

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

10/95

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT Génie Minier

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Contribution à l'étude
géostatistique du
gisement aurifere
d'Amesmessa (zones 8, 9)

Proposé par :

M. Salhi

Etudié par :

Zaim Adel

Dirigé par :

M. Salhi

M. Benchouk

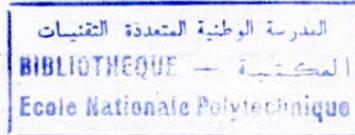
PROMOTION

94/95

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

Ecole Nationale Polytechniques d'Alger



Departement de Génie Minier

Sujet:

Contribution à l'étude géostatistique du gisement
aurifère d'Amesmessa (zone 8 et 9)

Proposé par:
M. Salhi

Etudié par:
ZAIM Adel

Dirigé par
M. Salhi
M. Benchouk

Année universitaire : 1994/ 1995

Remerciements

Tout au long de ma graduation, j'ai eu le loisir de connaître des gens très intéressants auxquels je tiens à exprimer mes vifs remerciements pour leurs aides et soutient. Je voudrai dédié ce modeste travail à mon cher oncle Mohamed El Hadi et sa famille que je remercie du fond du coeur de m'avoir, à plusieurs reprises, montrer la voie à suivre, qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus chaleureux.

Je tiens à remercier toute ma famille qui a apporté son aide ainsi que son soutient moral est matériel.

Je tiens à remercier du fond du coeur mes promoteurs pour leurs aides précieuses.

Je remercie du fond du coeur Monsieur M. BENCHOUK qui m'a initié au monde merveilleux de la géostatistique. Tout au long de mon travail, il s'est montré très disponible et serviable malgré ces multiples tâches.

Je tiens également à remercier Monsieur Djamel Mériem pour son aide précieuse.

Enfin, je voudrai remercier l'ensemble des enseignants du Département de Génie Minier ainsi que l'ENOR qui a mis la documentation adéquate à notre disposition.

Références Bibliographiques

- BENCHOUK M, 1994 : Analyse factorielle krigéante de données de prospection géochimique multi-élémentaire
Thèse de Magistère
- BERNUY & JOURNEL, 1977: Simulation d'une reconnaissance séquentielle
Revue de l'industrie minérale
- CHILES J.P & MATHERON G, 1975 :
Interpolation optimale et cartographie
Annales des mines
- DAVIS J, 1986 : Statistics and data analysis in geology
2 nd Edition: John Wiley and Sons
N Y United States
- DERAISME J, 1977: Modélisation de gisement et choix d'une methode d'exploitation
Revue de l'industrie minérale
- HOULDING S.W, 1988: Computer modeling of geology and mine geometry
Engineering and mining journal (August)
- ISSAKS E H & SRIVASTAVA R M, 1988 :
Applied geostatistics
Oxford universty press
N Y - Oxford USA
- JEKHOWSKY B, 1977: Element de statistiques à l'usage des géologues
Edition Mir
- JOURNEL A.G, 1975: Guide de geostatistique minière
Centre de géostatistique
Ecole des Mines de Paris .
- JOURNEL A.G & HUIJBREGHTS CH J, 1978
: Mining geostatistics
Academic press , Inc London, G B Us edition
published by Academic Press , Inc Orlando, Florida
(1978)
- JAQUE-LEFEVRE, 1983 : Introduction aux analyses statistiques multivariables
Edition Eyrolles

- HAUGH G.R, FINN D, BRYAN R.C, 1989:
Geostatistical grade control at the
Candelaria mine
Engineering and Mining Journal
(September)
- MARBEAU J.P, 1988: The importance of modeling
Engineering and Mining Journal (November)
- MARECHAL A, 1975: Géostatistique et applications
minière
Annales des Mines (1975)
- MARECHAL A et ROULLIER J.P, 1970:
Etude géostatistique des gisements de
bauxites français
Revue de l'Industrie Minérale (1970)
- MEYER D.E, 1989: On variogram estimation
Departement of Mathematics
University of Arizona - 85721 USA
- MURRAY & SPIEGEL R, 1981: Probabilité et Statistiques
Edition Mac Graw Hill
- REBOLLO- ALCANTARA J.L, 1977:
Etude de l'exploitation du gisement de Fuentes
Rosas à l'aide de la simulation non
conditionnelle des blocs
Revue de l'Industrie Minérale (Octobre 1977)
- ROUTHIER P, 1963: Les gisements métallifères
Géologie et principes
Edition Masson
- SMIRNOV V, 1988: Géologie des minéraux utiles
Edition Mir
- STRIVASTAVA R.M, 1988: Minimum variance or maximum
profitability
Departement of Earth Sciences
Stanford University
Stanford, California
- Documents de l'ENOR

Sommaire

Introduction à la géostatistique.....	5
Géologie du gisement.....	23
Travaux réalisés.....	45
Statistique des données.....	64
Analyse structurale.....	84
Krigeage de blocs.....	111
Calcul de réserves.....	125
Courbe tonnage-teneur.....	142
Classification des réserves.....	153
Conclusion finale.....	160

Résumé

Le gisement aurifère d'Amesmessa (zones 8 et 9) a fait l'objet d'une étude géostatistique complète. Cette dernière a pris en considération la teneur d'écrêtage¹ de 100 g/ t Au. Les épaisseurs ont été corrigés en considérant le pendage du corps minéralisé ainsi que l'inclinaison du sondage. Les corrections effectuées par SIDAM sont adoptées.

Le gisement aurifère d'Amesmesssa a été reconnu par de nombreux travaux miniers (sondages, recoups, tranchées, puits de reconnaissance ainsi qu'un travers-banc).

L'analyse structurale montre que la direction de continuité maximale est celle de la faille d'In Ouzzal. C'est à dire selon la direction Nord-Sud . Elle révèle aussi un enrichissement des teneurs en profondeurs. De ce fait, le gisement aurifère d'Amesmesssa présente un grand potentiel économique en profondeur.

L'étude géostatistique a montré que la teneur moyenne est de 8.12 g /t (contre 9.71 g/t d'après SIDAM, 1993). L'épaisseur moyenne est de 1.3 mètre (contre 1.57 m d'après SIDAM). La surface totale reconnue est de 629 208 m² (contre 627 208 m², soit une différence de 2000 m²). Les réserves géologiques sont alors 2 290 317 tonnes (contre 2 749 720 tonnes d'après SIDAM, 1993). Les réserves géologiques se divisent en trois catégories. La première, certaine, a un tonnage de 1 219 411 tonnes. La seconde, probable, a un tonnage de 138 910.3 tonnes. La troisième, estimée, a un tonnage de 931 996 tonnes.

¹Déduite du diagramme gaussien-logarithmique, la géostatistique montre que cette teneur est de 110 g/t Au. Ainsi, la teneur la plus faible a été pris en considération.

Chapitre I
Rappel de géostatistique monovariante
(notions de base)

Sommaire

1-Introduction.....	7
2-Language de la géostatistique.....	7
2-1-La variable régionalisée.....	7
2-2-La théorie de la variable régionalisée.....	8
2-3-Les hypothèses constitutives.....	9
2-4-Le variogramme.....	11
2-4-1-Le variogramme comme outil structural..	12
2-4-1-1-Les structures gigognes.....	12
2-4-1-2-La stationnarité.....	12
2-4-1-3-L'etude des anisotropies.....	14
2-4-2-Ajustement de modèle.....	14
2-4-2-1-Les modèles de variogrammes.....	14
2-4-2-2-L'effet de pépite.....	18
2-5 La variance d'extension.....	18
2-6 La variance de dispersion.....	18
2-7-Influence de la régularisation.....	19
3-Les étapes de l'approche géostatistique.....	21
3-1-Analyse des données.....	21
3-2-Analyse statistique.....	22
3-3-Analyse géologique.....	22
3-4-Analyse structurale.....	22
3-5-Estimation locale.....	22
3-6-Estimation globale.....	22
3-7-Etablissement de la courbe tonnage-teneur.....	22

1-Introduction

La géostatistique est l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et l'estimation des phénomènes naturels (G.MATHERON 1962). Ces derniers peuvent être la teneur, la puissance, l'accumulation métal, le niveau piézométrique, la résistivité électrique d'un sol, etc. .

La géostatistique minière et plus particulièrement l'analyse du semi-variogramme, peut être utilisée pour déterminer les paramètres suivant:

- * La maille optimale d'échantillonnage
- * La meilleure implantation des échantillons
- * La zone d'influence de chaque échantillon.
Celle-ci peut être circulaire ou elliptique (à 2D)
- * La nature de la minéralisation
- * Le calcul des teneurs, puissance, etc..

L'application de la géostatistique permet d'avoir les avantages suivant:

- * L'annulation des méthodes arbitraires de pondérations tel que l'inverse des carrés des distances.
- * L'application d'un estimateur sans biais et de variance minimale.
- * La quantification des erreurs commises sur les estimations
- * La prise en considération de la notion du support de l'information.

Actuellement, la géostatistique est largement utilisée dans les diverses sciences de la terre, mais c'est dans l'industrie minière qu'elle trouve le plus large champ d'application du moment où elle intervient à tout les stades.

2-Language de la géostatistique

La géostatistique utilise des termes qui lui sont propres tels que variable régionalisée, hypothèses de stationnarité, semi-variogramme ou simplement variogramme. Ce dernier est son outil de base.

2-1-La variable régionalisée

La variable régionalisée est une variable distribuée dans un espace (Journel et Huijbregts, 1978). Mathématiquement, elle

est une fonction $f(x)$ qui prend une valeur à chaque point de l'espace (Benchouk, 1993).

Une variable régionalisée (V.A) est une famille de valeurs numériques possible à chacune desquelles correspond une probabilité.

La variable régionalisée se caractérise par son côté aléatoire et son côté structuré. En effet, le caractère aléatoire est lié à la nature même de la régionalisation. Cet aspect n'est pas pris en considération par les méthodes classiques. Les valeurs du phénomène naturel ne sont pas tout à fait indépendantes les unes des autres. On dit alors qu'il y a une corrélation spatiale entre les valeurs du phénomène.

En somme, la variable régionalisée se caractérise par son aspect structuré et son aspect aléatoire. Cette nature particulière de la variable régionalisée impose un formalisme qui prenne en compte simultanément ces deux aspects antagonistes.

Ce formalisme ne doit pas être purement fonctionnel ni fondé sur la théorie des variables aléatoires indépendantes.

Une variable régionalisée se caractérise également par son support qui le plus souvent est un volume cylindrique. Son impact sur la régionalisation² est importante car en pratique on ne dispose jamais des valeurs ponctuelles, mais *régularisées* sur un certain support.

2-2-La théorie de la variable régionalisée

La première publication concernant la variable régionalisée a été publiée par Matern(1960) qui a étudié la croissance des arbres pour le compte de la Commission Forestière Suédoise en 1948.

Les statistiques classiques considèrent seulement la régionalisation sans pour autant la rattacher à sa position dans l'espace. Elles ignorent de ce fait le côté régionalisé de la variable régionalisée. La géostatistique prend en considération non seulement la valeur du phénomène, elle la rattache à son environnement, donc à sa position spatiale. La théorie de la variable régionalisée est largement détaillée dans les ouvrages de bases tels que *Mining Géostatistics*, rappelons les hypothèses et outils de bases.

²c'est à dire le phénomène représenté par la VR

2-3-Les hypothèses constitutives

A l'échelle régionale, une variable régionalisée manifeste son aspect aléatoire. Une valeur numérique est considérée comme la réalisation $z(x)$ d'une fonction aléatoire $Z(x)$. Cette dernière est donc inconnue sauf pour les points de d'échantillonnage. La géostatistique considère que les données disponibles au points x de l'espace ne sont que des réalisations d'une fonction aléatoire.

L'inférence statistique de cette fonction impose certaines hypothèses relatives à l'homogénéité spatiale de la variable régionalisée. Ces dernières sont dites *hypothèse de stationnarité*.

Afin de prendre en considération l'aspect régionalisée de la VR, la fonction aléatoire $Z(x)$ doit être également stationnaire. C'est à dire qu'à l'échelle locale, les réalisations de cette fonction aléatoire ne sont pas indépendantes les unes des autres. On dit alors que la fonction aléatoire $Z(x)$ est homogène dans l'espace. Cette hypothèse permet donc l'inférence statistique de certains éléments tel que les moments du premier et du second ordre.

Les hypothèse de stationnarité

a- stationnarité stricte

Une FA est dite stationnaire au sens strict quand sa loi spatiale est invariante par translation (M.BENCHOUK, 1994) La stationnarité stricte est une hypothèse forte, rarement vérifiée en pratique.

b-stationnarité d'ordre' 2

Une FA $Z(x)$ est dite stationnaire d'ordre 2 si ses deux premiers moments sont invariants par translation sur l'espace de définition (Journel , 1975). Ceci permet de définir les moments suivant qui sont respectivement, l'espérance, la covariance et le variogramme

$$\begin{aligned} E\{Z(x)\} &= m \\ E\{Z(x+h) Z(x)\} - m^2 &= C(h) = C(-h) \\ E\{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \} &= 2\gamma(h) \end{aligned}$$

Remarque

Pour $h=0$, chaque réalisation de la FA est comparée

avec elle même. Ce qui revient à calculer la variance.

Cette dernière expression définit le semi-variogramme. L'existence de la covariance entraîne celle du variogramme, mais l'inverse est faux. Ceci est la première différence fondamentale existante entre ces deux moments. C'est également pour cette raison que le variogramme est toujours préféré à la covariance.

Aux grandes distances, le variogramme se stabilise autour d'un palier qui n'est rien d'autre que la variance a priori. En effet on a la relation suivante liant le variogramme, la covariance et la variance.

$$\gamma(h) = C(0) - C(h)$$

Pour une distance h tel que la covariance est nulle, on aura donc un variogramme égal à la variance a priori. Cette distance h définit la portée du variogramme. Concrètement, elle délimite la zone pour laquelle la VR manifeste son aspect structuré. Signalons le fait que la covariance diminue au fur et à mesure que h augmente. Cette caractéristique exprime le fait que la FA est *fortement mélangante* (Journel, 1975).

Cette hypothèse permet l'inférence statistique, c'est à dire la possibilité d'estimer l'espérance et le variogramme à partir des données expérimentales.

En pratique, cette hypothèse de stationnarité d'ordre 2 est toujours admise a priori est justifiée à posteriori.

c- quasi-stationnarité

La pratique minière impose une stationnarité locale où le variogramme stationnaire ne se déforme que lentement dans l'espace.

Une FA est dite quasi-stationnaire si son espérance et sa covariance ou son variogramme sont réguliers à des distances fixées et lentement variables dans l'espace (Journel, 1975)

Cette hypothèse a surtout un sens pratique. En effet très souvent on aura à estimer des blocs par krigeage nécessitant une zone d'influence restreinte.

L'hypothèse de quasi-stationnarité est un compromis entre l'échelle d'homogénéité du phénomène et du nombre de données disponible (M.BENCHOUK , 1994).

2-4- Le variogramme

Le variogramme est l'outil de base de la géostatistique. Il est égale à l'écart quadratique moyen entre deux valeurs numérique de la régionalisation situé aux points x et $x+h$ (A.Maréchal 1975).

Il peut également être interpréter comme étant la variance de l'erreur commise en estimant une valeur numérique au point $x+h$ à l'aide d'une autre valeur située au point x .

Il caractérise également de par son comportement mathématique certains trait structuraux de la variable régionalisée. Pour les courtes distances, il traduit le degrés de régularité de la variable régionalisée.

Mathématiquement, le variogramme de la fonction aléatoire s'exprime par la variance de la différence des valeurs numérique de la variable régionalisée en fonction de la direction (ou vecteur) de séparation. Mathématiquement, il s'exprime comme suit:

$$2\gamma(h) = E\left([Z(x+h) - Z(x)]^2\right)$$

$Z(x)$: réalisation de la fonction aléatoire au point x
 h : distance

L'outil variogramme³ a la particularité d' exister même si la variance a priori n'existe pas. Il peut être estimer par l'expression suivante:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_1^n [Z_i(x+h) - Z_i(x)]^2$$

Les données doivent être en nombre suffisant afin de pouvoir ajuster un modèle mathématique.

Le variogramme est un outil en soit du moment où tout les problèmes rencontrés le font intervenir dans leurs solutions

Une partie la plus intéressante du variogramme est son comportement à l'origine. En effet, un pur effet de pépite traduit une absence totale de corrélation spatiale entre les différentes VA $Z(x)$ et $Z(x+h)$. Par contre, un comportement parabolique montre une régularité spatiale

³l'usage du terme variogramme est utilisé à la place du terme semi-variogramme.

de la VR. Entre ces deux cas extrême, deux autres cas fréquemment observables, ce sont le comportement linéaire et la présence d'un effet de pépite.

Par contre à l'infini, le variogramme peut croître très lentement. Il se peut également qu'il croit aussi rapidement que la distance au carrée. Ceci traduit une "dérive" du variogramme. Celle-ci correspond à l'existence d'une espérance mathématique non-stationnaire:

$$E\{Z(x)\}=m(x)$$

$m(x)$ est une fonction dépendant de x .

2-4-1-le variogramme comme outil structural

L'importance du variogramme réside dans le fait que tous les problèmes rencontrés le font intervenir dans leurs résolutions.

Son importance dépasse de loin ce cadre du moment où il s'affirme comme étant un outil structural très fin (Journal 1975). Les principaux champs d'investigation sont l'étude des structures gigognes, de la stationnarité et celle des anisotropies.

2-4-1-1-Les structures gigognes

Les causes de variabilité d'un phénomène s'étalent à toutes les échelles. Depuis l'échelle minéralogique jusqu'au niveau de la province métallogénique. Le variogramme est une somme de plusieurs variogrammes de portées différentes. Ces dernières peuvent varier de 1cm jusqu'à 1Km et même plus. Ainsi les transitions à l'échelle minéralogiques n'ont aucune importance lors de l'estimation d'un bloc de 20X20m.

Il est important de signaler qu'une structure gigognes n'est qu'une représentation commode et non biunivoque de structures gigognes naturelles. L'ajustement des divers variogrammes peut être guidé par la géologie, mais cela n'est pas nécessaire (Journal 1975).

2-4-1-2-La stationnarité

La stationnarité d'un phénomène naturelle est l'hypothèse de base. Elle ne se vérifie pas a priori mais elle se justifie a posteriori (Journal 1975). La notion d'échelle d'observation est également importante du moment où un phénomène naturel peut être stationnaire à l'échelle

macroscopique sans pour autant l'être à l'échelle microscopique. La notion de stationnarité est donc intimement liée à l'échelle d'observation.

Dérive (ou effet de dérive)

Un effet de dérive correspond à une absence de stationnarité c'est à dire l'espérance mathématique de la fonction aléatoire est dépendante de la position spatiale. Ainsi on a $E\{Z(x)\}=m(x)$; $m(x)$ est appelée "dérive" (Journel 1975).

Une stationnarité locale peut être définie comme étant la zone délimitée par la distance pour laquelle la dérive se prononce. Un comportement parabolique indique une forte dérive.

Effet proportionnel

Ce phénomène est souvent observé dans la pratique. Il est observé quand la variabilité des données évolue avec la valeur moyenne de ces données. Les divers variogrammes se correspondent par une affinité dont le module dépend du rapport des moyennes expérimentales. Un effet proportionnel n'affecte pas la stationnarité du phénomène étudié.

la production de variogrammes relatifs permet de régler ce problème. A.G Royle (1990) suggère qu'un effet proportionnel peut être corrigé en calculant le variogramme relative en utilisant les formules suivantes pour chaque paires d'échantillons au niveau de chaque distance (pas de calcul). $\gamma(h)=[(valeur1-valeur2)/(0.5 \times (valeur1 +valeur2))]^2$. C'est à dire que:

$$\gamma_{rel}(h) = 0.5 \times \left[\sum \gamma(h) \right] / N(h)$$

$N(h)$ est le nombre de paires à la distance h

Effet de trou

Cet effet se reconnaît quand une alternance de valeurs élevées et de valeurs basses de la régionalisation est observée. Ceci se traduit sur le variogramme expérimental par des oscillations autour du palier. On dit que le variogramme présente un effet de trou lorsque sa croissance n'est pas monotone. L'amplitude maximale d'oscillations du variogramme isotrope à trois dimensions est 0.217 (Journel , 1975).

2-4-1-3-Etude des anisotropies

Les variogrammes directionnels diffèrent les uns des autres soit par leurs caractéristiques géométriques (ex: portée), soit par leurs caractéristiques de variabilité ou encore les deux en même temps. La première est appelée anisotropie géométrique, la seconde est dite anisotropie zonale (Journel et Huijbregts 1978). La seconde définition est sujet d'une polémique. En effet R.M. SRIVASTAVA et E.H. ISAACS (1989), définissent l'anisotropie zonale comme étant la variation affectant seulement l'axe de variabilité. Les différents variogrammes ne se correspondent pas par une affinité.

2-4-2- Ajustement de modèle

En pratique, on ne dispose jamais du variogramme théorique. Cependant, il peut être estimé par l'expression

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [Z_i(x+h) - Z_i(x)]^2$$

Il est important de signaler que le variogramme expérimental est sujet à des fluctuations d'autant plus fortes que la distance h croît. Une fluctuation est la différence entre la valeur locale du variogramme et de son espérance ou valeur théorique. Le nombre de paires pour chaque distance h doit être égal au moins à 30. La distance d'investigation doit également être inférieure à la moitié du champ.

Il est également important de signaler que lors du calcul du variogramme expérimental la condition de non biais est assurée du moment où l'espérance des accroissements $E\{Z(x+h) - Z(x)\}$ est toujours nulle sous l'hypothèse de stationnarité du second ordre (Journel et Huijbregts, 1978). C'est également pour cette raison que le variogramme est toujours préféré à la covariance même si cette dernière existe.

2-4-2-1-Les modèles de variogramme

Notons que les principales caractéristiques du variogramme sont le comportement à l'origine et l'existence ou non d'un palier. Ainsi, les variogrammes sont classés comme suit:

Schéma à palier

Actuellement, il existe deux modèles de variogramme. Se sont les plus couramment utilisés dans la pratique. Ces derniers sont:

- Le sphérique
- L'exponentiel

1- Le modèle sphérique

Ce modèle est le plus couramment rencontré dans la pratique. La courbe du variogramme croît rapidement pour les faibles distances pour se stabiliser graduellement au voisinage du palier. Notons que ce palier n'est rien d'autre que la variance a priori fournie par le calcul statistique. L'expression mathématique est donnée comme suit:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 < h < a \\ C_1 & a \geq h \end{cases}$$

Le rapport de la constante de pépite par la constante C peut s'interpréter comme étant un facteur de mesure de l'importance de l'aspect aléatoire dans un corps minéralisé.

2- Le modèle exponentiel

Ce type de modèle se distingue par le fait qu'il atteint son palier à l'infini. Deux types de modèles existent qui sont :

2-1- Le modèle de Formery

Ce dernier croît rapidement⁴ pour les faibles distances. Son expression mathématique est la suivante:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{a}{h}\right) \right] & h < 0 \end{cases}$$

$C_1 \geq 0, a \geq 0$

2-2- Le modèle gaussien

Ce modèle se distingue par son comportement parabolique à l'origine. Son expression mathématique est la suivante:

⁴mais moins vite que le modèle sphérique

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_i \left[1 - \exp\left(\frac{-a^2}{h^2}\right) \right], & h < 0 \end{cases}$$

$$C_i \geq 0, a \geq 0$$

Schéma sans palier

Se sont des variogrammes dont la croissance ne présente pas de palier. Ceci correspond donc de:

$$\lim_{h \rightarrow +\infty} \gamma(h) \rightarrow +\infty$$

Ceci indique donc que la fonction aléatoire a un pouvoir de dispersion spatiale illimité (Journal 1975). La variance théorique ainsi que la covariance n'existent pas.

1-Schéma linéaire

Le variogramme $\gamma(h)$ croît linéairement avec la distance.

Le schéma linéaire peut servir parfois à l'ajustement aux petites distances de schémas présentant un comportement linéaire à l'origine (Journal 1975). Son expression mathématique est la suivante:

$$\gamma(h) = ph + k$$

p est la pente, h étant la distance et k est la phase à l'origine.

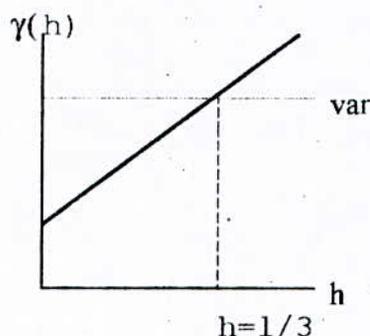


fig.3 schéma linéaire

Il existe aussi des courbes d'équations $\gamma(h) = ph^\alpha$ tel que

$$\alpha \in] 0, 2 [$$

Ces modèles ont surtout une importance théorique

(Journal 1975). En pratique seul le schéma linéaire ($\alpha = 1$) est utilisé.

Remarque:

Les schémas en $\gamma(h) = h^\alpha$ sont expérimentalement peu distincts d'un effet de dérive parabolique (Journal 1975).

2-Schema de De Wijsian

Le schéma De Wijsian ou logarithmique ne se distingue pas du schéma linéaire si le variogramme est tracé en fonction de la distance. Par contre, s'il est tracé en fonction du logarithme de la distance alors on aura une ligne droite. Son expression mathématique est la suivante:

$$\gamma(h) = A \log(h)$$

A est une constante positive

Pour des échantillons parallèlement disposés, le variogramme a pour expression mathématique suivante:

$$\gamma(h) = 3 \alpha [\ln(h/1) + 3/2]$$

α est le coefficient de dispersion absolue.

Remarque:

Le schéma logarithmique ne peut en toute rigueur d'écrire une régionalisation de support ponctuel (Journal 1975).

Schéma à effet de trou

A trois dimensions, on a:

$$\gamma(h) = 1 - \frac{\sinh}{h} \quad \forall h \geq 0$$

A une dimensions, on a:

$$\gamma(h) = 1 - \cosh \quad \forall h$$

Remarque

Il est important de signaler que souvent le variogramme expérimental est difficilement ajustable par un seul modèle. On aura donc recours à une sommation de plusieurs modèles de bases. Ce sont des structures dites gigognes.

2-4-2-2-L'effet de pépité

L'effet de pépité désigne toutes les variabilités d'échelles propres très inférieures à l'échelle de l'observation faite. On dit qu'il y a effet de pépité pur lorsque la variogramme observé ne traduit que la seule constante de pépité. Deux réalisations de la FA sont alors indépendantes l'une de l'autre aussi proches soient elles. La statistique classique est alors applicable.

2-5-La variance d'extension

Dans la pratique, on cherche souvent à estimer une grandeur à partir des données disponibles à l'intérieur d'un volume. La variance d'extension est par définition la variance d'estimation de cette grandeur à partir des données.

La variance d'extension a l'avantage d'être théoriquement calculable à partir du variogramme et de la géométrie du volume considéré. L'expression mathématique de cette variance est la suivante:

$$\sigma_e(v, V) = 2\bar{\gamma}(v, V) - \bar{\gamma}(v, v) - \bar{\gamma}(V, V)$$

$\bar{\gamma}(v, V)$ désigne la valeur moyenne du variogramme quand les extrémités h balayent indépendamment l'une de l'autre l'ensemble v et V

La variance d'extension peut être calculée avec les fonctions auxiliaires.

2-6-la variance de dispersion

La variance de dispersion d'une grandeur donnée de n volumes v dans un plus grand V est la variance la plus probable lors de l'estimation de la moyenne de cette grandeur dans V en se basant sur celle de ces volumes élémentaires. La variance de dispersion caractérise la variabilité spatiale de la grandeur considérée (Journel, 1975). Cette variance peut également être exprimée théoriquement par

$$D\{v / V\} = \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(v, v)$$

$\bar{\gamma}(v, v)$ est la valeur moyenne du variogramme quand les extrémités fixant la distance h balayent indépendamment l'une de l'autre le volume v .

2-7-Influence de la régularisation

On pratique on ne dispose jamais de données ponctuelles, mais régularisées sur un volume de prélèvement. La réalisation moyenne de la FA pour ce volume est alors:

$$z_v = \frac{1}{v} \int z(x') dx'$$

Généralement, la régularisée d'une fonction $z(x)$ est définie par une fonction de pondération $p(x)$ (Journel et Huijbregts, 1978). Ceci est le produit de convolution

$$z_p(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} z(x+x') p(x') dx'$$

La grandeur $Z_p(x)$ est alors interprétée comme une réalisation particulière de la F.A $Z(x)$ par la fonction de pondération p . Si le volume de régularisation est la carotte alors ceci revient à considérer le gisement comme un ensemble de carottes.

En pratique, on peut assimiler le variogramme régularisé à une variance d'estimation du prélèvement $v(x)$ par le prélèvement $v(x+h)$ (Journel, 1975), on aura alors

$$\gamma_v(h) = \bar{\gamma}(v, v+h) - \bar{\gamma}(v, v)$$

Aux grandes distances ($h \gg v$), le comportement ponctuel est conservé à une translation près vers le bas de module $\bar{\gamma}(v, v)$. En effet, pour $h \gg v$ on a : $\bar{\gamma}(v, v+h) \approx \gamma(h)$

Finalement on a : $\gamma_v(h) \approx \gamma(h) - \bar{\gamma}(v, v)$

régularisation d'un effet de pépité

Considérons la relation classique reliant la covariance au variogramme.

$$\gamma_v(h) = \bar{\gamma}(v, v+h) - \bar{\gamma}(v, v) = \bar{C}(v, v) - \bar{C}(v, v+h)$$

Utilisons la covariance de Dirac $C(h) = C_0 \delta(h)$, on aura donc

$$\bar{C}(v, v) = C_0 [(\delta(v, v))]$$

On remplaçant dans la formule précédente, on aura

$$\gamma_v(h) = C_0 [\bar{\delta}(v, v) - \bar{\delta}(v, v+h)]$$

Sachant que

$$\bar{\delta}(v, v) = \frac{1}{v}, \quad \bar{\delta}(v, v+h) = 0$$

finalement on aura $\bar{\gamma}(h) = \frac{C_0}{v}$

Conclusion

On admettant que la portée de la microstructure assimilée à un effet de pépité est très inférieure aux dimensions du volume de régularisation et que la distance h considérée est supérieure à la portée de cette microstructure, alors on peut dire que la constante de pépité se régularise en raison inverse du volume de régularisation.

Cette propriété est exploitée lors de la prospection des gisements en prélevant de plus gros volumes d'échantillons. Ceci a pour but de masquer l'influence des microstructures parasites. Des structures intéressantes pourraient donc être découvertes.

influence de l'erreur de mesure (Journal 1975)

Les teneurs vraies des prélèvements ne sont jamais connus. Elles sont toutes entachées d'erreurs.

$$Z_v^*(x) = Z_v(x) + E_v(x)$$

Les hypothèses suivantes sont généralement admises

- L'erreur de mesure est sans corrélation spatiale
 - L'estimation est sans biais et de variance stationnaire
- $$E\{ [E_v(x)]^2 \} = C_v$$

$$\gamma_v^*(h) = \gamma_v(h) + C_v + E\{ [Z_v(x+h) - Z_v(x)] [\varepsilon_v(x+h) - \varepsilon_v(x)] \}$$

γ_v^* , γ_v sont respectivement le variogramme de $Z_v^*(x)$, $Z_v(x)$.

L'erreur peut être supposée indépendante de la teneur vraie, alors, le dernier terme s'annule. On aura donc:

$$\gamma_v^*(h) = \gamma_v(h) + C_v$$

Conclusion

La variance de l'erreur de mesure se répercute sur le variogramme expérimental comme constante de pépite. En pratique, l'effet de pépite obtenue est en général sous forme d'une variance de mesure et des régularisations des microstructure naturelles. Cette variance de l'erreur doit être minimiser au maximum. C'est pourquoi, les échantillons sont analysés par plusieurs laboratoires.

3-Les étapes de l'approche géostatistique

Chaque étude géostatistique contient une série de stades clairement identifiables qui sont donnés ci-après.

3-1-Analyse des données

L'analyse des données est très importante qui sert à repérer les données non homogènes. Les différentes étapes de l'analyse sont:

a- analyse du mode d'échantillonnage

Les différents échantillons doivent préalablement être soigneusement répertoriés et analysés. Il faut également repérer les échantillons provenant des différentes compagnes de prospections.

b-analyse de la précision de mesure

Un examen détaillé des résultats fournit par les différentes méthodes d'analyse ou les différents laboratoires.

c-examen de la qualité d'échantillonnage

La qualité d'échantillonnage exécutée pendant les campagnes antérieures. Il faut signaler aussi qu'il faut vérifier que la minéralisation est entièrement recoupée par l'ouvrage minier.

3-2-Analyse statistique

L'analyse statistique consiste à:

- * calculer des moyenne et des variances des différentes données.
- * dresser les différents histogrammes des données absolues et transformées.
- * examiner la distribution en faisant les différents tests

3-3-Analyse géologique

Dans le but d'appliquer correctement et effectivement les concepts de la géostatistique, une connaissance de la nature géologique du phénomène étudié est obligatoire. Rappelons que la géostatistique ne crée pas d'informations, elle la rend seulement plus abordable (Journel ,1975).

3-4-Analyse structurale

C'est la partie la plus délicate. En effet des variogrammes expérimentaux seront produit et modélisés.

3-5-Estimation locale

Elle consiste à réaliser des estimations locale soit par krigeage ponctuel ou de bloc. Une variance de krigeage est également attribuée à toute estimation

3-6-Estimation globale

Elle consiste à évaluer le gisement d'une manière globale en établissant une variance d'estimation.

3-7-Etablissement des courbes tonnage-teneur

Durant cette dernière phase, on aura à produire la courbe tonnage-teneur théorique et expérimentale ainsi que la courbe de la variance de krigeage et tonnage.

Chapitre II
Géologie du gisement d'Amesmessa

SOMMAIRE

1-Localisation du gisement.....	25
2-Géologie régionale.....	25
2-1-Le bouclier Touareg.....	25
2-2-Le Hoggar occidental.....	30
2-2-1-Les formations archéennes.....	30
2-2-1-1-Les granulites fémiqes.....	30
2-2-1-2-Les granulites felsiques et alumineuse.....	32
2-2-2-Les formations protérozoïques.....	32
2-2-2-1-Le groupe gneissique.....	32
2-2-2-2-Le groupe des quartzites-amphibolites.....	32
2-2-3-La bande à mylonites.....	32
2-2-4-Les roches intrusives.....	32
3-L'hydrogéologie.....	33
3-1-La couche détritique.....	33
3-2-La couche gypsifère.....	33
3-3-La couche calcaire.....	34
3-4-Les résultats de l'étude hydrogéologique.....	34
3-4-1-La première nappe.....	34
3-4-2-La seconde nappe.....	34
3-4-3-La troisième nappe.....	35
3-4-4-La quatrième nappe.....	35
4-Géologie du gisement.....	37
4-1-Les formations archéennes.....	37
4-2-Les formations protérozoïques.....	37
4-3-La bande centrale (zone de contact).....	37
5-Géologie locale (zones 8 et 9).....	40
6-Morphologie des corps.....	40
7-Composition de la minéralisation.....	44
8-Conclusion.....	45

1- Localisation du gisement

Le district aurifère d'Amesmessas est situé dans l'extrême sud de l'Algérie, à environ 2500 Km d'Alger et 370 Km de Tamenrasset (fig1). Les coordonnées géographiques de ce district sont 2°20' de longitude Est et 20°59' de latitude Nord.

L'accès à ce gisement se fait en empruntant la route transsaharienne sur 40 Km au Nord de Taménrasset puis par piste en direction du Sud-Ouest (fig.2).

2- Géologie régionale

le district aurifère Tirek-Amesmessas est situé dans le rameau occidental du Hoggar.

2-1- Le bouclier Touareg

Le bouclier Touareg est l'un des plus importants boucliers d'Afrique et du monde. Il est séparé du craton ouest africain par une zone mobile dite pharusienne(panafricaine) (fig3).

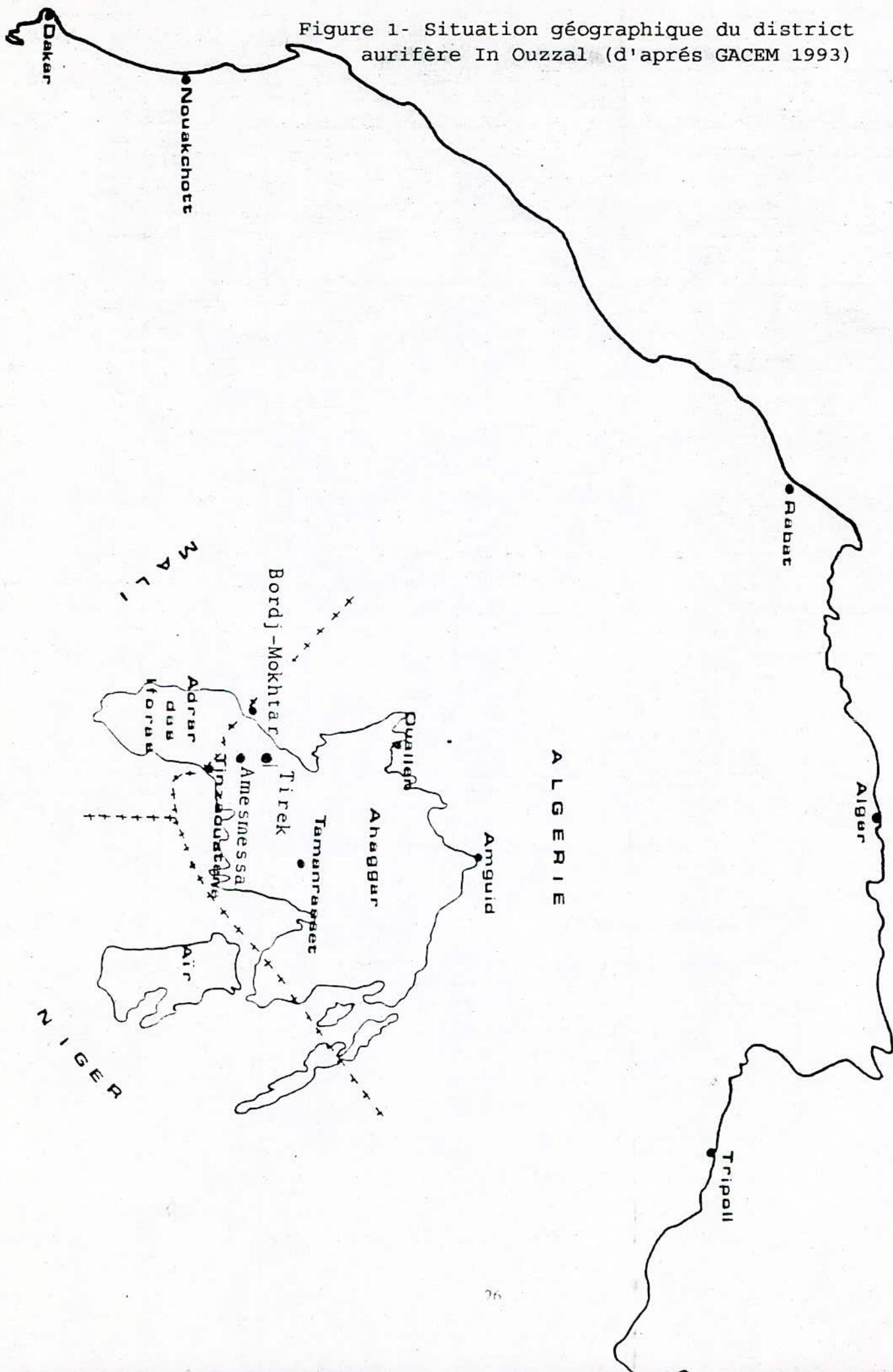
Ce bouclier se compose de trois parties qui sont, le Hoggar en Algérie, les Air au Niger et les Iforas au Mali (fig4).

Le Hoggar se caractérise par son grand système de failles de directions Nord-Sud jalonnées par des mylonites, et des granitoides (granites, granodiorites, diorites et gabbros), ayant un échelonnement dans le temps. Il se caractérise aussi par le fait que l'ensemble du bouclier est recouvert en discordance absolue par l'Ordovicien.

Du point de vue lithologie, le Hoggar se distingue par la présence de trois grandes parties bien distinctes, limitées par des failles d'envergure régionale et de direction Nord-Sud. Ce sont le Hoggar occidental, le Hoggar central et le Hoggar oriental.

Ainsi, la faille 4°50 constitue une frontière naturelle entre le premier et le second. De même, la faille 8°30 sépare le second et le troisième respectivement.

