaire)**

SCIENCES DE LA TERRE, Série "Informatique Géologique", n° 18  
"Quelques Etudes Géostatistiques", Pages: 141-172  
Réunion organisée par le Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique  
Ecole des Mines - Fontainebleau  
2-3 Juin 1983.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

1954

## ANALYSE KRIGEANTE DE DONNEES GEOCHIMIQUES

(Etude d'un cas monovariabie dans le modèle stationnaire)

par Luc SANDJIVY \*

### TABLE DES MATIERES

<i>RESUME</i> .....	144	<i>ABSTRACT</i> .....	144
A - INTRODUCTION .....	145	D - EXEMPLE D'APPLICATION .....	149
B - PRESENTATION NATURALISTE .....	145	1 - Les données .....	149
C - THEORIE .....	147	2 - Présentation des résultats .....	151
1 - Modèle d'analyse krigeante mono - variable dans le cas stationnai - re .....	147	3 - Etude des résultats .....	152
2 - Remarque sur l'estimation de la moyenne .....	149	E - CONCLUSION .....	153
		BIBLIOGRAPHIE .....	153

### ANNEXES

0 : Carte géologique .....	154
1 : Cartographie .....	155
2 : Analyse krigeante des points expérimentaux .....	165
3 : Cartes d'anomalies .....	169

---

\* Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique - Ecole des Mines - 35, Rue St Honoré  
77305 FONTAINEBLEAU - France

## **RESUME**

Une nouvelle méthode basée sur la Géostatistique est utilisée pour détecter les anomalies géochimiques et pour interpréter d'une manière plus objective les termes " anomalie " et " composante régionale ". Cette technique tient compte de la localisation des points de données dans l'espace, et aussi de leur nature multi-élémentaire. Elle est illustrée par une étude sur les données géochimiques de Pb, Zn et Cu provenant d'une campagne de prospection dans la région de MUNSTER (France)

## **ABSTRACT**

### **Factorial Kriging Analysis of Geochemical Data**

A new method based on geostatistics is used to detect geochemical anomalies and to provide a more objective interpretation to the terms "anomaly" and "regional component". This technique takes account of the spatial location of the data points and also their multi-element nature. It is illustrated by a case-study on geochemical data on Pb, Zn and Cu from a strategic prospection campaign carried out in the MUNSTER region of France.

## A - INTRODUCTION

Au cours de notre recherche sur l'identification d'anomalies géochimiques à la suite de campagnes de prospection stratégiques, nous avons été amenés à réfléchir sur les termes mêmes d'anomalie et de fond géochimique et à leurs traductions possibles dans un langage géostatistique.

De manière intuitive, la notion d'anomalie évoque l'impossibilité dans laquelle nous nous trouvons de prévoir certaines valeurs observées d'une variable à l'aide de l'information disponible. Au contraire, le fond géochimique ou fond régional correspond bien à l'ensemble des valeurs que l'on s'attend à rencontrer, aux valeurs prévisibles !

Un problème que l'on peut se poser est de savoir si dès lors il est possible de faire la part dans un résultat d'analyse d'échantillon géochimique de chacune des "composantes" anormales et régionales, connaissant l'ensemble des résultats de la campagne et les coordonnées des points de prélèvement. Qui plus est, lorsque l'analyse est multiélémentaire comment utiliser cette information qui est évidemment plus riche que la simple somme des connaissances apportées par chacun des éléments pris séparément ?

La Géostatistique fournit une réponse possible à l'aide des modèles probabilistes élaborés par G.MATHERON sous le nom d'analyse krigéante (1)

Nous présentons une première application de cette technique aux données de prospection géochimique dans laquelle nous nous plaçons dans un premier temps dans le cadre du modèle stationnaire et monovarié.

Comme dans les études précédentes (2,3) nous avons utilisé les résultats en Pb, Zn et Cu de la campagne de prospection stratégique effectuée dans le cadre de l'Inventaire sur la feuille au 1/50000 de Munster.

## B - PRESENTATION NATURALISTE

Avant d'aborder l'aspect théorique, nous présentons l'analyse krigéante de manière plus naturaliste :

En Géostatistique, une variable régionalisée est reconnue en particulier par son variogramme ou sa covariance spatiale, que l'on infère à partir des mesures de cette variable à l'intérieur du champ de l'étude. Le comportement à l'origine du variogramme expérimental renseigne sur le caractère aléatoire ou continu de la régionalisation et le modèle de variogramme ajusté est généralement la somme de plusieurs schémas de base tels qu'effet de pépite, schéma sphérique, gaussien .....

Si l'ajustement d'un modèle à un variogramme expérimental comporte une part d'arbitraire dans le choix des schémas de base et de leur nombre, on constate néanmoins que les paramètres des schémas retenus, (en particulier leurs portées) correspondent souvent à des échelles de structures connues des géologues ou des mineurs. L'étude de J.SERRA sur la minéralisation du gisement de fer Lorrain en est une bonne illustration. (4)

A la suite de l'analyse structurale d'une variable régionalisée et de l'adoption d'un modèle de variogramme que l'on suppose être la somme de plusieurs schémas de base, l'analyse krigée permet d'estimer en un point quelconque du champ d'étude des variables fictives dont les covariances ou variogrammes correspondent aux différents schémas utilisés dans le modèle retenu.

Par exemple, si le modèle de variogramme est la somme d'un effet de pépite, d'un schéma sphérique de petite portée et d'un schéma gaussien de grande portée, l'analyse krigée permet d'estimer en tout point et donc de cartographier les composantes pépitique, sphérique et gaussienne du phénomène.

On peut ensuite interpréter chacune de ces composantes en termes d'anomalie et de fond régional, l'effet de pépite représentant la partie la plus erratique et le schéma gaussien de grande portée la partie la plus continue.

Ainsi, l'analyse krigée permet de décomposer la cartographie d'une variable régionalisée, de filtrer certaines "bandes de fréquence", qui auront été identifiées à l'aide de leur covariance spatiale lors de l'analyse structurale.

Cette méthode de filtrage géostatistique présente plusieurs avantages.

- Elle peut s'appliquer dans des espaces de dimension supérieure à 1.
- Elle ne suppose pas une implantation régulière des données.
- Les bandes de fréquence mises en évidence correspondent aux structures du variogramme expérimental, auxquelles on peut souvent trouver une réalité physique.

Dans le cas multivariable, nous disposons après l'analyse structurale d'une modélisation de régionalisations et corégionalisations étudiées. Il est possible de choisir les différents schémas de manière à se placer, selon le cas, dans un modèle de corégionalisation linéaire ou intrinsèque, dans lequel chacun des (co)-variogrammes s'exprime comme une somme de schémas de base commun. L'analyse krigée permet là encore d'estimer chacune des composantes correspondant aux différents schémas de base en prenant en compte le caractère multivariable et spatialisé de l'information.

Notons enfin que l'analyse krigée s'applique aussi bien dans le cadre stationnaire que non stationnaire.

Comme nous l'avons dit plus haut, nous nous plaçons dans cette étude dans le cadre monovariable et stationnaire. Pour présenter la théorie de l'analyse krigée dans ce cas, nous faisons référence à la note 732 de G.MATHERON (1)

## C - THEORIE

### 1 - MODELE D'ANALYSE KRIGEANTE MONOVARIABLE DANS LE CAS STATIONNAIRE

Soit une variable régionalisée  $z(x)$  sur un champ  $V$ , que l'on considère comme la réalisation d'une Fonction Aléatoire Stationnaire d'ordre 2,  $Z(x)$ .

Avec cette hypothèse  $E[Z(x)] = m$  existe et est indépendante de  $x$ .  
La fonction de covariance  $C(x,y) = C(h)$  existe et ne dépend que de  $h$  distance entre  $x$  et  $y$ .

On considère la décomposition suivante de  $Z(x)$ :

$$Z(x) = \sum_u a_u Y_u(x) \quad \left[ \sum_u a_u Y_u(x) \right]$$

dans laquelle les  $Y_u(x)$  sont elles-mêmes des F.A. stationnaires d'ordre 2, mutuellement orthogonales, c'est-à-dire que

$$\text{Cov} ( Y_u(x), Y_v(x+h) ) = C_{uv}(h) = 0 \quad \forall u, v$$

Nous noterons

$$C_u(h) \text{ la fonction covariance de la FA } Y_u(x)$$

$C(h)$  s'écrit  $C(h) = \sum_u a_u^2 C_u(h)$  en prenant pour  $C_u(h)$  des modèles de covariance stationnaire autorisés.

On cherche à estimer les diverses composantes  $Y_u(x)$  par cokrigeage à partir des  $Z_\alpha$ :

$$Y_u^*(x) = \lambda^\alpha Z_\alpha \quad \text{avec } \lambda_\alpha \text{ poids de cokrigeage}$$

En fait, il n'est pas possible d'estimer  $Y_u(x)$  lui-même car en général on ne peut pas répartir  $E(Z(x)) = m$  entre les différents  $Y_u(x)$ . Un cas particulier cependant est celui où on peut supposer  $E[Z(x)] = 0$  dans le modèle, par exemple, lorsque  $Z(x)$  résulte d'une anamorphose gaussienne.