Figure 1- Situation géographique du district aurifère In Ouzzal (d'après GACEM 1993)



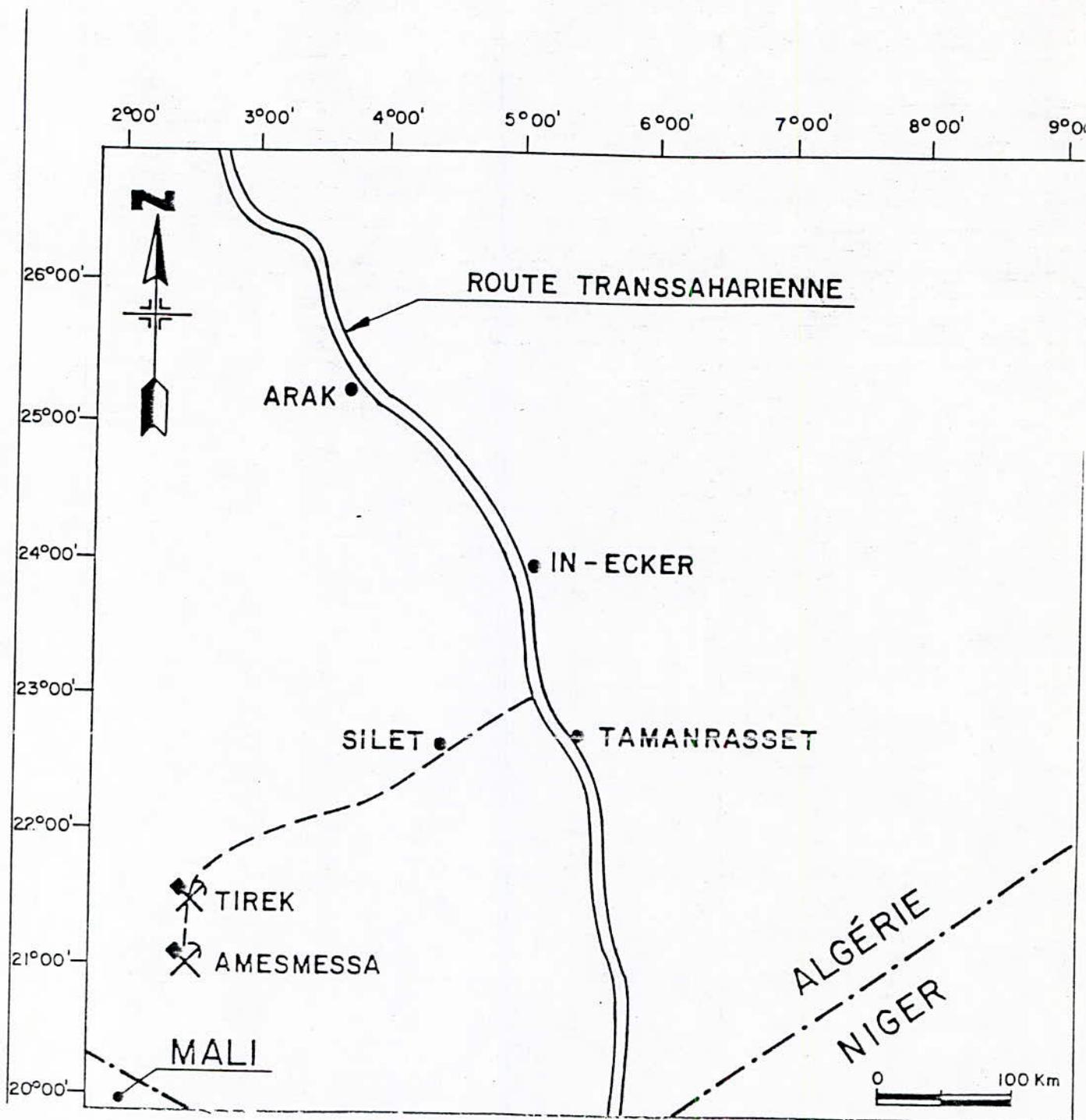


Figure 2- Localisation géographique des gisements d'Amesmessa et de Tirek (EREM, 1990)

INTRODUCTION A LA GEOLOGIE DU SAHARA ALGERIEN

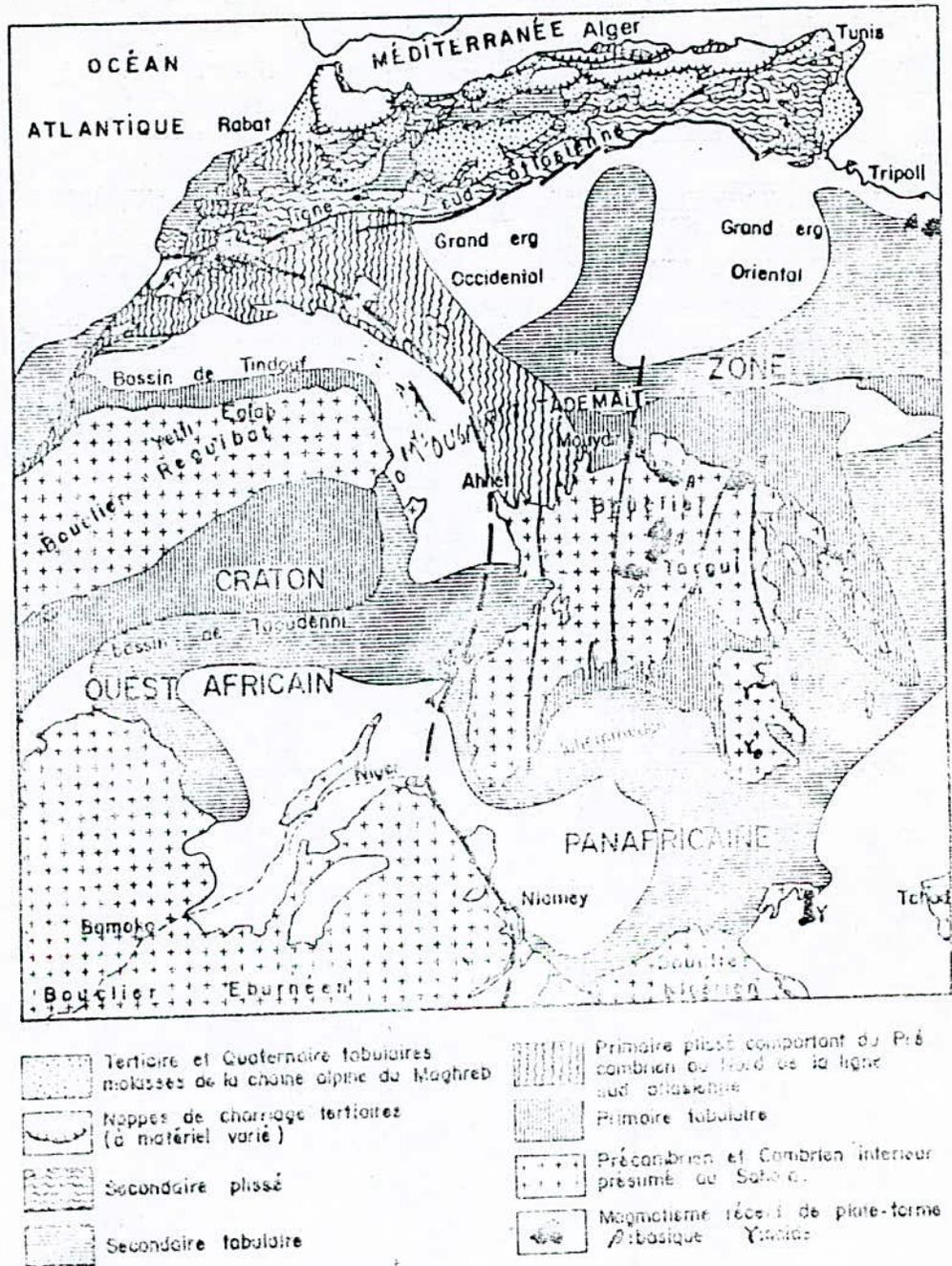


Figure 3- Carte schématique des différents ensembles géologiques de l'Algérie

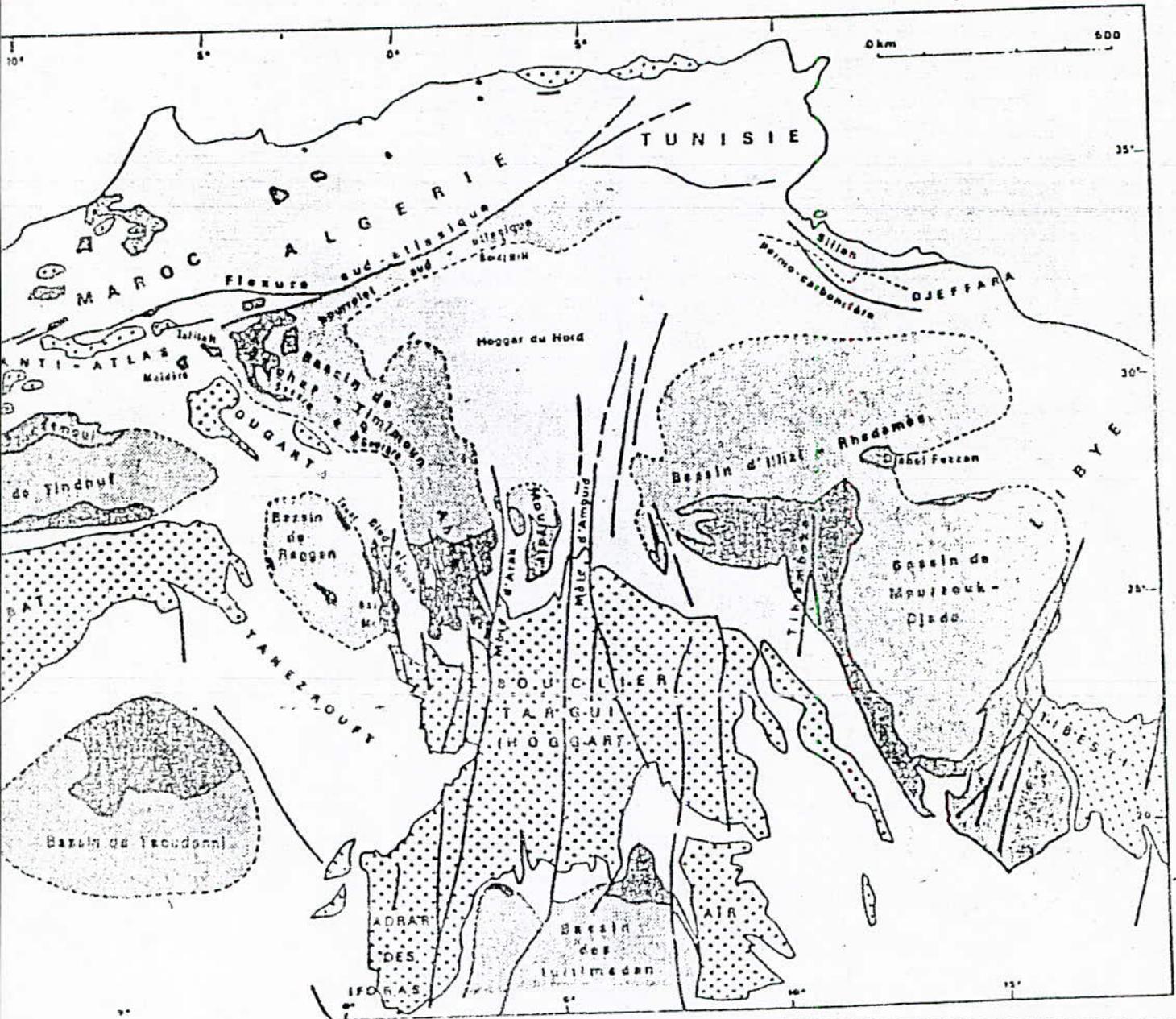


Figure 4- Position géographique du Hoggar

2-2- Le Hoggar occidental

La faille 2°30 d'In Ouzzal sépare deux compartiments différents. Le premier à l'Est est composé de roches protérozoïques, le second à l'Ouest est constitué de roches archéennes (fig.5).

2-2-1-La formation archéenne.

Cette formation est constituée de deux groupes de roches (granulites) distinctes, ce sont les granulites fémiqes et les granulites felsiques et alumineuses.

2-2-1-1-Les granulites fémiqes

Elles sont constituées de schistes cristallins à hyperstènes, de gabbros et de gabbro-norites. L'ensemble se caractérise par l'absence du quartz, un passage progressif d'une variété à une autre, ainsi qu'une présence de roches carbonatées.

2-2-1-2-Les granulites felsiques et alumineuses

Ces granulites sont constituées de gneiss leucocrate, de quartzites à grenat, à biotite, cordiérite et silimanite, de quartzites ferrugineuses et schistes alumineux.

A ces granulites, sont associées des alaskites renfermant du grenat. Ces deux variétés lithologiques sont liées aux charnokites et des enderbites formant les coeurs des plis

J. M. L. BERTRAND & R. CABY — Geodynamic Evolution of the Pan-African Orogenic Belt

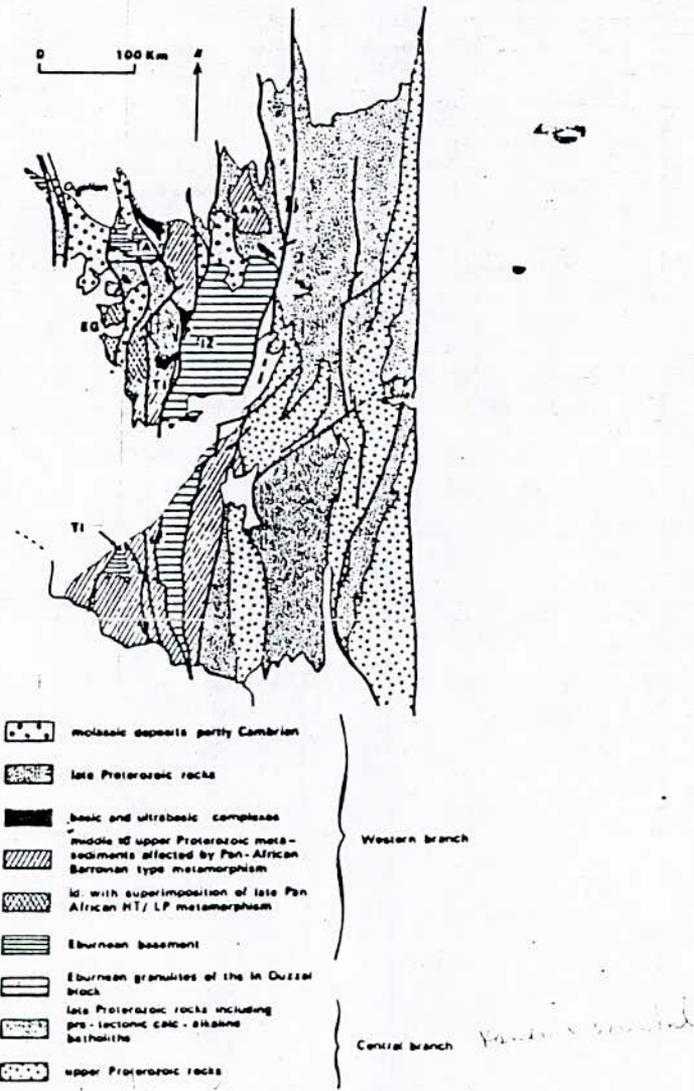


Figure 5- Le Hoggar occidental

en dômes . Là encore; on note le passage progressif d'une variété à une autre. Enfin toutes ces roches sont recoupées par des granites d'age panafricain.

2-2-2-Les formations protérozoïques

Ces formations affleurent à L'Est du bloc archéen et sont constituées par deux groupes de variétés lithologiques différentes ayant des relations tectoniques. Elles sont constituées par des formations gneissiques et quartzites-amphibolitiques.

2-2-2-1- Le groupe gneissique

Cette formation est datée de 1800 à 2000 Ma, elle est constituée de gneiss à amphibolite et biotite, des granodiorites gneissiques, des amphibolites et des quartzites ainsi que des lentilles de marbres.

2-2-2-2-Le groupe des quartzites-amphiboliteques

Ce groupe est localisé sur les flancs d'anticlinaux dont le coeur est constitué par le groupe gneissique.

2-2-3-La bande à mylonites

Cette bande mylonitique contient le gisement aurifère de Amesmessa. Celle-ci est large de 2 à 3 Km. La mylonitisation affecte aussi bien les formations protérozoïques que les formations archéennes. Cette bande se compose de trois zones qui d'Est en Ouest sont:

- * Les ultramylonites verticales finement rubanées ayant un aspect de rhyolites et à linéation subhorizontale.
- * Les mylonites à microbiotites syncénimatique à boudins et lentilles d'ultrabasiques.
- * Les mylonites à foliation verticale marquée par un l'aplatissement du quartz. A l'intérieur de ces mylonites, on rencontre des lentilles métriques des différentes granulites.

2-2-4-Les roches intrusives

Toutes les formations précédentes sont recoupées par des roches intrusives datées du protérozoïque supérieur (500-800 Ma). Ces roches sont:

- * Les gabbros et diorites prétectoniques (700-800 Ma).

- * Les diorites-granodiorites (620-700 Ma).
- * Les granites alcalin tardi tectoniques (600-580 Ma).

L'activité tectonique tardive se caractérise par des failles de directions Nord-Est et Nord-Ouest. Les premiers sont remplies de matériel quartzeux ou par des dykes de composition acide. Elles sont associées à de petits corps de basaltes d'âge quaternaire. Les secondes sont marquées par la direction du réseau hydrographique ou des dykes basiques.

3-Hydrogéologie

Les travaux de recherche entrepris durant les années 1981-1985 ont permis de mettre en évidence quatre nappes localisées dans les formations d'âge crétacé du bassin de Tanezrouft.

Ces travaux réalisés montrent que ces formations sont constituées stratigraphiquement de bas en haut par une couche:

- * détritique
- * gypsifère
- * calcaire

3-1-La couche détritique

Cette couche repose en discordance sur des formations d'âge précambrien très altérées. Elles sont composées dans sa partie supérieure, de grés polygénitique, du sable argileux et des conglomérats. Sa partie inférieure est formée de silstones et d'argile de couleur grise verdâtre.

Au dessus de ces deux formations, reposent en alternance des couches d'argiles et de grés, contenant également des traces de silstones. La puissance totale de cette couche détritique est de 1300 m.

3-2-La couches gypsifère

Elle est composée de silstones de teinte grise à verdâtre avec des intercalations de dolomies et de dolomies calcaires massives de couleur gris claire. La puissance totale est de 110 m.

3-3-La couche calcaire

Cette couche est composée d'une alternance de formations calcaires, bioclastiques contenant parfois des nodules de silex, et de roches argileuses. La puissance totale est de 50 m.

3-4- Résultats de l'étude hydrogéologique

Les investigations hydrogéologiques menées entre 1981 et 1985 ont révélé l'existence de quatre nappes contenues dans la couche détritique d'épaisseur 1300 m. Suivant les potentialités aquifères, la nappe est subdivisée en sept niveaux constituant la partie supérieure de la formation détritique. Ce sont:

- * niveau argileux inférieur
- * niveau gréseux inférieur
- * niveau gréseux intermédiaire
- * niveau argileux intermédiaire
- * niveau gréseux supérieur
- * niveau argileux supérieur
- * niveau gréseux somital

Les quatre premières nappes sont localisées dans les niveaux gréseux inférieur, intermédiaires, supérieurs et somital. Une cinquième nappe est située dans les niveaux argileux intermédiaires.

3-4-1-La première nappe

Elle est localisée dans le niveau gréseux somital. Ce dernier affleure au centre du domaine d'étude. La nappe est libre à l'intérieur de ce domaine et captive en dehors.

Les roches réservoirs sont constituées de couches de silstones, de gypse et d'ahnydrite. Le niveau argileux supérieur forme le toit tandis que le niveau gréseux et l'argileux intermédiaire constituent le mur.

Cette nappe se caractérise par une puissance allant de 37 m à 64 m. Son débit moyen est de 0.1 l/sec (voir tableau.1).

3-4-2-La seconde nappe

Cette nappe est localisée dans le niveau gréseux supérieur. Elle est hétérogénie du fait de l'alternance de grés et de d'argile. Cette nappe est isolée de celles sus-jacentes et

sous jacentes.

Le toit à été reconnu à des profondeurs de 316.4 m et 332.5 m alors que les charges sont respectivement de 209.8 m et 222.2 m. La qualité de cette eau lui confère une consommation potable.

3-4-3-la troisième nappe

Elle est localisée dans le niveau gréseux intermédiaire qui forme une bande d'orientation Nord-Est. Cette nappe est captive dans la partie centrale du domaine étudié et est libre dans les bordures.

La puissance varie de 35.76 m à 75.04 m. Cette nappe se caractérise par une faible minéralisation là où la circulation est intense et elle est forte là où la circulation est entravée.

Les fortes variations des paramètres de cette nappe ainsi la qualité de son eau font qu'elle est peu perspective.

3-4-4-La quatrième nappe

Cette nappe est contenue dans le niveau gréseux inférieur. Les roches réservoirs affleurent sur la partie limitrophe à l'Est de la dépression de Tanezrouft. Les roches réservoirs sont constituées des grès quartzeux qui passent parfois à des calcaires, silistones et des micropoudingues. Sa puissance s'accroît à l'Ouest du fait du prolongement rapide du socle dans cette direction. La nappe est libre, sa puissance est de 10.44 m. Au centre, elle devient captive alors que sa puissance atteint 183.5 m.

Cette nappe couvre une zone de superficie estimée à 3570 km, sa puissance moyenne avoisinant les 100 m, et avec un coefficient d'exploitabilité de 0.4, les réserves en eau sont de 8000 m³/j pour une durée d'exploitation de 10000 jours, soit 27 ans .

Ainsi , cette nappe aquifère est la plus intéressante économiquement. Elle permet d'alimenter les futures complexes miniers.

Caractéristiques des nappes aquifères du Tanezrouft

Tableau n° 1

Nappe	Puissance (m)	Débit (l/sec)	Rabattement (m)	Débit spécifique (l/sec/m)	Minéralisation (g/l)	Faciés des eaux	Observation
1	37 (S.353) 63,95 (S.357)	0,1 (S.357) 0,09 (S.357)	0,16 10,3	0,6	1,9	Sulfato-Sodique	
2		3,1 (S.353) 6,3 (S.357)	13,8 34,57	0,22 0,19	0,7	Sulfato-carbonate Bicarbonate-sulfato-sodique	
3	35,76 (S.356) 75 (S.352)			0,09 (S.352)	2 (S.352) 0,7 (S.357)	Chloruro-magnésienne	
4	10,44 (S.351) 18,37 (S.360)	9,6 (S.352) 12 (S.360)		0,2 (S.351, 355) 0,52 (S.360)	0,6 - 1	Bicarbonate-chloruro-sulfato-sodique	Le sondage N° 360 est situé à 60 km de Tirek

4-Géologie du gisement

Le gisement aurifère d'Amesmessa se localise le long de la faille d'In Ouzzal. Il est constitué de filons de quartz et de mylonites silicifiées. leur pendage moyen est de 70°W.

La région du gisement, c'est à dire la bande mylonitisée, est constituée de trois parties différentes, qui d'Ouest en Est sont: (fig.6)

- * La formation archéenne (mylonitisée).
- * La bande mylonitisée proprement dite.
- * La formation protérozoïque.

4-1-La formation archéenne.

Tectoniquement, elle a subi une foliation subméridienne à Nord-Est 20°, avec un pendage de 60°W. La mylonitisation affecte la bordure orientale principalement.

Ces roches archéennes sont constituées de granulites féimiques comprenant des pyroxénites, des gabbros, des anorthosites et des roches carbonatées à olivine et pyroxène.

Les granulites felsiques sont représentées par des migmatites de composition granulitique à structure granulitique et où le quartz est étiré et possède une couleur grise.

4-2-Les formations protérozoïques

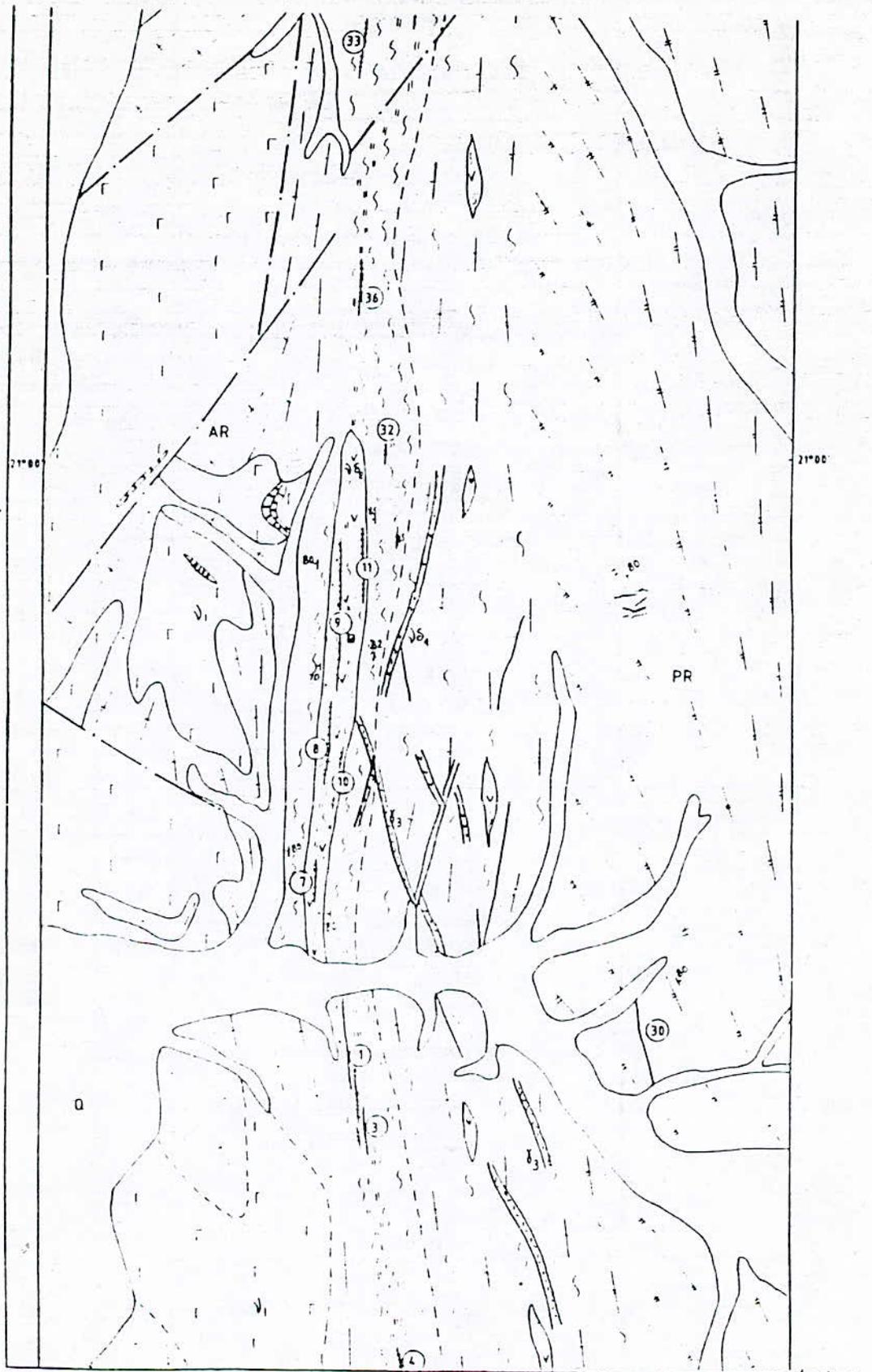
Ces formations protérozoïques sont constituées essentiellement de gneiss à biotite.

4-3-La zone de contact

C'est la bande mylonitisée centrale, siège d'une intense activité de broyage. Les mylonites initiales se sont transformées en ultramylonites. Les premières proviennent également une activité tectonique ayant transformer les roches mères en mylonites à foliation subverticale de pendage allant de 80 à 85° W.

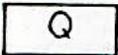
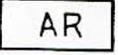
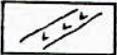
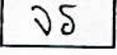
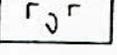
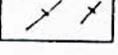
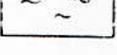
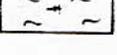
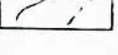
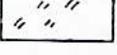
Dans la partie Ouest, les ultramylonites sont foliées à clastes de mésoperthite, à l'Est, les mylonites foliées sont sans mésoperthites, leurs pendages est de 82-86°E. On note

Figure 6 - Carte géologique du gisement
d'Ammesessa



500 m

Légendes :

-  Quaternaire
-  Protérozoïque
-  Archéen
-  Dykes de micro - gabbros porphyriques
-  Dykes de rhyolites
-  Gabbro - diorite
-  Gabbro
-  Granito - gneiss
-  Gneiss leucocrates
-  Ultramylonite
-  Roches mylonitisées
-  Zones aurifères et leur numéro
-  Failles
-  Limites géologiques
1- Sûres
2- Supposées
-  Roches altérées
-  Foliation
-  Puits de mines

également la présence de dykes de composition basique à acide. Il est important de signaler que toute la région du gisement se caractérise par des processus métasomatiques intenses: K-feldspathisation, carbonitisation, rétro-morphose dans le faciès du schiste vert, etc.

Tout au long de cette zone, plusieurs filons aurifères ont été découverts. De part leur disposition spatiale, ils se répartissent en deux groupes, celui du secteur Nord et celui du secteur Sud. Ce dernier contient les filons 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 et 11. Il est important de signaler que de point de vue structural, ces filons sont disposés en échelons aussi bien en direction qu'en pendage (voir fig7).

5-Géologie locale

Les filons aurifères 8 et 9 sont encaissés dans une bande d'ultramylonites, longue de 2000 m (700 m et 1300 m respectivement), large de 50 à 150 m, et de pendage à l'ouest pratiquement constant (66° - 80°). L'épaisseur varie de zéro à dix mètres (fig.8).

La minéralisation aurifère est contenue d'une part dans un filon quartzéux central entouré par une auréole de mylonites très altérées. Les travaux miniers effectués révèlent un passage progressif d'une formation à l'autre.

Entourant le filon quartzéux, les mylonites sont constituées de roches très silicatées et feldspathisées. Elles sont altérées en bérésites, notant que la silification présente le processus d'altération le plus dominant. Les mylonites initialement de couleur vert noirâtre sont transformées en bérésites, roches métasomatiquement altérées et potentiellement aurifères.

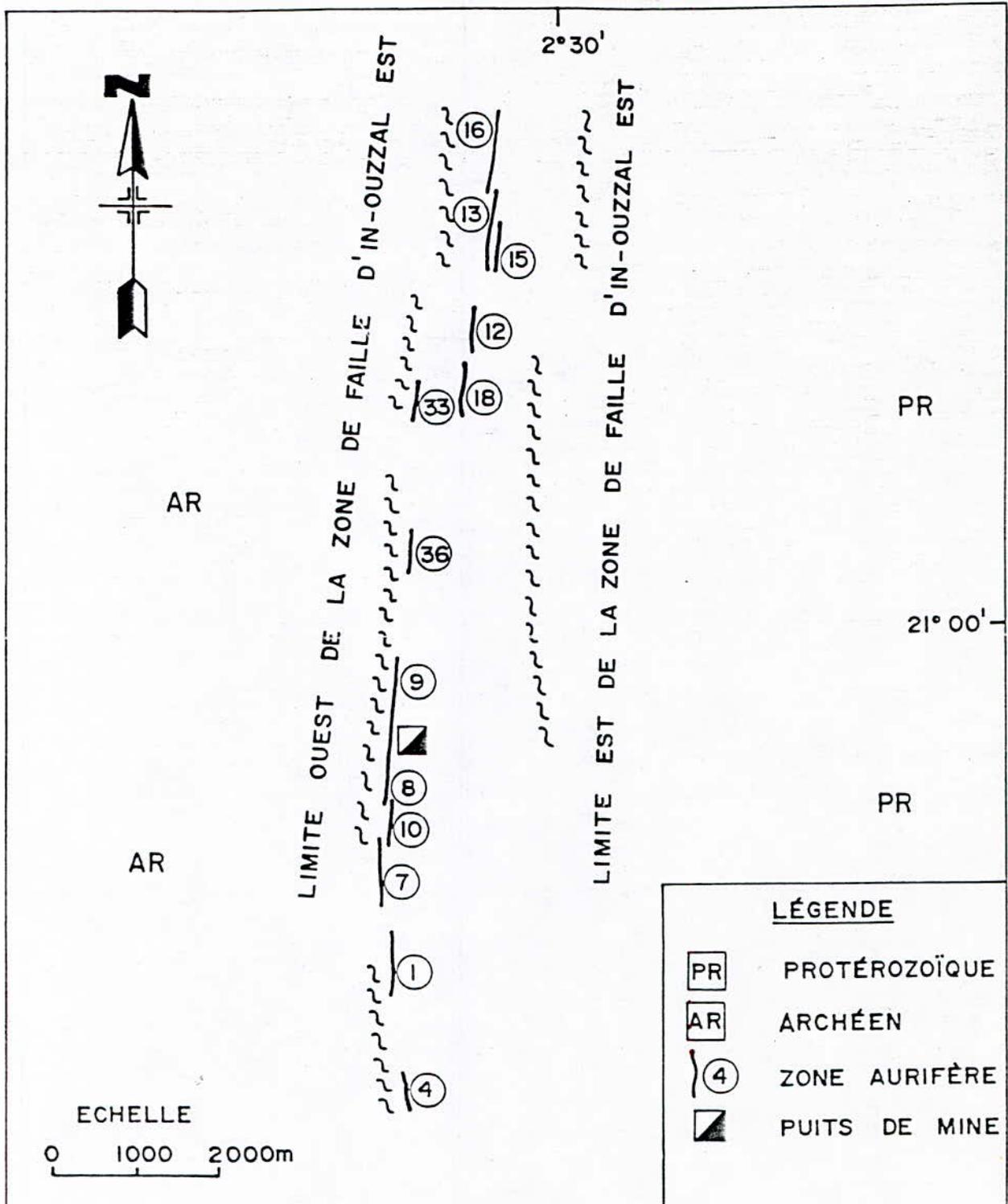
Elles se distinguent facilement des mylonites et ultramylonites stériles. Par contre, les bérésites stériles ne se distinguent pas des bérésites aurifères.

6-Morphologie du gisement (zones 8 et 9)

Les filons aurifères 8 et 9 se caractérisent par une morphologie lenticulaire. Ils montrent des structures de pincements et de renflements ("pinch and swell") marquées.

En surface, ces filons bifurquent pour ensuite former des filons parallèles. Le filon quartzéux central est parfois

Figure 7- carte de localisation des zones aurifères auxiliaires (d'après ENOR, 1993)



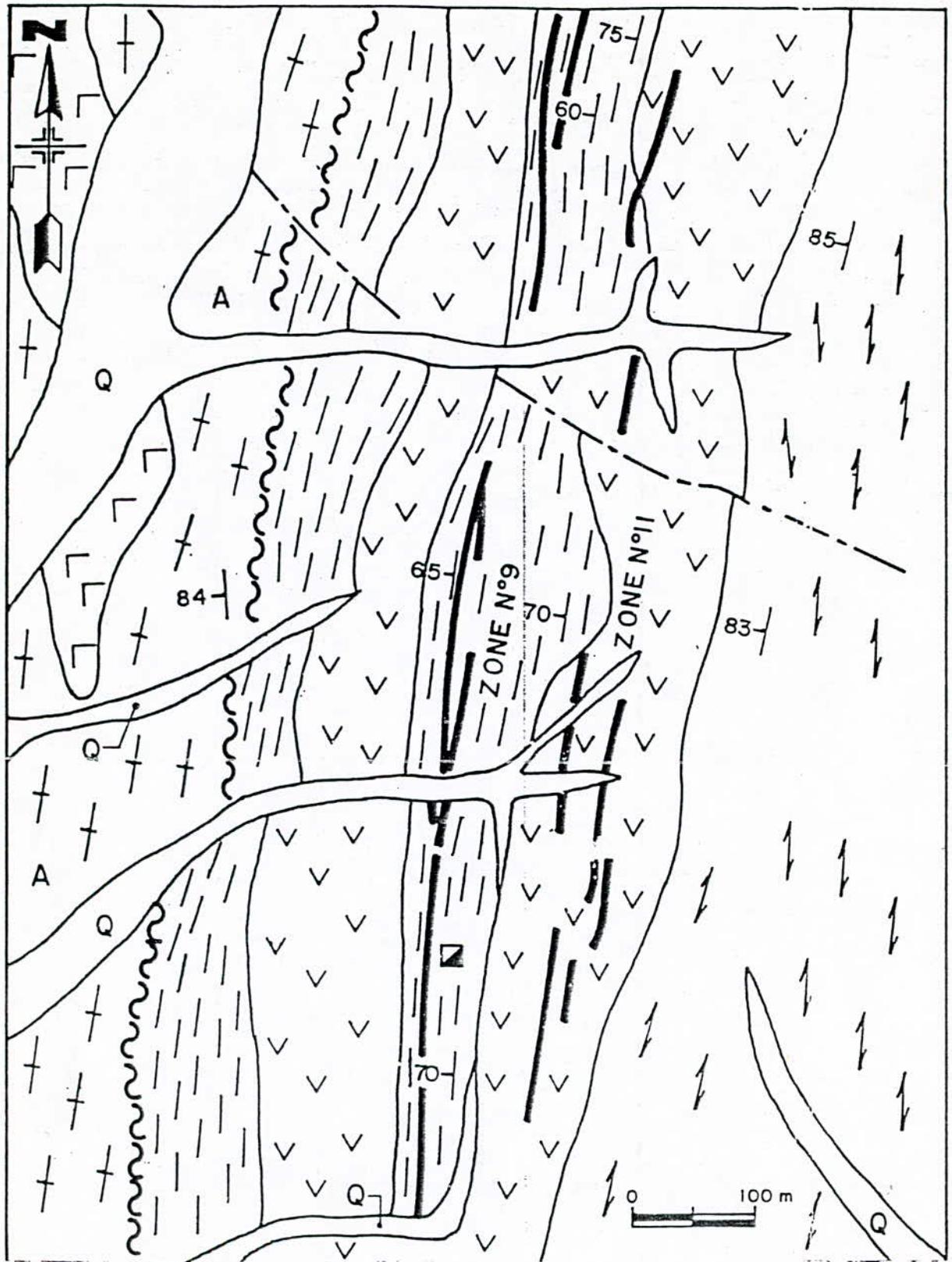
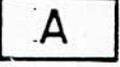
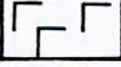
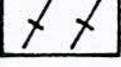
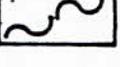
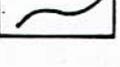
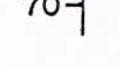


Figure 8- Géologie locale de la zone 9 (EREM 1990)

légende

	QUATERNAIRE : DÉPÔTS DE SABLE
	MYLONITE
	GABBRO - DIORITE
	ULTRAMYLONITE
	ARCHEEN :
	GABBRO
	GRANITO - GNEISS
	ZONE AURIFÈRE
	LIMITE OUEST DE LA ZONE DE FAILLE D'IN - OUZZAL EST
	FAILLE
	CONTACT GÉOLOGIQUE
	DIRECTION ET PENDAGE D'ÉLÉMENTS STRUCTURAUX
	PUITS DE MINE VERTICAL

interrompu et montre de nombreux boudinages ainsi que des formes anastomosées. La même structure est répétée en profondeur.

7-Composition de la minéralisation

Le minerai aurifère d'Amesmessa (zones 8 et 9), se caractérise par l'irrégularité de la répartition de l'or. Cette minéralisation a été suivie jusqu'à une profondeur de 400 m.

En général, elle se présente sous forme de parties riches formant des colonnes minéralisées ("ore shoot"), ayant une inclinaison vers le Nord.

De point de vue minéralogique, le minerai aurifère d'Amesmessa se compose des éléments donnés par le tableau ci-dessus:

Elements Majeurs	%
SiO ₂	65.70
Al ₂ O ₃	8.56
MgO	2.59
CaO	3.49
Na ₂ O	0.80
K ₂ O	2.50
TiO ₂	0.67
MnO	0.09
P ₂ O ₅	0.16
PAF	8.06
	total:92.62

Composition	%
Quartz	45.60
Mica	29.10
Chlorite	8.50
Feldspath	6.70
Pyrite	3.70
Dolomite	3.30
	total:96.80

De point de vue géochimique, le minerai aurifère d'Amesmessa se compose des éléments listés dans le tableau suivant:

Elements	Analyse
Au(g/t)	13.0
Ag(g/t)	1.25
S (%)	1.95
Fe tot(%)	4.63
C tot (%)	1.59
C(%)	0.07
Cu (ppm)	23.00
Co (ppm)	129.00
Ni (ppm)	197.00
Pb (ppm)	238.00
Zn (ppm)	191.00
As (ppm)	24.00
Bi (ppm)	<5.00
Sb (PPm)	<5.00
Hg (PPb)	28.00

Remarque:

L'examen minéralogique d'un échantillon concassé à moins de 10 meshs a révélé la présence de l'or, de la goéteite, limonite, silice, chalcopryrite, sulfures secondaires de Cu, Cu métallique et produit altérés de silicates. L'association de l'or était la suivante:

- * Or libre : 30 à 40%
- * Or dans les silicates 25 à 35%
- * Or dans les goéteites\limonites 30 à 40%.

En plus de l'or, le minerai d'Amesmessa contient de la pyrite, la pyrrothite, chalcopryrite, blende, galène, minéraux de bismuth et magnétite. Dans la zone super gène, on observe la présence de cérusite, de chalcocites, de covelline et d'hydroxyde de fer. Il est important de signaler que la quantité de sulfure est inférieure à 5% . Elle se développe dans les plans de fissures.

L'or d'Amesmessa se présente sous forme de grains de taille allant de quelques microns à 1.5 mm. Sa densité déterminée par un densimètre électronique est de 2.84 g/cm³.

8-Conclusion

Les filons aurifères 8 et 9 d'Amesmessa appartiennent à un district associé à la faille d'In Ouzzal. Celle-ci est de dimension régionale, sa longueur dépasse les 200 Km selon la direction Nord-Sud. D'autres gisements pourraient donc exister le long de cette faille.

Les filons 8 et 9 ne forment qu'une seule et même structure. Ils sont constitués d'un filon quartzé central entouré par une auréole d'ultramylonites ayant subi une forte altération ainsi qu'une métasomatose. Ceci a eut pour effet de transformer les ultramylonites en bérisites. La minéralisation est contenue dans le filon quartzé central ainsi qu'une partie des bérisites l'entourant.

Les filons 8 et 9 ont une longueur de 2000 m, une largeur de 50 à 150 m, une épaisseur variant de zéro à 10 m, ainsi qu'un pendage moyen de 70°W.

La morphologie est lenticulaire aussi bien en surface qu'en profondeur. Le gisement est relativement mince, ce qui pourrait permettre de le considérer comme un corps à deux dimensions. Ceci aura l'avantage de faciliter l'approche géostatistique.

Chapitre III
Volume et type de travaux

Sommaire

- 1-Type de travaux réalisés.....
- 2-Mode d'échantillonnage
 - 2-1-Les sondages
 - 2-2-Les tranchées
 - 2-3-Le galerie directionnelle
 - 2-4-Les recoupes
 - 2-5-Le puits
 - 2-6-Remarques très importantes
- 3-Méthode d'analyse utilisée par l'EREM
- 4-Méthode de corrections des valeurs exceptionnelles
 - 4-1-La méthode géostatistique
 - 4-2-La méthode de Weibull
 - 4-3-La méthode du diagramme gaussien-logarithmique
- 5-Application des méthodes de correction
- 6-Choix et argumentation de la teneur d'écrêtage
- 7-Projection du gisement sur un plan vertical
- 8-Fichier de données
- 9-Représentation des données sur le plan vertical

1-Type et volume des travaux miniers réalisés.

Le district aurifère d'Ammesmessa a été découvert suite à un vaste programme de prospection effectué durant les années 1974-1976. Pendant les trois années qui ont suivi, une série de tranchées ainsi que 3880 mètres de sondage ont été réalisés.

En 1979, le gisement a été évalué d'une manière préliminaire. L'étude avait révélé un faible potentiel économique. La recherche a été alors suspendue.

En 1985, des géologues travaillant sur les bérésites, ont réalisé l'extrême importance de ces dernières. En effet, les bérésites étaient partiellement aurifères et présentaient un réel intérêt économique. Leurs épaisseurs pouvaient atteindre 10 mètres. Leur teneur en or était également très importante.

Dés lors, une étude détaillée du gisement, réalisée durant les années 1985-1990, a permis de mettre en évidence deux zones dont le potentiel aurifère est important. Ce sont les zones 8 et 9. Au cours de cette période, 26000 mètres de sondage ont été réalisés ainsi qu'un puits vertical de 85 mètres de profondeur, 66 mètres de travers-banc et 516 mètres de galeries le long de la zone⁵ à une profondeur verticale de 80 mètres.

Une troisième campagne de reconnaissance fut réalisée durant les années 1990-1992. Elle était axée uniquement sur les zones 8 et 9 du gisement d'Ammesmessa. 37 nouveaux sondages ont été réalisés atteignant 400 mètres de profondeur et totalisant 11000 mètres.

En surface, les tranchées ont été réalisées tous les 5 mètres, par endroits tous les 10 mètres. En profondeur, les zones ont été étudiées par forage aux noeuds d'une grille de maille de 40 x 40 m² jusqu'à une profondeur de 160 mètres et plus bas à la maille de 80x80 m² et 80x120 m². Ces travaux ont été accompagnés de levés topographiques à 1/2000 sur une superficie de 4 Km² et d'un levé géologique à 1:5000.

Le volume des travaux réalisés dans les zones 8 et 9 durant

⁵la zone 8 et 9

toutes ces années de prospection sont résumés dans le tableau 1.

Tableau N° 1

Type de travaux	Unité	Volume
Itinéraire de recherche	Km	650
Levé géologique 1/5000	Km ²	9
Fonçage puits de mine S=7.6 m ²	m	90
Travers banc S=9 m ²	m	80
Galerie Directionnelle S=5 m ²	m	516
Recoupes S=2.7 m ²	m	190.6
Fouille effectuée au niveau -20 m S=2.0 m ²	m	77.6
Tranchée	m ³	10390
Sondage $\phi = 76$ mm	m	25680
Echantillon technologique	éch	7
Echantillon rainure	éch	9910
Echantillon carotte	éch	?
Diagraphie	m	10800
Travaux topographiques 1/2000	km ²	4
Levé souterrain 1/200		685
Rattachement des ouvrages	ouvr	3950

Volume des travaux réalisés

2-Mode d'échantillonnage

Les travaux miniers réalisés par l'EREM comprennent des tranchées, des sondages, des recoupes, un puits vertical, une galerie directionnelle ainsi que des rainurages. Le mode d'échantillonnage est fonction de l'ouvrage minier duquel est prélevé l'échantillon.

2-1-Les sondages

Les sondages sont au nombre de 194. Ils sont réalisés selon une maille de 40x40 dans les parties superficielles du gisement, et une maille de 80x80 pour les parties plus profondes. Le diamètre des carottes est de 76 mm. Ainsi, le poids de l'échantillon varie de 1 à 8 Kg.

2-2-Les tranchées

Les tranchées sont au nombre de 164. Elles sont creusées tous les 10 mètres en moyenne. L'échantillonnage a été fait comme suit: si l'épaisseur de la couche minéralisée était supérieure à un mètre, alors l'échantillon prélevé faisait 5 cm de profondeur et 10 cm de largeur. Dans le cas contraire, la largeur de l'échantillon prélevé était plus grande. Cette façon de faire permettait d'avoir un poids de l'échantillon allant de 5 à 15 Kg.

2-3-La galerie directionnelle

Une galerie longue de 516 mètres a été creusée dans la zone minéralisée. Sa section est de 5m² (environ 2m de hauteur par 2.5 m de largeur).

163 rainurages ont été prélevés tous les 3 mètres environ le long de cette galerie. La saignée était pratiquée sur le front de taille, à un mètre du mur de la galerie. L'échantillonnage a été réalisé de la même manière que pour les tranchées. Le poids total de l'échantillon recueilli variait entre 4 et 14 Kg.

2-4-Les recoupes

26 recoupes ont été creusées tous les 20 mètres environ, perpendiculairement à la direction de la galerie. Leurs sections sont de 0.7 m². Des échantillons ont été prélevés de la même manière que dans les tranchées. Cette façon de faire permettait de traverser toute l'épaisseur de la minéralisation.

2-5-Le puits

Un puit vertical de 7.6m² de section a été foncé dans l'éponte inférieure de la veine, avec un travers-banc de 66 mètres de longueur jusqu'à la zone minéralisée.

2-6-Remarques très importantes

Les échantillons prélevés des différents ouvrages miniers étaient subdivisés en échantillons individuels pour analyse selon le type de quartz et des roches encaissantes homogènes.

Il est important de signaler que dans beaucoup de cas, de courts échantillons de quartz très riches ont été soumis à l'analyse. Ils ont retourné des valeurs de plusieurs centaines de grammes d'or par tonne.

Le mode d'emplacement des différents échantillons n'est pas mentionné. En effet, sur le

Le contrôle des résultats des analyses réalisées par le groupe minier SIDAM, montre que le volume des échantillons prélevés par l'EREM étaient trop importants. Cette façon de faire était parfaitement justifiée* à ce stade de la reconnaissance.

En effet, la variographie qui sera étudiée plus tard concerne des valeurs régularisées sur un certain volume. Ainsi le fait de prendre des volumes importants permettra de réduire l'effet de pépite dans le cas où il sera marqué. Ce dernier est donné conformément à la formule suivante:

$$Co = Co' / V$$

Co: constante de pépite du variogramme régularisé

Co': constante de pépite du variogramme ponctuel.

V: le volume de régularisation

D'où, plus le volume de régularisation est important, plus faible est l'effet de pépite.

Pour vérifier l'exactitude des résultats analytiques obtenues au niveau du laboratoire de l'EREM, 65 échantillons pulvérisés de 100 grammes ont été prélevés des témoins de ceux utilisés par l'EREM, ont été analysés dans le laboratoire de SIDAM.

Le poids moyen de l'échantillon était de 100 grammes, alors que la masse réellement analysée était de 30 grammes. Les résultats de l'analyse sont dans le tableau 2.

* car la prospection était à sa phase initiale

TABLEAU 2 comparaison des resultats obtenus lors des analyses de controle (en g/t AU)

NUMERO	EREM	CHIMITEC I
2028	7.9	12.30
2029	263.0	337.75
2046	120.1	135.48
2160	1.5	2.16
2178	3.6	3.63
2226	5.3	7.10
2322	38.0	32.26
2334	2.1	2.71
2348	564.0	608.44
2420	0.4	0.24
2445	1.3	1.68
2488	3.4	3.73
2491	18.2	19.37
2584	17.5	10.83
2585	0.2	0.14
2861	2.2	0.72
3021	3.4	3.36
4577	4.0	4.90
5110	4.2	4.11
5115	180.6	142.63
5148	0.4	0.82
5149	15.2	12.92
5253	13.5	10.70
5358	3.7	5.52
5406	80.1	72.95
5507	0.2	0.31
5513	3.0	3.33
5537	214.4	248.02
5574 (1)	15.5	16.05
5574 (2)	15.5	14.59
5756	0.5	0.41
5757	34.7	37.23
6093	59.4	59.11
6094	1.3	0.96
6095	0.9	1.17
9096	269.0	207.64
6404	0.6	0.82
6405	1.9	2.06
6458	5.3	5.62
6459	1.9	2.31
6524	4.8	4.35
6525	7.1	7.44
6526	1.3	1.82
6771	17.8	20.37
6772	1.1	1.27
7718	5.1	7.16
8304	1.3	1.13
8327	6.3	5.72

8330	114.8	186.15
8331	40.4	45.29
8333	1.6	1.51
8426	213.9	208.77
8460	2.1	1.95
8513	15.6	18.58
8595	0.5	0.55
8728	2.7	2.16
8747	3.3	3.03
8750	487.9	456.85
8817	15.9	15.05
8818	0.8	0.82
8821	0.2	0.27
8848	8.9	8.86
8882	1.4	1.65
8883	3.1	3.63
8890	1.4	0.82

La bonne reproductibilité des résultats de SIDAM montre que les échantillons prélevés par l'EREM étaient suffisamment représentatifs. La forte valeur du coefficient de corrélation entre les résultats de SIDAM et de EREM (98.60%) permet de confirmer les analyses de l'EREM.

Les analyses effectuées par SIDAM ont le mérite de montrer que l'effet de pépité est peu marqué. En effet l'EREM a analysé un échantillon prélevé sur un poids variant de 4 à 15 kg, alors que SIDAM a analysé seulement 30 grammes sur 100 grammes prélevés. La remarquable reproductibilité des résultats par SIDAM, permet de conclure que l'effet de pépité est peu marqué au niveau d'un échantillon individuel. Cette importante remarque signifie indique l'or doit être à grains fins et distribués de façon homogène dans l'échantillon. Ceci est confirmé par les essais de cyanuration effectués au Canada.

3-Méthode d'analyse utilisée par les laboratoires de l'EREM

L'analyse des échantillon aux laboratoires de l'EREM s'est faite en utilisant la docimasie ou la pyroanalyse. Cette méthode est justifiée au stade actuel de l'évaluation du gisement. Elle apparait comme une méthode efficace et bien adaptée aux besoins car les analyses sont faites sur des prises relativement importantes.

Chaque carotte issue d'un sondage est subdivisée en tranches allant de 0.1 m à 2.0 m.



figure représentant le mode de découpage d'une carrote de sondage

z et l sont respectivement la teneur et la longueur de la tranche. L'ensemble des résultats de l'analyse est reporté en l'annexe I.

La teneur associé à chaque sondage est obtenue par pondération des longueurs des tronçons de carottes.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n L_i Z_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

Il en est de même pour les tranchées et les recoupes.

Les analyse de l'EREM révèlent l'existence de teneurs très importantes pouvant atteindre 760 g/T Au (au niveau de la tranchée T43). Ces valeurs extrêmes sont à prendre avec beaucoup de prudence car elles ne sont pas représentatives. Ainsi, à titre d'exemple, au niveau du sondage S290, on a les valeurs suivantes:

longueur de la tranche analysée (mètres)	teneurs en g/T Au
0.28	584.10
0.50	0.20
0.88	0.20
0.88	0.20
0.77	0.20
0.72	18.00
0.72	28.50

La valeur de 584.10 g/t Au semble être exceptionnelle du moment où elle est de 20 fois plus importante que la dernière valeur (28.5 g/T Au) et est 400 fois plus importante que la valeur la plus faible.

Il existe en fait 44 valeurs similaires de la teneur. Ainsi afin de réduire leurs influences néfastes sur le calcul des

réserves, une correction de ces valeurs extrêmes est alors nécessaire.

4-Méthodes de correction des valeurs exceptionnelles

Il existe quatre méthodes de correction, se sont:

- * La méthode géostatistique
- * La méthode de Weibull
- * La méthode de Kogan
- * La méthode du diagramme gaussio-logarithmique

4-1-La méthode géostatistique

Cette méthode est basée sur les théories développées par l'école sud-africaine de géostatistique. Elle est la plus utilisée pour l'évaluation des gisements d'Afrique du Sud, d'Amérique du Nord et en Australie. D'après cette méthode, la teneur d'écrêtage est obtenue en égalant les moyennes arithmétique avec les moyennes lognormales.

4-2-La méthode de Weibull

Cette méthode s'applique avec succès pour les gisements dont la distribution des teneurs suivait une loi de Weibull. Cette méthode à été utilisée par SIDAM pour l'évaluation du gisement aurifère de Tirek.

4-3-La méthode du diagramme gaussio-logarithmique

Cette méthode correspond à un histogramme modifié. Elle permet d'identifier à l'aide d'un diagramme à l'échelle gaussienne en abscisse et logarithmique en ordonnées les différentes populations.

Sur ce type de graphique, un segment de droite représente une population dont la distribution est lognormale. Cette population a une moyenne et un écart-type qui la caractérise.

5-Application des méthodes de correction

La distribution de la teneur est suivant une loi log-normale (voir partie statistique). Elle ne correspond donc pas à celle de Weibull. La méthode de Weibull n'a donc pas été utilisée.

La méthode de Kogan n'a pas été utilisée lors de l'évaluation du gisement aurifère d'Ammesméssa.

La méthode géostatistique appliquée avec succès aux données analytiques de la zone 9 a permis d'établir une teneur d'écrtage à 110 g/t Au.

La méthode du diagramme gaussien-logarithmique a été appliquée à 724 résultats analytiques issus de la zone 9. Le diagramme associé est donnée par la figure 3. Ce dernier identifie trois populations différentes (voir fig3). Le changement de pente indique un passage d'une population à une autre.

Remarque

D'un point de vue géologique, ces trois populations peuvent être interprété comme suit:

- * La première population est constituée de 55 % de toutes les analyses. La teneur varie de 0 à 5 g/t Au.
- * La seconde population est constituée de 40 % de toute les analyses. La teneur varie entre 5 et 100 g/T Au.
- * La troisième population est constituée seulement 5 % de toute les analyses. La teneur est supérieure à 100 g/T Au.

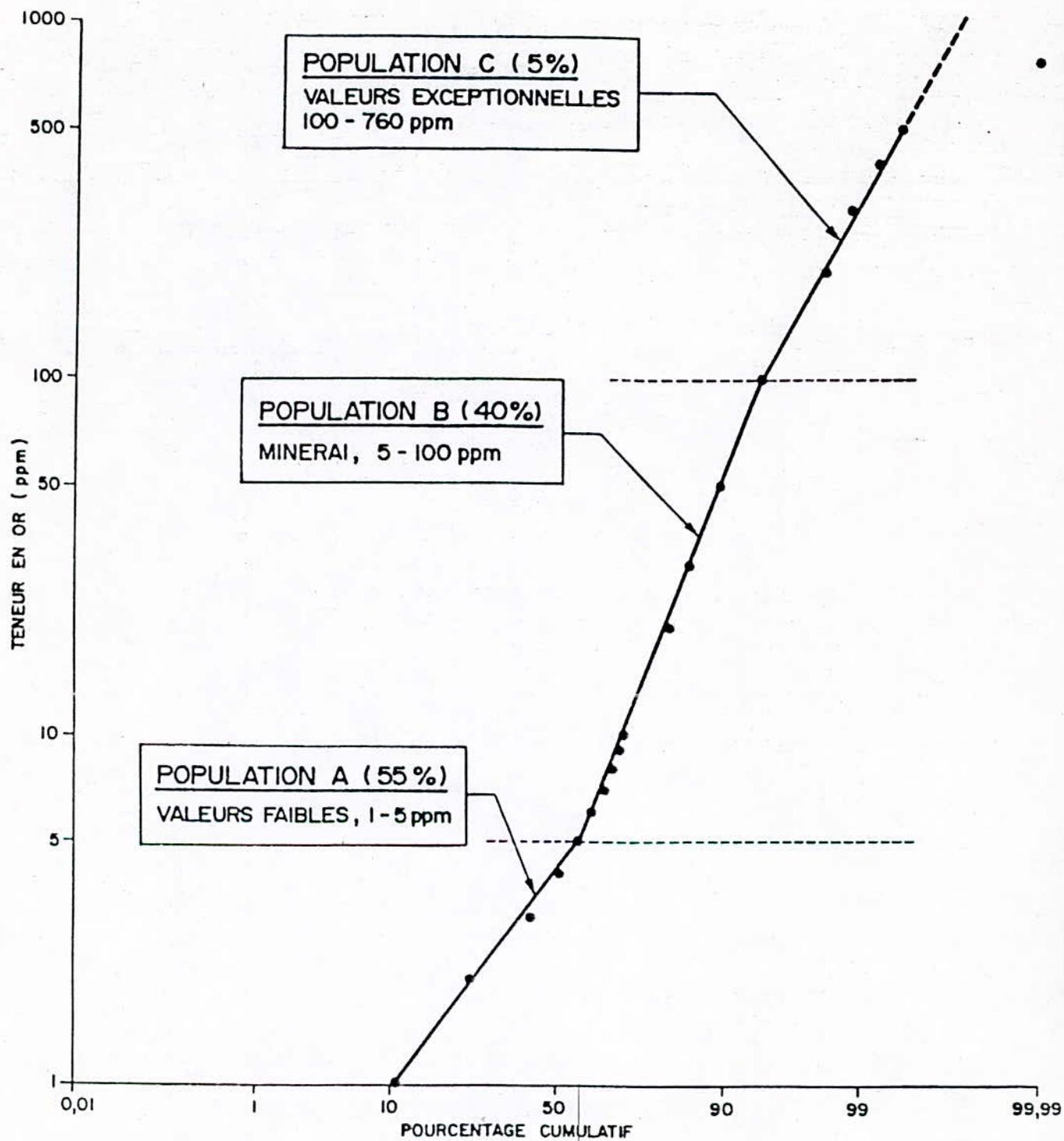


Figure 1- Diagramme gaussien des analyses de la zone 9



Cette dernière population est constituée de valeurs extrêmes. La méthode du diagramme gaussien-logarithmique identifie cette dernière population comme exceptionnelle. La teneur d'écrêtage est alors considérée égale à 100 g/t Au.

6-Choix et argumentation de la teneur d'écrêtage

Actuellement la méthode géostatistique est la plus utilisée dans de nombreux pays. Elle suggère une teneur d'écrêtage de 110 g/T Au. La méthode du diagramme gaussien-logarithmique suggère une valeur de 100 g/T Au.

La bonne coïncidence des teneurs d'écrêtage obtenues avec la méthode géostatistique et la méthode du diagramme gaussien-logarithmique milite en faveur d'une teneur d'écrêtage de 100 g/t Au. Ainsi cette dernière est celle qui s'applique le mieux au cas du gisement d'Amesmessa. Ceci est due au fait que la teneur d'écrêtage doit être la plus basse possible afin d'identifier et réduire au maximum l'influence des valeurs extrêmes.

7-Projection du gisement sur un plan vertical

Les investigations géologiques montrent que le gisement est sous forme d'un filon central entouré d'une auréole de bérésites partiellement aurifères.

Le gisement a été reconnu par des sondages, des tranchées et des recoupes. Il a été reconnu jusqu'à une profondeur de 400 mètres. Son pendage moyen est de 70°W. Son épaisseur varie de zéro à 10 mètres. Le gisement d'Amesmessa est de forme tabulaire (à deux dimensions).

Afin de faciliter l'étude structurale, il est plus aisé de travailler sur un plan. Les données à traiter sont donc reportées sur ce plan. Ceci permet donc de passer du cas tridimensionnel au cas bidimensionnel. L'épaisseur est la direction de faible extension du gisement (voir fig 4).

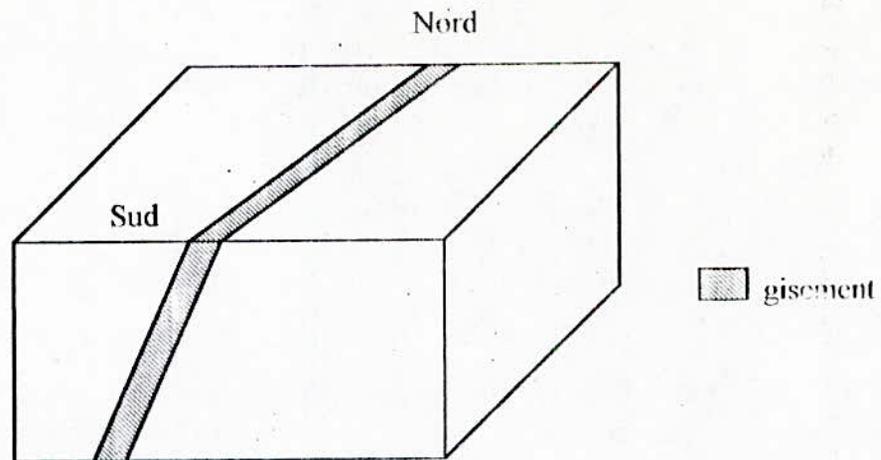


figure 4: Représentation schématique du gisement

Afin d'écraser cette dimension, on projète tout les points formant ce corps tabulaire (gisement) sur un plan vertical. Ceci est appelé une projection verticale longitudinale ou encore VLP (Vertical Longitudinal Projection).

Ce type de projection est très efficace et bien adapté aux gisements tabulaires dréssants. Le fait qu'elle soit verticale permet de prendre en considération la côte du point duquel l'information est extraite. L'aspect longitudinal de cette projection indique la seconde direction du plan de la VLP. C'est la direction dominante. Ce mode de projection a été utilisé par le groupe minier SIDAM pour l'étude structurale et le calcul des réserves

du gisement d'Amesnméssa.

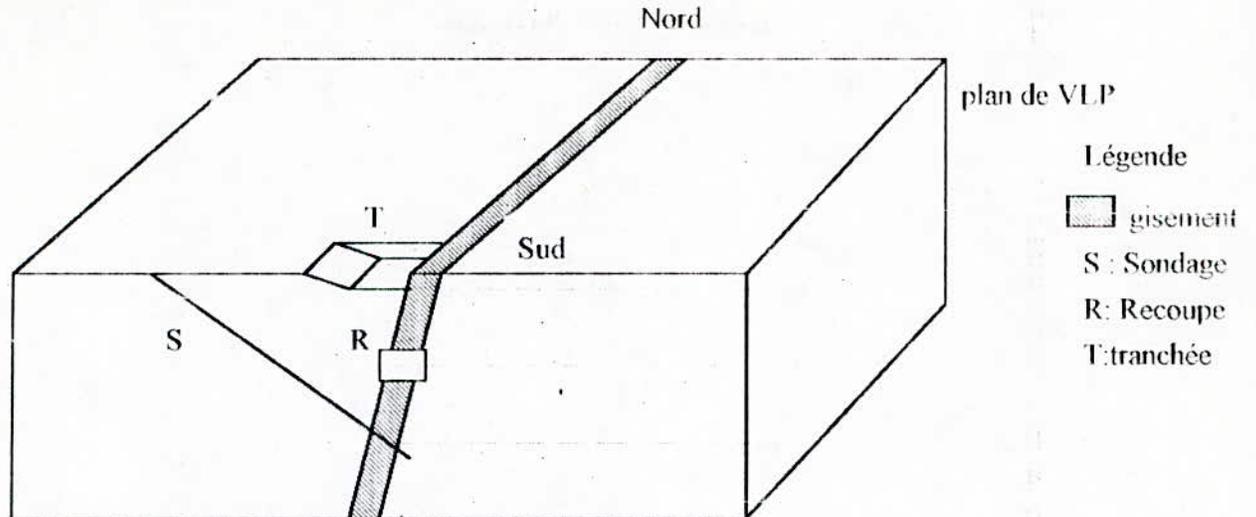


figure 5 : Schéma montrant la projection des points des différents ouvrages miniers grâce à la VLP

Ainsi toutes les positions spatiales des différents ouvrages miniers ont été projetées sur un plan grâce à la VLP. Sur le plan vertical ainsi obtenu, toutes les données ont été reportées (voir fig6).

8-Fichier de données

Les résultats corrigés et vérifiés sont rassemblés dans un fichier unique de format GEO-EAS. Ce dernier est nommé "DONNEES.DAT". Le contenu de ce fichier est donné dans l'annexe 1.

9- Représentation des données grâce à la VLP

Les résultats fournis par les différents travaux miniers réalisés, ont été rattachés à leurs positions spatiales, puis projetés sur un plan vertical grâce à la VLP (voir figure précédente).

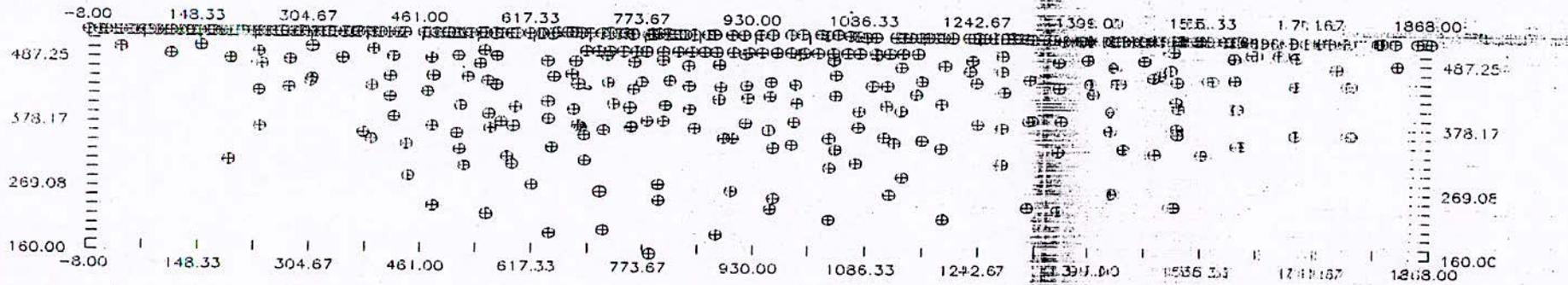
Les figures suivantes montrent la position géographique des différents ouvrages miniers ainsi que les positions spatiales de la teneur, la puissance et l'accumulation. Une façon plus commode de visualiser directement l'importance de ces grandeurs rattachées à leurs positions spatiales a été adoptée. En effet, un cercle de diamètre proportionnel

à la grandeur considérée est rattaché à la position spatiale de l'ouvrage en question. Les figures suivantes illustrent ce fait.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

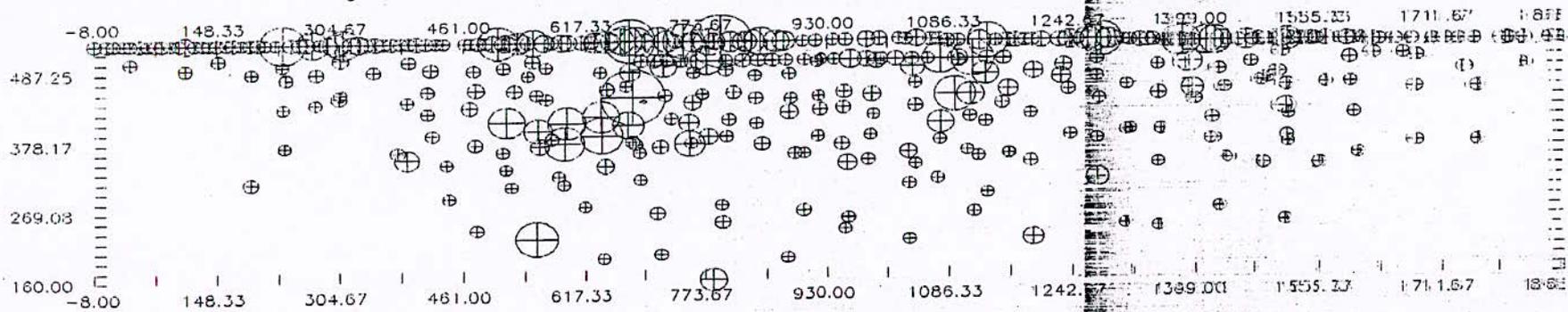
Figure — repartition spatiale de la puissance



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHÈQUE
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHÈQUE
Ecole Nationale Polytechnique

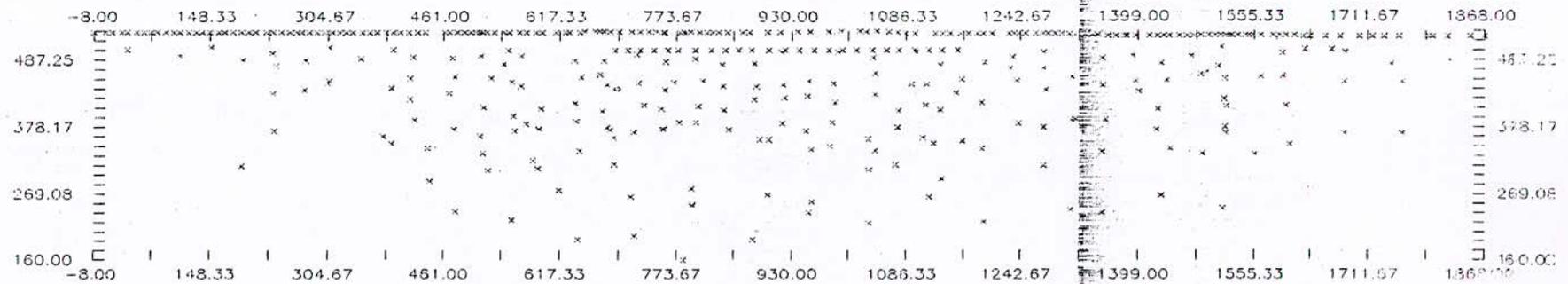
Figure — repartition spatiale des accumulations



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

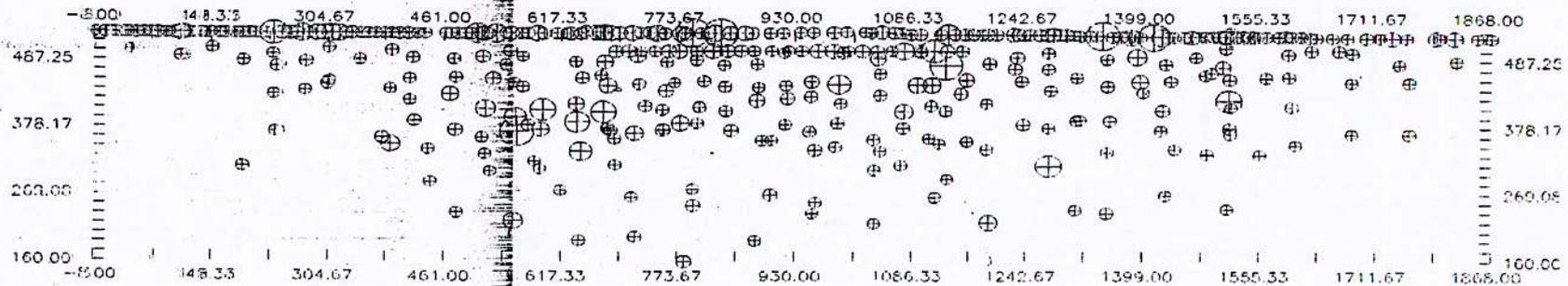
Figure — Position des differents ouvrages miniers



الموسسة الوطنية للتكنولوجيا
 BIBLIOTHEQUE — المكنونبة
 Ecole Nationale Polytechnique

الموسسة الوطنية للتكنولوجيا
 BIBLIOTHEQUE — المكنونبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Figure repartition spatiale de la teneur



Chapitre IV
Statistique des données

Sommaire

Introduction.....	65
1- Etude des distributions.....	65
1-1- Pendage.....	65
1-2- Teneur.....	65
1-3- Longueur interc�pt�e.....	66
1-4- Accumulation métal.....	67
1-5- Conclusion.....	67
2-Etude des corrélations.....	67
conclusion.....	67

Introduction

Les variables étudiées sont la teneur, le pendage, et l'épaisseur de la minéralisation au niveau de chaque ouvrage minier. Cette dernière est issue de la longueur interceptée que l'on corrige en tenant compte de l'inclinaison du corps minéralisé et de l'axe du sondage par rapport à la verticale.

Une autre variable très importante est également étudiée, c'est l'accumulation métal qui est le produit de la teneur par la puissance de la minéralisation.

1-Etude des distributions

1-1-Le pendage

L'analyse du fichier "donnees.dat" contenant toutes les données de base, a montrée l'existence de deux populations distinctes (voir fig.1). La première correspond aux pendages nuls issus des tranchées qui sont au nombre de 164. Il est important de noter que toutes ces tranchées sont perpendiculairement disposées à la direction du corps minéralisé et régulièrement espacées les unes des autres.

La seconde population est formée essentiellement⁶ des sondages. Les recoupes sont en nombre restreint. La fonction de distribution associée à l'histogramme des fréquences d'apparition montre que cette population est normalement distribuée (voir fig 2). La dissymétrie n'étant pas significative (voir fig.3).

1-2-La teneur

L'histogramme des fréquences des teneurs issues de l'ensemble du gisement montre que la population concernée est distribuée selon une fonction du type log-normal(voir fig.4 ; fig.5 ; fig.6).

L'histogramme issus des teneurs des tranchées ressemble à celui issus des sondages, néanmoins les moyennes sont sensiblement différentes, les moyennes et les variances sont respectivement 12.787 (g / T) , 315.201 (g / t)² et 9.260 (g / T) , 245.256(g/T)².

⁶Les recoupes sont au nombre de 26, elles sont incluses dans le calcul

1-3. Longueur interceptées

Les longueurs interceptées par les différents ouvrages miniers diffèrent en moyenne les unes des autres. En fait, les longueurs interceptées par les tranchées sont plus importantes que celles données par des sondages. Les moyennes et les variances sont respectivement 2.376 et 3.276 pour les tranchées, 1.718 et 2.317 pour les sondages.

Les figures 7 et 8, montrent que la longueur interceptée est distribuée conformément à une loi log-normale.

Notant que 10 sondages n'ont pas pu intercepter la minéralisation. Ceci est due au fait que le corps minéralisé est de morphologie lenticulaire.

La plus grande valeur de la longueur interceptée est de 10.10 mètres, la moyenne est de 1.99 m et de variance 2.737 m². Il est important de signaler à ce niveau que cette valeur maximale correspond à la tranchée T-224, alors que pour la tranchée creusée dix mètres plus au Nord (T-224), la longueur est de 2.50 m et que la tranchée creusée 10 mètres avant, donne une longueur de 0.65 m. Ceci est une caractéristique de la structure lenticulaire du corps minéralisée.

Il faut signaler à ce niveau que la puissance du gisement est déterminée à partir de la longueur interceptée. Celle-ci constitue la puissance fictive que l'on doit corriger en tenant compte de l'inclinaison du sondage et le pendage du gisement.

L'épaisseur réelle est obtenue en faisant la correction suivante:

$$Th = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} L$$

α et β sont respectivement le pendage de la couche minéralisée et du sondage.

L'histogramme des puissances ainsi déterminé est donné par la figure 9. La puissance est également distribuée selon une loi log-normale. En effet, l'histogramme des logarithmes des puissances est du type normal (voir fig.10). La courbe de probabilité confirme cette hypothèse (voir fig.11).

1-4-L'accumulation métal

L'accumulation métal est le produit de la teneur par la puissance associée au niveau de chaque ouvrage minier. Son histogramme des fréquences montre que la population est distribuée selon une fonction du type log-normale (voir fig.12 ; fig.13 et fig.14).

1-5- Conclusion:

Les variables étudiées suivent toutes des lois log-normales sauf le pendage issus des sondages, qui provient d'une population normale. Ceci permet donc des anamorphoses graphiques.

2-Etude des corrélation

La corrélation entre deux variables régionalisées peut être très intéressante du moment où elle peut orienter l'étude géostatistique.

La figure 15 montre en abscisse la teneur et l'épaisseur en ordonnée. Le coefficient de corrélation est de 0.022 . Ces variables sont donc indépendantes l'une de l'autre. La figure 16 dont l'axe des abscisses est le pendage, donne un coefficient de corrélation égal à -0.253 . Notons également que deux populations sont bien distinctes.

Conclusion

Les différentes variables⁷ sont indépendantes les unes des autres. Elles peuvent donc être étudiées séparément les unes des autres.