La meilleure façon de voir cela est d'étudier le système de krigeage ainsi que son dual, en sachant que ces deux systèmes ont une solution unique:

<p style="text-align: center;">Système de krigeage</p> $K \begin{cases} \lambda^\alpha C_{\alpha\beta} = R_\beta + \mu \\ \sum_\alpha \lambda_\alpha = S \end{cases}$	<p style="text-align: center;">Système dual</p> $K^* \begin{cases} b^\beta C_{\alpha\beta} + C = Z_\alpha \\ \sum_\beta b_\beta = 0 \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><math>C</math> constante</p>
---	--

$K$  correspond au krigeage  $Z^* = \lambda^\alpha Z_\alpha$  associé au second nombre  $(R_\beta, S)$   
multiplions  $K^*$  par  $\sum \lambda_\alpha$ :

$$\lambda^\alpha Z_\alpha = \lambda^\alpha C_{\alpha\beta} b^\beta + \sum \lambda_\alpha C = b^\beta R_\beta + \mu \sum b_\beta + SC$$

d'où :  $Z^* = \lambda^\alpha Z_\alpha = b^\beta R_\beta + SC$  (a)

Ce résultat est très intéressant car la seule résolution du système dual  $K^*$  et le stockage des  $(b^\beta, C)$  permet d'obtenir immédiatement tous les krigeages associés aux quantités  $(R_\beta, S)$  du second membre de  $K$

Par exemple le krigeage ordinaire avec condition d'universalité de  $Z(x)$  s'obtient avec  $R_\beta = C(\beta, x)$  et  $S = 1$

$$(a) \Rightarrow Z^*(x) = \lambda^\alpha Z_\alpha = b^\alpha C(\alpha, x) + C \quad (b)$$

$C$  est l'estimation optimale de la moyenne  $m$  par krigeage. En effet, le krigeage de  $m$  est bien  $m^* = \lambda^\alpha Z_\alpha$  avec  $R_\alpha = 0$  et  $S = 1$  ou encore  $m^* = C$  d'après (a)

L'écriture (a) montre qu'on peut distinguer dans un estimateur  $Z^* = \lambda^\alpha Z_\alpha$  un terme  $C$ , appelé "dérive", constant dans le cas stationnaire et un "résidu"  $b^\alpha R_\alpha$  qui dépend de la quantité à estimer.

Pour l'estimation des  $Y_u(x)$ , on procèdera par cokrigeage des résidus associés à chacun d'eux, ou si l'on veut, on décomposera entre les divers  $Y_u(x)$  l'écart de  $Z(x)$  par rapport à la moyenne  $m$ .

Cela revient à choisir le second membre suivant :

$$\begin{aligned} R_\beta &= a_u C_u(\beta, x) \\ S &= 0 \end{aligned}$$

qui correspond au système de cokrigeage suivant :

$$\begin{aligned} \lambda^\alpha C_{\alpha\beta} &= a_u C_u(\beta, x) + \mu \\ \sum \lambda^\alpha &= 0 \quad \text{condition qui permet de s'affranchir de } m. \end{aligned}$$

$$(a) \Rightarrow Y_u^*(x) = a_u b^\alpha C_u(\alpha, x) \quad (c)$$

On en déduit la relation de cohérence entre  $Z^*(x)$ , krigeage de  $Z(x)$  au point  $x$ , et les  $Y_u^*(x)$  associés obtenus par cokrigeage :

$$\begin{aligned} C(\alpha, x) &= a_u^2 C^u(\alpha, x) \\ Z^*(x) &= b^\alpha a_u^2 C^u(\alpha, x) + C \quad \text{d'après (b)} \end{aligned}$$

$$\boxed{Z^*(x) = a_u Y_u^*(x) + C} \quad \text{Relation de cohérence}$$

Cas particulier :  $E(Z(x)) = 0$  ou connu a priori

Si on connaît  $m$  a priori on pourra se ramener au cas  $E Z(x) = 0$  en raisonnant sur les valeurs  $Z(x)$  centrées.

Dans ce cas on peut s'affranchir de la condition  $\sum \lambda_\alpha = 0$  et le système de cokrigeage des  $Y_u(x)$  devient :

$$\lambda^\alpha C_{\alpha\beta} = a_u C_u(\beta, x)$$

avec  $C_{\alpha, \beta}$  valeur de la covariance de  $Z(x)$  entre les points  $\alpha$  et  $\beta$

$C_u(x, \beta)$  " " " " de  $Y_u(x)$  " " " "  $x$  et  $\beta$

## 2 - REMARQUE SUR L'ESTIMATION DE LA MOYENNE

En théorie, la meilleure façon de procéder est de résoudre le système dual du krigeage. Mais ceci demande de pouvoir travailler en voisinage unique car les valeurs  $b^\alpha$  dépendent directement des valeurs expérimentales  $Z_\alpha$ . Dès que le nombre des données est élevé, la résolution de ce système devient problématique pour des raisons de calcul numérique.

On peut alors choisir de travailler avec le système de cokrigeage en voisinage glissant, ce qui ne résoud pas le problème pour autant. En effet, par effet de conditionnement local, l'estimation de la moyenne  $m$  va dépendre du voisinage de krigeage choisi. On est alors particulièrement gêné pour estimer les composantes de grandes portées (basses fréquences).

En attendant de pouvoir résoudre ces problèmes numériques, il est préférable de se placer dans le cas où la moyenne  $m$  est connue (une estimation possible est la moyenne arithmétique lorsque le nombre des données est suffisant et leur répartition assez uniforme) et de s'affranchir de la condition sur les  $\lambda_\alpha$ . Dans ce cas, au contraire, on est d'autant plus autorisé à travailler à l'aide d'un voisinage restreint que l'hypothèse de stationnarité est faite d'après l'étude d'un champ de dimensions nettement supérieures au voisinage considéré.

## D - EXEMPLE D'APPLICATION

### 1 - LES DONNEES

Nous reprenons l'étude des données Pb, Zn, Cu de la prospection stratégique (977 échantillons sols) sur la feuille 1/50000 de MUNSTER. On trouvera une étude statistique et géostatistique de ces données dans les Notes N747 et N768 du C.G.M.M. (2,3)

Comme nous l'avons montré dans la note N768 (3), il apparaît plus commode de travailler sur les variables transformées par anamorphose ; nous étudions donc les variables Pb, Zn, Cu anamorphosées.

Les modèles de variogrammes ajustés à la suite de l'analyse structurale sont du type :

$$C(h) = a_0^2 C_0 + a_1^2 C_1(h) + a_2^2 C_2(h) \quad (\text{cf. figure 1})$$

avec

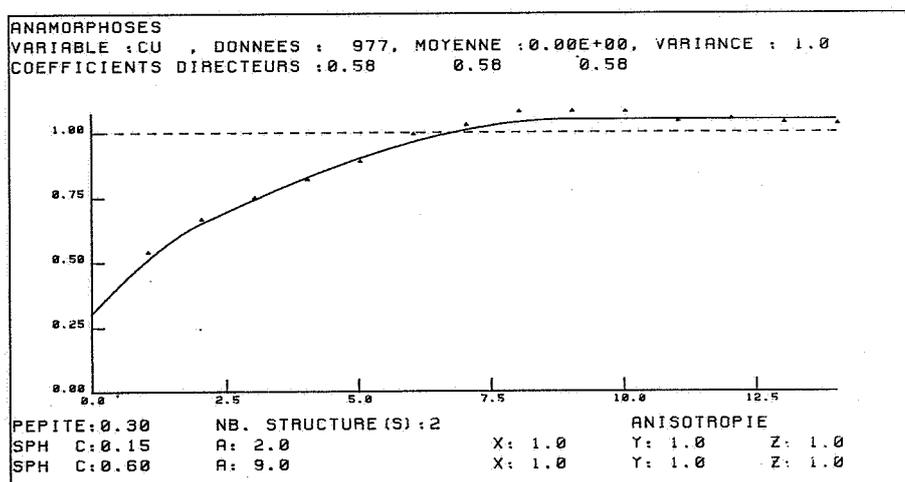
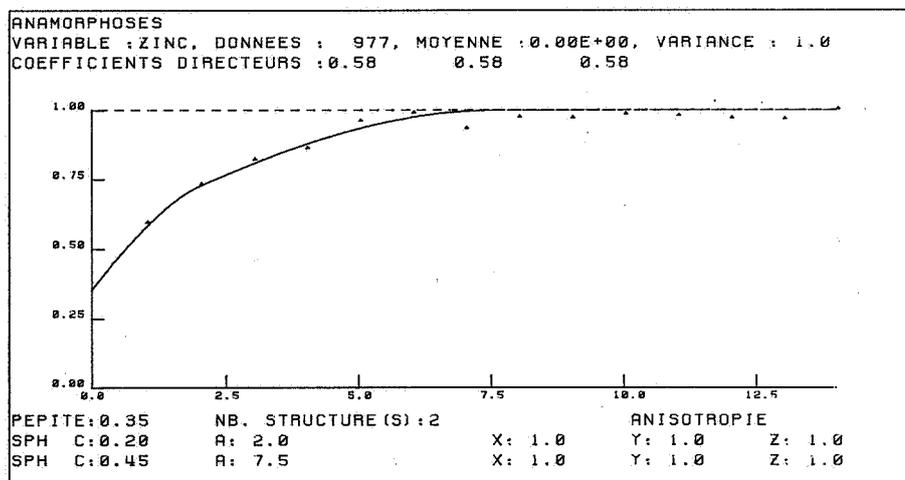
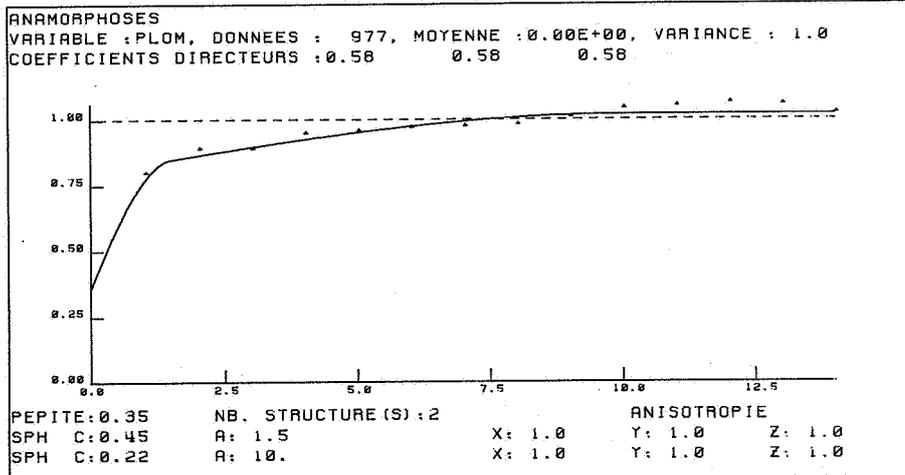
$C_0$  = effet de pépite

$C_1(h)$  = schéma sphérique de faible portée

$C_2(h)$  = schéma sphérique de grande portée

L'analyse krigéante monovariante consiste à estimer par cokrigeage à partir des données expérimentales les composantes  $Y_0, Y_1, Y_2$  orthogonales de covariances respectives  $C_0, C_1(h), C_2(h)$  et d'espérance nulle, et ce pour chacune des variables.