⁷Sauf l'accumulation métal avec la puissance ou la teneur

Figure 1 - Histogramme donnant la repartition de la variable pendage

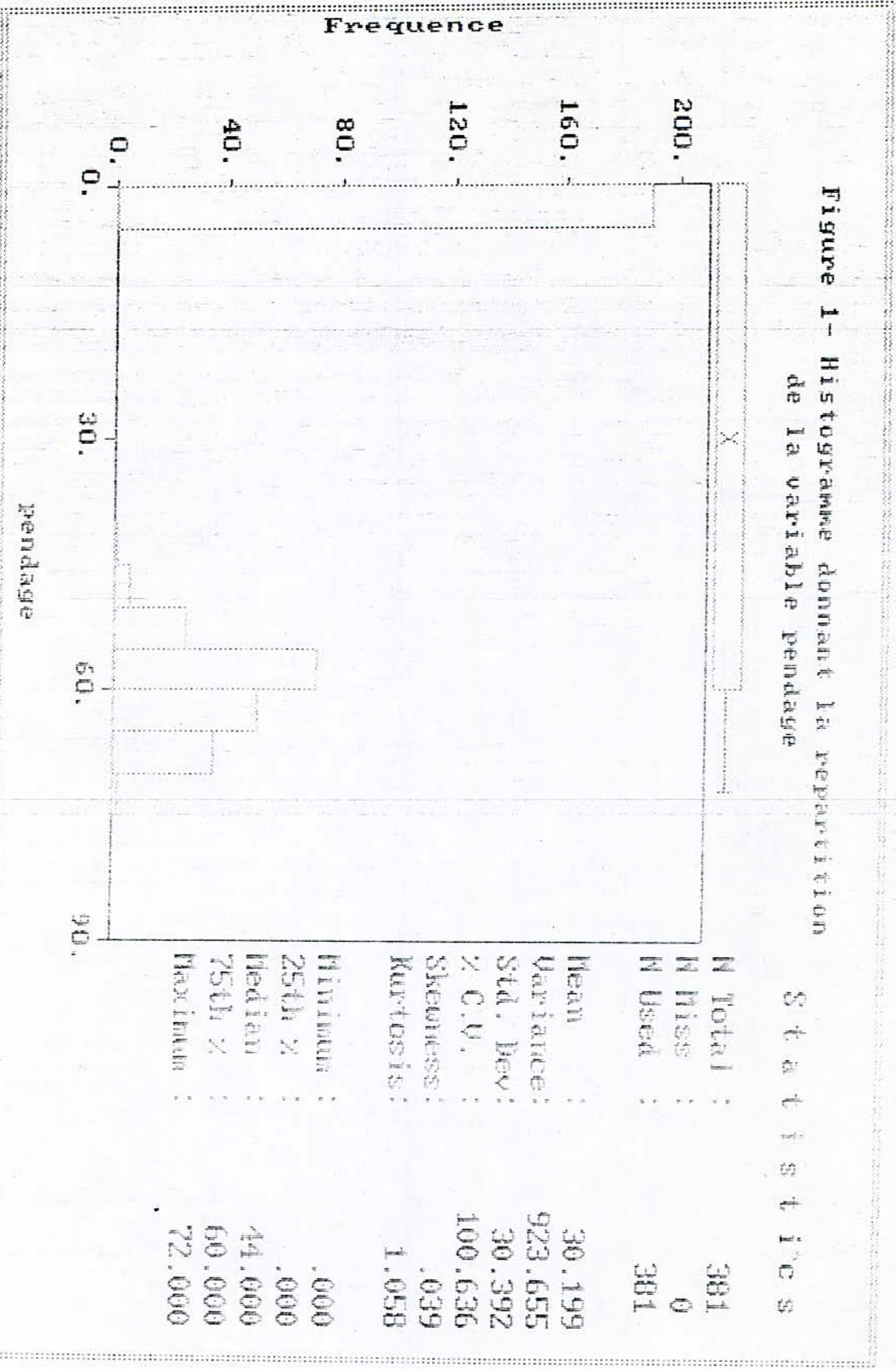
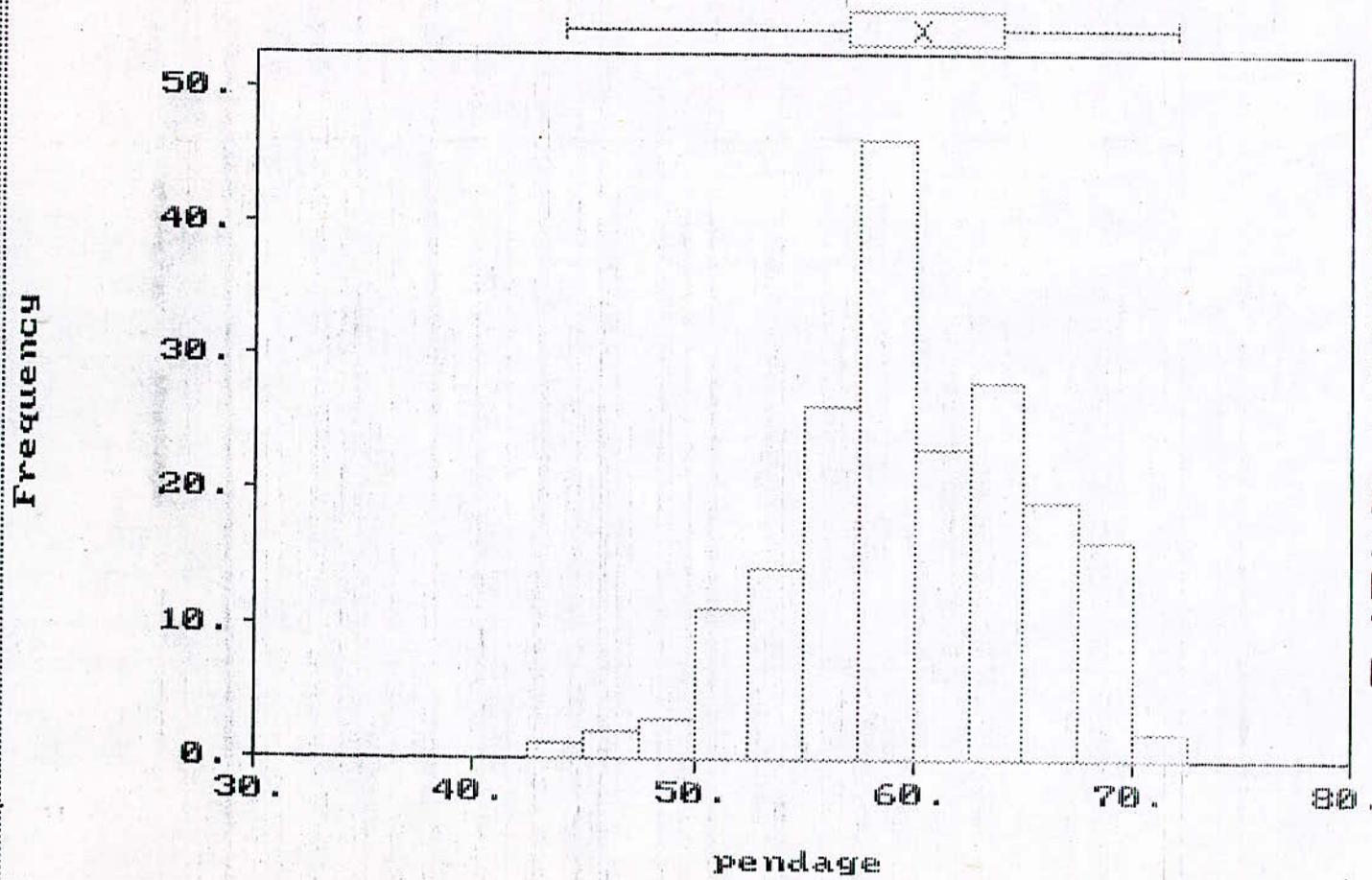


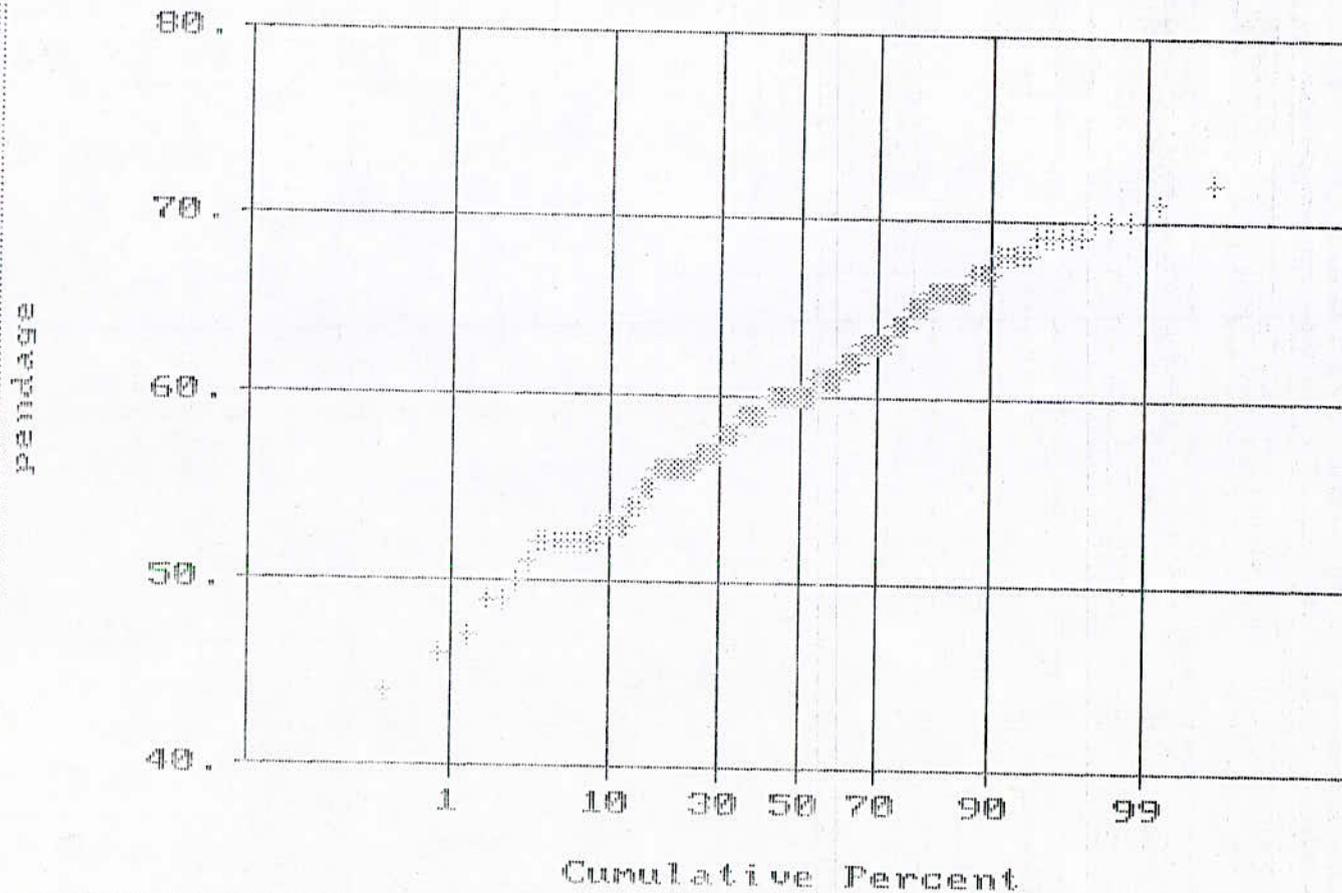
Figure 2 - Histogramme donnant la repartition du pendage

Statistics



N Total :	191
N Miss :	0
N Used :	191
Mean :	60.241
Variance :	28.068
Std. Dev :	5.298
% C.V. :	8.795
Skewness :	-.235
Kurtosis :	2.848
Minimum :	44.000
25th % :	57.000
Median :	60.000
75th % :	64.000
Maximum :	72.000

figure 3 - Normal Probability Plot for pendage
Data file: domn.dat

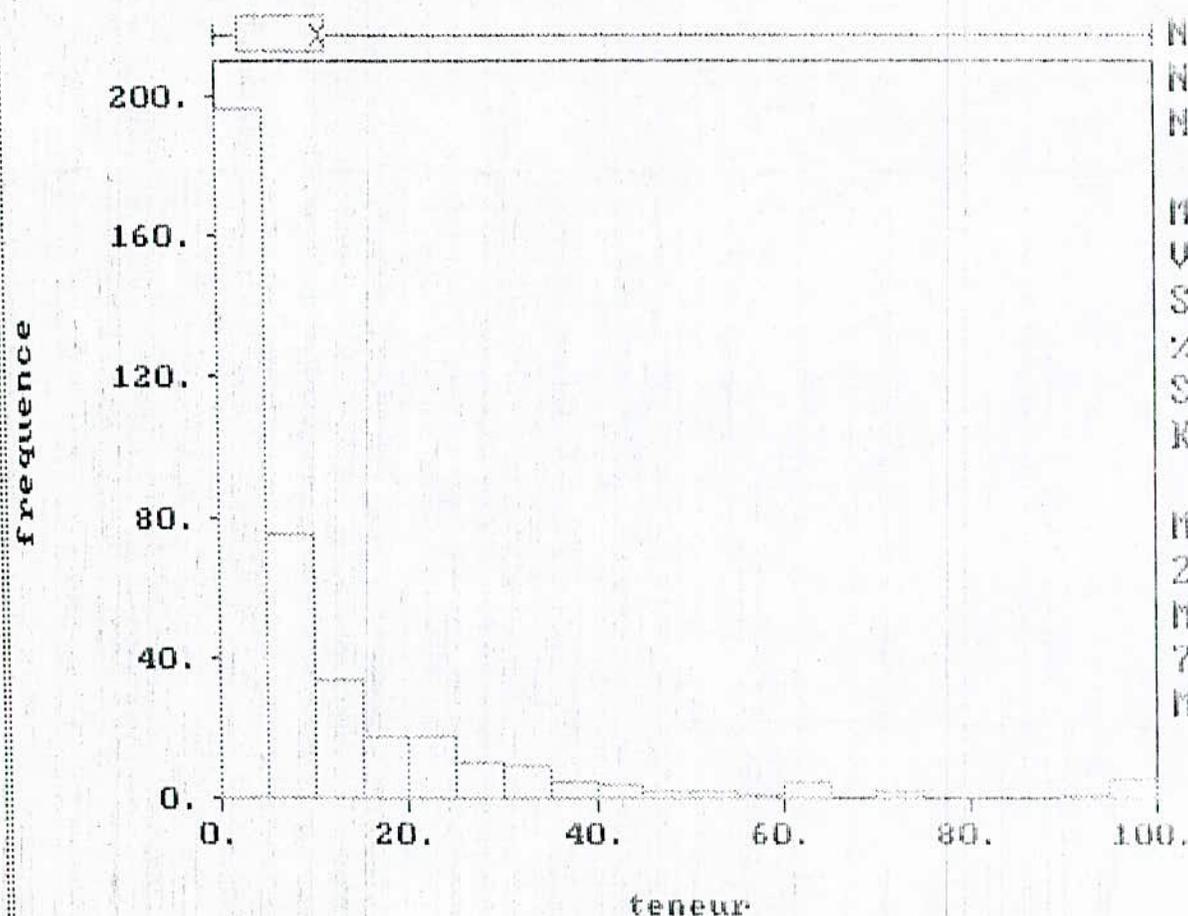


Statistics

N Total :	191
N Miss :	0
N Used :	191
Mean :	60.241
Variance :	28.068
Std. Dev :	5.298
% C.V. :	8.795
Skewness :	-.235
Kurtosis :	2.848
Minimum :	44.000
25th % :	57.000
Median :	60.000
75th % :	64.000
Maximum :	72.000

Figure 4- histogramme donnant la repartition de la variable teneur

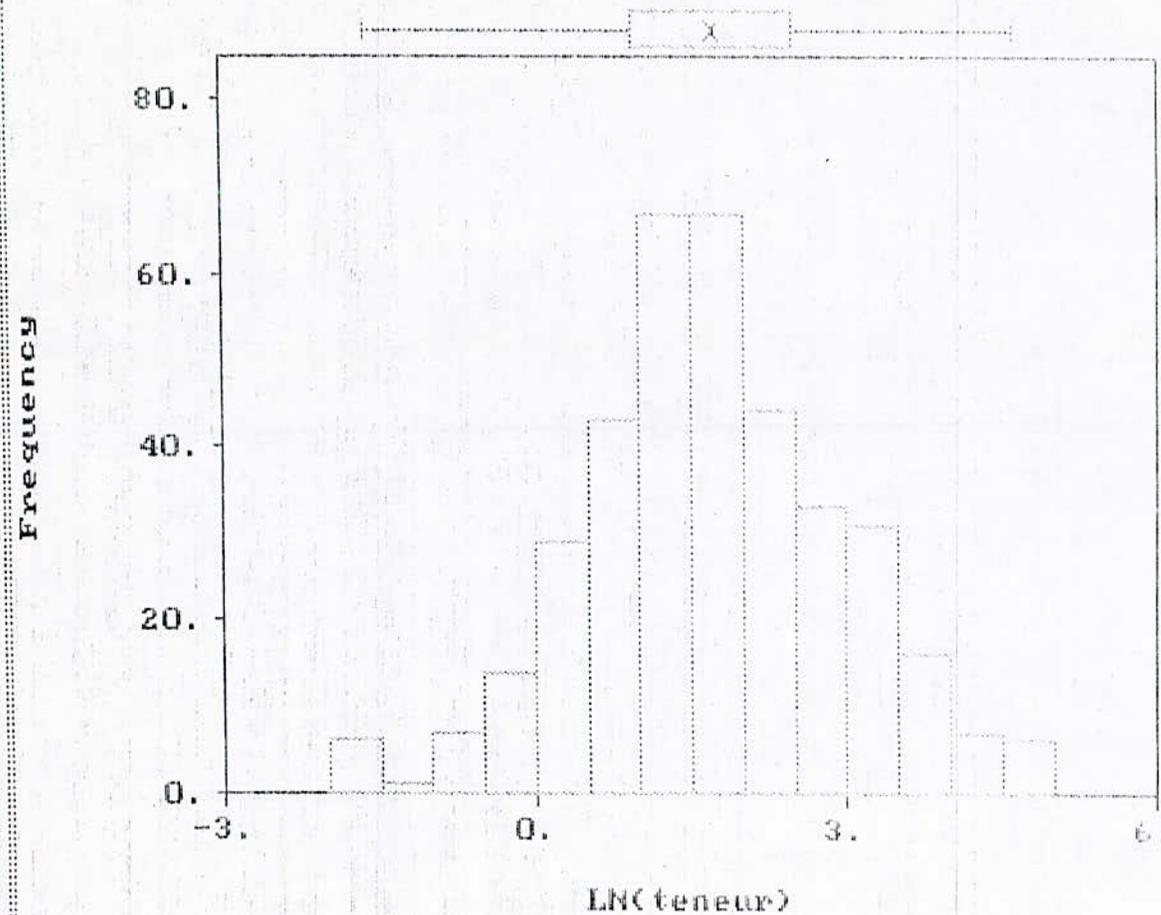
Statistics



N Total :	381
N Miss :	0
N Used :	381
Mean :	11.001
Variance :	276.047
Std. Dev :	16.615
% C.V. :	151.024
Skewness :	3.230
Kurtosis :	15.135
Minimum :	.000
25th % :	2.400
Median :	4.900
75th % :	11.675
Maximum :	100.000

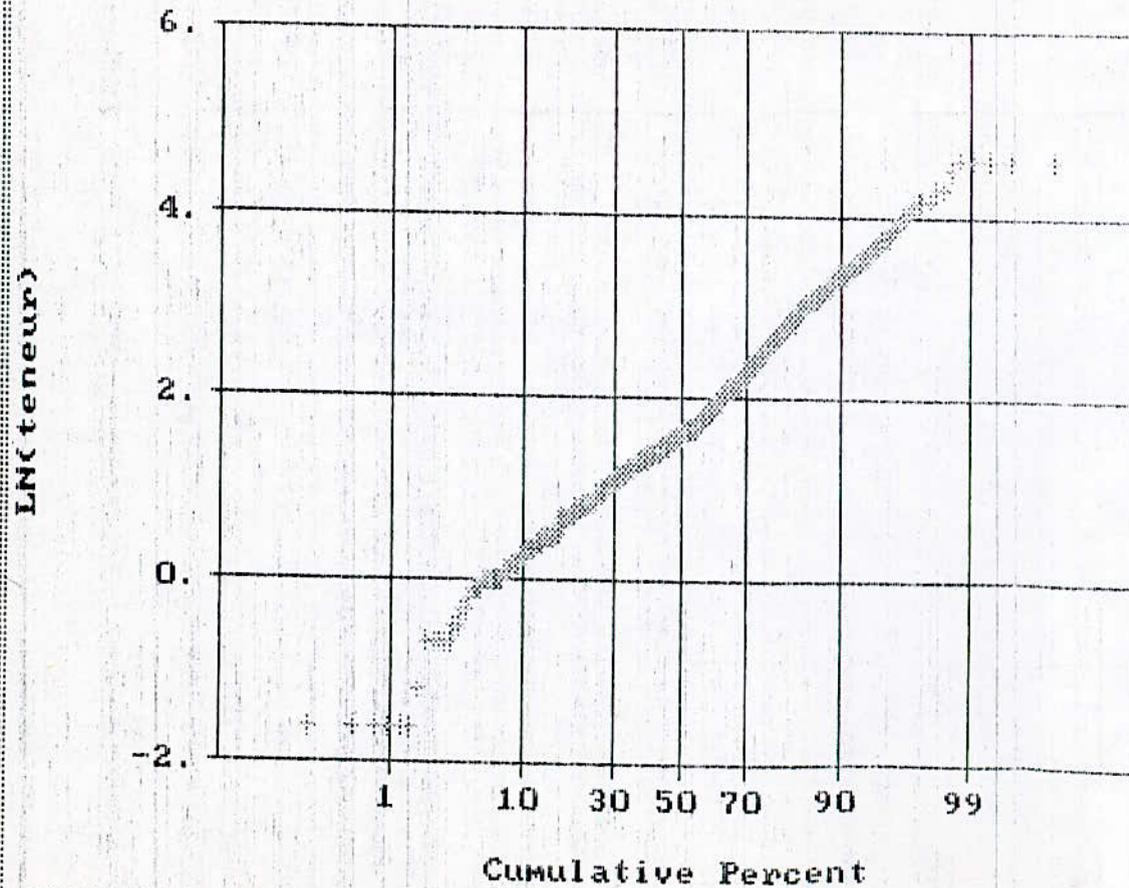
Figure 5- Histogramme montrant la répartition des logarithmes des teneurs

Statistics



N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	1.706
Variance :	1.467
Std. Dev :	1.211
% C.V. :	71.010
Skewness :	-.001
Kurtosis :	3.100
Minimum :	-1.609
25th % :	.946
Median :	1.609
75th % :	2.489
Maximum :	4.605

Figure 6 - Normal Probability Plot for LN(teneur)
 Data file: donnees.dat

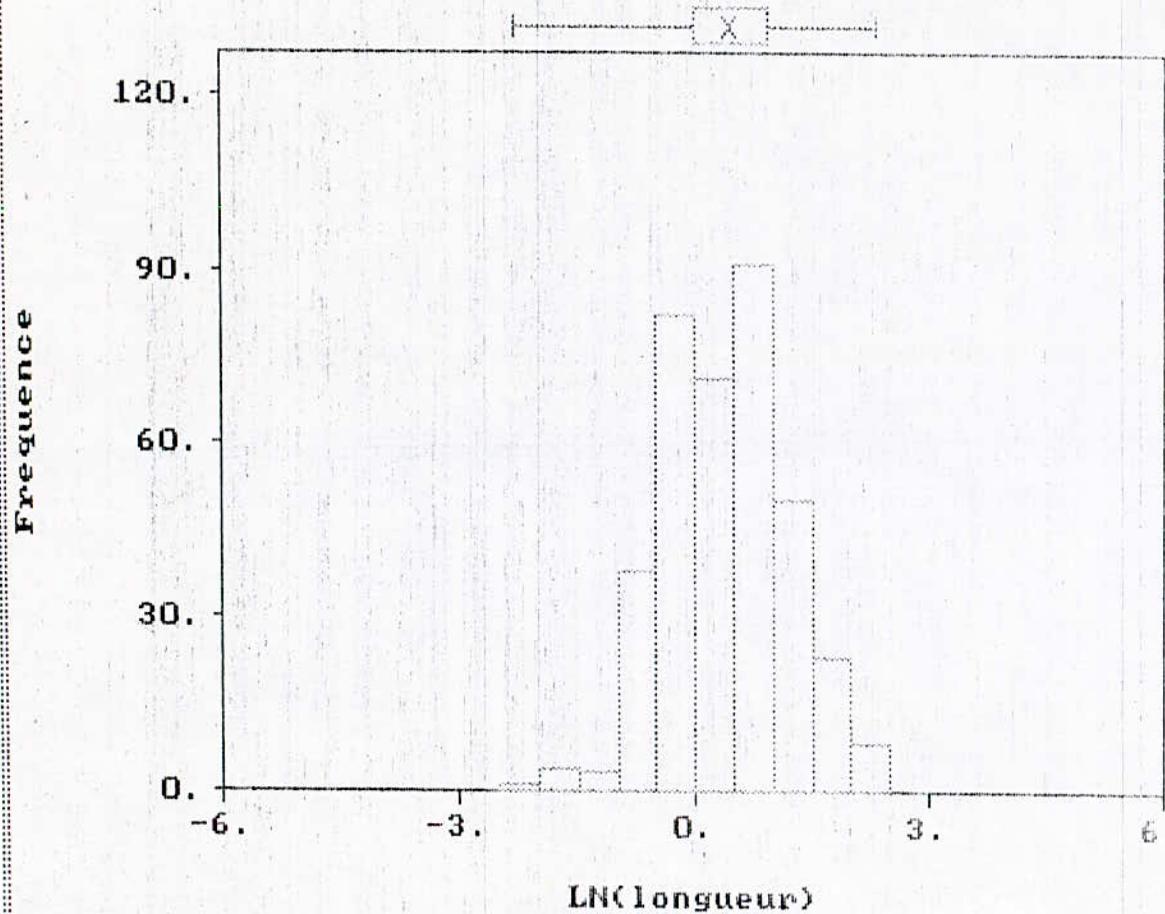


Statistics

N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	1.706
Variance :	1.467
Std. Dev :	1.211
% C.V. :	71.010
Skewness :	-.001
Kurtosis :	3.100
Minimum :	-1.609
25th % :	.946
Median :	1.609
75th % :	2.489
Maximum :	4.605

Figure 7 - Histogramme donnant du logarithme de la longueur

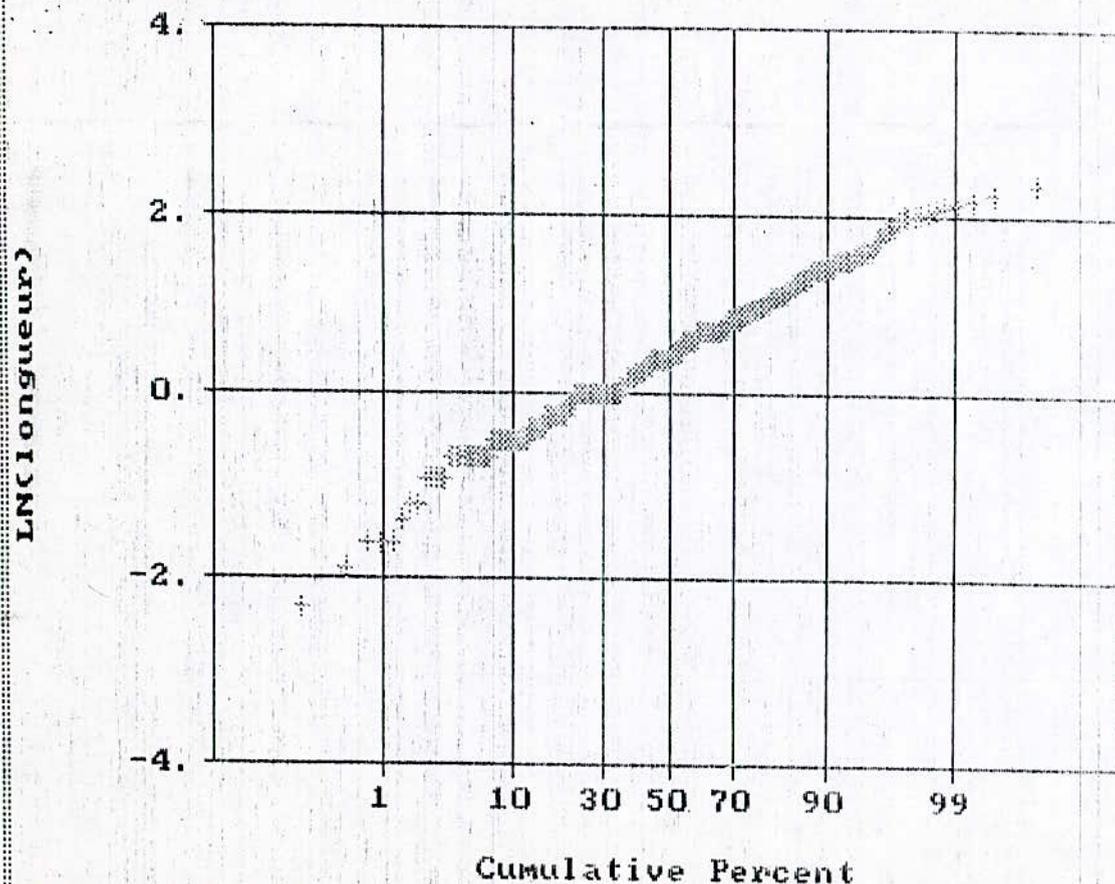
Statistics



N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	.442
Variance :	.566
Std. Dev :	.752
% C.V. :	170.333
Skewness :	-.149
Kurtosis :	3.260
Minimum :	-2.303
25th % :	.600
Median :	.405
75th % :	.926
Maximum :	2.313

Figure 8 - Normal Probability Plot for LN(longueur)
 Data file: donnees.dat

Statistics



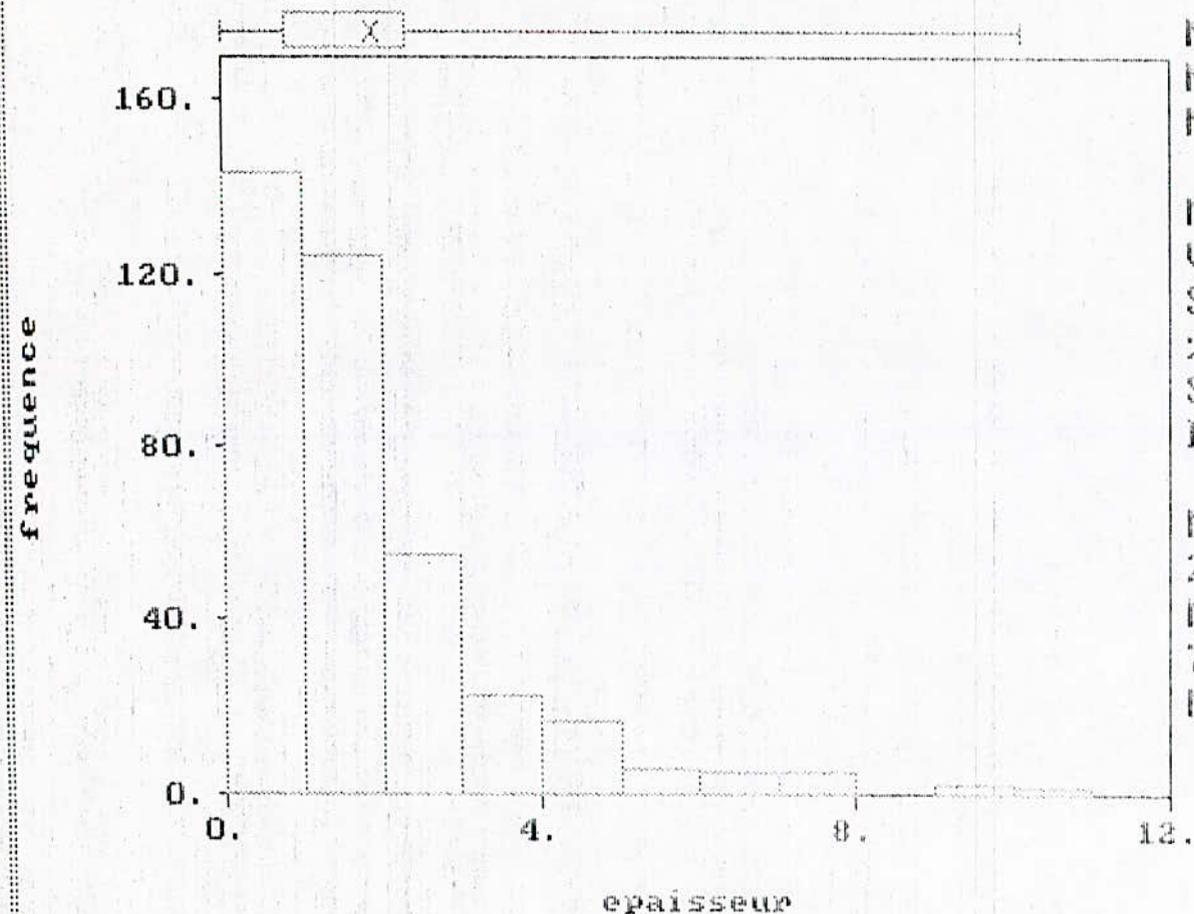
N Total : 381
 N Miss : 10
 N Used : 371

Mean : .442
 Variance : .566
 Std. Dev : .752
 % C.V. : 170.333
 Skewness : -.149
 Kurtosis : 3.260

Minimum : -2.303
 25th % : .000
 Median : .405
 75th % : .926
 Maximum : 2.313

Figure 9- Histogramme montrant la distribution de la variable epaisseur

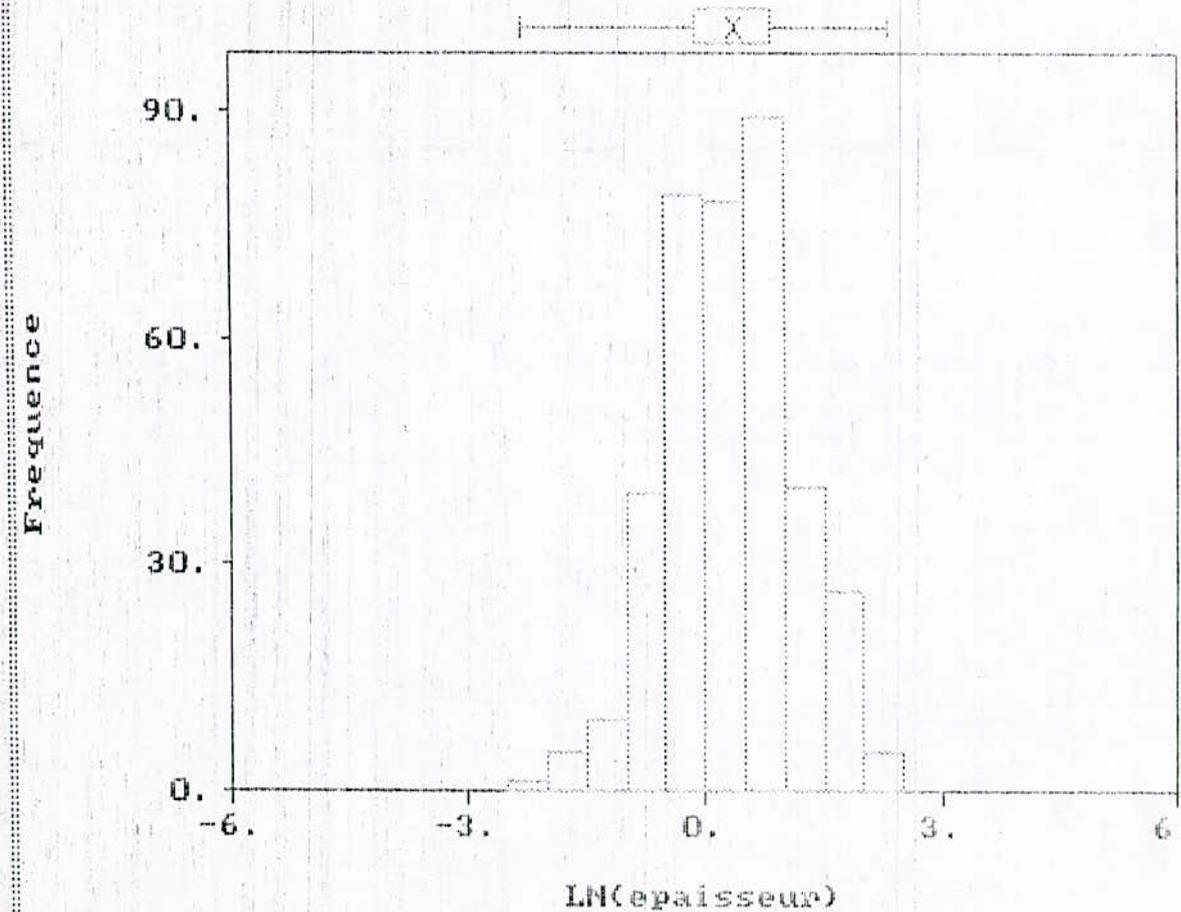
S t a t i s t i c s



N Total :	381
N Miss :	0
N Used :	381
Mean :	1.879
Variance :	2.612
Std. Dev :	1.616
% C.V. :	86.032
Skewness :	2.018
Kurtosis :	8.148
Minimum :	.000
25th % :	.800
Median :	1.400
75th % :	2.300
Maximum :	10.100

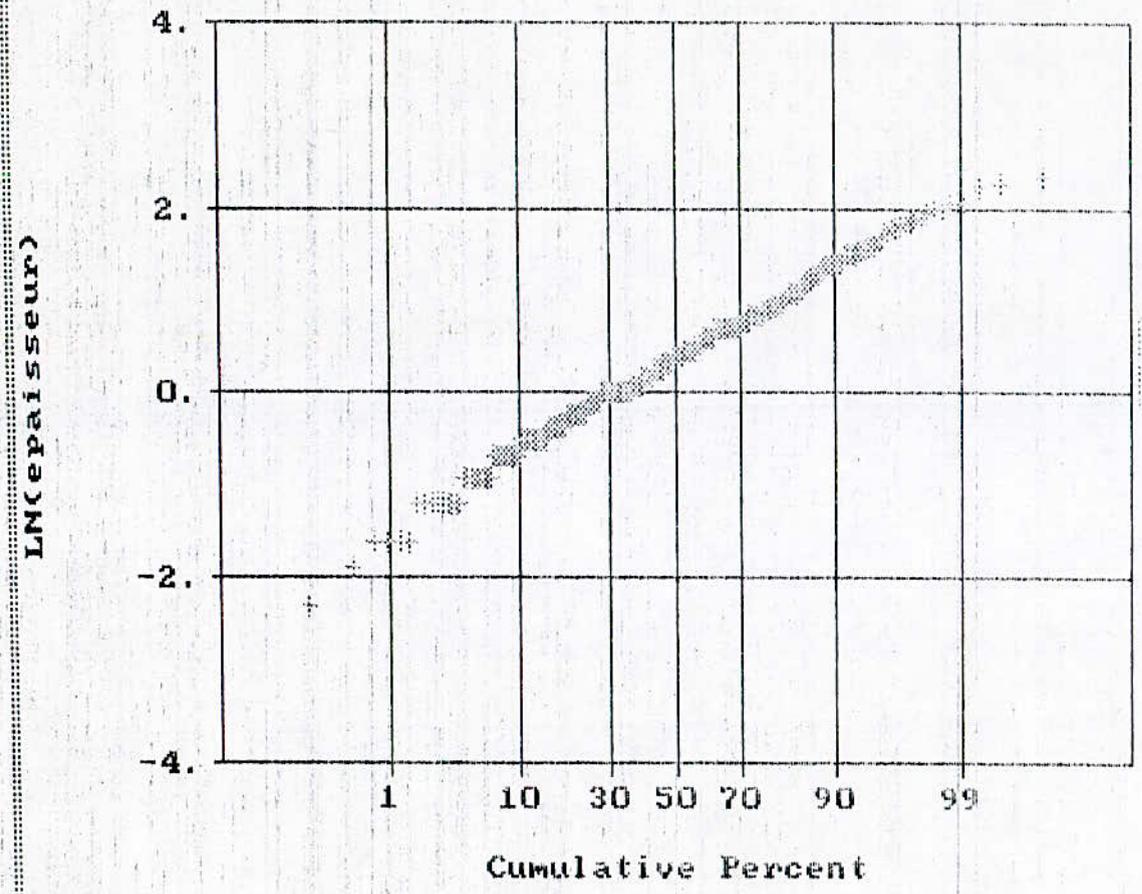
Figure 10- Histogramme montrant la distribution
du logarithme de l'epaisseur

Statistics



N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	.365
Variance:	.608
Std. Dev:	.780
% C.V. :	213.483
Skewness:	-.155
Kurtosis:	3.126
Minimum :	-2.303
25th % :	-.105
Median :	.405
75th % :	.833
Maximum :	2.313

Figure 11 - Normal Probability Plot for LN(epaisseur)
 Data file: donnees.dat

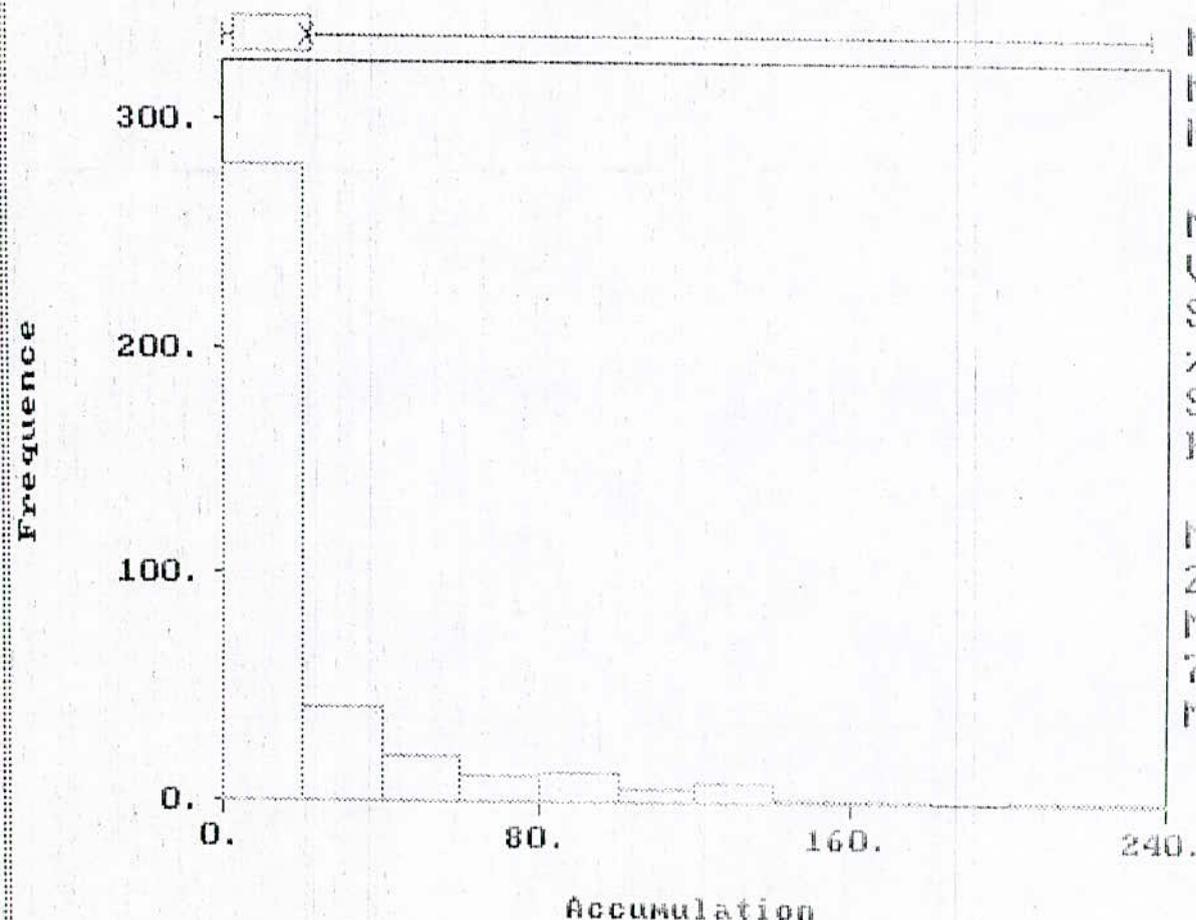


Statistics

N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	.365
Variance :	.608
Std. Dev :	.780
% C.V. :	213.483
Skewness :	-.155
Kurtosis :	3.126
Minimum :	-2.303
25th % :	-.105
Median :	.405
75th % :	.833
Maximum :	2.313

figure 12- Histogramme montrant la repartition
de la variable accumulation

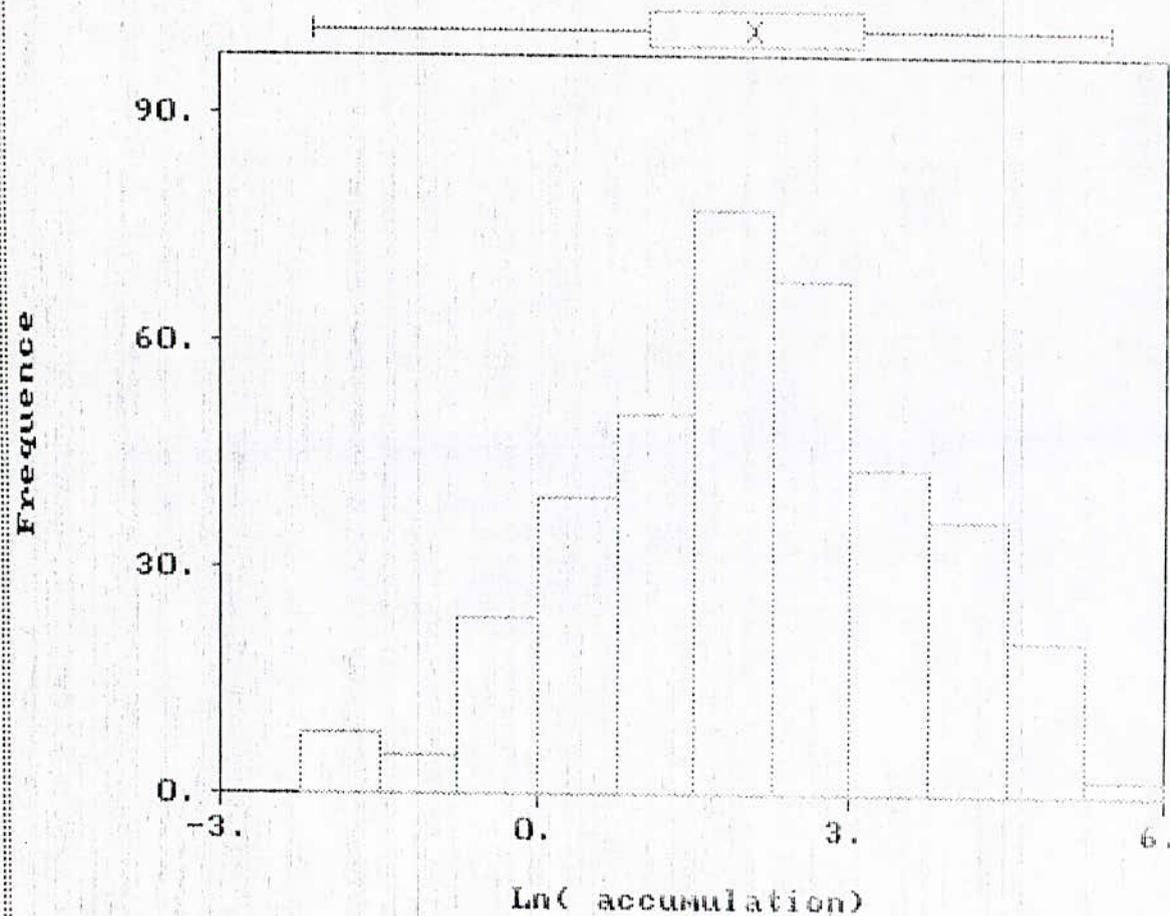
Statistics



N Total :	381
N Miss :	0
N Used :	381
Mean :	21.173
Variance :	1130.749
Std. Dev :	33.627
% C.V. :	158.815
Skewness :	2.829
Kurtosis :	12.711
Minimum :	.000
25th % :	2.483
Median :	7.600
75th % :	21.872
Maximum :	235.350

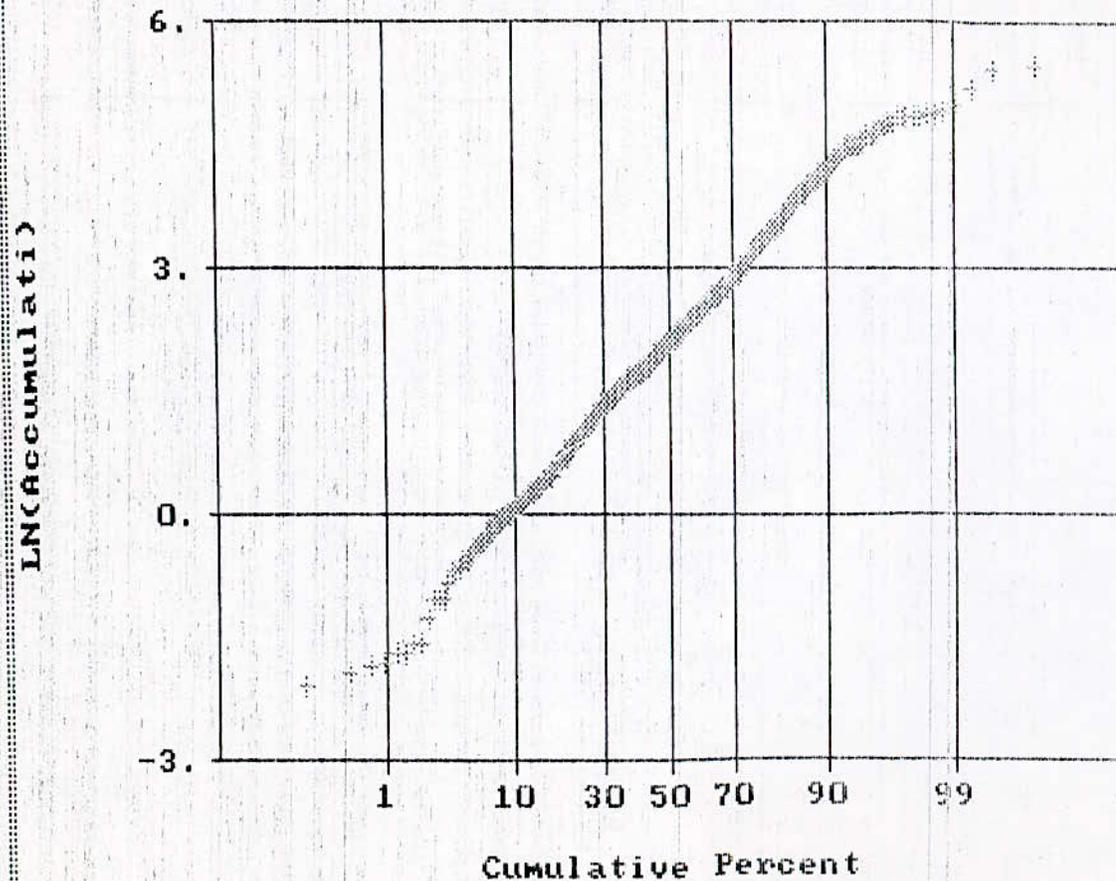
Figure 13- Histogramme montrant la repartition du logarithme de l'accumulation

Statistics



N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	2.066
Variance :	2.380
Std. Dev :	1.543
% C.U. :	74.660
Skeowness :	-.195
Kurtosis :	2.701
Minimum :	-2.120
25th % :	1.063
Median :	2.092
75th % :	3.122
Maximum :	5.461

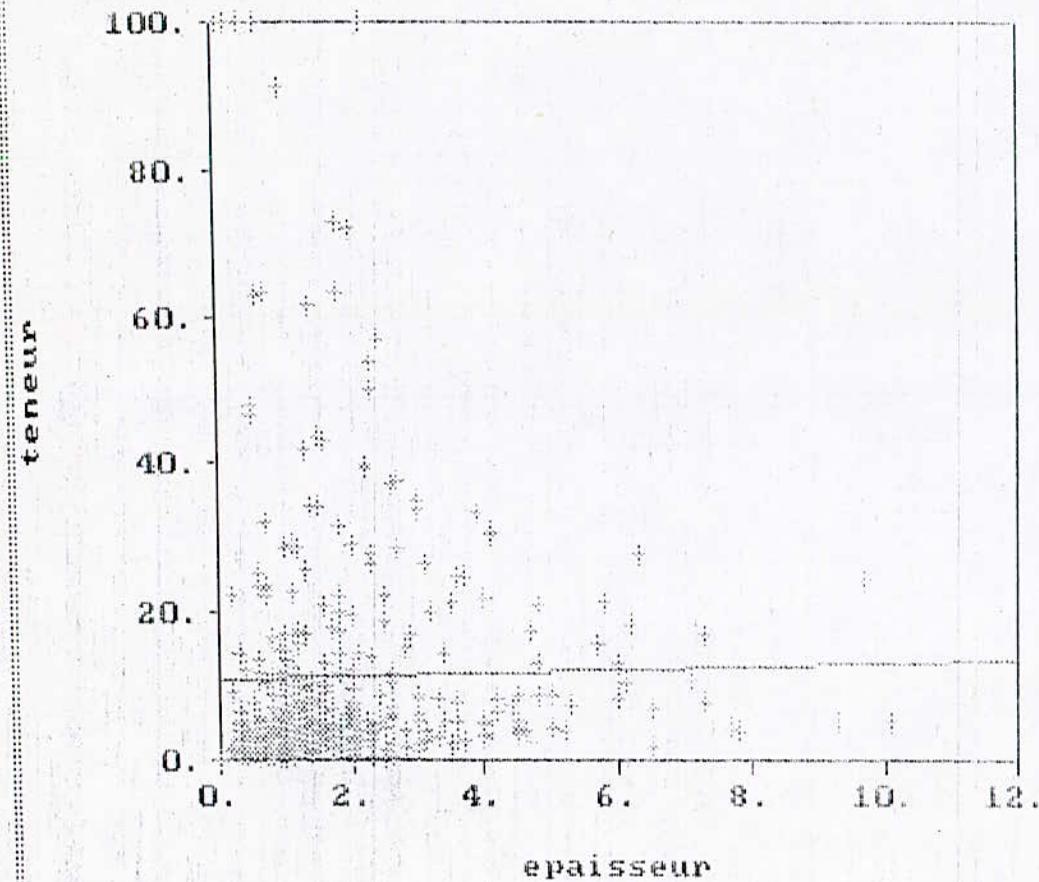
Figure 14 Normal Probability Plot for LN(Accumulati)
 Data file: donnees.dat



Statistics

N Total :	381
N Miss :	10
N Used :	371
Mean :	2.066
Variance:	2.380
Std. Dev:	1.543
% C.V. :	74.660
Skewness:	-.195
Kurtosis:	2.701
Minimum :	-2.120
25th % :	1.063
Median :	2.092
75th % :	3.122
Maximum :	5.461

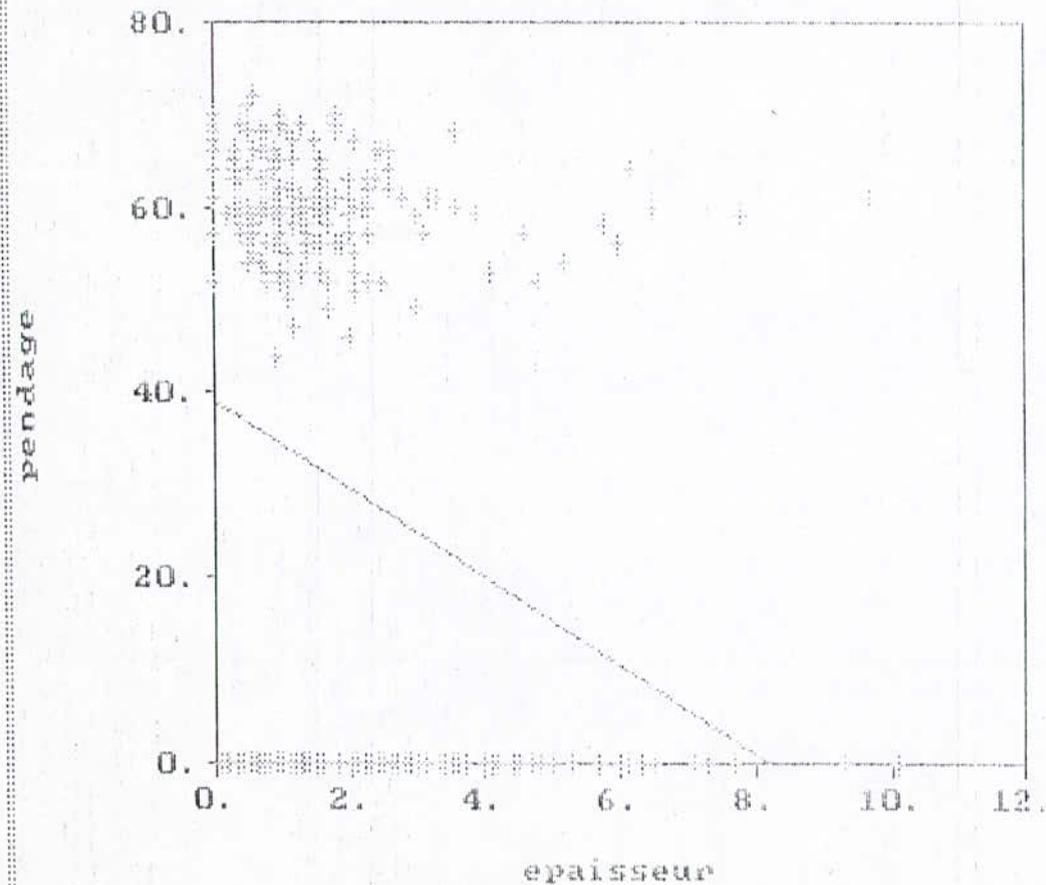
fig: 15 - from data file donnees.dat



Regression Results:

# Pairs	:	381
Slope	:	.223
Intercept	:	10.582
Correl. coeff.:		.022

Fig-16 Scatter Plot
from data file donnees.dat



Regression Results:

# Pairs	:	381
Slope	:	-4.765
Intercept	:	39.151
Correl. coeff	:	-.253

Chapitre V
Analyse structurale

Sommaire

1-Définition des objectifs à atteindre.....	86
2-Définition des variables régionalisées.....	86
3-Construction des variogrammes.....	87
3-1-Construction des variogramme pour la VR accumulation...	89
3-1-1-Selon la direction Nord_Sud (azimuth 90°).....	90
3-1-2-Selon l'azimuth 0°.....	91
3-1-3-Selon l'azimuth 45°.....	93
3-1-4-Selon l'azimuth 135°.....	93
3-1-5- Modélisation de l'anisotropie.....	95
3-2-Construction des variogrammes pour la V.R puissance....	98
3-2-1-Variogramme selon l'azimuth 90°.....	99
3-2-2-Variogramme selon l'azimuth 0°.....	100
3-2-3-Variogramme selon l'azimuth 45°.....	101
3-2-4-Variogramme selon l'azimuth 135°.....	102
3-3-Construction des variogrammes pour la VR Teneur.....	104
3-3-1- Variogramme omnidirectionel.....	104
3-3-2-Selon l'azimuth 90°.....	105
3-3-3-Selon l'azimuth 0°.....!	106
3-3-4-Selon l'azimuth 45°.....	107
3-3-5-Selon l'azimuth 135°.....	108
3-4-Conclusion finale.....	109

1-Définition des objectifs à atteindre

L'objectif de mon étude est le calcul des réserves du gisement aurifère d'Amesmessas. Ce dernier se présente sous forme filonienne. Les zones 8 et 9 ne sont en réalité une seule structure. Elle se caractérise par sa faible puissance, sa profondeur non parfaitement délimitée* et par son développement le long de la direction Nord-Sud. Le gisement est dressant, de pendage moyen est égal à 70°.

Les données qui permettent d'atteindre ces objectifs sont l'accumulation métal, la teneur et la puissance. Les dimensions des blocs à estimer sont de 40 X 40 m². Ce qui correspond à la maille de reconnaissance la plus faible.

2-Définition des variables régionalisées

La définition de la variable régionalisée consiste à préciser sa signification, son support et son champ d'extension. L'additivité et l'homogénéité des variables sont importantes lors du choix des V.R .

Signification

L'ensemble des puissances données par les divers ouvrages miniers, forment une famille de valeurs numériques considérées comme des réalisations d'une fonction aléatoire. Elle constitue donc une variable régionalisée. La puissance est exprimée en mètres.

Les diverses teneurs sont également considérées comme des réalisations d'une fonction aléatoire. L'application du formalisme mathématique nécessite l'introduction de l'hypothèse de corrélation spatiale entre ces réalisations de la F.A . La teneur est donc définie comme une variable régionalisée. Il en est de même pour la puissance.

L'accumulation métal est le produit de la teneur par la puissance. On peut donc, en généralisant le principe, dire que l'ensemble des valeurs de l'accumulation métal sont des réalisations d'une F.A . Une corrélation spatiale entre les réalisations existe. On peut donc définir l'accumulation métal comme une variable régionalisée. Elle est donc exprimée en m g/t Au.

*La profondeur maximale atteinte est de 400 mètres

Support

Une variable régionalisée est définie sur un support, c'est à dire son volume de régularisation. Ceci est toujours vérifié car en pratique on ne dispose jamais de valeurs ponctuelles.

Les V.R puissance, teneur et accumulation sont régularisées sur des supports différents. En effet, on note la présence de supports issus des tranchées, des sondages et des recoupes.

Champs d'extension

Les échantillons ont été prélevés de façon systématique sur toute la concession. Notons également que la partie superficielle du gisement a été reconnue avec 184 tranchées régulièrement espacées. Cette hétérogénéité peut conduire à des risques de biais.

Remarque

On note la présence d'une hétérogénéité des données dans le temps et dans l'espace. En effet il y a eu plusieurs campagnes de reconnaissances. Le gisement a été reconnu par différents ouvrages miniers:

Conclusion

Les variables accumulation métal, la puissance et la teneur, sont distribuées selon une loi log-normale. Leurs logarithmes seront donc normalement distribués. Il est plus avantageux de travailler avec ces logarithmes.

3-Construction des variogrammes

Les différents variogrammes ont été construits avec le programme GAMV2.FOR. Le mode de fonctionnement de ce dernier est le groupement par classes d'angles et de distances. La construction du variogramme dans une direction

fait intervenir une tolérance angulaire et linéaire.

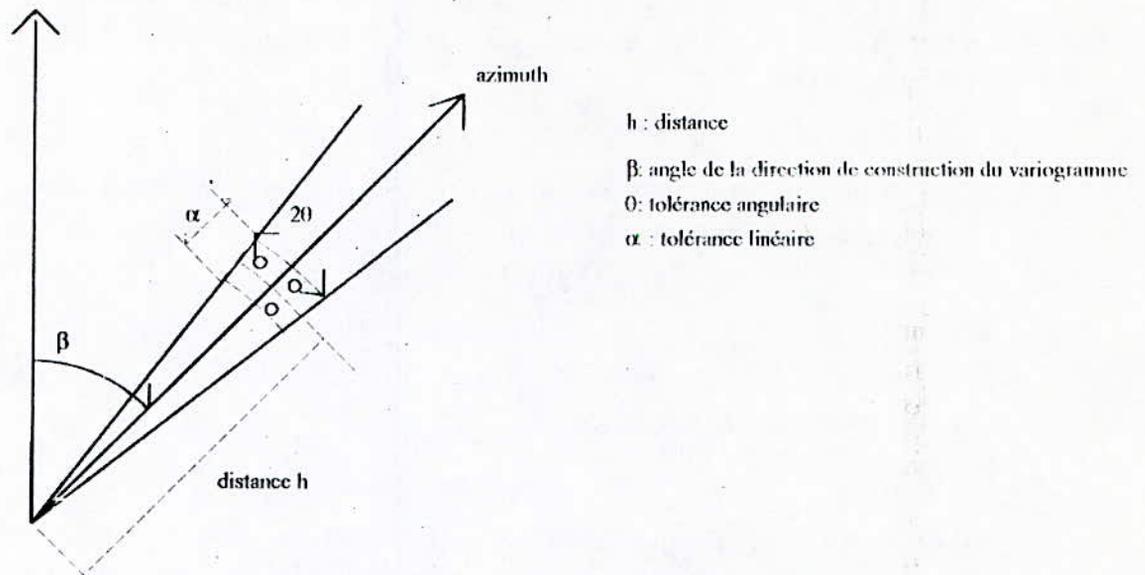


fig.1 : Méthode de recherche par secteur des données irrégulièrement distribuées

Le programme GAMV2M.FOR utilise un fichier de paramètres. ce dernier se présente comme suit:

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat	\Data File in GEOEAS format
3 4	\columns for x and y coordinates
1 6	\nvar; column numbers
-1.0e21 1.0e31	\tmin, tmax (trimming limits)
vario.dat	\Output File for Variograms
16	\nlag - the number of lags
40	\xlag - unit separation distance
5	\xltol- lag tolerance
1	\ndir - number of directions
0 20 1328	\direction; tolerance; bandwidth
1	\number of variograms
1 1 1	\head, tail, variogram type

L'objectif de l'analyse structurale est d'étudier la continuité spatiale entre les diverses réalisations de la fonction aléatoire. La première étape de l'étude est la construction du variogramme omnidirectionnel. Il constitue une première estimation du variogramme moyen (STRIVASTAVA, 1989). Bien sûr, il n'est pas un variogramme moyen strict. La construction du variogramme omnidirectionnel n'implique pas que la continuité spatiale est identique dans toutes les directions (STRIVASTAVA, 1989). Il sert simplement à déterminer les paramètres servant aux constructions des variogrammes directionnels. En effet, la direction n'intervient pas dans la construction du variogramme omnidirectionnel, le nombre de couples au niveau de chaque pas du calcul est le plus important que pour toute autre variogramme. De là, la distance permettant d'avoir la structure la plus claire est alors obtenue.

Une autre raison qui insiste en faveur de la construction du variogramme omnidirectionnel en premier lieu est le fait qu'il sert à déterminer les variogrammes directionnels ératiques. En effet, le variogramme omnidirectionnel est construit avec le nombre maximal de couples au niveau de chaque pas (lag). Il est donc plus favorable à l'apparition d'une structure nette et interprétable. Si tel n'est pas le cas, alors il y a au moins un variogramme directionnel qui ne montre pas une structure claire et interprétable. Si le variogramme omnidirectionnel est désordonné, alors il convient de chercher la cause. Une fois ce paramètre est défini, alors on peut commencer à explorer les anisotropies avec les variogrammes directionnels.

3-1-Construction des variogrammes pour la VR accumulation

Afin d'étudier, conformément à nos objectifs, la variable régionalisée accumulation métal, quatre variogrammes sont construits selon les quatre diagonales principales. Il faut signaler que la construction des variogrammes concernera uniquement les logarithmes des accumulations métal. Ces dernières sont normalement distribuées (voir la partie statistique).

L'étude commence d'abord par la construction du variogramme omnidirectionnel. Le fichier paramètre est ACU_090.PAR (voir annexe II) a été utilisé par le programme. Les résultats sont donnés par le fichier LNACU_090.RES ,

également listé dans l'annexe II. Le variogramme obtenu est donné par la figure 1.

Le variogramme omnidirectionnel montre une structure claire. On peut donc dire que les variogrammes directionnels présentent des structures également claires. Les paramètres ayant servi pour la construction de ce variogramme vont donc être appliquée à la construction des variogrammes directionnels.

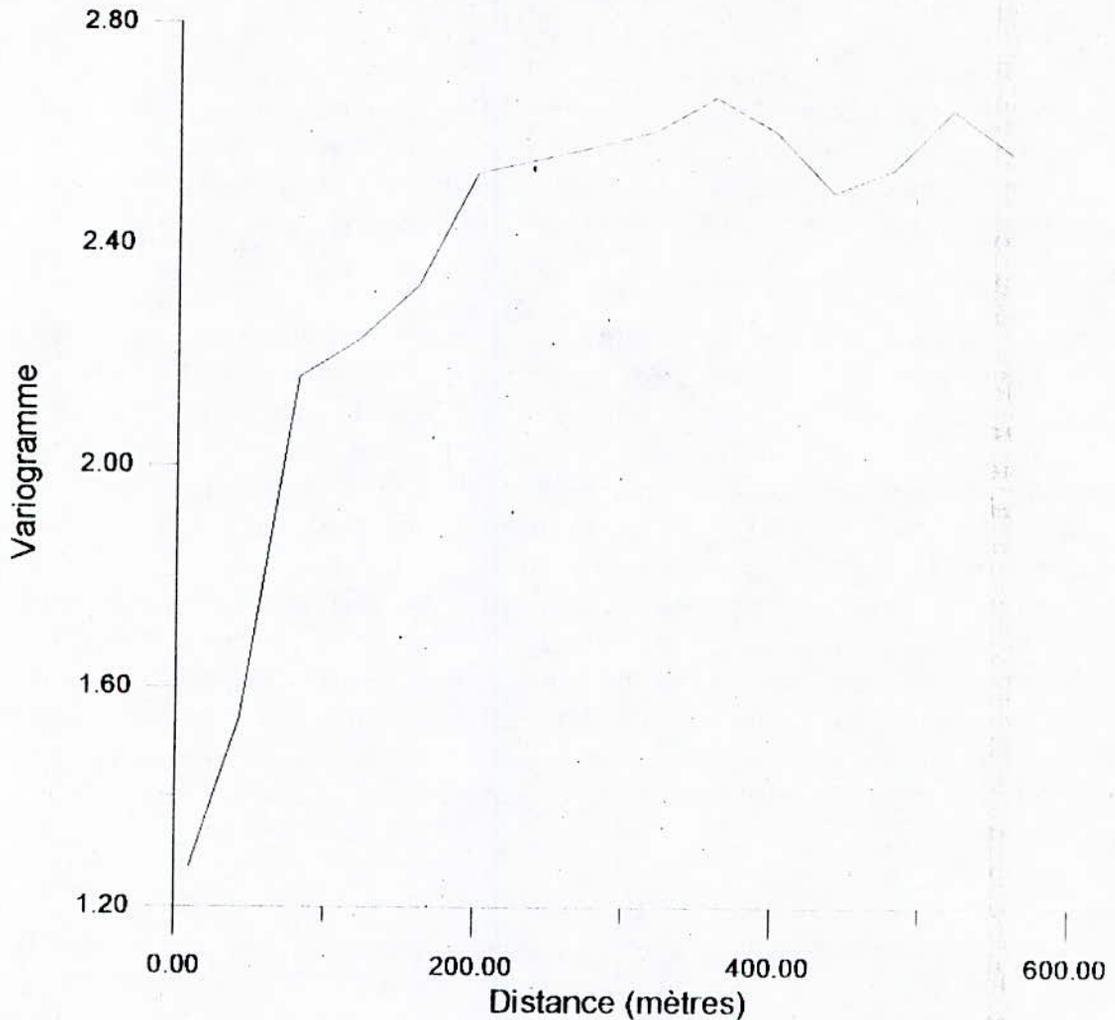


Figure 1- variogramme omnidirectionnel pour la VR Ln(acumulation)

3-1-1-Selon la direction Nord_Sud (azimuth 90°)

Le fichier de paramètres ayant servi à la construction du variogramme directionnel est ACU_9020.PAR (voir annexe 2). les résultats fournis par le programme sont donnés par le fichier LNACU_9020.RES . La variance à priori est 2.367, la moyenne est de 2.067 .

Le variogramme ajusté est un sphérique de constante de pépité 1.10 , de palier 1.27 et de portée 240 mètres (voir figure 2).

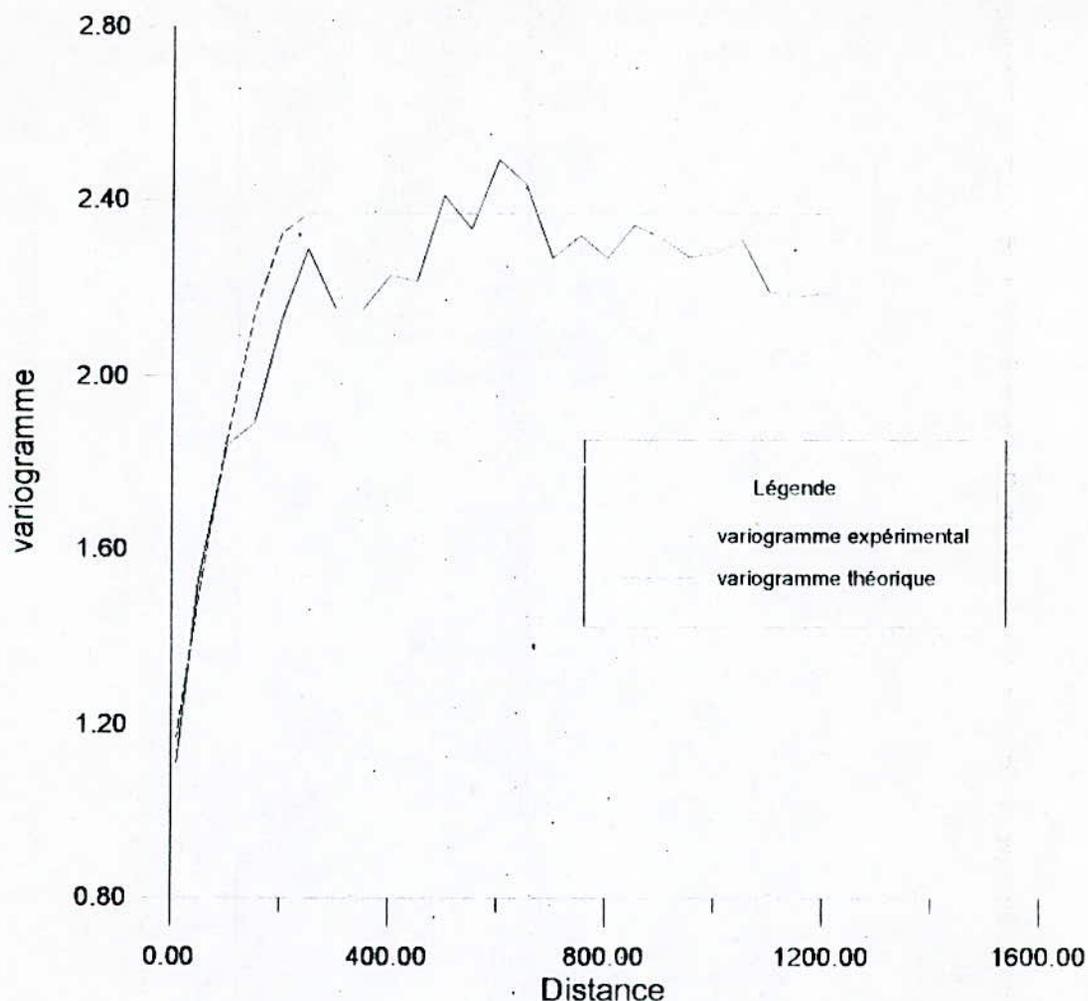


Figure 2- Variogrammes de la VR Ln(accumulation) selon l'azimuth 90°

La figure 2 montre un bon ajustement⁹ du variogramme expérimental par le modèle théorique. Il faut également insister sur le fait que la variance à priori de 2.37 constitue le palier (Co+C) du modèle théorique.

3-1-2-Selon l'azimuth 0°

L'azimuth 0° correspond à la direction verticale, c'est à dire la profondeur. Le fichier de paramètre utilisé par le

⁹La qualité d'un ajustement se mesure par la modélisation du comportement à l'origine du variogramme expérimental.

programme GAMV2M.FOR est ACU_020.PAR (voir l'annexe 2). Les résultats fournis par ce programme sont données par le fichier LNACU_020.RES. La figure 3 montre le variogramme expérimental obtenu à partir de ce fichier. La moyenne est de 2.066, la variance est de 2.370. Le modèle ajusté est un sphérique de constante de pépite 1.10, de palier 2.05 et de portée 230 mètres (voir fig.3).

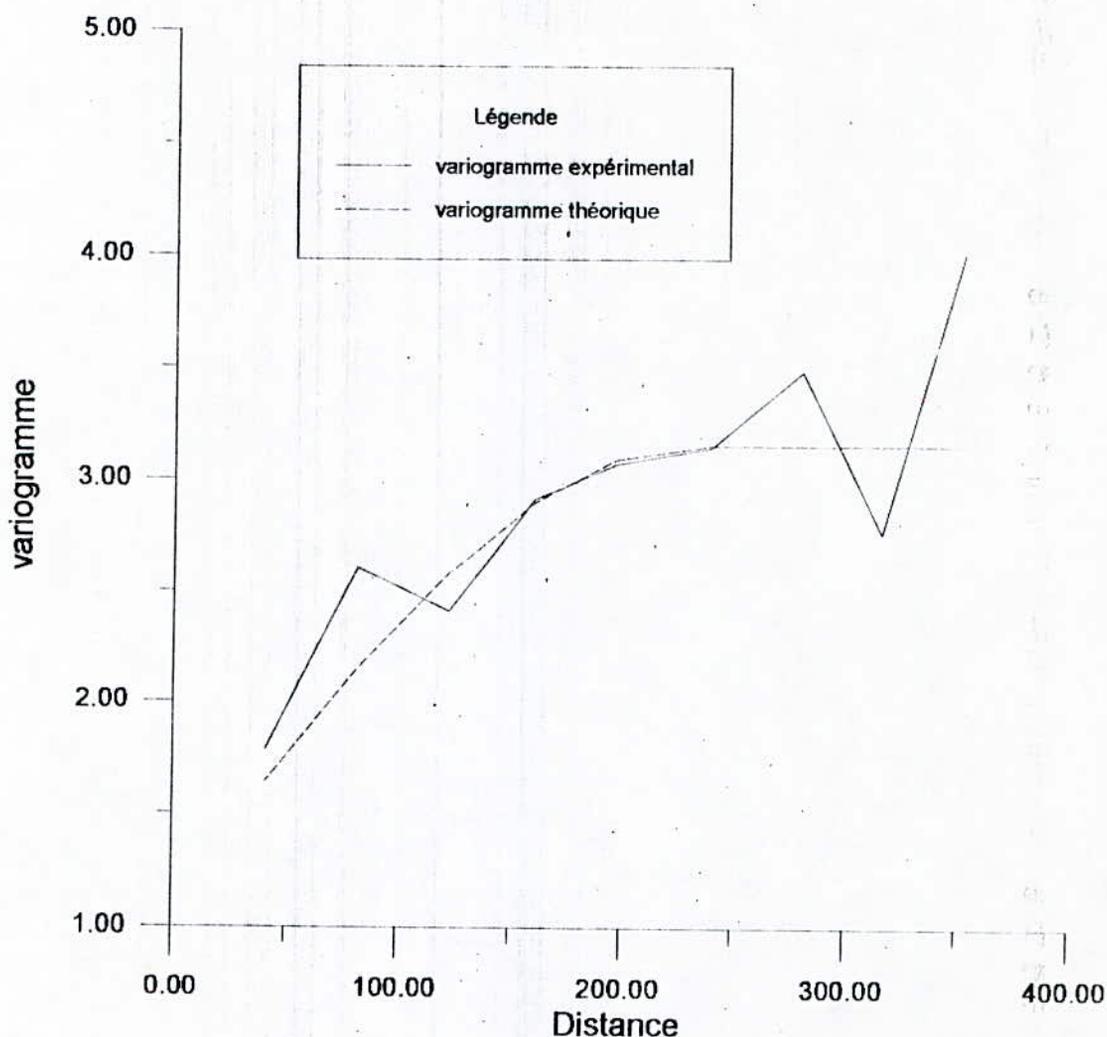


Figure 3- variogrammes de La VR Ln(accumulation) selon l'azimuth 45°

Le palier total du variogramme est de 3.15. Ceci montre donc une augmentation du logarithme de l'accumulation en profondeur. C'est la principale conclusion tirée à partir de ce variogramme.

3-1-3-Selon l'azimuth 45°

Le fichier des paramètres utilisés par le programme est ACU_4520.PAR . Les résultats fournis sont donnés par le fichier LNACU_4520.RES . La figure 4 montre le variogramme expérimental obtenu. Le modèle ajusté est constitué par une structure gîgogne, le premier modèle est un gaussien de constante de pépîte 1.10, de palier 0.88 et de portée pratique 150 mètres, le second est un sphérique de palier 1.32 et de portée 550 mètres. La figure 4 montre le modèle théorique et le variogramme expérimental.

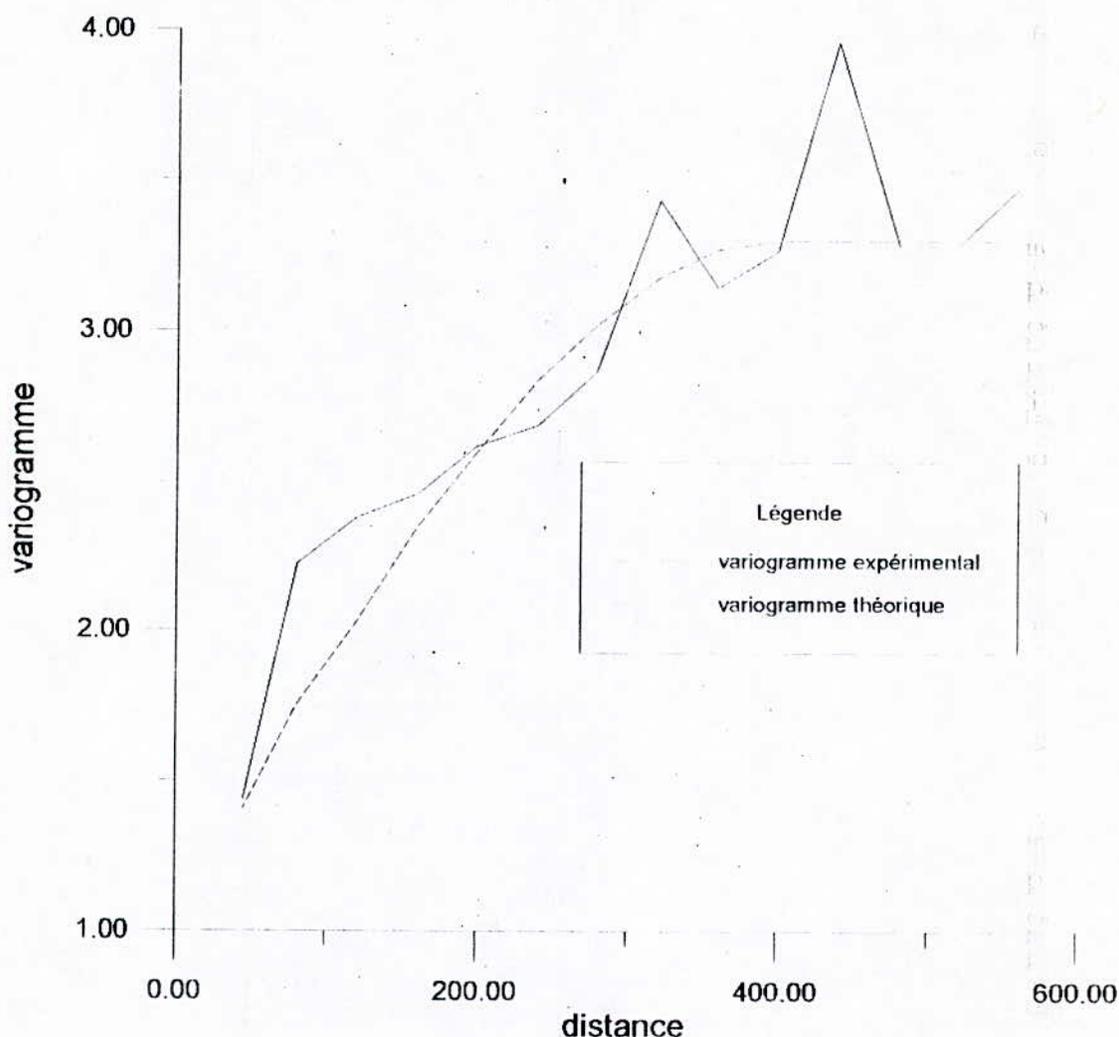


Figure 4- variogrammes pour la VR Ln(accumulation) selon l'azimuth 45°

3-1-4-Selon l'azimuth 135°

Le fichier des paramètres utilisés par le programme sont donnés par le fichier ACU_13520.PAR . Les résultats ainsi fournis par le programme GAMV2M.FOR sont contenus dans le fichier LNACU_13520.RES . La figure 5 montre le variogramme

expérimental en trait plein et le modèle théorique ajusté. Ce dernier est un exponentiel de constante de pépité 1.10, de palier 2.4 est de portée pratique 445 mètres.

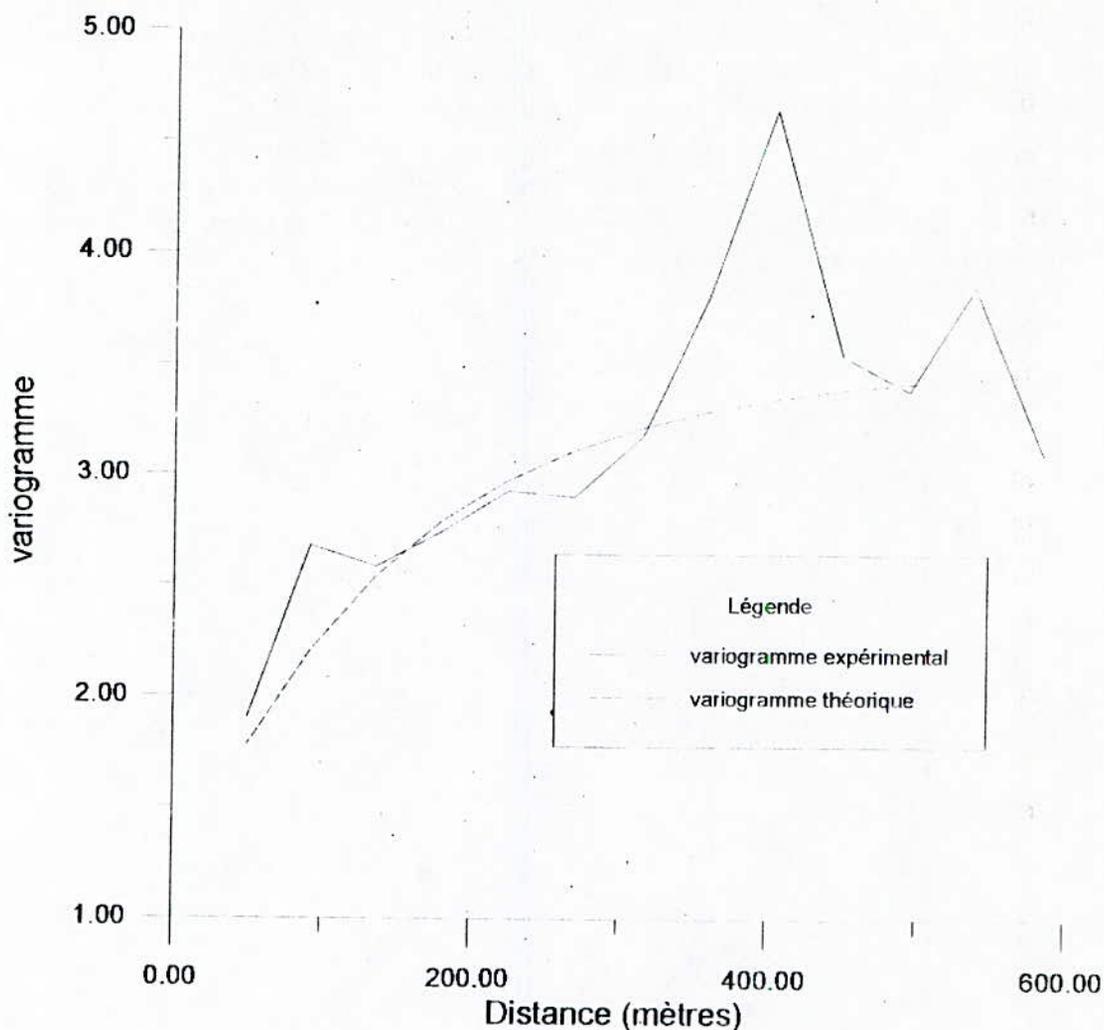


Figure 5- Variogrammes de la VR Ln(accumulation) selon l'azimuth 135°

Ce variogramme ainsi que le précédent, a un palier total supérieurs à la variance à priori. Ceci traduit une augmentation des accumulations en profondeur.