Puisqu'il s'agit de variables anamorphosées, nous pouvons considérer que nous sommes bien dans le cas où  $E(Z(x)) = 0$  et nous procédons à un cokrigeage des  $Y_i$  sans condition particulière.



Les paramètres d'ajustement sont les suivants :

	$a_0^2$	$a_1^2$	portée 1 Unité Lambert	$a_2^2$	portée 2 Unité Lambert
Pb	.35	.45	1.5	.22	10.
Zn	.35	.20	2.	.45	7.5
Cu	.30	.15	2.	.60	9.0

## 2 - PRESENTATION DES RESULTATS

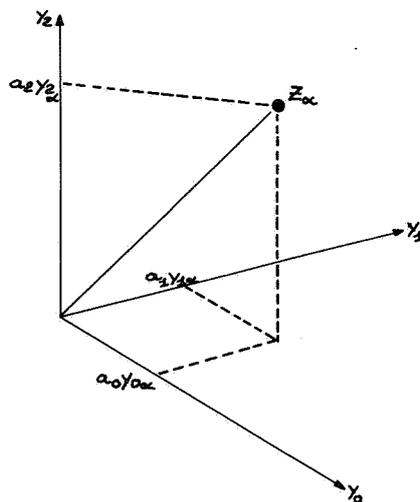
Les  $Y_i$  sont estimés tout d'abord aux points expérimentaux puis aux noeuds d'une grille régulière pour permettre une cartographie.

- La première vérification à faire est celle de la relation de cohérence :

$$Z^*(x) = a_0 Y_0^*(x) + a_1 Y_1^*(x) + a_2 Y_2^*(x), \text{ la constante } C = 0$$

- En chaque point expérimental, nous pouvons évaluer la contribution de chaque composante. Une façon d'opérer est de se placer dans le sens espace vectoriel engendré par  $Y_0, Y_1, Y_2$ , muni du produit scalaire  $\langle Z_\alpha, Z_\beta \rangle = \text{Cov}(Z_\alpha, Z_\beta)$ .

On calcule pour une valeur  $Z_\alpha$  le rapport entre sa projection sur l'un des axes et sa longueur, qui correspond au coefficient de corrélation entre les variables  $Z_\alpha$  et  $Y_{i\alpha}$  appelé  $\rho_i(\alpha) = \frac{a_i Y_i(\gamma\alpha)}{\sqrt{a_i^2 Y_i^2(\alpha)}}$



D'après les valeurs de  $\rho_i$ , le point  $Z_\alpha$  sera associé à l'une ou l'autre des  $Y_i$ .

Dans notre exemple géochimique, nous considérons les échantillons de teneurs élevées en Pb, Zn, Cu.

Pour chacun d'entre eux, l'étude des coefficients de corrélation  $\rho_i$  permet de le ranger parmi les échantillons correspondant au fond régional (composante continue) ou anormaux (effet de pépité).

Ainsi les échantillons anormaux seront ceux fortement corrélés à la composante pépitique.

- En dehors des points de données, on représente les composantes autres que l'effet de pépité par des cartes.

On observe ainsi pour chaque élément le filtrage de la composante régionale (équivalente aux basses fréquences) et de la composante locale (équivalente aux hautes fréquences).

Nous pouvons considérer que nous obtenons là une carte du fond régional géochimique et une autre des structures locales.

Les zones anomaliques sont confirmées par la présence dans leur voisinage de valeurs fortes particulièrement corrélées à l'effet de pépité comme nous l'avons vu plus haut.

### 3 - ETUDE DES RESULTATS

Pour chacune des variables Cu, Pb, Zn, nous donnons les résultats sous forme de cartes (Annexe 1). Ces cartes correspondent à des variables centrées de moyennes nulles, et montrent en pointillé les valeurs négatives et en trait plein les valeurs positives.

On dispose successivement de la cartographie de la variable anamorphosée, puis de celles des structures régionale et locale.

Ensuite, les tableaux montrent (Annexe 2) pour les échantillons contenant respectivement plus de 50ppm de cuivre, 100ppm de plomb ou 150ppm de zinc, leur décomposition entre les composantes pépitiques, locales et régionales ainsi que les coefficients de corrélation correspondants.

Parmi ces échantillons statistiquement anormaux nous retenons ceux qui sont fortement corrélés aux composantes pépitiques ou locales et très peu à la composante régionale. Reportés sur la carte des structures locales ils permettent d'isoler les zones d'anomalies monoélémentaires qui pourront servir de cible aux prospections ultérieures (Annexe III).

Beaucoup de remarques de type géologique peuvent être amenées par l'étude de ces résultats et la comparaison des différentes cartes avec la carte géologique et structurale, en particulier sur les relations entre structures régionales et ensembles lithologiques et la disposition des structures locales autour des accidents tectoniques, ou encore les ressemblances avec les cartes obtenues en géophysique (prospection magnétique).

Nous attendons pour les formaliser de disposer des commentaires des praticiens qui seront du plus grand intérêt.

Dès à présent, nous pouvons noter que nous sommes capables de différencier parmi les

échantillons à teneur élevée ceux qui sont anormaux de ceux plus liés aux composantes régionales et donc d'établir une hiérarchie entre les zones à retenir pour les prospections futures. Certaines zones a priori intéressantes se révèlent plus douteuses après analyse.

## E - CONCLUSION

Dans cette étude, on montre que l'analyse krigéante telle que nous l'avons définie peut répondre utilement aux besoins des géochimistes. Dans un exemple monovarié, les résultats obtenus à l'aide de cette technique correspondent bien à la question posée, de l'identification du fond régional et des anomalies, ce qui est encourageant.

L'étude d'autres jeux de données devrait permettre de préciser les possibilités de cette technique et de définir une véritable méthodologie de traitement géostatistique des données géochimiques.

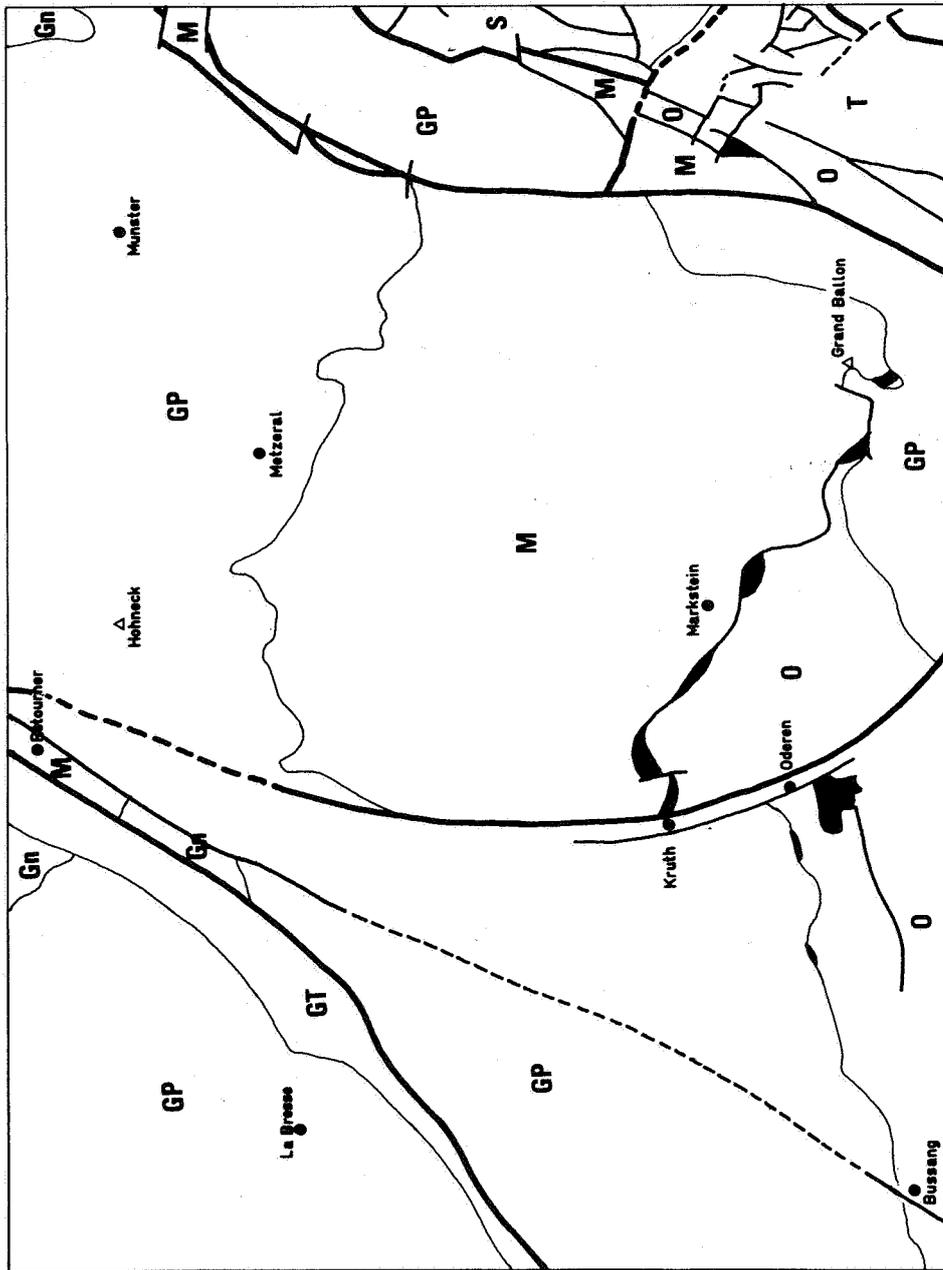
## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Pour une analyse krigéante des données régionalisées  
Note Interne CGMM N.732 - G.MATHERON - Janvier 1982
- 2 - Etude statistique et structurale de données géochimiques  
Note Interne CGMM N.747 - Mars 1982 - L.SANDJIVY -
- 3 - Cartographie des données géochimiques  
Note Interne CGMM N.768 - Août 1982 - L.SANDJIVY -
- 4 - Morphologie Mathématique et génèse des concrétions carbonatées des minerais de fer de Lorraine.  
(Sédimentology 10 pp.183-208 - 1968) - J.SERRA -