Conclusion

La direction maximale de continuité est celle dont l'azimuth est 90°, c'est à dire selon la direction Nord-Sud. Cette dernière correspond à la direction de prolongement de la faille de In-Ouzzal. Les trois autres variogrammes indiquent une augmentation de l'accumulation métal avec la profondeur. Leurs paliers totaux sont tous supérieurs à la variance à priori, ceci était prévisible car le palier du variogramme

omnidirectionnel est lui aussi supérieur à la variance à priori. Les variogrammes ainsi obtenue suggèrent la présence d'une anisotropie zonale. Cette dernière est une hypothèse structurale forte dont il faut chercher une explication génétique claire.

3-1-5- Modélisation de l'anisotropie

La modélisation d'une anisotropie zonale est une tâche très délicate. L'objectif de l'analyse structurale est d'établir un modèle simple et opérationnel. Il existe une méthode particulièrement facile qui satisfait cette dernière exigence tout en évitant la modélisation de l'anisotropie. Cette méthode consiste à construire un variogramme moyen à partir des variogrammes existant. C'est la technique de regroupement de variogrammes.

Soient deux variogrammes élémentaires expérimentaux:

$$2\gamma_A^* = \frac{1}{N_A} \sum_i^{N_A} [z(x+h) - z(x)]^2$$

$$2\gamma_B^* = \frac{1}{N_B} \sum_j^{N_B} [z(x+h) - z(x)]^2$$

Le variogramme moyen s'écrit:

$$2\gamma^* = \frac{1}{N_A + N_B} \left\{ \sum_i^{N_A} [z(x+h) - z(x)]^2 + \sum_j^{N_B} [z(x+h) - z(x)]^2 \right\}$$

$$\gamma^*(h) = \frac{N_A \gamma_A^*(h) + N_B \gamma_B^*(h)}{2(N_A + N_B)}$$

Le regroupement de deux variogrammes élémentaires revient à pondérer par les nombres de couples pour chaque pas. Notons qu'un variogramme moyen est une *moyenne pondérée*. La moyenne des données associées à ce variogramme est très simplement la *moyenne arithmétique* des données ayant servi à la construire, et de ces données là seulement (Journal, 1975).

Application

La construction du variogramme moyen revient donc à calculer une moyenne arithmétique des quatre variogrammes directionnels précédemment construits. Le fichier LNACU_MOD.RES donne pour chaque distance (lag), les valeurs des variogrammes directionnels et moyen.

La figure 6 montre les différents variogrammes directionnels ainsi que le variogramme moyen construit à partir de ces derniers.

Ce variogramme moyen est ajusté par une structure gïgogne. Le premier est un sphérique de constante de pépïte égale à 1.10, de palier 1.20 et de 200 mètres de portée. Le second, est également un sphérique de palier 0.76 et portée 550 mètres (voir figure 7).

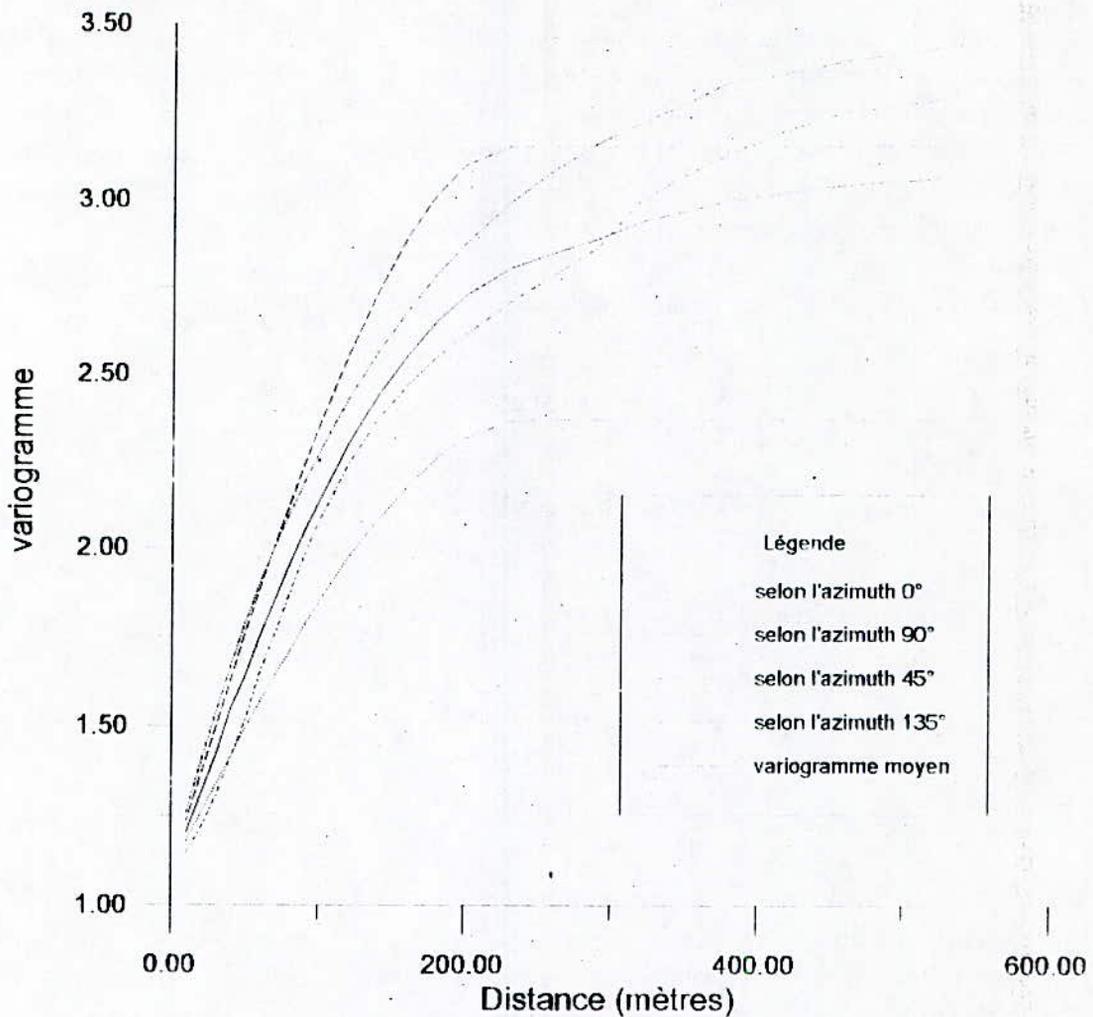


Figure 6- variogramme moyen pour la VR
Ln(accumulation)

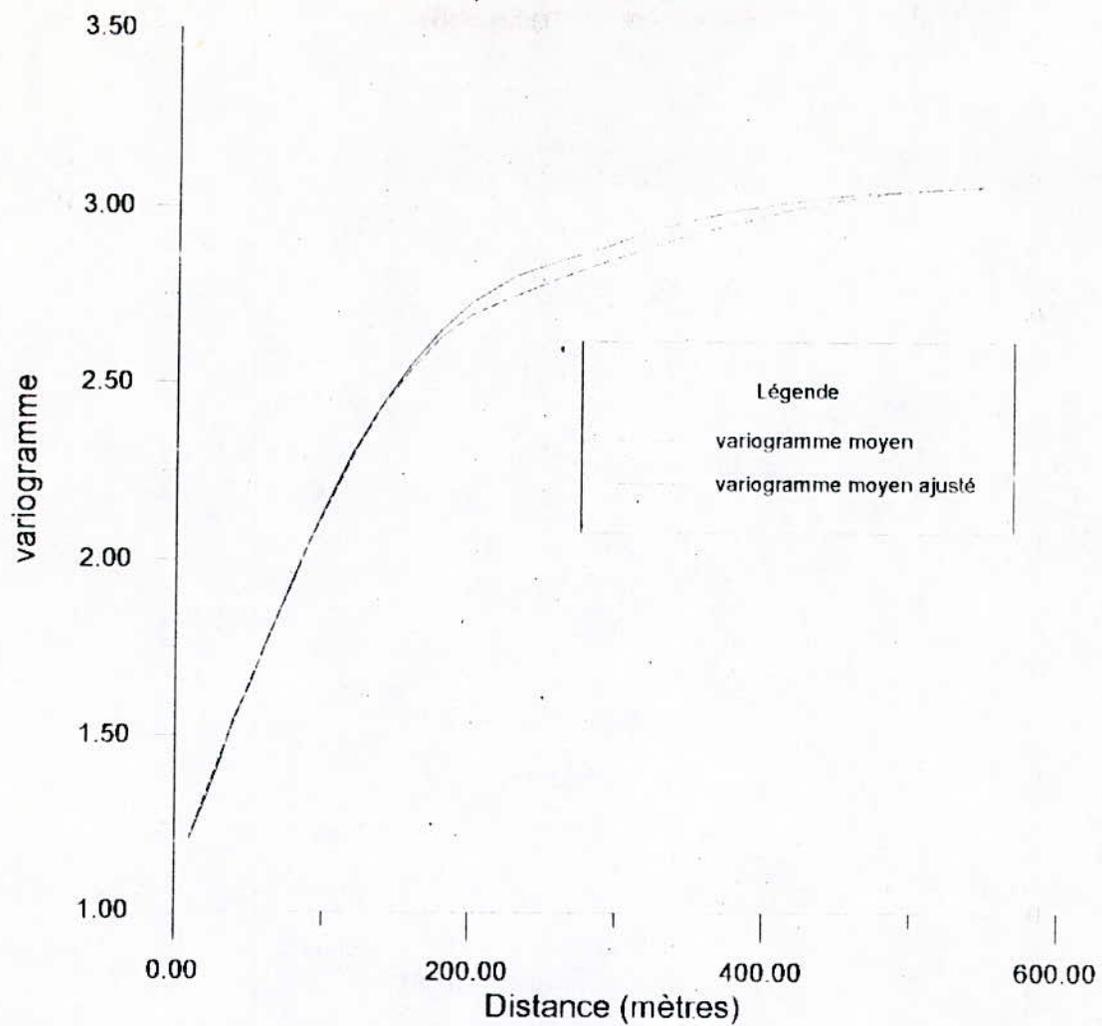


Figure 7- ajustement du variogramme moyen pour la VR Ln(accumulation)

La figure 8 permet de comparer ce variogramme moyen ajusté avec le variogramme moyen expérimental.

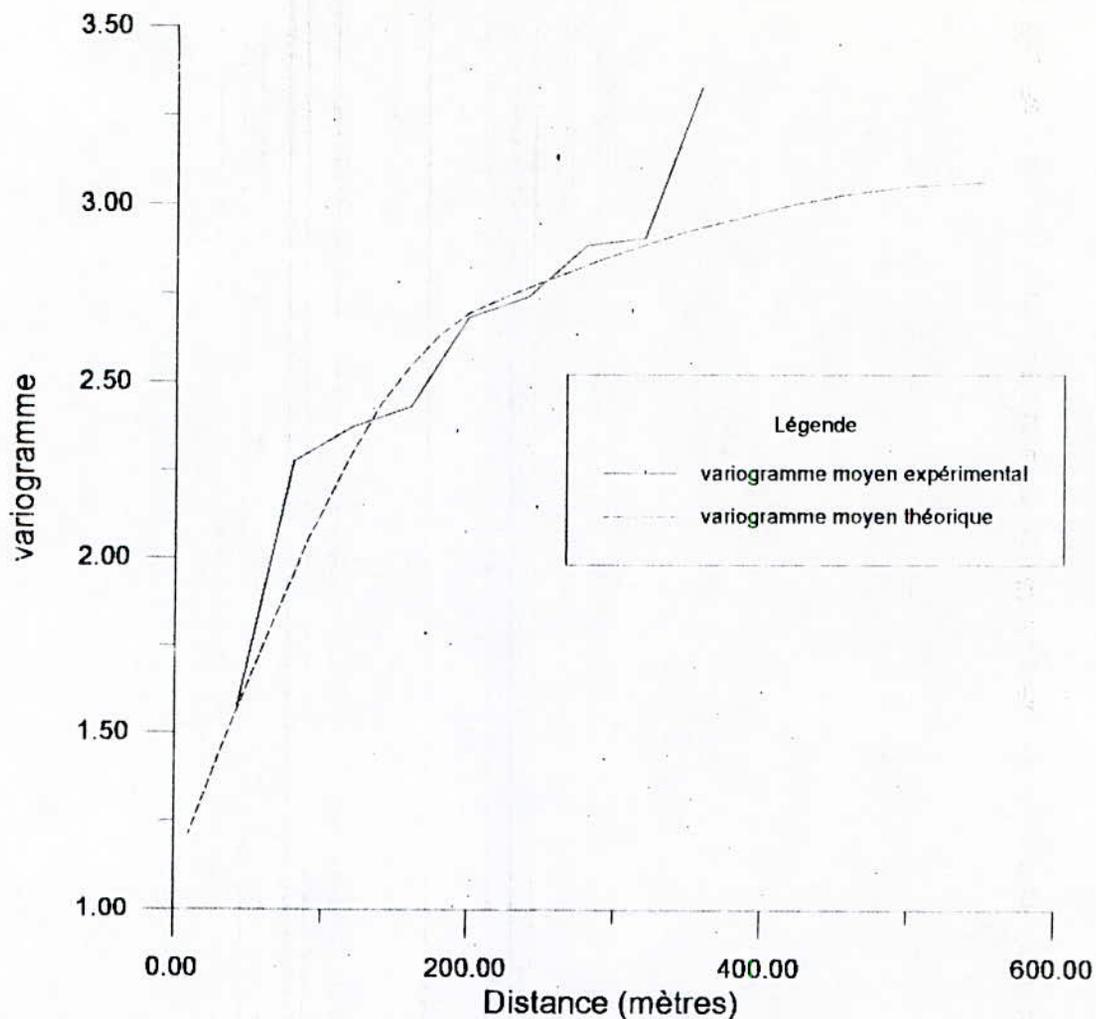


Figure 8- comparaison entre les variogrammes moyens théorique et expérimental

3-2-Construction des variogrammes pour la V.R puissance

Les variogrammes sont construit à partir des logarithmes des puissances. On commencera l'étude en établissant un variogramme omnidirectionnel. Le fichier des paramètres utilisés est EPAIS_090.RES. Les résultats ainsi obtenus sont données par le fichier LNEPAIS_090.RES. Le modèle ajusté est un sphérique de constante de pépité 0.40, de palier 0.2 et de portée 150 mètres. La figure 9 montre le variogramme expérimental et le modèle ajusté.

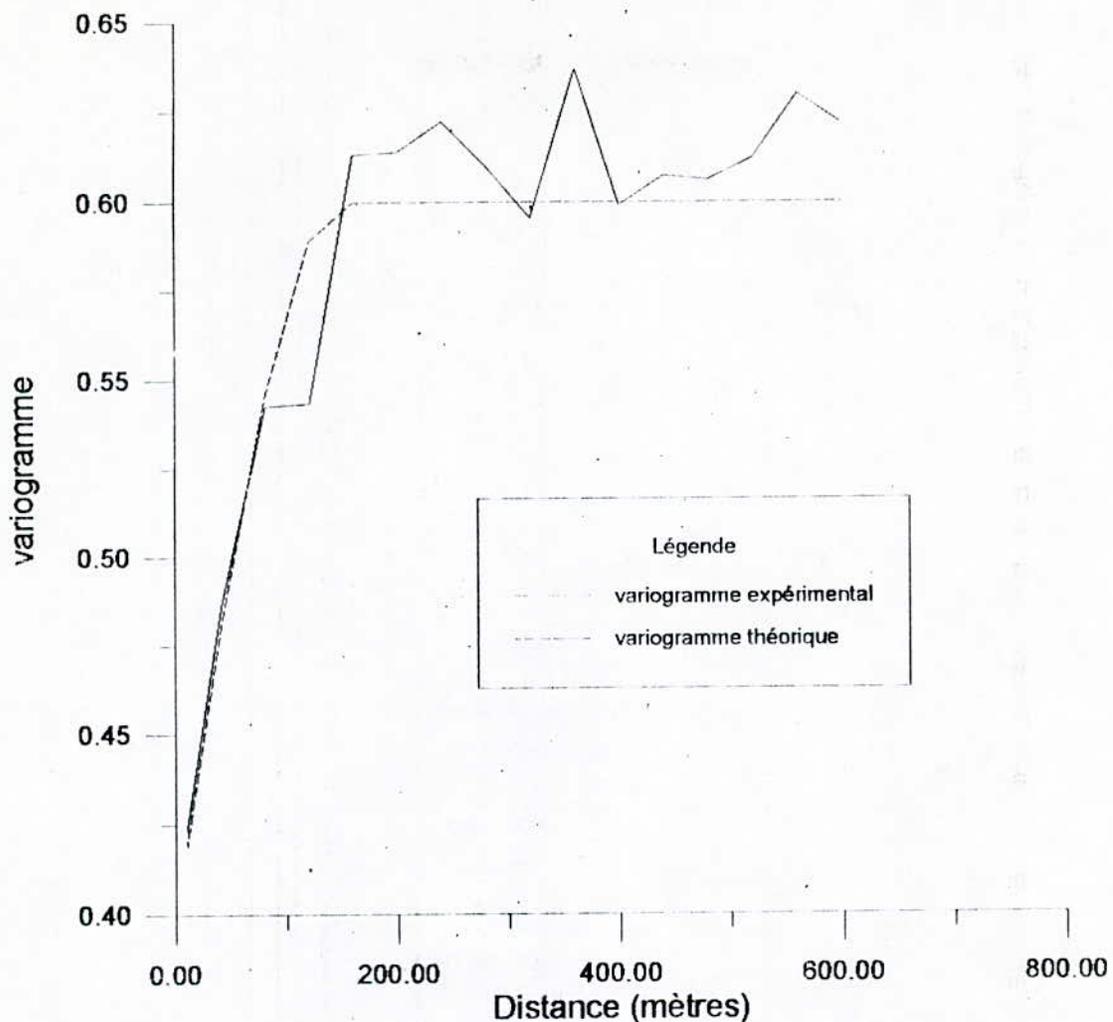


Figure 9- Variogramme omnidirectionnel pour la VR Ln(epaisseur)

3-2-1-Variogramme selon l'azimuth 90°

Le fichier de paramètres utilisée est LNEPAIS_9020.RES . Les résultats fournis par le programme sont donnés par le fichier LNEPAI_9020.RES. Le graphique issu de ces résultats est donné par la figure 10 . Cette dernière montre qu'à une distance de 1280 mètres, une discontinuité claire et nette (voir fig.10). Celle-ci montre que selon la direction Nord-Sud, une discontinuité existe. En réalité, la géologie montre que le gisement est constitué de deux filons. Ce sont les zones 8 et 9. La frontière entre ces deux structures se situe à environ 1300 mètres . Ceci est donc confirmé par l'analyse structurale. Le modèle ajusté est un exponentiel de constante de pépité 0.4, de palier 0.2 et de portée (pratique) 300 mètres.

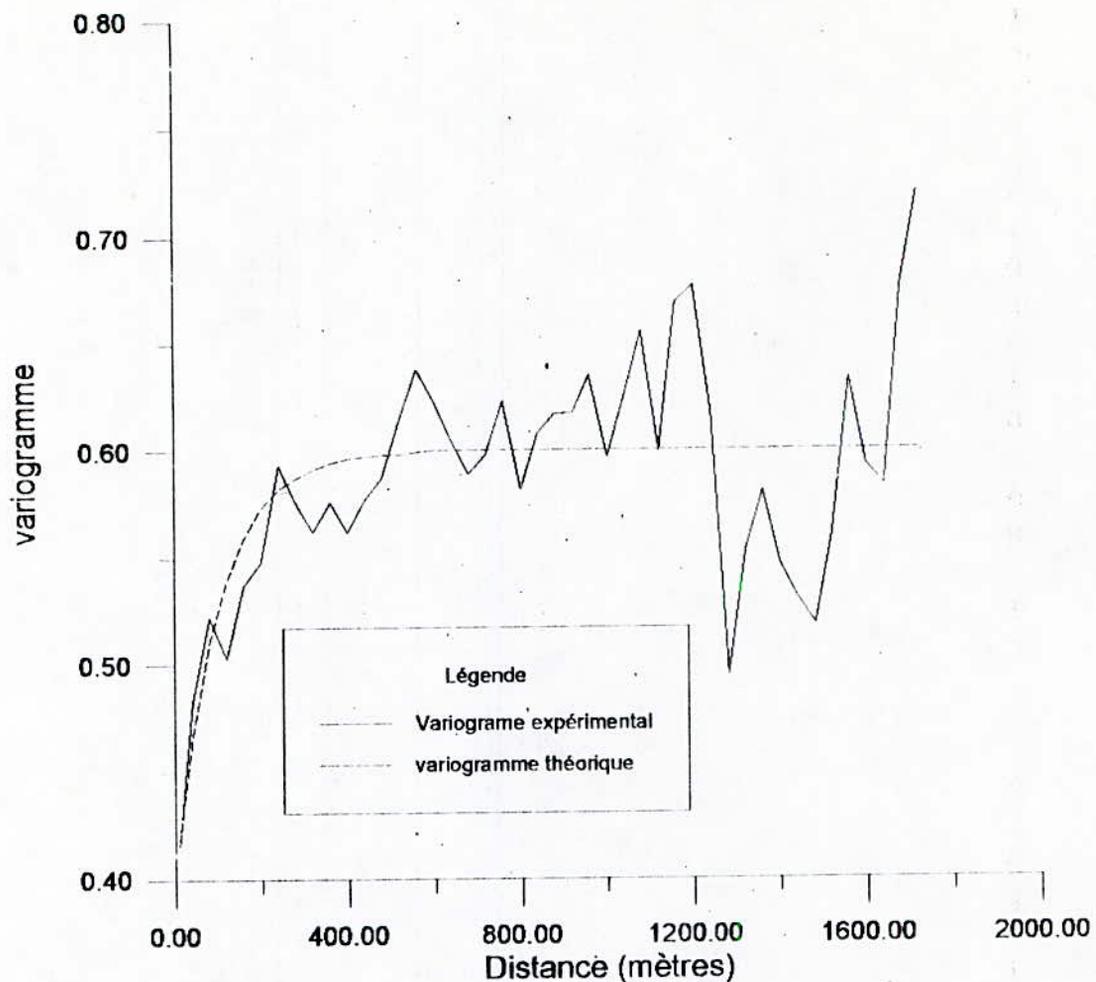


Figure 10- variogrammes pour la VR Ln(epaisseur)
selon l'azimuth 90°

3-2-2-Variogramme selon l'azimuth 0°

Le fichier paramètre utilisé par le programme est LNEPAI_020.PAR . Les résultats ainsi obtenus sont données par le fichier LNEPAI_020.RES . La figure 11 montre le variogramme expérimental et le modèle ajustée. Ce dernier est un sphérique de constante de pépite 0.4, de palier 0.2 et de portée 130 mètres.

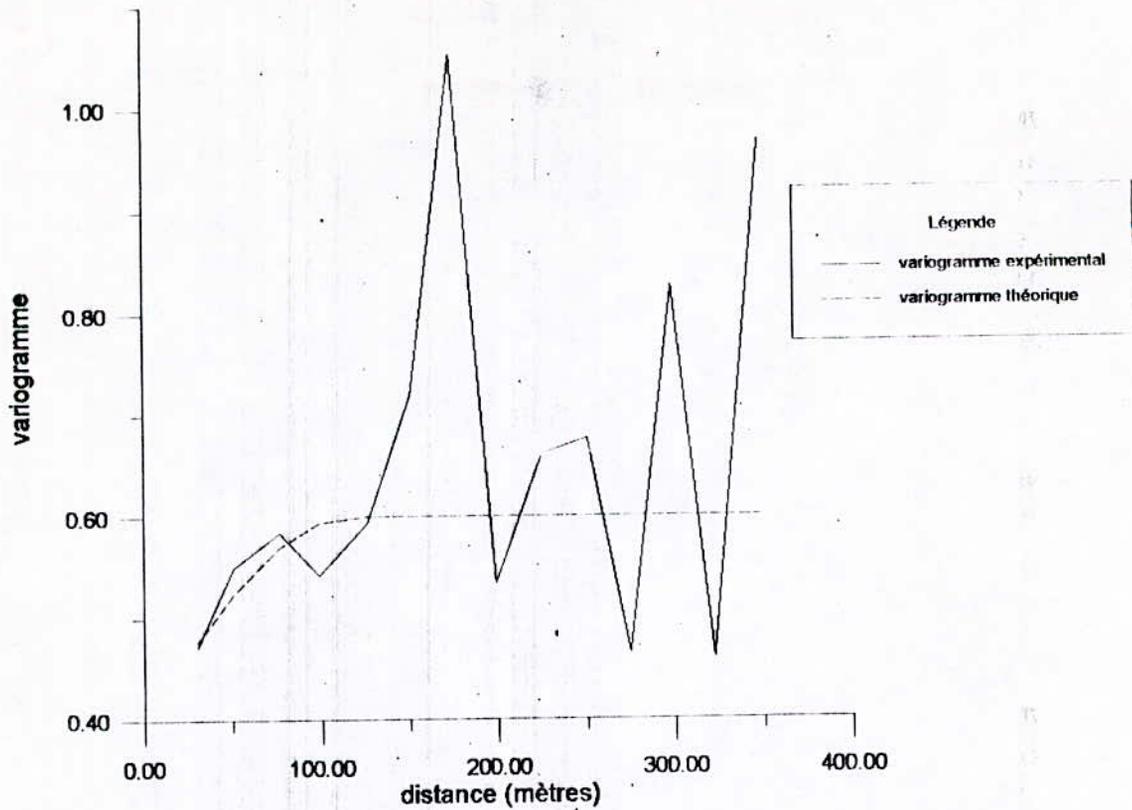


Figure 11-Variogramme de la VR Ln(epaisseur) selon l'azimuth 0°

3-2-3-Variogramme selon l'azimuth 45°

Le fichier de paramètres utilisé par le programme GAMV2M.FOR est LNEPAI_4520.PAR . Les résultats ainsi obtenus sont donnés par le fichier LNEPAI_4520.RES . La figure 12 montre le variogramme expérimental et théorique. Le modèle ajusté est un sphérique de constante de pépité 0.4, de palier 0.33 et de portée 250 mètres.

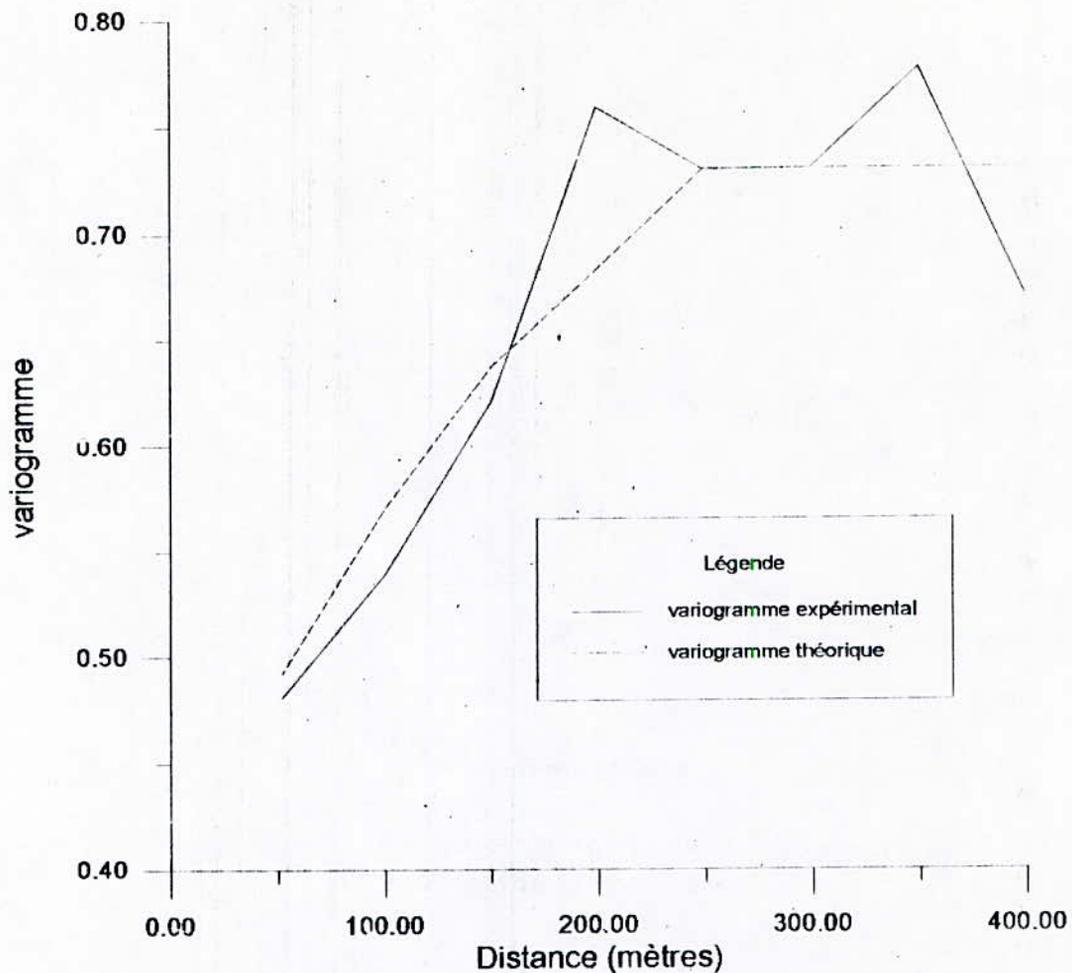


Figure 12- variogramme de la VR Ln(epaisseur)
selon l'azimuth 45°

3-2-4-Variogramme selon l'azimuth 135°

Le fichier de paramètre utilisé par le programme GAMV2M.FOR est LNEPAI_13520.PAR . Les résultats ainsi fournis par ce programme sont donnés par le fichier LNEPAI_13520.RES . La figure 13 montre le variogramme expérimental obtenu ainsi que le modèle théorique ajusté. Ce dernier est un exponentiel de constante de pépité 0.40, de palier 0.25 et de portée 190 mètres.

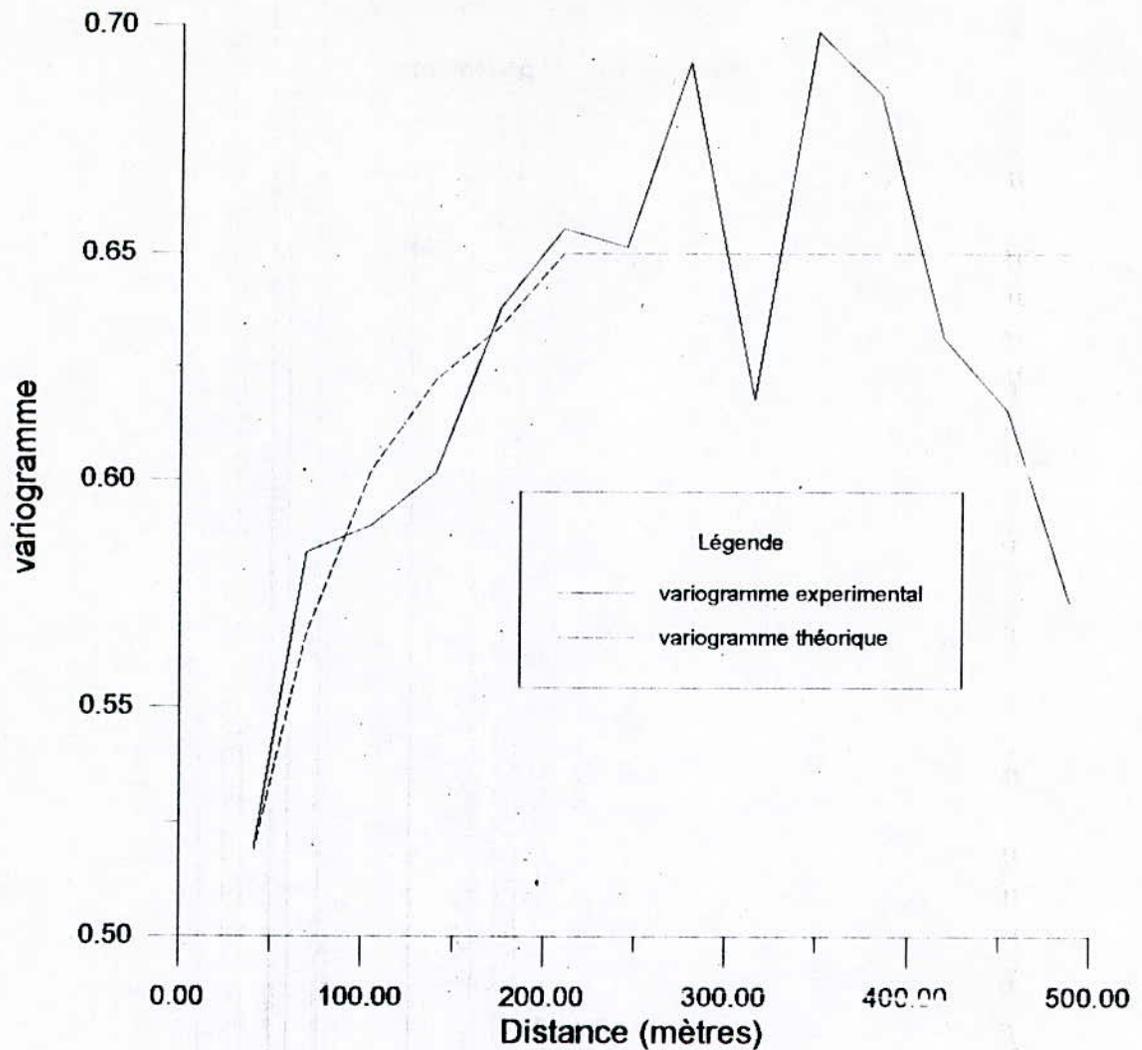


Figure 13- variogramme pour la VR Ln(epaisseur)
selon l'azimuth 135°

conclusion

Les quatres variogrammes révèlent l'existence d'une anisotropie zonale. Le variogramme moyen déduit à partir des variogrammes directionnels est un exponentiel de constante de pépité 0.4, de palier 0.24 et de portée 215 mètres. La figure 14 montre les quatres variogrammes directionnels ainsi que le variogramme moyen construit.

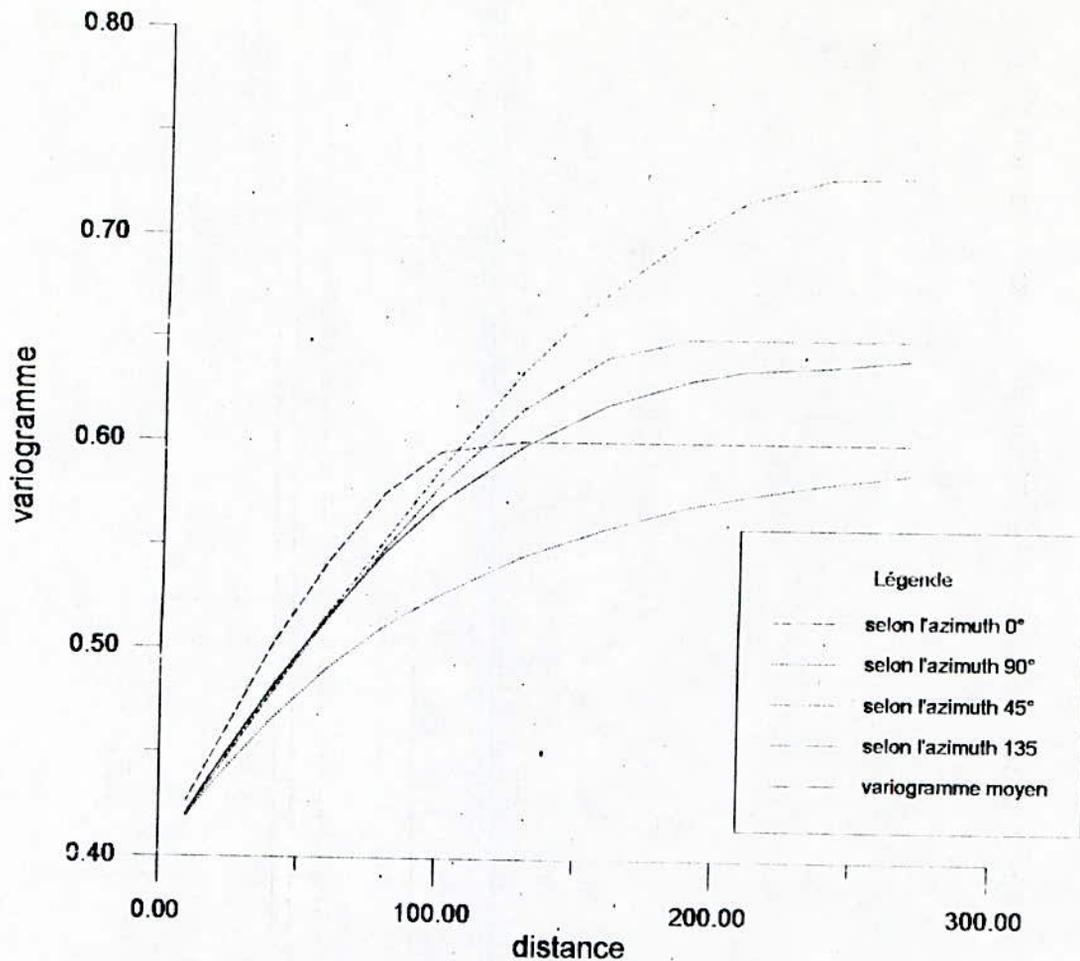


Figure 14-variogramme moyen pour la VR
Ln(epaisseur)

3-3-Construction des variogrammes pour la VR Teneur

3-3-1- Variogramme omnidirectionnel

Le fichier de paramètres utilisé est LNTEN_090.PAR. Les résultats fournis sont donnés par le fichier LNTEN_090.RES. Le variogramme ainsi obtenu est donné par la figure 15.

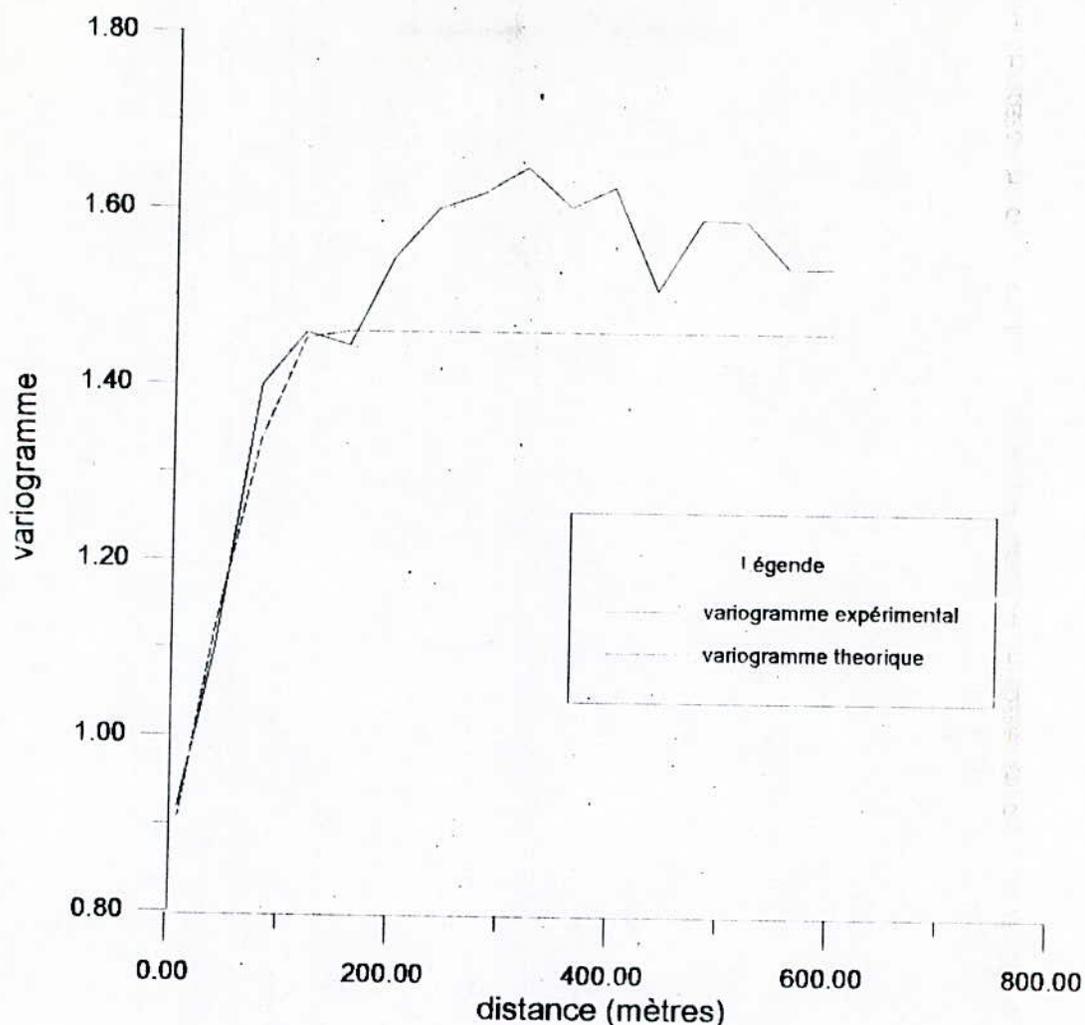


Figure 15- variogrammes omnidirectionnel
pour la VR Ln(teneur)

Le modele ajusté est un sphérique de constante de pépité 0.84 de palier 0.62 et de portée 133 mètres.