Les cartographies ont été réalisées à l'aide du logiciel ISOMAP - CARTOLAB. ( CGMM/CRPG-NANCY)

ANNEXE 0

Carte géologique et structurale simplifiée de la zone de prospection



LEGENDE : T,M,O : Séries viséennes de Thann, Markstein et Oderen  
 GP,GT : Granites hercyniens tardifs et précoces  
 Gn : Gneiss anté hercyniens

— Ligne des klippes  
 — Faille majeure  
 — Autre faille

## ANNEXE 1

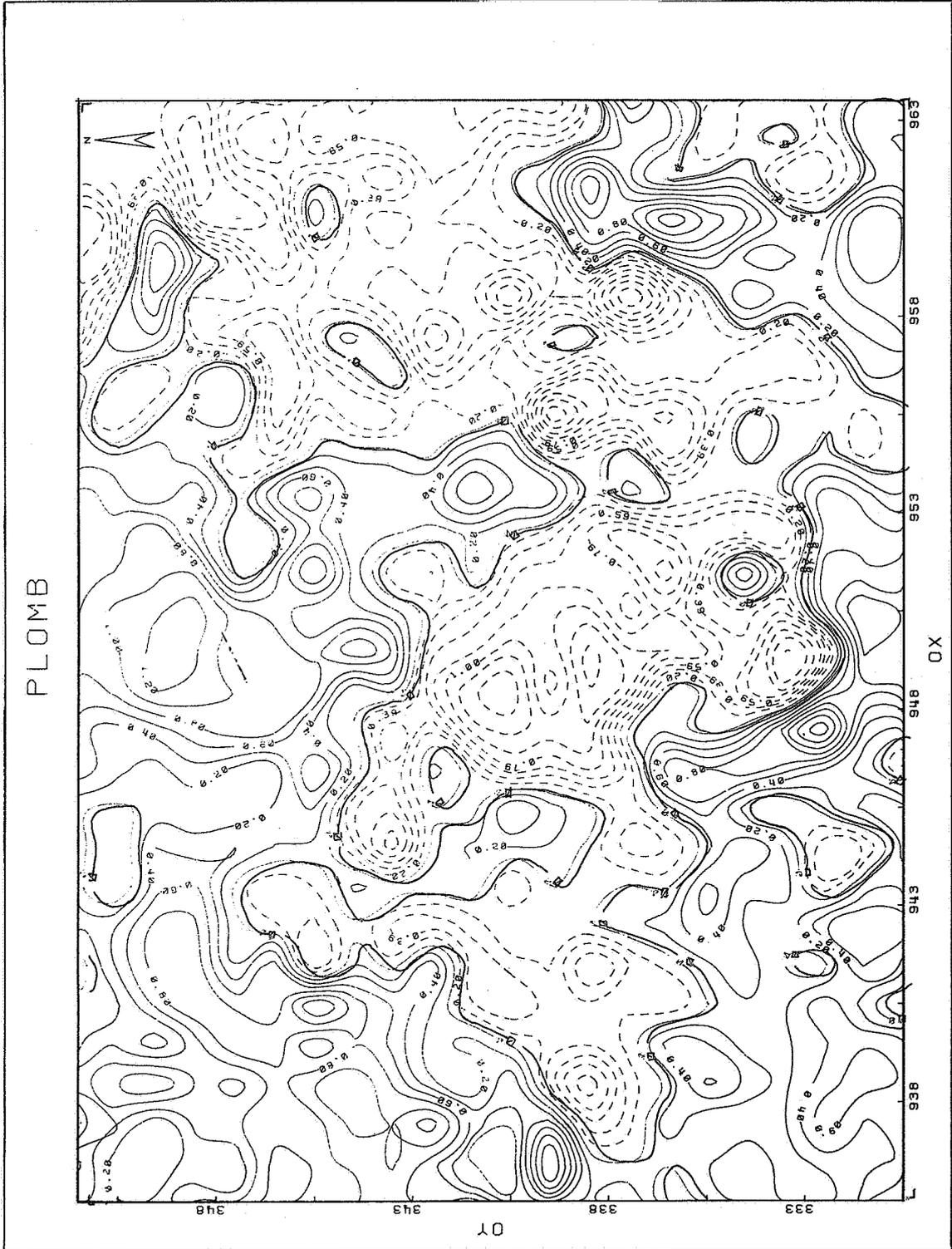
### Cartographies

Pour chacune des variables Cu, Pb, Zn, nous présentons :

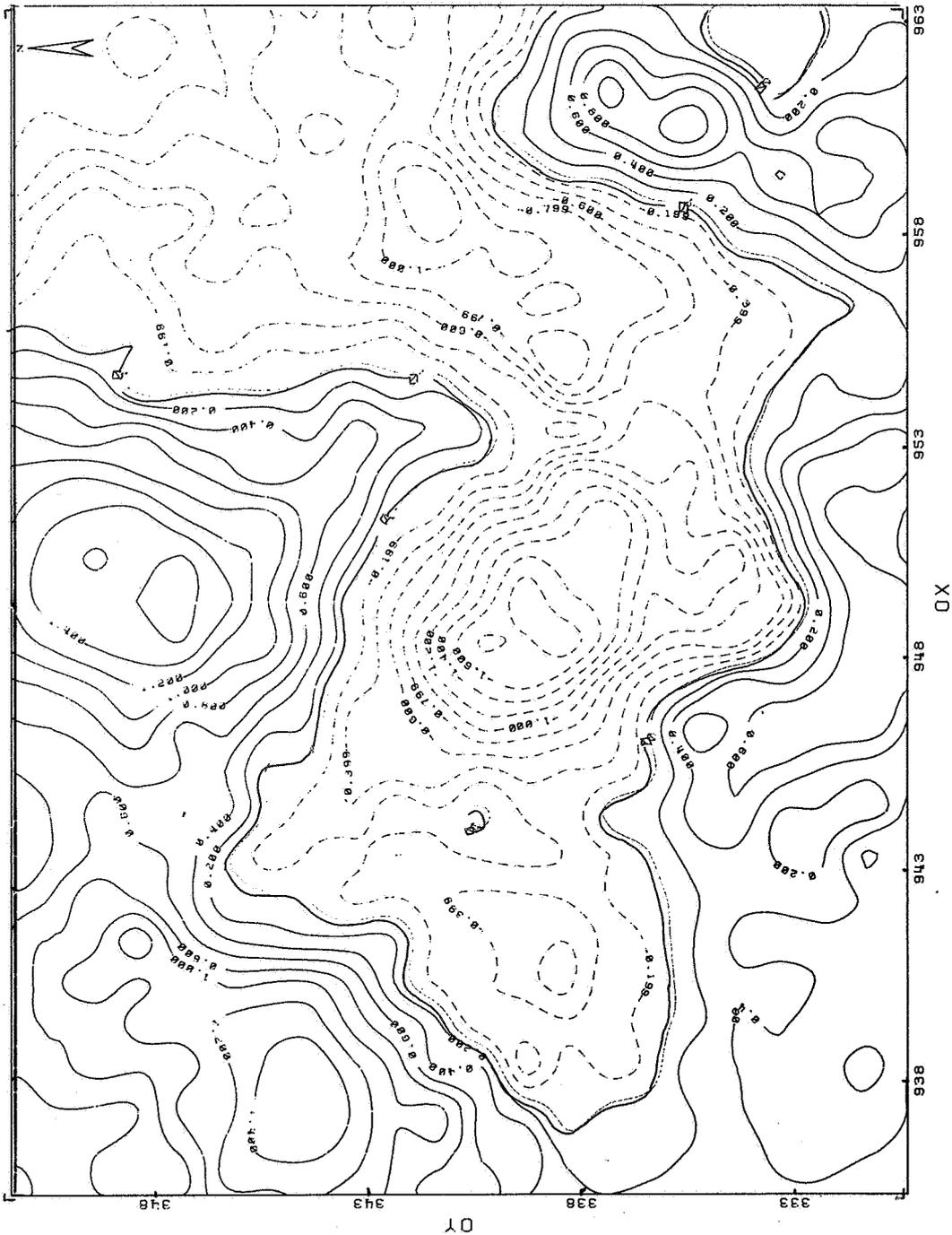
- La cartographie de la variable anamorphosée
- La cartographie de la composante régionale
- La cartographie de la composante locale

Ces variables étant centrées de moyennes nulles, les courbes en pointillés correspondent aux valeurs négatives et les courbes en trait plein aux valeurs positives ( le fait de cartographier la variable transformée par anamorphose au lieu de la variable brute permet d'améliorer l'appréciation visuelle de la répartition spatiale).

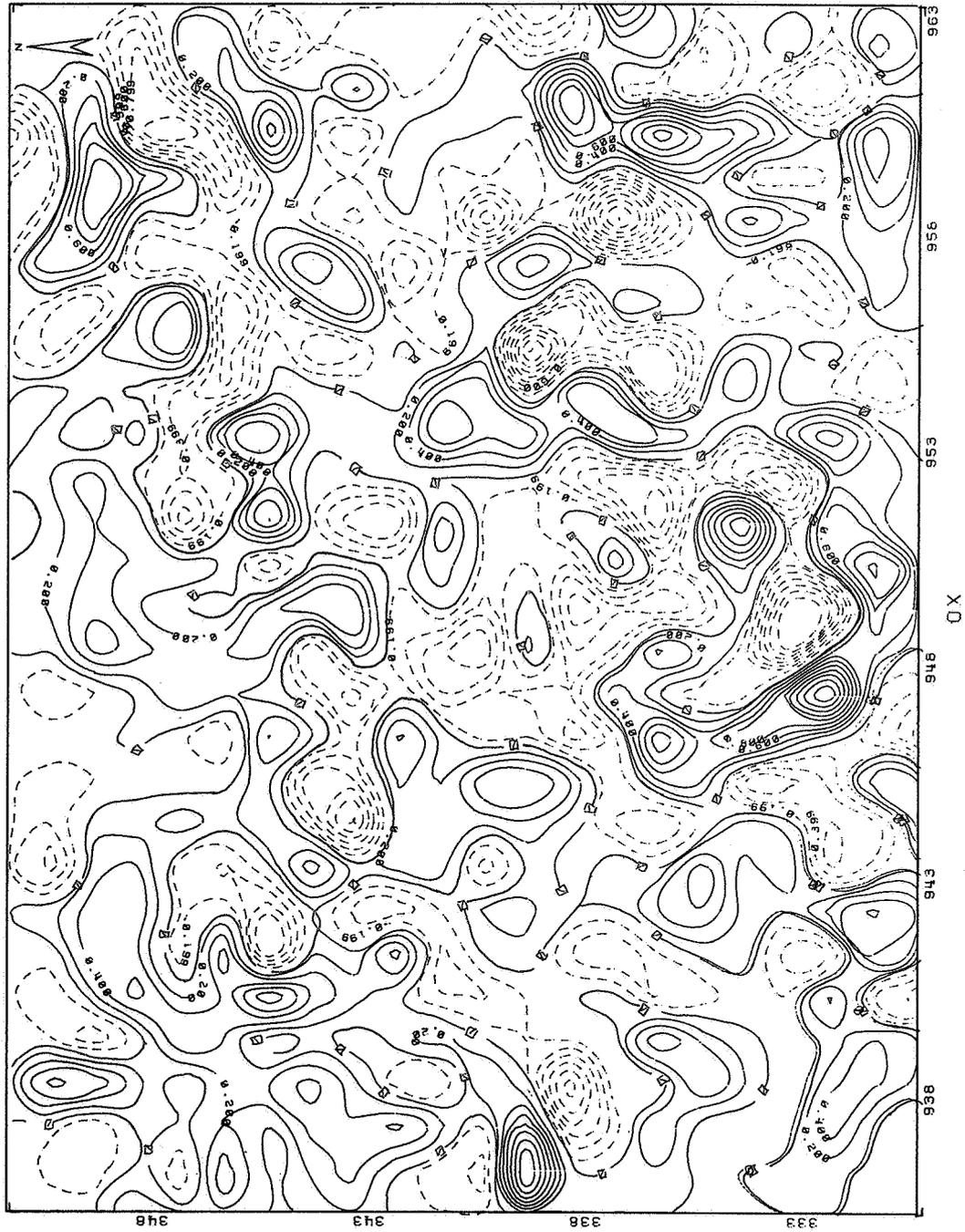
La comparaison de ces différentes cartes entre elles et avec la carte géologique montre l'effet du filtrage par analyse krigeante et les relations des diverses composantes avec les unités lithologiques et les éléments structuraux.