3-3-2-Selon l'azimuth 90°

Le fichier de paramètres ayant été utilisé est le fichier LNTEN_9020.PAR . Les résultats obtenus sont donnés par le fichier LNTEN_9020.RES . La figure 16 montre le variogramme expérimental ainsi obtenu et le modèle ajusté. Ce dernier est un exponentiel de constante de pépité 0.8. de palier 0.66 et de portée 360 mètres. La variance à priori est de 1.463 .

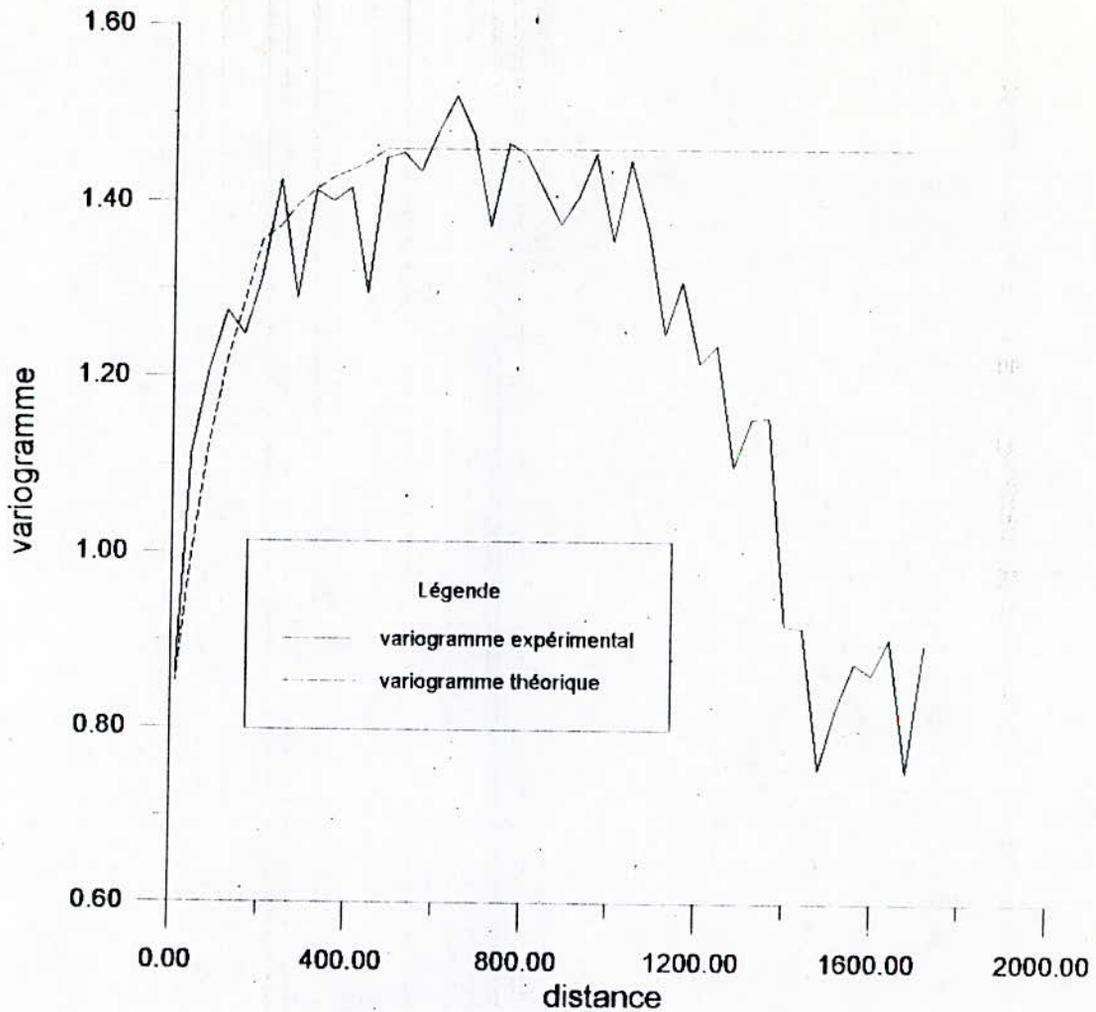


Figure 16- variogrammes pour la VR $\ln(\text{teneur})$ selon l'azimuth 90°

3-3-3-Selon l'azimuth 0°

Le fichier de paramètres utilisé par le programme est LNTEN_020.PAR . Les résultats obtenus sont données par le fichier LNTEN_020.RES. La figure 17 montre le variogramme expérimental ainsi obtenu et le modèle ajusté. Ce dernier est un sphérique de constante de pépite 0.80, de palier 1.20 et de portée 230 mètres.

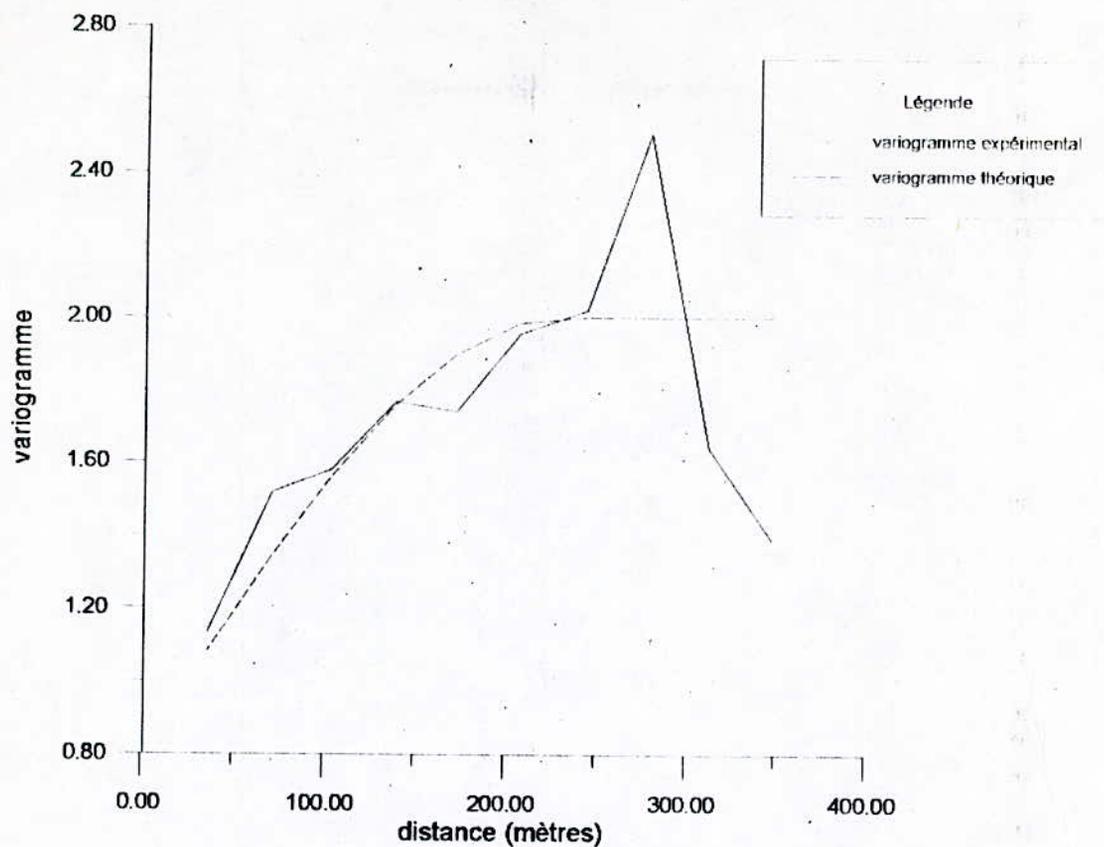


Figure 17- variogrammes de la VR Ln(teneur) selon l'azimuth 0°

3-3-4-Selon l'azimuth 45°

Le fichier de paramètres utilisé par le programme est LNTEN_4520.PAR . Les résultats ainsi obtenu sont dans le fichier LNTEN_4520.RES . La figure 18 montre le variogramme expérimental ainsi obtenu. Ce dernier pourrait indiquer la présence d'un effet de trou non négligeable à l'échelle de notre future estimation.

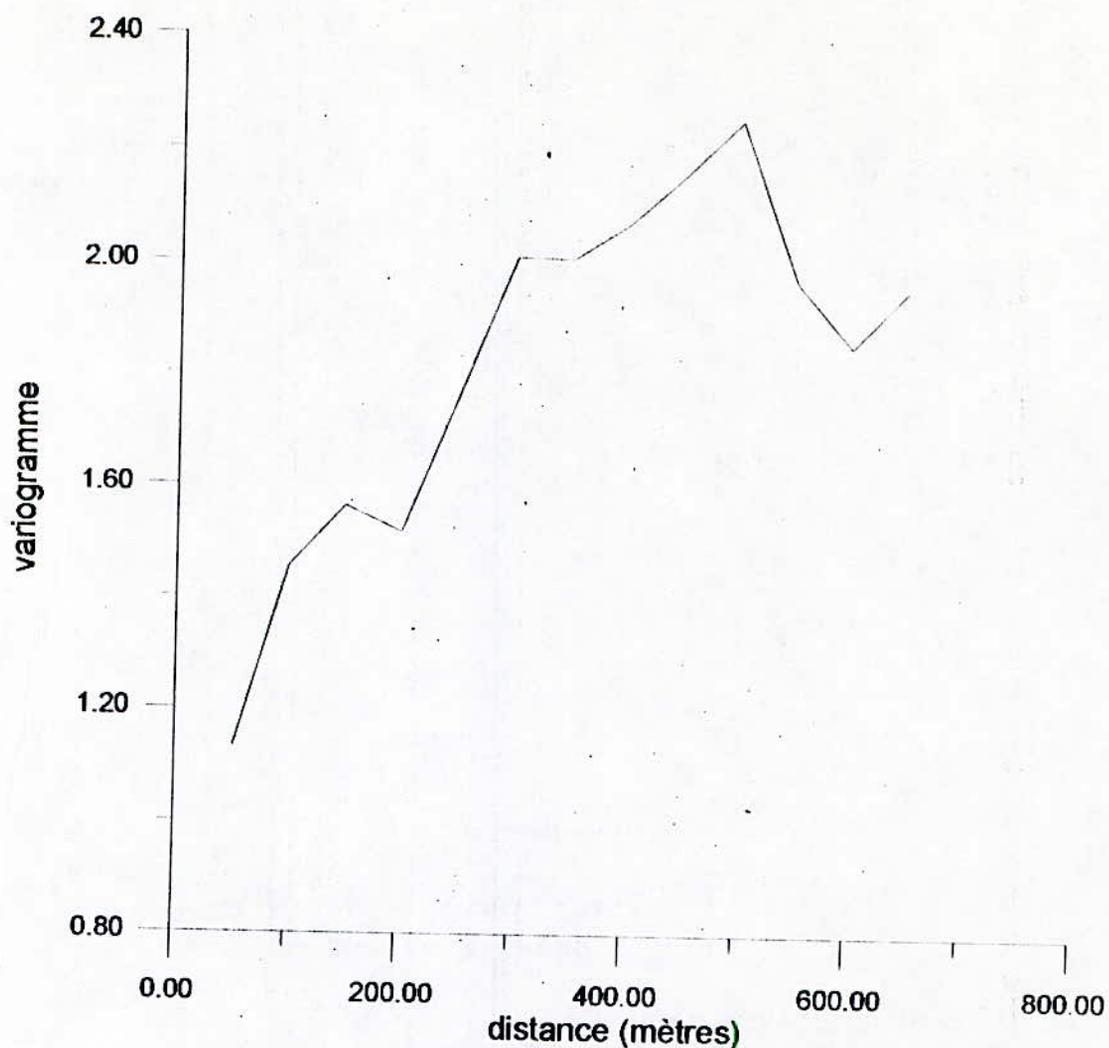


Figure 18- variogramme pour la VR Ln(teneur)
selon l'azimuth 45°

3-3-5-Selon l'azimuth 135°

Le fichier utilisé par le programme GAMV2M.FOR est LNTEN_13520.PAR . Les résultats ainsi obtenus sont donnés par le fichier LNTEN_13520.RES . La figure 19 montre le variogramme expérimental ainsi obtenu.

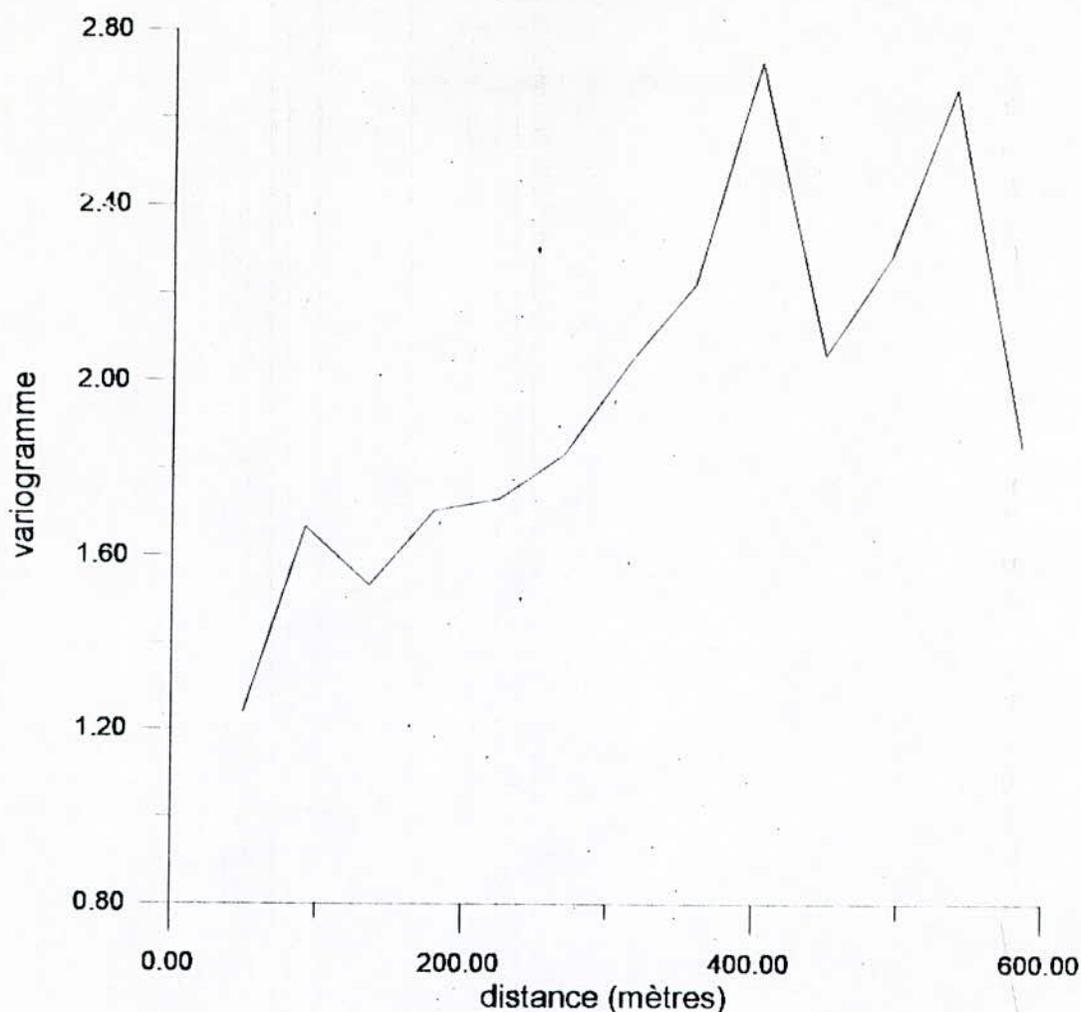


Figure 19- variogramme expérimental pour la VR $\ln(\text{teneur})$ selon l'azimuth 135°

3-4-Conclusion finale

L'analyse structurale montre que la direction de continuité maximale est celle dont l'azimut est de 90° . C'est la direction Nord-Sud. Cette dernière correspond à l'axe de la faille de In-Ouzzal. Pour la teneur, les variogrammes révèlent un enrichissement en profondeur. En effet, selon la verticale, le variogramme pour la teneur¹⁰ a un palier plus important que la variance à priori. Celle-ci est de 1.6. Notant également que le variogramme pour l'accumulation¹¹ métal indique une augmentation de l'accumulation en fonction de la profondeur, alors que pour la même direction le variogramme de la puissance indique une stationnarité d'ordre 2. Ceci confirme donc la première hypothèse. Une explication de ce phénomène fait appel à la métallogénie du gisement. En effet, on peut dire qu'au court de l'accession des solutions hydrothermales,

¹⁰En réalité, c'est pour le logarithme népérien de la teneur

¹¹En réalité, c'est pour le logarithme népérien de l'accumulation métal

elles se refroidissaient progressivement. Ceci a permis le dépôt de l'or par gravité. Sa densité est de 19.3 g/cm³. Le gisement aurifère d'Ammesmessa présente donc de grandes possibilités d'accroissement des teneurs en or en profondeur.

Chapitre VI
Krigeage de blocs
Estimation locale

Sommaire

1- Le krigeage.....	113
2- Les équations de krigeage.....	113
3- Etablissement d'un plan de krigeage.....	117
4- Application du krigeage.....	120
4-1- Pour l'accumulation.....	121
4-2- Pour la puissance.....	121
5- Statistique des résultats.....	122
6- Calcul des teneurs des blocs.....	122
7- Calcul de la variance d'estimation d'un quotient.....	122
8- Conclusion.....	123

1-Le krigage

Le krigage est une technique d'estimation qui remplace les procédés traditionnels tels que l'inverse des distances, polygone d'influence, etc.

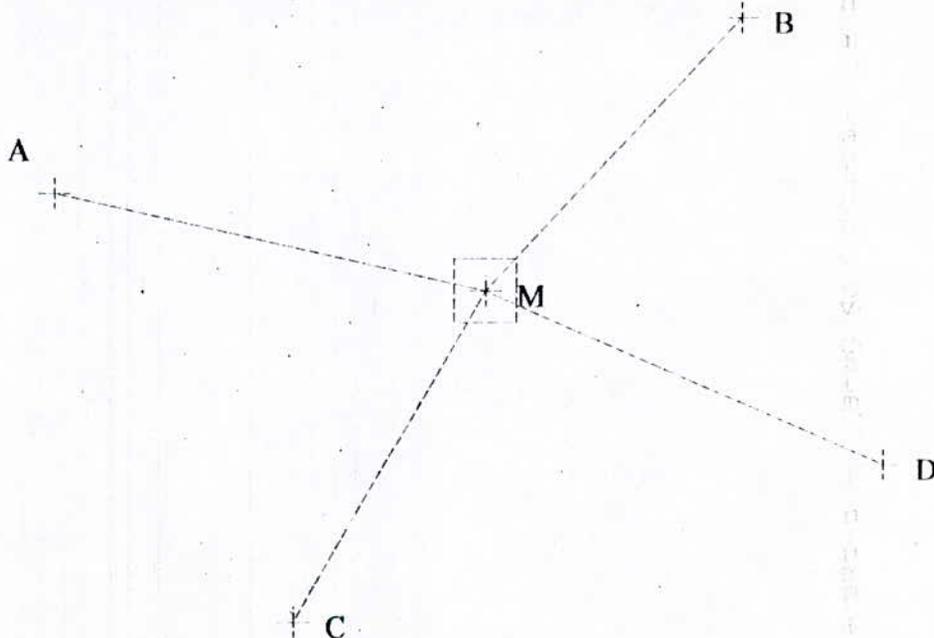
Ces techniques ignorent la géométrie de l'information, son support, la variabilité du phénomène étudié ainsi que la géométrie du support à estimer. Elles ne quantifient également pas les erreurs commises lors de l'estimation. Le krigage est capable de surpasser ces problèmes. Il se caractérise par le fait qu'il est le meilleur estimateur linéaire sans biais ou B.L.U.E. Il consiste à minimiser la variance d'estimation en assurant toujours la condition de non-biais. La particularité du krigage c'est avant tout d'être un estimateur sans biais. Par ailleurs, il se distingue des autres techniques par le fait que

- * Le système de krigage est toujours régulier
- * Le krigage est un interpolateur exact

2-Equations du krigage

Le problème de l'estimation locale est de trouver le meilleur estimateur de la moyenne de la VR sur un certain domaine. Soit à estimer la valeur de la régionalisation au centre M d'un bloc en utilisant les données des points voisins.

figure 1: échantillons à utiliser pour le krigage



Soit $Z(x)$ une F.A étudiée celle-ci se caractérise par la stationnarité du second ordre et des moments du deuxième ordre.

$$\begin{aligned} E\{Z(x)\} &= m \quad (m \text{ est une constante inconnue}) \\ E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} - m^2 &= C(h) \\ E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} &= 2\gamma(h) \end{aligned}$$

Le calcul de la valeur prise par la FA au points M , revient à attribuer des coefficients de pondérations à chaque échantillons pris en considération. Le problème consiste donc à déterminer la pondération adéquate de chaque échantillon en fonction de sa nature (volume de régularisation), de sa position vis-à-vis du point (ou bloc) à estimer, et de sa position vis-à-vis des autres données et des caractères structuraux de la variable estimée. On aura donc

$$Z_k^* = \sum_1^n \lambda_i Z_i$$

n est le nombre de données à utilisée.

Le krigeage est alors dit linéaire car la valeur cherchée est une combinaison linéaire des n poids.

Condition de non-biais

La condition de non-biais consiste à annuler la moyenne des erreurs commises. Ceci-ci conduit donc à dire que l'espérance mathématique de différence de la valeur krigée et la valeur réelle est nulle. On a donc

$$\begin{aligned} E\{Z_v - Z_k^*\} &= 0 \\ \Rightarrow E\left\{Z_v - \sum_1^n \lambda_i Z_i\right\} &= 0 \\ \Rightarrow E\{Z_v\} - E\left\{\sum_1^n \lambda_i Z_i\right\} &= 0 \Rightarrow E\{Z_v\} - \sum_1^n \lambda_i E\{Z_i\} = 0 \\ \text{or } E\{Z_v\} = E\{Z_i\} = m &\Rightarrow m\left[1 - \sum_1^n \lambda_i\right] = 0 \Rightarrow \sum_1^n \lambda_i = 1 \end{aligned}$$

La condition de non-biais est assurée en imposant la somme des poids égal à l'unité. C'est ainsi que le krigeage est un estimateur sans biais.

Variance d'estimation minimale

La précision de l'estimation projetée est une donnée non négligeable du moment où elle caractérise la qualité de cette estimation. Cette dernière est d'autant plus précise que sa variance d'estimation est plus faible

$$E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = E\{Z_v^2\} - 2E\{Z_v Z_k^*\} + E\{Z_k^{*2}\}$$

$$E\{Z_v^2\} = \frac{1}{v} \int_v dx \int_v E\{Z(x) Z(x')\} dx' = \bar{C}(v, v) + m^2$$

$$E\{Z_v Z_k^*\} = \sum_i \lambda_i \frac{1}{v v_i} \int_v dx \int_{v_i} E\{Z(x) Z(x')\} dx' = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{C}(v, v_i) + m^2$$

$$E\{Z_k^{*2}\} = \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \frac{1}{v_i v_j} \int_{v_i} dx \int_{v_j} E\{Z(x) Z(x')\} dx' = \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \bar{C}(v_i, v_j) + m^2$$

Le terme de m^2 s'annule on aura donc:

$$E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = \bar{C}(v, v) - 2 \sum_i \lambda_i \bar{C}(v, v_i) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \bar{C}(v_i, v_j)$$

Cette variance d'estimation est alors une forme quadratique à minimiser sous la contrainte de non-biais. Le formalisme de Lagrange fournit alors le système d'équations linéaires suivantes:

$$\begin{cases} \sum_j \lambda_j \bar{C}(v_i, v_j) - \mu = \bar{C}(v_i, v) \quad \forall i=1 \text{ à } n \\ \sum_j \lambda_j = 1 \end{cases}$$

la variance d'estimation est alors donnée par

$$\sigma_k^2 = E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = \bar{C}(v, v) + \mu - \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{C}(v_i, v)$$

A l'aide du variogramme, le système de krigeage s'écrit comme suit:

$$\begin{cases} \sum_j \lambda_j \bar{\gamma}(v_i, v_j) + \mu = \bar{\gamma}(v_i, v) & \forall i = 1 \text{ à } n \\ \sum_i \lambda_i = 1 \end{cases}$$

$$\sigma_K^2 = \sum_i \lambda_i \bar{\gamma}(v_i, v) + \mu - \bar{\gamma}(v, v)$$

Sous forme matricielle, le système de krigeage s'écrit comme suit:

$$[\lambda] = [K]^{-1} \cdot [M2]$$

$$\sigma_K^2 = \bar{C}(v, v) - [\lambda]' \cdot [M2]$$

Ces matrices s'expriment comme suit:

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix} ; [M2] = \begin{bmatrix} \bar{C}(v_1, v) \\ \bar{C}(v_2, v) \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{C}(v_i, v) \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{C}(v_n, v) \\ 1 \end{bmatrix}$$

La matrice de krigeage est la suivante:

$$[K] = \begin{bmatrix} \bar{C}(v_1, v_1) & \cdot & \bar{C}(v_1, v_j) & \cdot \cdot & \bar{C}(v_1, v_n) & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \cdot & \cdot & \cdot \\ \bar{C}(v_i, v_j) & \cdot & \bar{C}(v_i, v_j) & \cdot \cdot & \bar{C}(v_i, v_j) & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \cdot & \cdot & \cdot \\ \bar{C}(v_n, v_1) & \cdot & \bar{C}(v_n, v_j) & \cdot \cdot & \bar{C}(v_n, v_n) & 1 \\ 1 & \cdot & 1 & \cdot \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

La variance de krigeage ne dépend que de la structure γ et des géométries. On peut donc prévoir la qualité du krigeage d'un panneau avec une configuration de l'information donnée.

3-Etablissement du plan de krigeage

Le plan de krigeage doit prendre en considération les paramètres relatifs à la structure de la minéralisation, à la configuration de l'information sa densité et enfin des objectifs fixés.

L'établissement du plan de krigeage consiste donc à déterminer la zone de recherche optimale. Idéalement, cette dernière doit contenir une quinzaine d'échantillons.

Le plan de krigeage doit être établi conformément aux objectifs fixés. Ceci est orienté par l'analyse structurale, la configuration ainsi que la géométrie de l'information, et enfin la géométrie du domaine à estimer.

L'analyse structurale montre que la direction de continuité maximale du gisement aurifère d'Amesmessa et la direction Nord-Sud. Soit à estimer un bloc V par la configuration régulière ABCD (voir figure ci-dessous).

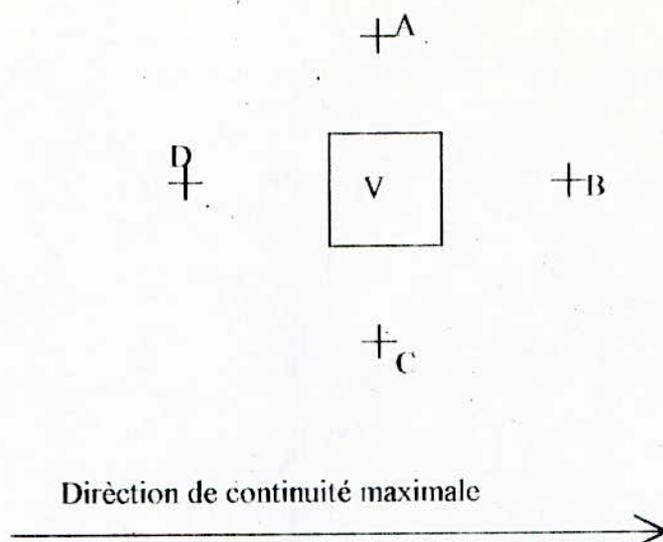


Figure a- Influence de la direction de continuité maximale sur le choix de la zone de recherche

La minéralisation présente une direction préférentielle de continuité. Cette dernière se traduit sur le variogramme anisotrope par une variabilité moins rapide dans cette direction. Les pondérateurs affectés par le système de krigeage seront alors plus forts aux points B et D même s'ils sont à égales distances du centre du bloc V.

Concrètement, ceci revient donc à utiliser une zone de recherche elliptique de grand axe parallèle à la direction de continuité maximale.

Le modèle de la régionalisation impose également une limitation de la zone de recherche. En effet, le plus souvent, elle a pour rayon la portée du variogramme associé à cette régionalisation. En pratique, cette zone a pour rayon de recherche les deux tiers de la portée du variogramme. Parfois, cette zone est importante, alors il convient de la réduire.

Dans mon cas, les blocs à estimer sont de 40x40 m². Ceci correspond à la plus petite maille de reconnaissance utilisée.

Choix des paramètres pour le plan de krigeage

a- Pour l'accumulation métal

L'analyse structurale montre que seul le variogramme dressé selon l'azimuth 90° vérifie l'hypothèse de stationnarité du second ordre. La direction de continuité maximale est donc parallèle à la direction Nord-Sud. La zone de recherche doit donc être elliptique dont le grand axe est parallèle à cette direction.

Le variogramme moyen associé à la régionalisation est une structure gïgognes. Le premier modèle est un sphérique de constante de pépite 1.10, de palier 1.20 et de portée 200 mètres. Le second est également un sphérique de palier 0.76 et de portée 550 mètres. La zone de recherche doit avoir un rayon de 180 mètres.

En tenant compte des deux remarques précédente, la zone de recherche est donc elliptique de grand axe parallèle à la direction Nord-Sud. Ce dernier est de 160 mètres. Le petit axe est de 110 mètres.

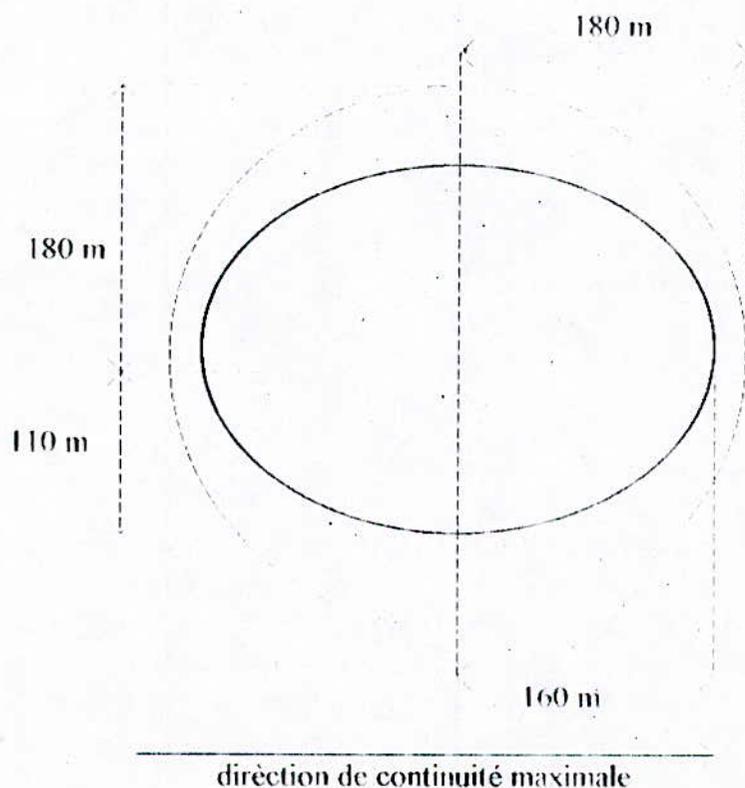


fig 3- schéma montrant l'ellipse de recherche

Le nombre de données minimal pour qu'un bloc soit krigé, est de 10. Le nombre maximal par quadrant est de 15.

b-Pour la puissance

L'analyse structurale indique que seul le variogramme dont l'azimuth est 90° , vérifie l'hypothèse de stationnarité du second ordre. Ceci indique que la direction de continuité maximale est d'azimuth 90° , c'est à dire selon la direction Nord-Sud. C'est donc la même que pour l'accumulation métal. La zone de recherche doit donc être elliptique de grand axe orienté selon cette direction Nord-Sud.

Le variogramme associé à cette régionalisation est un exponentiel de constante de pépite 0.4, de palier 0.24 et de portée 215 mètres. La longueur du grand axe de l'ellipse est alors de 107,5 mètres, c'est à dire la moitié de la portée.

La teneur en or de chaque bloc est obtenue en divisant l'accumulation métal du bloc concerné par la puissance de ce même bloc. Il s'ensuit que pour éviter tout risques de biais, qu'il faille appliquer un même est unique plan de krigeage. Pour cela, deux solutions existent. On peut appliquer le plan de krigeage précédant de l'accumulation à la puissance ou l'inverse.

En effet, l'ellipse de recherche appliquée initialement avait 107,5 mètres et 90 mètres, respectivement le grand axe et le petit axe. Ce plan était malheureusement inadapté pour le krigeage de la puissance¹². Il n'y avait pas suffisamment de blocs krigés¹³. En plus, le nombre de points pris en considération à l'intérieure de cette zone n'est pas important¹⁴. La seconde solution s'impose donc.

4-Application du krigeage

L'estimation locale du gisement aurifère d'Amesmesa est réalisée à l'aide du krigeage ordinaire lognormal. Ceci L'analyse structurale s'appliquait aux valeurs transformées, c'est à dire leurs logarithmes népériens. Le retour aux valeurs absolues¹⁵ se fait alors grâce à la formule suivante:

¹²en réalité le krigeage s'effectue sur les logarithme des puissances

¹³Il y avait 139 blocs sur un total de 212

¹⁴ le nombre maximal de données utilisées est de 17

¹⁵Non transformées

$$Z^* = e^{\gamma - \mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

- Z^* : Valeur absolue estimée
 γ : valeur logarithmique estimée
 μ : multiplicateur de Lagrange
 σ^2 : variance logarithmique de krigeage

Afin de convertir la variance de krigeage logarithmique en variance de krigeage absolue, on doit donc utiliser la formule suivante:

$$\sigma_K^2 = X^2 e^{\sigma_e^2(B,B)} [1 + e^{\mu - \sigma^2} (e^\mu - 2)]$$

- σ_K^2 : variance de krigeage absolue du bloc.
 X : moyenne de la variable absolue krigée pour tout le gisement.
 $\sigma_e(B,B)$: variance de du bloc.
 X_B : Valeur logarithmique du bloc B
 μ : Multiplicateur de Lagrange
 σ^2 : variance de krigeage logarithmique.

Application du krigeage

4-1- Pour l'accumulation métal

Le logiciel utilisé pour le krigeage est le module KRIGE2.COM de GEOSTAT TOOLBOX (1988). Conformément au plan de krigeage précédemment établi, les résultats des valeurs logarithmiques estimées des blocs sont données par le fichier LN_ACCUM.KRG. Ce dernier est donné en annexe 3. Le fichier de paramètres utilisés par ce module est LN_ACCUM.PAR, il est également donné en annexe 3. Le fichier RESULT.KRG donne les accumulations ainsi que les variances de chaque bloc.

4-2- Pour la puissance

Le fichier de paramètres utilisé par le module KRIGE2.COM est LNEPAIS.PAR. Les résultats ainsi obtenus sont donnés par le fichier LNEPAIS.KRG. Ces deux fichiers sont donnés en annexe 3.

Les puissances ainsi que leurs variances sont données par le fichier RESULT.KRG.

5-Statistiques des résultats

L'accumulation métal à une moyenne de 10.476 mg/t Au.
C'est à dire :

$$\bar{A} = \frac{1}{G} \int A(x) dx \approx 10.476 \text{ mg / t Au}$$

Les figures 1 et 2 concernent respectivement l'accumulation métal et sa variance d'estimation. Les différentes statistiques y sont données.

La puissance moyenne des blocs krigés est de 1.29 mètres.

$$\bar{T}_h = \frac{1}{G} \int T_h(x) dx$$

Les figures 3 et 4 donnent également les différentes statistiques respectivement pour la puissance et sa variance d'estimation.