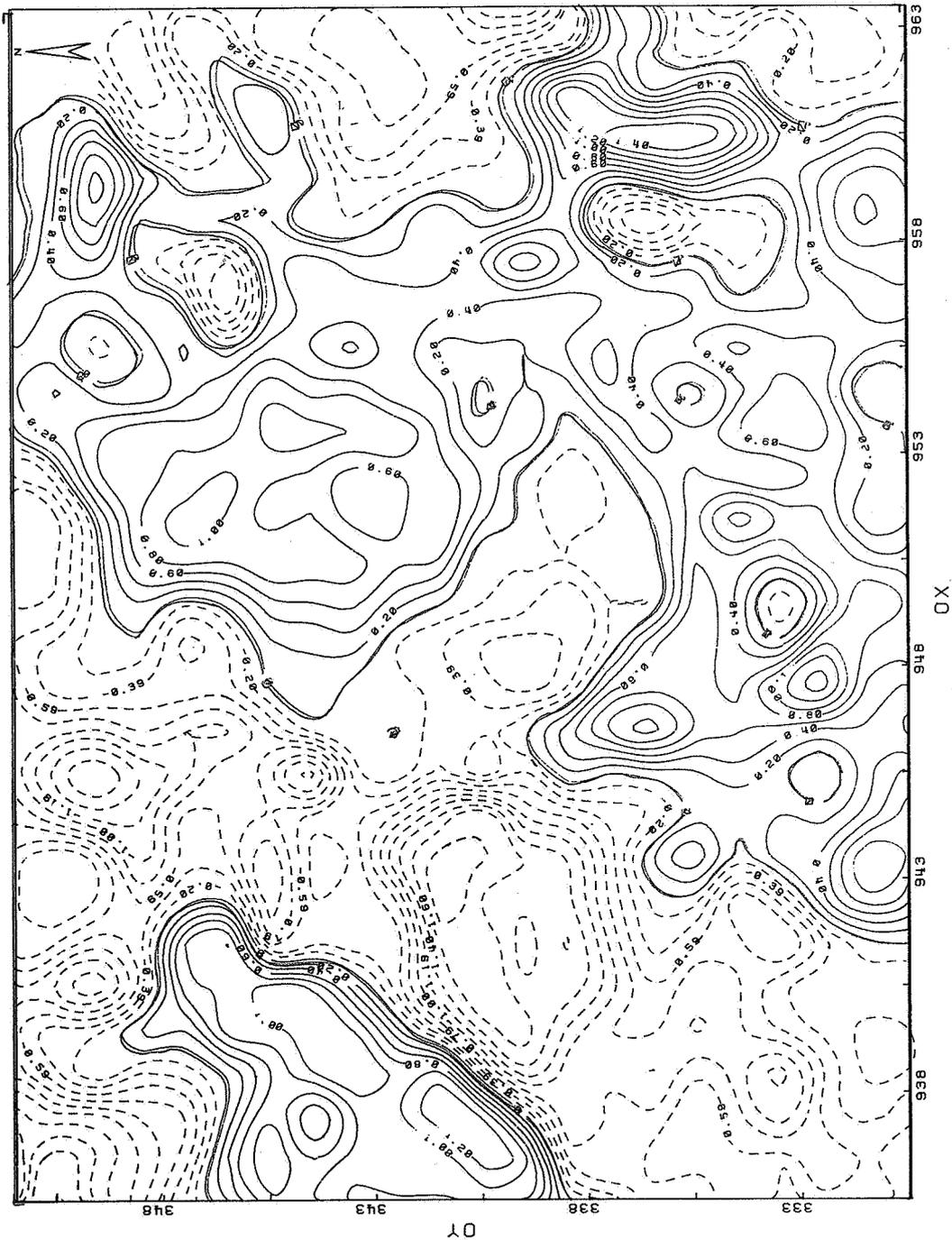
LEAD SPHERICAL A:10



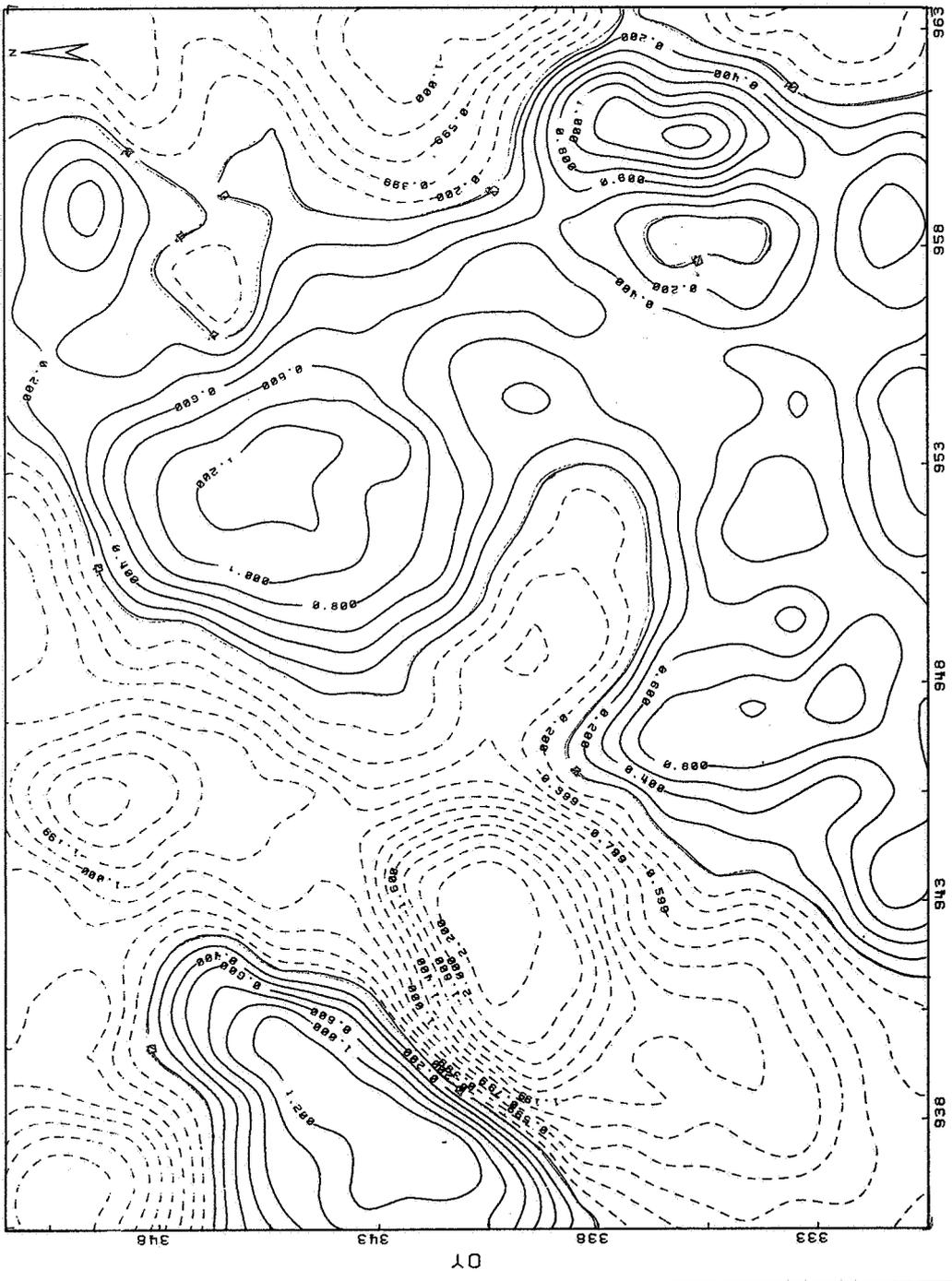
PLOMB SPHERIQUE A:1.5



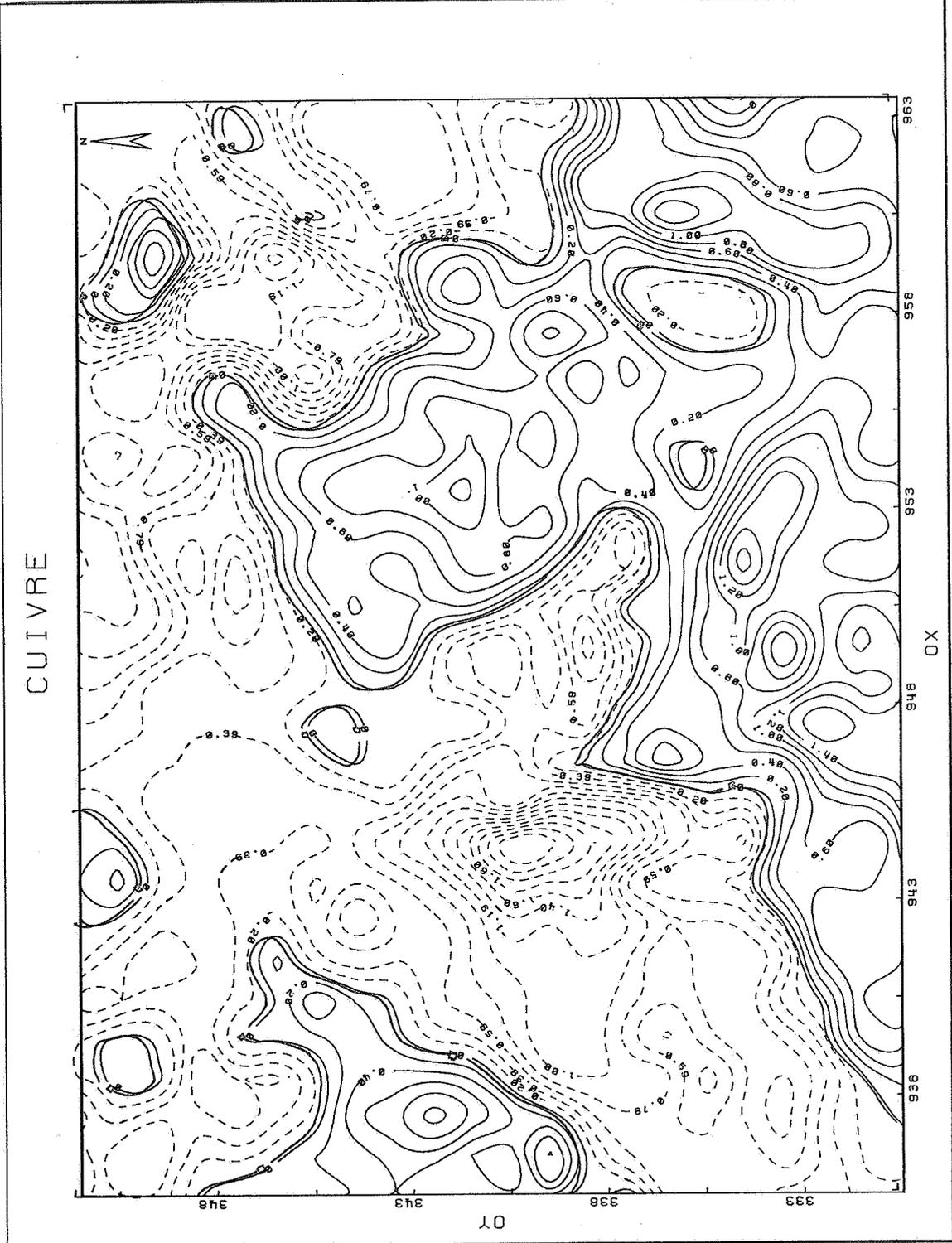
ZINC



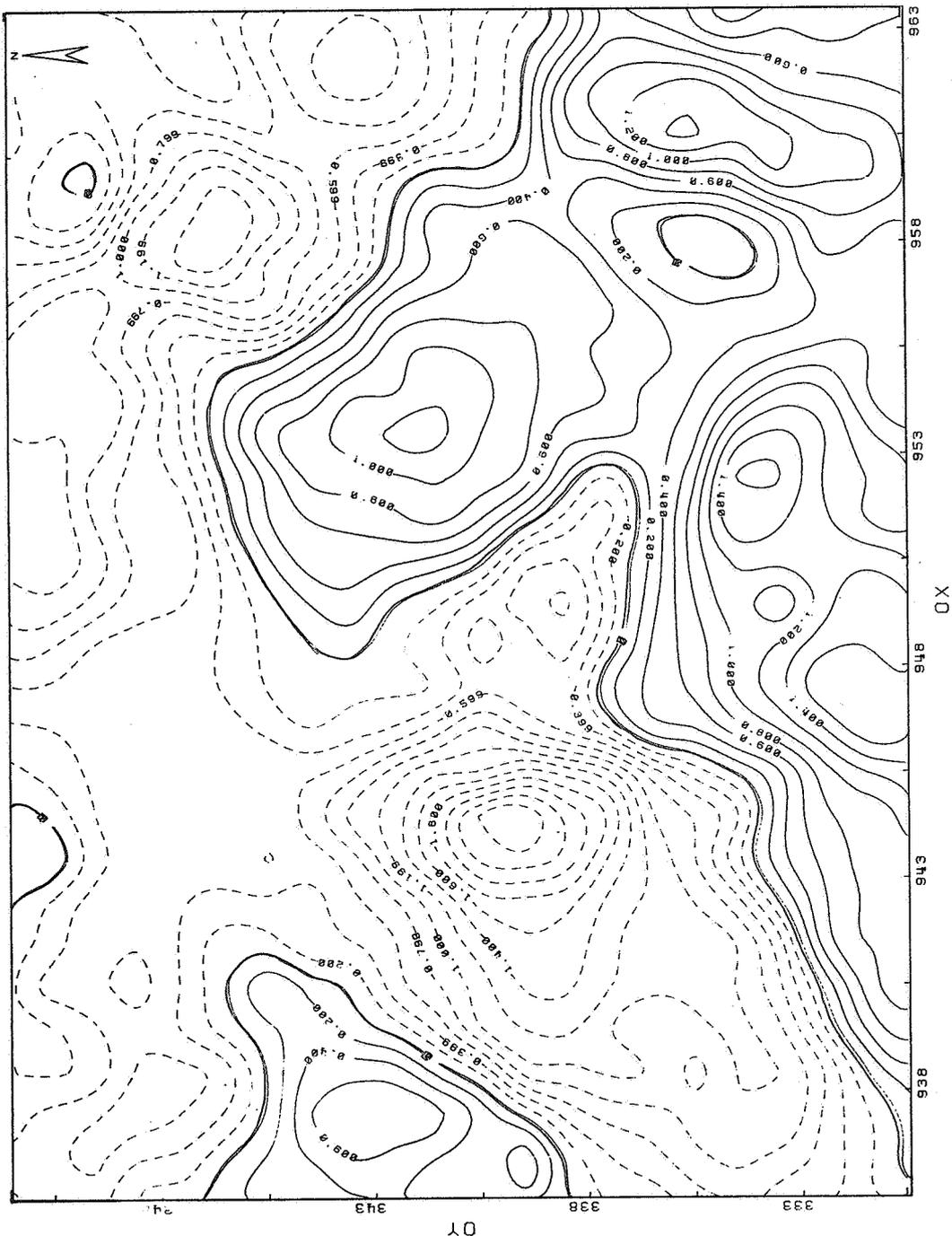
ZINC SPHERIQUE A: 7.5



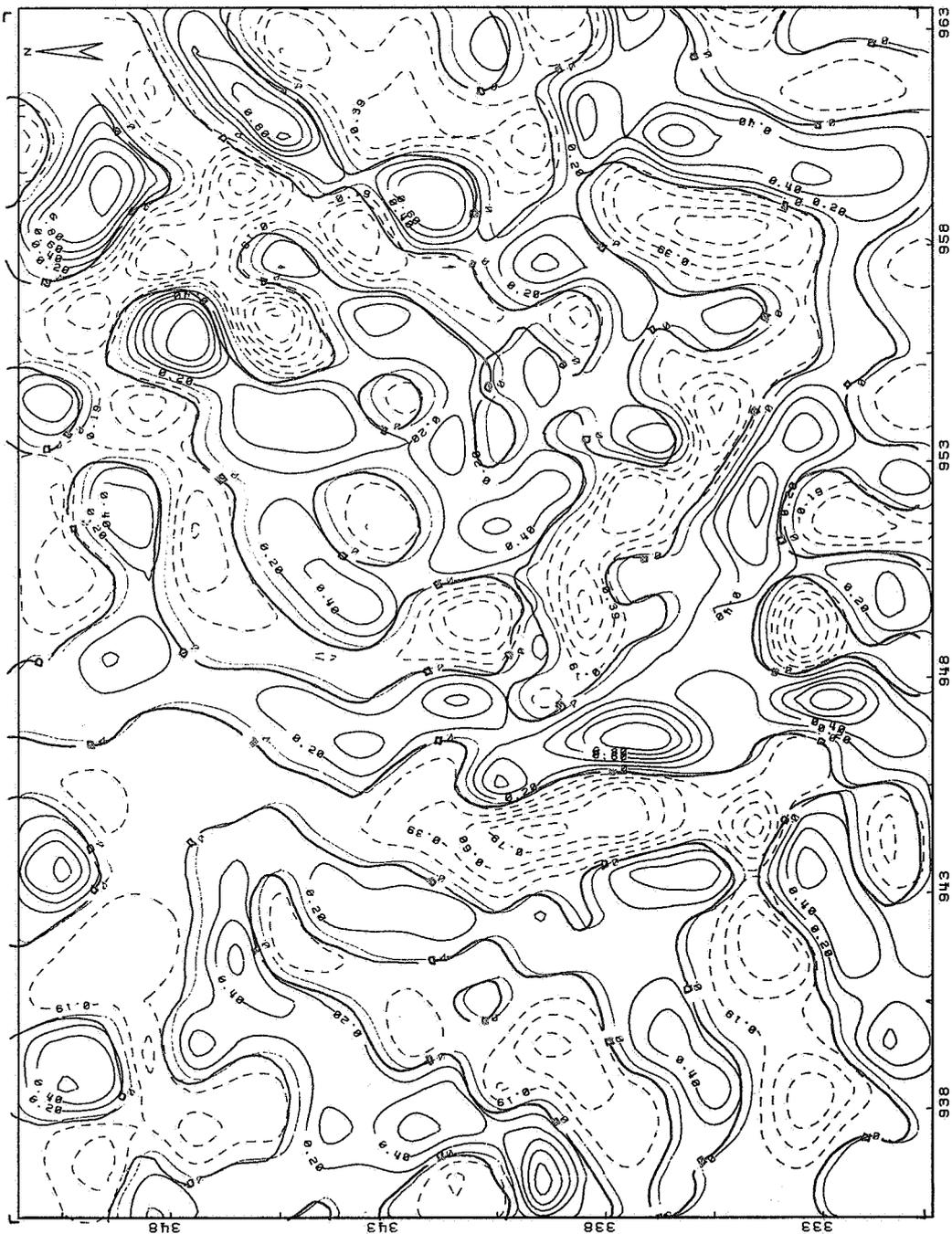




CUIVRE SPHERIQUE A:9.



CUIVRE SPHERIQUE A:2.



10

## ANNEXE 2

### Analyse krigéante des points expérimentaux

Les tableaux donnent la décomposition des valeurs expérimentales anamorphosées entre les composantes, pépitiqque locales et régionales ainsi que les coefficients de corrélation avec ces composantes.

Les valeurs qui y figurent sont les plus élevées pour chacun des éléments :

Cu > 50 ppm

Pb > 100 ppm

Zn > 150 ppm

NUM : Numéro de l'échantillon

PPM : Valeur brute en ppm

ANA : Valeurs anamorphosées

PEP : Estimation de la composante pépitiqque

SP1 : Estimation de la composante locale

SP2 : Estimation de la composante globale

R0 : corrélation ANA - PEP

R1 : corrélation ANA - SP1

R2 : corrélation ANA - SP2

Pour chacun des éléments on peut vérifier en chacun des points la relation de cohérence:

$$ANA = a_0 PEP + a_1 SP1 + a_2 SP2$$

$a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  étant les paliers des variogrammes ajustés ( voir fig.1)

VARIABLE PLOMB

\*\*\*\*\*

NUM	PPM	ANA	PEP	SP1	SP2	R0	R1	R2
21	131.0	1.822	0.768	0.891	1.641	0.423	0.556	0.716
27	107.0	1.629	0.514	0.935	1.488	0.308	0.636	0.708
74	111.0	1.659	0.840	0.947	1.121	0.516	0.660	0.546
127	138.0	1.878	1.911	0.944	0.244	0.868	0.487	0.088
163	144.0	1.909	1.274	0.719	1.435	0.673	0.431	0.601
169	103.0	1.592	0.808	0.536	1.607	0.497	0.374	0.783
201	220.0	2.338	1.789	1.250	0.940	0.745	0.590	0.311
235	153.0	1.942	1.620	0.709	1.083	0.809	0.402	0.429
237	119.0	1.701	0.993	0.741	1.314	0.596	0.504	0.625
251	224.0	2.379	1.451	1.357	1.302	0.617	0.654	0.439
264	109.0	1.649	1.692	1.156	-0.272	0.787	0.609	-0.100
301	1156.0	3.084	2.577	1.647	0.968	0.787	0.570	0.234
305	149.0	1.925	1.750	0.858	0.671	0.845	0.469	0.257
436	136.0	1.864	1.439	0.857	0.933	0.762	0.515	0.392
462	297.0	2.606	1.766	1.523	1.151	0.671	0.656	0.347
470	163.0	2.055	1.802	0.962	0.733	0.825	0.499	0.266
547	102.0	1.583	0.764	1.395	0.415	0.427	0.885	0.184
554	101.0	1.565	1.068	1.224	0.239	0.606	0.788	0.108
582	156.0	1.877	1.558	1.693	-0.172	0.629	0.775	-0.055
583	100.0	1.556	1.507	1.144	-0.219	0.755	0.650	-0.087
585	115.0	1.690	1.650	1.450	-0.552	0.696	0.694	-0.185
638	172.0	2.077	1.665	1.655	-0.040	0.664	0.748	-0.013
654	232.0	2.425	2.678	1.686	-0.503	0.821	0.558	-0.122
678	132.0	1.835	0.699	1.828	0.416	0.316	0.937	0.149
679	789.0	2.977	2.365	2.070	0.404	0.707	0.701	0.096
683	247.0	2.477	2.499	1.211	0.396	0.871	0.479	0.109
750	122.0	1.746	1.306	1.192	0.370	0.686	0.711	0.154
816	131.0	1.808	1.370	1.133	0.507	0.713	0.669	0.209
817	126.0	1.795	1.205	1.150	0.663	0.651	0.704	0.284
838	208.0	2.265	1.059	2.143	0.429	0.396	0.909	0.127
839	269.0	2.536	1.413	2.019	0.738	0.513	0.831	0.213
850	196.0	2.175	1.377	1.325	1.005	0.629	0.687	0.364
973	114.0	1.679	1.081	1.139	0.588	0.619	0.739	0.267
980	204.0	2.233	1.586	1.788	0.203	0.615	0.786	0.062
996	103.0	1.601	0.728	1.335	0.586	0.418	0.869	0.267
998	120.0	1.712	1.584	1.166	-0.016	0.768	0.641	-0.006
1001	125.0	1.770	0.644	1.430	0.916	0.341	0.858	0.384
1002	106.0	1.610	1.529	0.602	0.642	0.874	0.390	0.291
1042	112.0	1.669	1.025	1.440	0.206	0.530	0.844	0.085
1173	215.0	2.300	3.087	0.943	-0.339	0.942	0.326	-0.082
1177	126.0	1.783	1.117	1.356	0.452	0.577	0.795	0.185
1182	188.0	2.123	1.420	1.439	0.678	0.637	0.732	0.241
1184	140.0	1.894	1.314	1.413	0.360	0.628	0.766	0.136
1195	730.0	2.806	2.621	1.670	0.287	0.809	0.584	0.070
1200	160.0	2.015	2.155	0.950	0.219	0.892	0.446	0.072
1211	133.0	1.849	0.431	1.784	0.847	0.198	0.930	0.309
1212	198.0	2.203	1.065	1.804	0.774	0.446	0.857	0.257
1219	101.0	1.574	1.151	0.404	1.326	0.709	0.282	0.647
1222	193.0	2.148	1.611	1.593	0.271	0.663	0.743	0.088
1228	357.0	2.693	1.712	1.789	1.137	0.625	0.708	0.329
1275	107.0	1.619	1.807	0.681	0.200	0.917	0.391	0.080
1277	122.0	1.723	1.346	1.075	0.438	0.728	0.659	0.188
1285	122.0	1.734	0.658	1.434	0.817	0.352	0.870	0.346
1310	124.0	1.758	1.274	1.068	0.613	0.699	0.664	0.267
1314	173.0	2.899	1.688	1.265	0.537	0.748	0.636	0.189
1328	108.0	1.639	1.142	1.044	0.561	0.670	0.695	0.261
1337	161.0	2.034	1.747	1.790	-0.426	0.647	0.752	-0.125
1338	155.0	1.959	1.569	1.971	-0.622	0.566	0.805	-0.178
1348	159.0	1.895	1.089	1.473	0.773	0.522	0.801	0.294

VARIABLE ZINC

\*\*\*\*\*

NUM	PPM	ANA	PEP	SP1	SP2	R0	R1	R2
201	700.0	2.477	3.268	1.678	-0.308	0.928	0.360	-0.099
246	155.0	1.639	0.731	0.569	1.418	0.402	0.237	0.884
248	158.0	1.649	0.541	1.078	1.262	0.312	0.470	0.826
251	212.0	1.909	0.971	0.917	1.378	0.494	0.352	0.795
261	172.0	1.734	0.700	1.185	1.178	0.399	0.511	0.762
262	205.0	1.864	0.952	1.345	1.041	0.522	0.557	0.646
301	480.0	2.379	1.995	0.937	1.163	0.800	0.284	0.529
305	380.0	2.338	2.257	1.096	0.764	0.883	0.324	0.339
346	1300.0	2.977	2.829	0.996	1.288	0.866	0.230	0.444
452	171.0	1.723	1.146	0.873	0.976	0.664	0.383	0.642
471	154.0	1.629	1.180	0.558	1.016	0.693	0.248	0.677
508	164.0	1.659	1.049	0.713	1.072	0.619	0.318	0.718
553	166.0	1.669	0.886	0.596	1.318	0.496	0.252	0.831
582	238.0	2.015	2.156	1.081	0.381	0.919	0.348	0.184
589	206.0	1.894	1.630	1.057	0.681	0.826	0.405	0.391
601	170.0	1.712	1.853	1.088	0.192	0.909	0.403	0.107
638	196.0	1.822	1.599	0.946	0.675	0.836	0.374	0.400
654	319.0	2.203	2.084	1.191	0.652	0.873	0.377	0.310
655	183.0	1.770	1.957	1.078	0.194	0.918	0.382	0.103
679	700.0	2.536	2.498	1.280	0.724	0.892	0.345	0.293
763	271.0	2.877	2.366	1.720	-0.138	0.875	0.481	-0.058
818	182.0	1.758	1.209	1.070	0.841	0.695	0.465	0.548
838	331.0	2.233	1.178	1.653	1.188	0.540	0.573	0.617
839	372.0	2.300	1.433	1.411	1.225	0.633	0.471	0.614
848	168.0	1.690	1.206	0.680	0.986	0.696	0.301	0.652
850	255.0	2.055	1.733	0.814	0.993	0.804	0.285	0.522
875	196.0	1.808	1.926	0.242	0.836	0.894	0.085	0.440
980	1126.0	2.693	2.476	1.067	1.119	0.855	0.278	0.438
998	192.0	1.795	1.078	1.123	0.977	0.611	0.481	0.628
1001	302.0	2.175	1.362	1.219	1.228	0.632	0.428	0.646
1097	232.0	1.977	2.407	0.701	0.357	0.964	0.212	0.162
1080	227.0	1.959	1.731	0.812	0.853	0.834	0.296	0.466
1099	223.0	1.942	1.763	0.771	0.826	0.848	0.280	0.450
1139	293.0	2.148	2.056	0.980	0.736	0.879	0.317	0.357
1173	219.0	1.925	2.129	0.618	0.581	0.935	0.205	0.289
1177	166.0	1.679	0.814	1.094	1.056	0.488	0.496	0.718
1179	205.0	1.849	0.924	1.066	1.231	0.497	0.434	0.751
1182	271.0	2.099	1.414	1.418	0.938	0.683	0.518	0.514
1184	343.0	2.265	2.262	1.245	0.552	0.895	0.372	0.247
1195	2500.0	3.084	3.920	1.152	0.372	0.971	0.216	0.184
1204	253.0	2.034	0.694	1.628	1.335	0.335	0.594	0.731
1205	191.0	1.783	0.849	1.364	1.000	0.485	0.589	0.647
1212	855.0	2.425	1.376	1.445	1.438	0.574	0.456	0.680
1219	278.0	2.123	1.376	0.554	1.582	0.598	0.182	0.788
1222	770.0	2.806	2.086	1.384	1.123	0.785	0.394	0.479
1228	1250.0	2.806	1.795	1.531	1.579	0.644	0.415	0.642
1238	232.0	1.995	1.565	0.931	0.974	0.767	0.345	0.541
1277	203.0	1.835	1.330	1.005	0.893	0.724	0.414	0.551
1296	206.0	1.878	1.588	0.734	0.910	0.805	0.281	0.523
1310	179.0	1.746	1.681	0.658	0.682	0.877	0.260	0.404
1338	168.0	1.701	1.266	0.788	0.947	0.726	0.307	0.616

VARIABLE CUIVRE

\*\*\*\*\*

NUM	PPM	ANA	PEP	SP1	SP2	R0	R1	R2
169	61.0	1.942	2.228	0.596	0.633	0.914	0.173	0.367
201	122.0	2.536	3.317	1.586	0.136	0.946	0.320	0.055
235	55.0	1.849	1.807	0.636	0.792	0.832	0.207	0.515
264	63.0	1.959	3.211	0.908	-0.195	0.977	0.195	-0.084
301	74.0	2.123	2.695	0.920	0.376	0.955	0.230	0.188
318	60.0	1.909	2.343	1.172	0.222	0.935	0.331	0.126
582	117.0	2.477	3.315	1.928	-0.110	0.924	0.380	-0.043
654	70.0	2.077	2.634	1.297	0.171	0.941	0.328	0.086
679	107.0	2.425	2.723	1.418	0.497	0.912	0.336	0.235
683	82.0	2.203	3.472	0.554	0.112	0.993	0.112	0.045
750	56.0	1.864	3.510	0.990	-0.571	0.957	0.191	-0.220
793	89.0	2.300	2.776	0.894	0.559	0.939	0.214	0.268
814	67.0	2.015	1.948	0.584	0.931	0.816	0.173	0.552
834	52.0	1.835	0.723	0.539	1.589	0.302	0.159	0.940
838	82.0	2.233	0.885	1.202	1.656	0.335	0.321	0.886
839	86.0	2.265	0.829	0.956	1.860	0.292	0.238	0.926
841	51.0	1.822	0.445	0.656	1.709	0.178	0.186	0.966
850	329.0	2.977	2.347	1.067	1.651	0.691	0.222	0.688
852	184.0	2.806	2.641	0.635	1.438	0.785	0.133	0.605
857	51.0	1.795	1.120	0.703	1.175	0.542	0.241	0.805
925	60.0	1.925	3.923	1.269	-0.923	0.927	0.212	-0.308
980	67.0	2.034	2.778	0.772	0.276	0.972	0.191	0.137
987	71.0	2.099	1.878	1.186	0.789	0.803	0.358	0.477
1001	51.0	1.808	0.530	0.858	1.531	0.229	0.263	0.937
1002	50.0	1.783	0.496	0.564	1.669	0.203	0.163	0.966
1177	105.0	2.979	2.405	1.049	0.847	0.863	0.266	0.430
1182	74.0	2.148	1.871	1.013	0.944	0.777	0.298	0.555
1195	651.0	3.084	3.513	1.119	0.937	0.916	0.206	0.345
1212	63.0	1.977	1.184	1.007	1.212	0.538	0.323	0.778
1228	161.0	2.693	2.121	1.093	1.430	0.700	0.255	0.667
1256	56.0	1.878	1.012	0.862	1.279	0.468	0.282	0.837
1293	95.0	2.338	1.309	1.201	1.482	0.499	0.324	0.804
1296	67.0	2.055	1.396	0.767	1.283	0.593	0.231	0.771
1325	133.0	2.606	1.425	1.421	1.647	0.490	0.345	0.801
1334	63.0	1.995	0.872	0.683	1.547	0.398	0.198	0.896
1337	82.0	2.175	1.125	0.904	1.560	0.440	0.250	0.863
1338	59.0	1.894	0.922	0.886	1.348	0.417	0.283	0.863

### ANNEXE 3

#### Cartes d'anomalies.

L'étude des tableaux de l'Annexe 2 permet de caractériser le caractère anormalique, local ou régional d'un échantillon d'après les valeurs des coefficients de corrélation correspondants.

Pour chacun des échantillons a priori anormaux (valeur brute élevée) nous figurons ce caractère par un symbole différent :

- Corrélation forte avec la composante pépitiique. Anomalie
- Corrélation forte avec la composante régionale . Fond
- ◐ Corrélation forte avec la composante locale : Local.
- ⊕ Indétermination

La valeur brute en ppm est reportée à côté du symbole.

On distingue les zones franchement anormaliques de celles plus douteuses qui seraient plutôt liées au fond géochimique.





ANOMALIES CUIVRE