6-Calcul des teneurs des blocs

L'accumulation métal d'un bloc est le produit de la puissance de ce bloc par la teneur de ce même bloc. Ainsi, on peut donc déduire la teneur d'un bloc en faisant le rapport de son accumulation métal par sa puissance.

$$G_B = \frac{A_B}{T_{hb}}$$

7- Calcul de la variance d'estimation d'un quotient

Soient les valeurs globale A et T_h considérées comme déterminées par leurs estimateurs, c'est à dire:

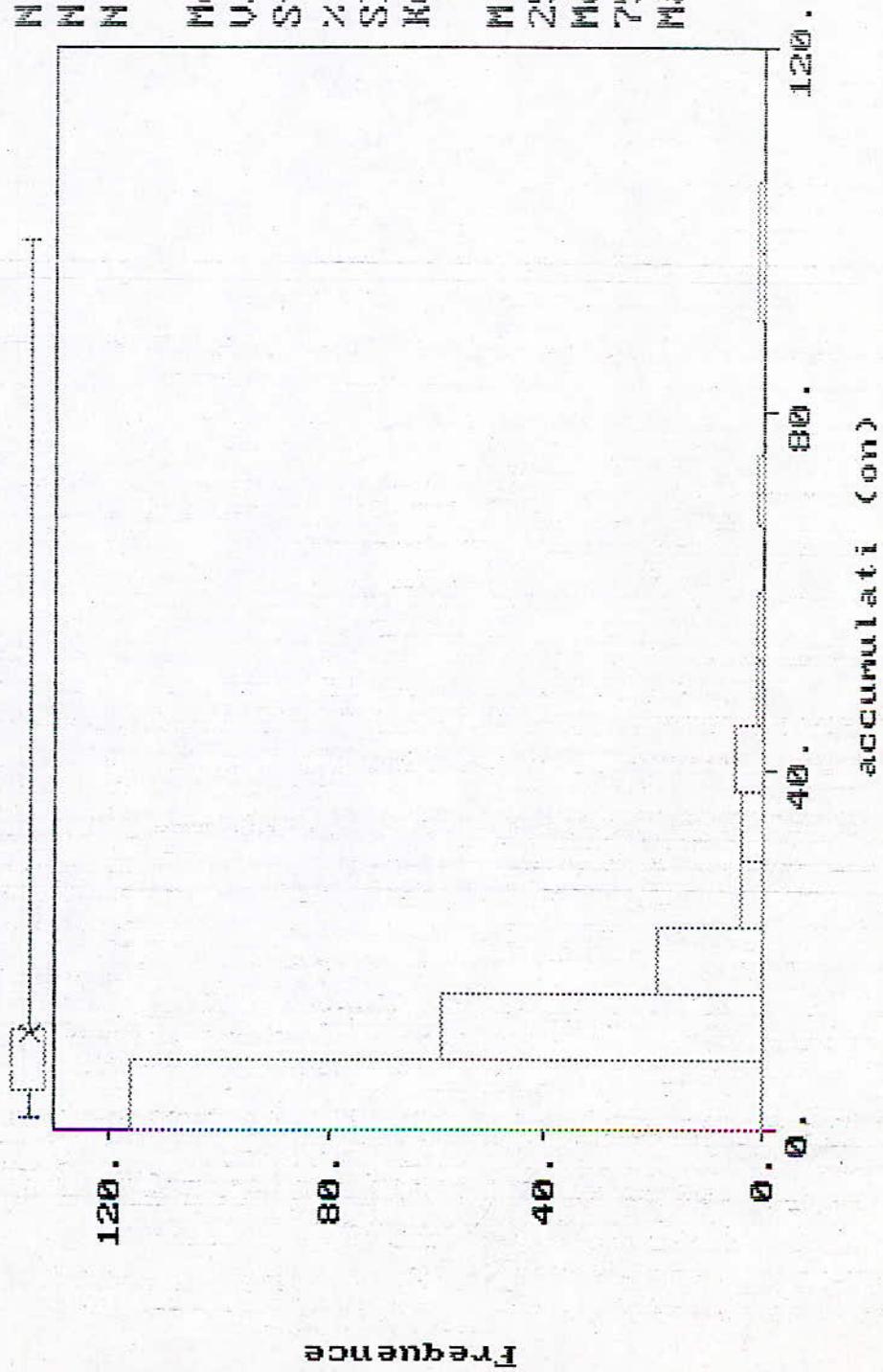
$$A^* = A + \varepsilon_A$$

$$T_h^* = T_h + \varepsilon_{T_h}$$

L'estimation sans biais de ces deux grandeurs, permet de dire que

$$E\{\varepsilon_A\} = E\{\varepsilon_{T_h}\} = 0$$

Figure 1- Histogramme donnant la repartition de l'accumulation krigee



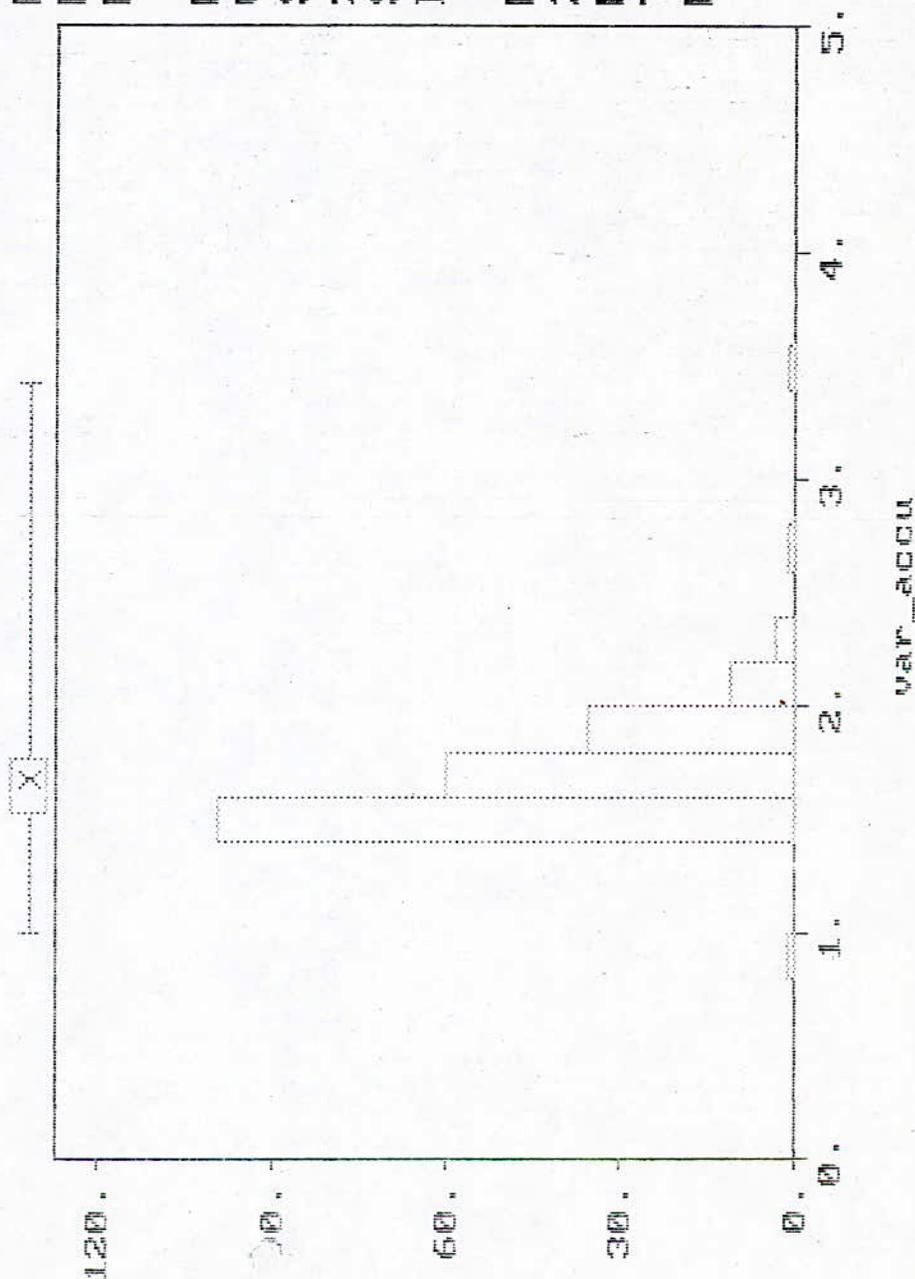
S t a t i s t i c s

N Total : 212
 N Miss : 0
 N Used : 212

Mean : 10.668
 Variance: 168.933
 Std. Dev: 12.997
 % C.V. : 121.838
 Skewness: 3.845
 Kurtosis: 21.825

Minimum : 1.260
 25th % : 4.242
 Median : 6.726
 75th % : 11.034
 Maximum : 98.889

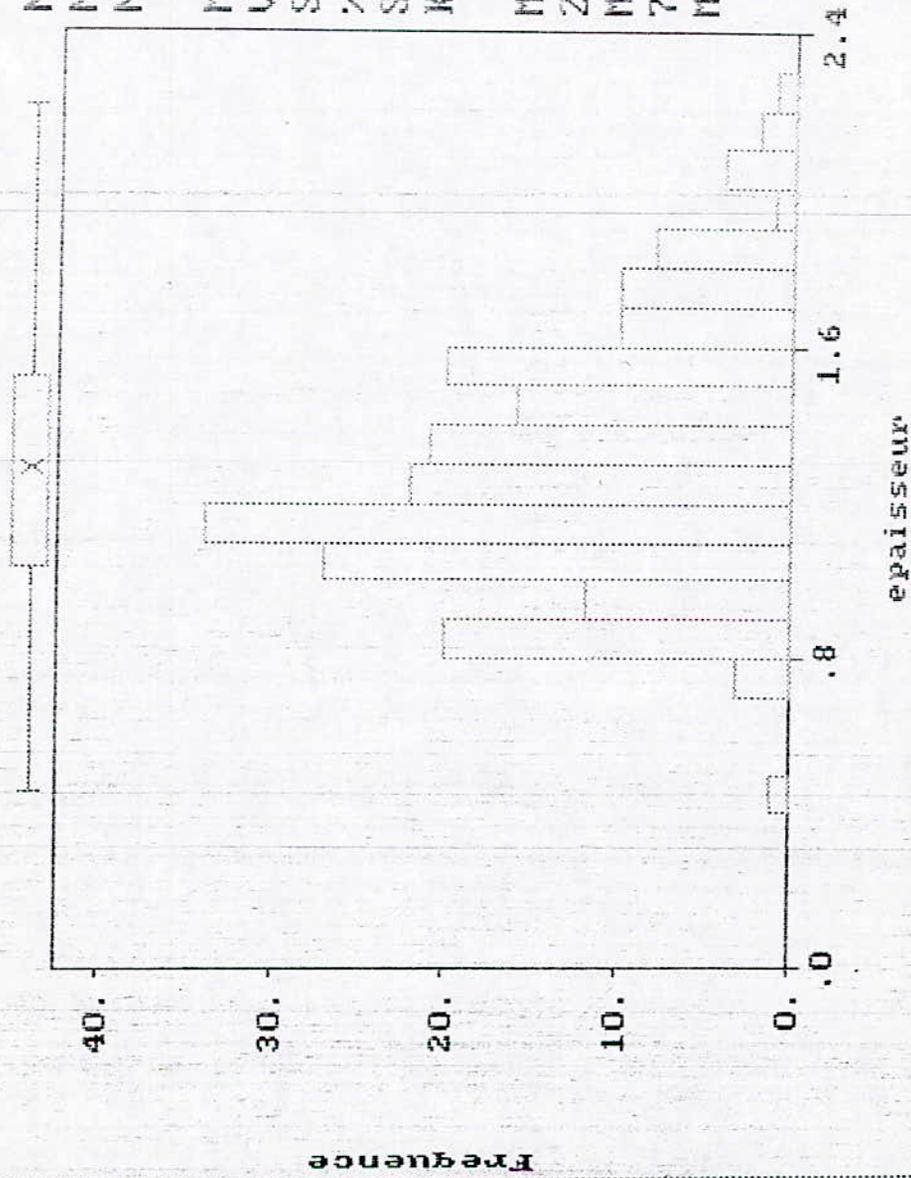
Figure 2- Histogramme donnant la repartition de la variance d'estimation de l'accumulation



S t a t i s t i c s

N Total :	212
N Miss :	0
N Used :	212
Mean :	1.677
Variance :	.057
Std. Dev. :	.238
% C.V. :	14.208
Skewness :	2.702
Kurtosis :	17.632
Minimum :	1.000
25th % :	1.523
Median :	1.608
75th % :	1.773
Maximum :	3.421

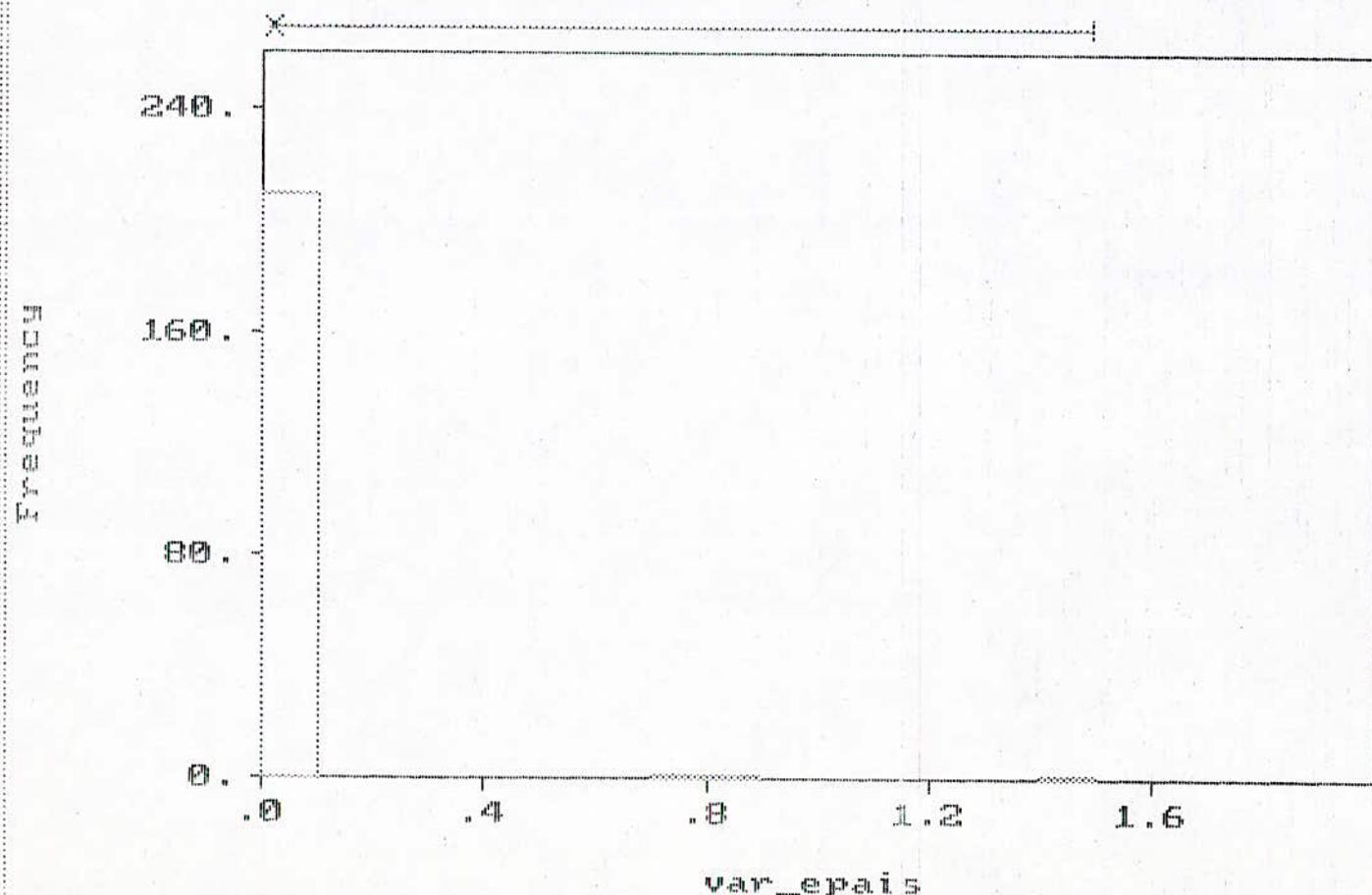
Figure 3- Histogramme des puissance
Data file: acu-epai.dat



S t a t i s t i c s

N Total :	212
N Miss :	0
N Used :	212
Mean :	1.292
Variance:	.102
Std. Dev:	.320
% C.V. :	24.737
Skewness:	.512
Kurtosis:	2.880
Minimum :	.459
25th % :	1.037
Median :	1.237
75th % :	1.521
Maximum :	2.212

Figure 4- Histogramme donnant la repartition de la variance d'estimation de la puissance



Statistics

N Total :	212
N Miss :	0
N Used :	212
Mean :	.018
Variance :	.017
Std. Dev :	.129
% C.V. :	724.911
Skewness :	9.373
Kurtosis :	95.191
Minimum :	.003
25th % :	.003
Median :	.003
75th % :	.003
Maximum :	1.490

$$E\{\varepsilon_A^2\} = \sigma_A^2$$

$$E\{\varepsilon_{T_h}\} = \sigma_{T_h}^2$$

On aura donc

$$G^* = \frac{\Lambda^*}{T_h^*} = \frac{\Lambda_{+\varepsilon_A}}{T_{h+\varepsilon_{T_h}}} = \frac{\Lambda_{+\varepsilon_A}}{B} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\varepsilon_{T_h}}{B}\right)}$$

En général, l'erreur relative est petite vis-à-vis de l'unité, alors on a le développement limité suivant:

$$Q^* = \left(Q + \frac{\varepsilon_A}{\Lambda}\right) \left[1 - \frac{\varepsilon_{T_h}}{T_h} + \frac{\varepsilon_{T_h}^2}{T_h^2} - \frac{\varepsilon_{T_h}^3}{T_h^3} + \dots\right]$$

On aura donc

$$E\{Q^*\} = Q \left[1 + \frac{\sigma_B^2}{T_h^2} - \frac{E\{\varepsilon_A \varepsilon_{T_h}\}}{\Lambda T_h} + \dots\right]$$

La différence entre le deuxième et le troisième de ce développement limité est une variance négligeable. Le développement limité de la variance relative d'estimation de la teneur G est alors donné par l'expression suivante:

$$\frac{\sigma_G^2}{Q^2} = \frac{E\{[Q - Q^*]^2\}}{Q^2} = \frac{\sigma_A^2}{\Lambda^2} + \frac{\sigma_{T_h}^2}{T_h^2} - 2 \frac{E\{[\Lambda - \Lambda^*][T_h - T_h^*]\}}{\Lambda T_h} + \dots$$

$$\frac{\sigma_G^2}{Q^2} = \frac{\sigma_A^2}{\Lambda^2} + \frac{\sigma_{T_h}^2}{T_h^2} - 2\rho_{\Lambda T_h} \frac{\sigma_A \sigma_{T_h}}{\Lambda T_h}$$

Le coefficient de corrélation $\rho_{\Lambda T_h}$ est estimé par le coefficient de corrélation expérimental dressé à partir des données disponibles.

application

La procédure appliquée aux différents blocs, fournis les résultats contenus dans le fichier TENEUR.RES. Ce dernier est contenu dans l'annexe 3.

8- Conclusion

Le gisement aurifère d'Amesmesa a été évalué par un krigeage ordinaire de bloc. Ce dernier est de 40X40 m², ce

qui correspond à la plus petite maille de reconnaissance. Le nombre total de blocs krigés est de 211. La figure 5 montre la position de chaque centre de bloc krigé. La moyenne de l'accumulation métal est de 10.476 mg/t Au. La puissance moyenne est de 1.29 mètre. La teneur moyenne de ces blocs n'est pas moyenne de ces derniers, car il y a une hétérogénéité de support (Journel et Huigbregt, 1978).

On a donc

$$\bar{G} = \frac{\frac{1}{D_n} \int A(x) dx}{\frac{1}{D_n} \int T_h(x) dx}$$

Cette teneur moyenne est alors estimée par l'expression suivante:

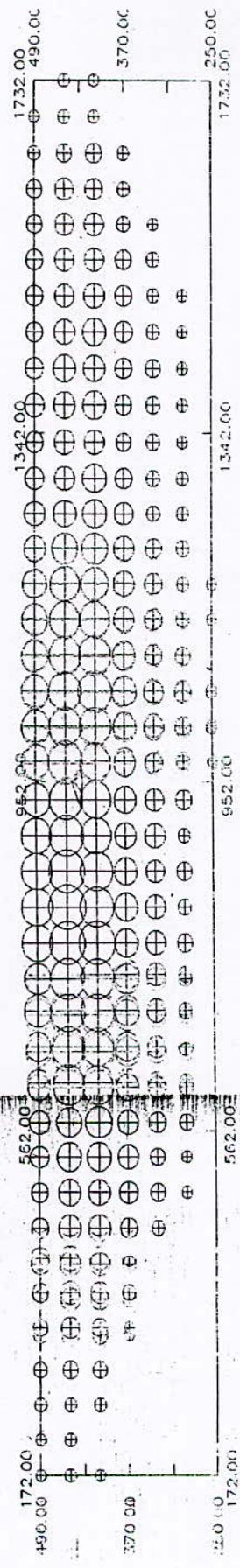
$$\bar{G} = \frac{\bar{A}}{\bar{T}_h}$$

La teneur moyenne de ces 211 blocs est de 8.12 g/t Au.

المكتبة — المكتبة
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

المكتبة — المكتبة
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Figure: -- Repartition spatiale des accumulations des blocs kriges

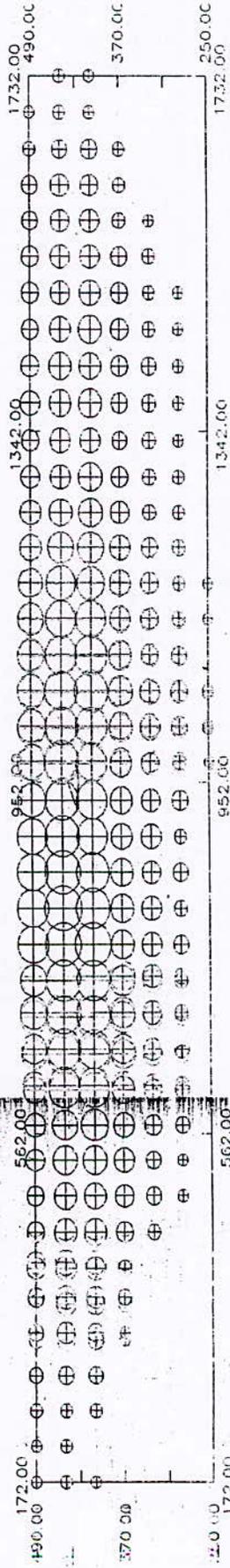




المدرسة الوطنية للتقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية للتقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

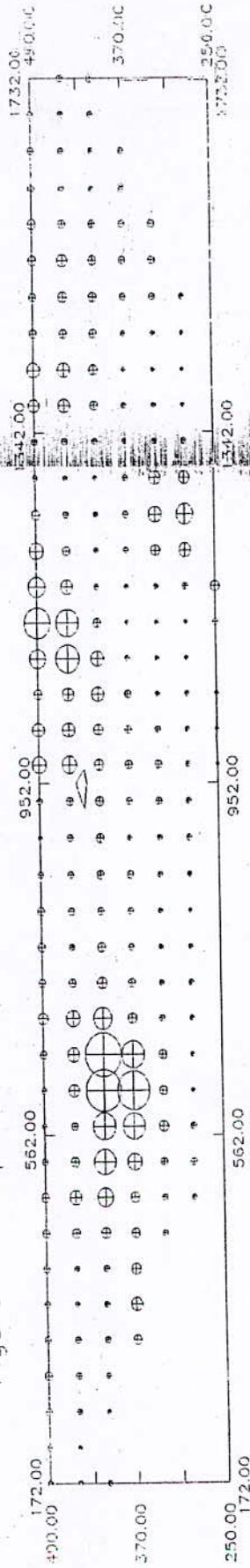
Figure: -- Repartition spatiale des accumulations des blocs kriges



المكتبة الوطنية للتقنية
BIBLIOTHEQUE —
Ecole Nationale Polytechnique

المكتبة الوطنية للتقنية
BIBLIOTHEQUE —
Ecole Nationale Polytechnique

Figure — Repartition spatiale des teneurs des blocs kriès



Chapitre VII
Calcul des réseves

Sommaire

1- Introduction.....	127
2- Calcul des réserves géologiques.....	127
2-1- Calcul de la surface.....	127
2-2- Calcul de la puissance.....	128
2-3- Calcul du tonnage.....	129
2-4- Calcul de la quantité de métal.....	130
3- Calcul des réserves "krigées".....	130
3-1- Calcul de la surface totale.....	130
3-2- Calcul de la variance d'estimation de la puissance..	131
3-3- Calcul de la variance d'estimation de la accumulation.....	136
3-4- Calcul de la variance d'estimation de la teneur.....	137
3-5- Calcul du tonnage.....	138
3-6- Calcul de la quantité d'or métal.....	138
4- Calcul des réserves "non krigées".....	139
4-1- Calcul de la surface.....	139
4-2- Calcul du tonnage.....	140
4-3- Calcul de la quantité de métal.....	140

1-Introduction

L'estimation globale d'un gisement à partir d'une estimation locale par krigeage de blocs, est constituée de quatre phases qui sont:

- * Estimation du tonnage et sa variance.
- * Estimation de la teneur moyenne et de sa variance.
- * Estimation de la quantité de métal et de sa variance.
- * Détermination des précisions des estimateurs.

Le calcul du tonnage se base sur la détermination de la surface du corps minéralisé et sa puissance. Sa variance d'estimation est calculée à partir de celles des grandeurs ayant servi au calcul du tonnage.

Le calcul de la quantité de métal disponible se base sur le calcul précédent. Sa variance d'estimation est également obtenue en composant les différentes variances des grandeurs utilisées pour le calcul.

2-Calcul des réserves géologiques

Le problème essentiel de l'estimation globale est la détermination de la surface de la minéralisation ainsi que sa variance d'estimation. Cette dernière permet le calcul des différentes variances d'estimations (de tonnage et de la quantité de métal).

2-1-Calcul de la surface

La surface du corps minéralisé est délimitée par un réseau de polygones d'influences. Le problème réside dans le fait que la localisation des limites du corps minéralisé n'est reconnue que par les travaux réalisés. Ainsi, la limite de la minéralisation reconnue par sondages aux noeuds d'une grille carrée (voir figure ci-dessous), est obtenue en utilisant la règle pratique suivante: la zone d'influence d'un sondage est la moitié de la distance le séparant d'un autre sondage. Cette règle permet donc de délimiter la surface du corps minéralisé.

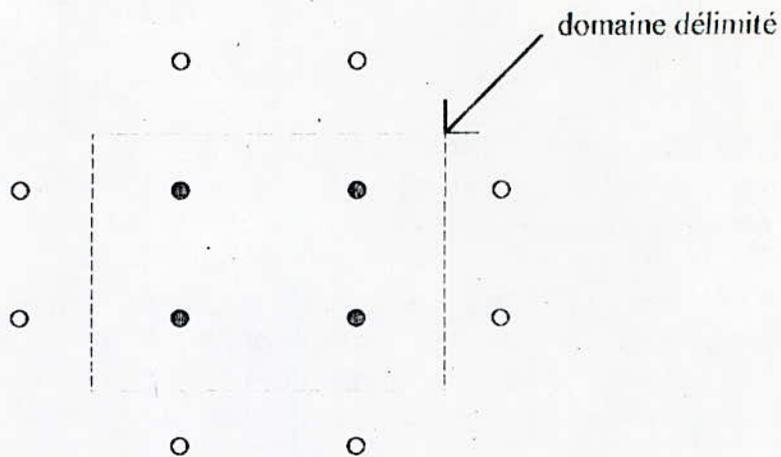


figure a- délimitation du domaine à estimer

La surface S à calculer est déterminée par la méthode des polygones d'influences. En effet, une aire d'influence est attribuée à chaque ouvrage minier. La surface totale est donc la somme des surfaces de ces polygones.

En se référant aux travaux réalisés par le groupe minier SIDAM, la surface totale déduite des polygones d'influence est donnée par l'expression suivante:

$$S = 629\,208 \text{ m}^2$$

Cette surface est donnée par la figure 1 .

2-2-Calcul de la puissance

L'histogramme des puissances krigées des blocs a été construit (voir figure 2). Il est important de signaler le fait que si la normalité est apparente, alors on peut considérer la moyenne arithmétique des puissances krigées comme puissance moyenne du gisement. Si par contre, la distribution de ces épaisseurs est selon une loi log-normale alors, cette puissance moyenne est calculée par l'expression suivante:

$$m = e^{\alpha + \sigma^2/2}$$

α : moyenne logarithmique.

σ^2 : variance logarithmique.

L'histogramme des puissances krigées est du type normal (voir figure 2). La dissymétrie peut être significative

الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

FIGURE 1 - SURFACE RECONNUE

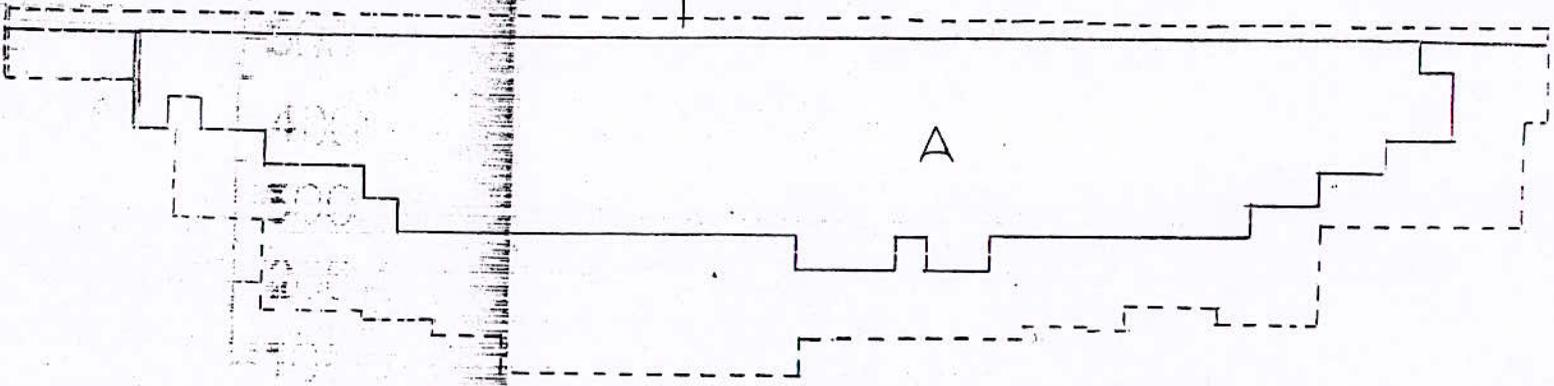
الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

D

ACROD

B

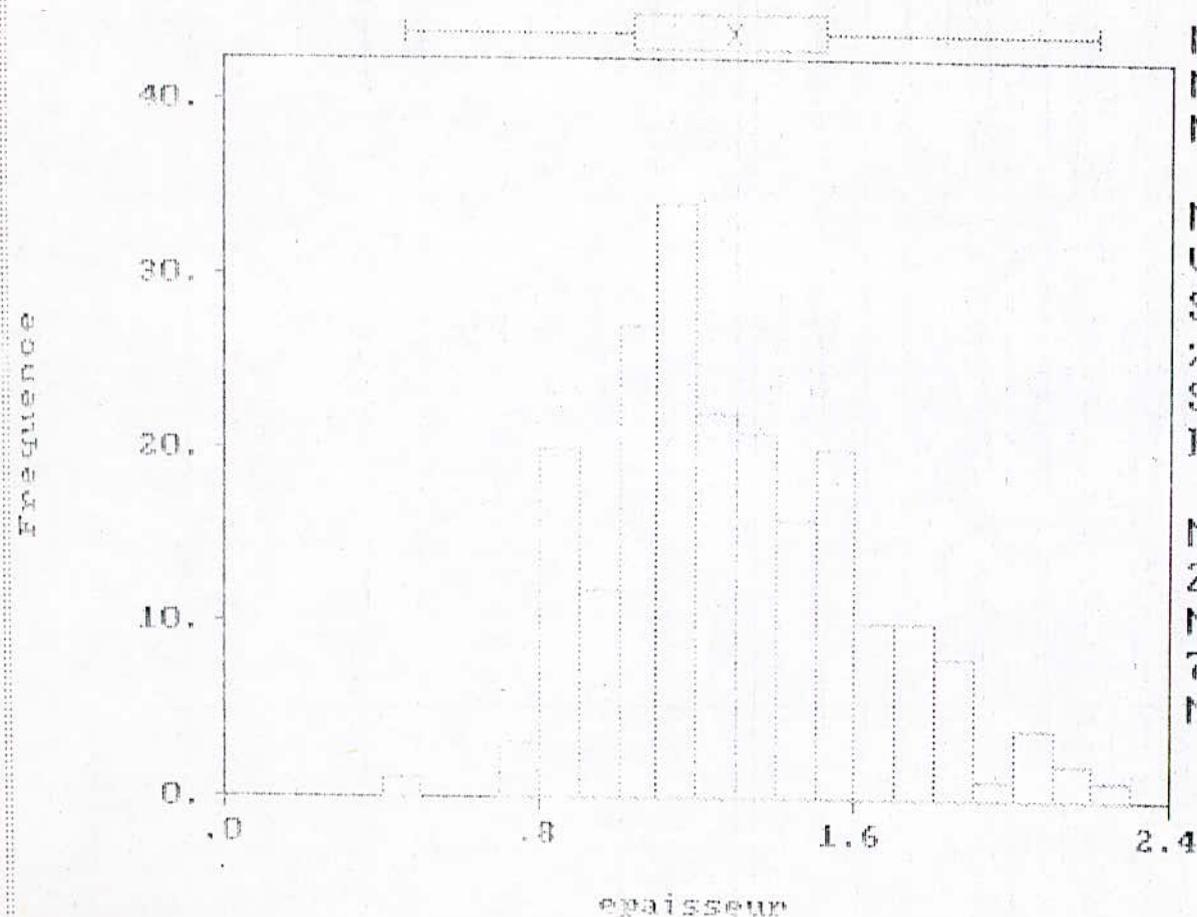
NORD



surface totale

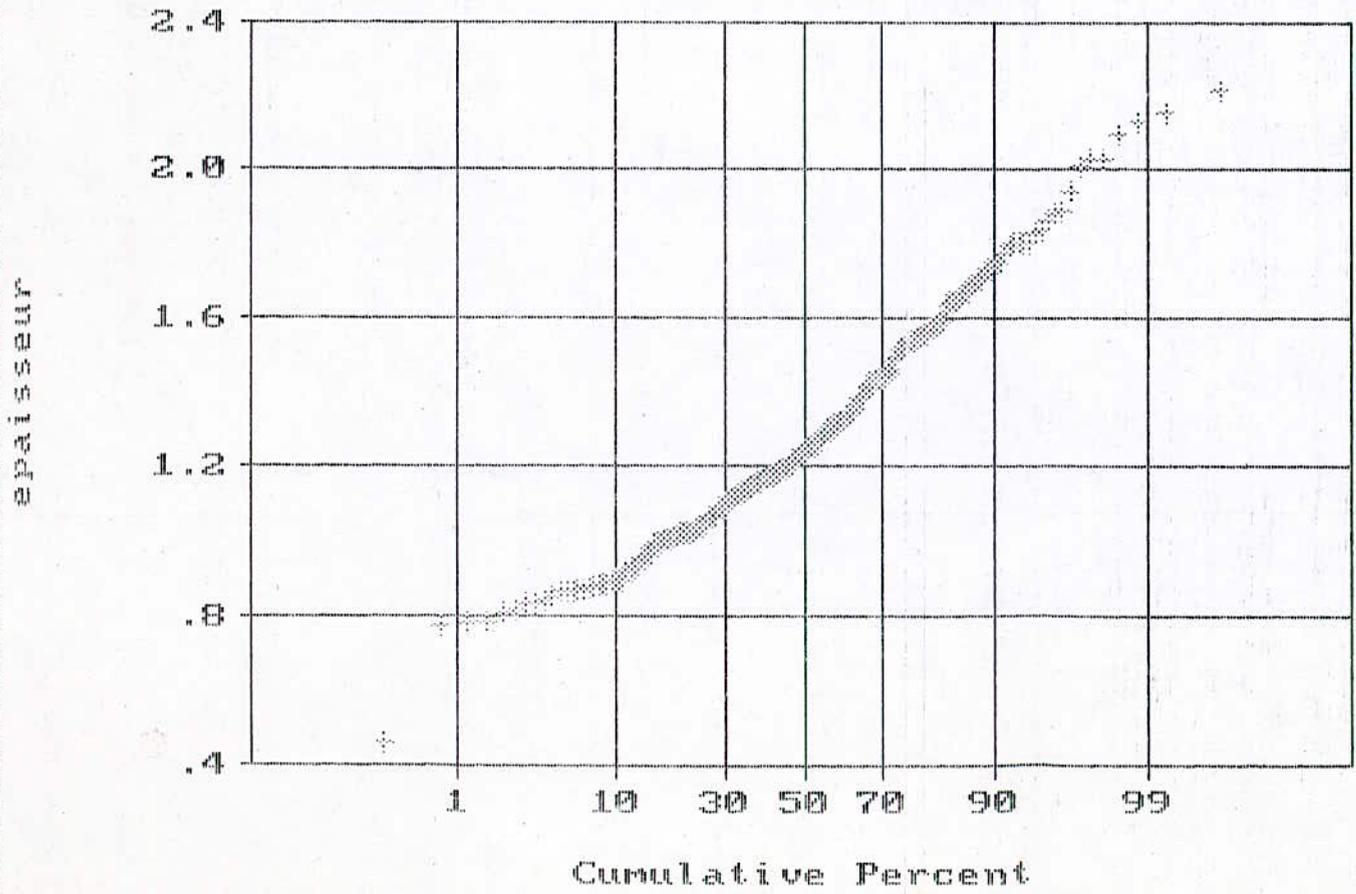
Figure 2- Histogramme des puissance
Data file: acu-epai.dat

Statistics



N Total :	212
N Miss :	0
N Used :	212
Mean :	1.292
Variance :	.102
Std. Dev :	.320
% C.V. :	24.737
Skewness :	.512
Kurtosis :	2.880
Minimum :	.459
25th % :	1.037
Median :	1.237
75th % :	1.521
Maximum :	2.212

Figure 3 - Normal Probability Plot for epaisseur
 Data file: acu-epai.dat



Statistics

N Total :	212
N Miss :	0
N Used :	212
Mean :	1.292
Variance :	.102
Std. Dev :	.320
% C.V. :	24.737
Skewness :	.512
Kurtosis :	2.880
Minimum :	.459
25th % :	1.037
Median :	1.237
75th % :	1.521
Maximum :	2.212

La courbe de probabilité confirme donc cette hypothèse (voir figure 3). Afin de déterminer la puissance moyenne, on passe à la forme logarithmique. La distribution de la puissance krigée est log-normale. Conformément à cela, la puissance moyenne du gisement est

$$m = e^{\alpha t_0^2 / 2}$$

$$\alpha = 0.2257$$

$$\sigma^2 = 0.0587$$

$$m = 1.29 \text{ mètre}$$

2-3- Tonnage

Le calcul du tonnage nécessite la connaissance de la surface et de la puissance. La densité du minerai est le plus souvent considérée comme une constante déterminée avec une grande précision.

Le tonnage est déterminé en utilisant la formule suivante:

$$Q = S T_h d$$

S : la surface du corps minéralisé
T_h: la puissance de la minéralisation
d : la densité du minerai¹⁶

$$T = 2\,272\,700.0 \text{ tonnes de minerais.}$$

comparaison avec les calculs antérieurs

Les calculs de SIDAM (Avril 1993) indiquent que les réserves géologiques sont de 2 749 720 tonnes de minerais. La différence relative est de 17.3 %. Ces calculs ont été effectués à l'aide des polygones d'influence. La teneur d'un bloc est obtenue en pondérant par les puissances. Il est important de signaler que cette méthode a tendance à

¹⁶ la densité du minerai d'Amesmessa est de 2.84 g/cm³

surestimer la variable considérée (Journel et Huijbregt, 1978).

2-4- Quantité de métal

la quantité de métal contenue dans ces réserves géologiques est obtenue comme suit:

$$T = Q \bar{G}$$

T: tonnage global

\bar{G} : teneur moyenne du gisement

AN:

$$Q = 18.46 \text{ tonnes d'or métal}$$

3-Calcul des réserves "krigées"

3-1-calcul de la surface totale "krigée"

Le nombre total de blocs krigés est de 211. La dimension de ces blocs est de 40X40 m². La figure 4 montre la position spatiale de ces blocs, laquelle est donnée par le centre de chaque bloc. La surface totale est donnée par la figure 1 (complètement dessinée en trait continu)

$$S = 337\,600 \text{ m}^2$$

Calcul de la variance d'estimation de la surface

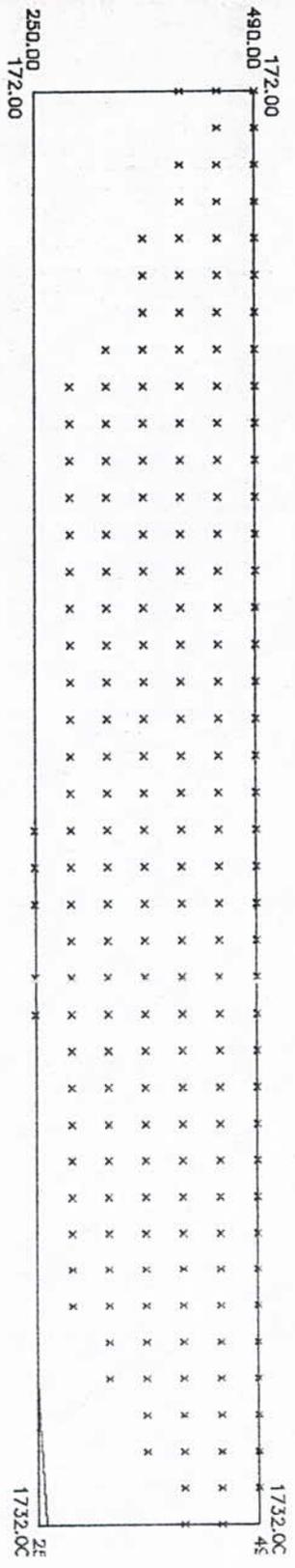
La méthode la plus facile de calcul de la variance d'estimation de la surface du corps minéralisée reconnu par une maille rectangulaire (ou carrée) est celle déduite de la théorie transitive du Professeur MATHERON(1970). L'expression de la variance relative est la suivante:

$$\frac{\sigma^2}{S^2} = \frac{1}{n^2} \left[\frac{D_\alpha}{6} + 0.0690 \frac{(D_\beta)^2}{D_\alpha} \right]$$

n : nombre de blocs

2 D α et 2 D β : nombre des éléments parallèles aux deux côtés de la maille.

Figure 4— position spaiale des blocs krigees



La direction β est choisit de telle sorte que $D\beta$ est plus grand que $D\alpha$. La figure 4 montre les deux directions choisies. Ces deux dernières grandeurs sont alors égales à:

$$2D_{\beta} = 80$$

$$2D_{\alpha} = 18$$

AN:

$$\frac{\sigma^2}{S^2} = 2.7687 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma_s^2 = 5617.5 \text{ m}^2$$

Ainsi, dans un intervalle de confiance de 95%, la surface estimée est

$$S = (337600 \pm 11235) \text{ m}^2$$

4-2-Calcul de la variance d'estimation de la puissance

La variance d'estimation globale de la puissance à travers la surface connue est donnée par l'expression¹⁷ suivante:

$$\sigma_{ET_b}^2 = E\{[T_{hs} - T_b]^2\} \approx \frac{1}{n} \sigma_{Ea,a_2}^2$$

Cette variance d'estimation est mieux estimée en utilisant les fonctions auxiliaires (Journel et Huigbregt, 1978).

Calcul de σ_{Ea,a_2}^2

Le calcul de cette variance d'estimation fait intervenir les fonctions auxiliaires. Ces dernières sont relatives aux variogrammes. Il est important à ce stade de rappeler que l'étude structurale concerne les logarithmes des VR puissance et accumulation. Afin de pouvoir calculer cette variance d'estimation, il est donc indispensable de transformer d'abord les données, de calculer la variance d'estimation logarithmique et enfin revenir aux valeurs absolues.

¹⁷ Cette formule est tirée du "Mining Geostatistics, Journel et Huigbregt, 1978)

calcul de la variance logarithmique d'estimation

Soit σ_{E,a_1,a_2}^2 cette variance d'estimation logarithmique. Celle-ci s'exprime par la relation suivante:

$$\sigma_{E,a_1,a_2}^2 = 2H\left(\frac{a_1}{2}; \frac{a_2}{2}\right) - F(a_1; a_2)$$

Le variogramme moyen associée au logarithme de la puissance est un exponentiel de constante de pépite 0.4, de palier 0.24 et de portée 215 mètres.

$$a_1 = a_2 = 40 \text{ mètres}$$

$$\Rightarrow \sigma_{E,a_1,a_2}^2 = 2H(20,20) - F(40,40)$$

Les abaques 13 et 14 donnent respectivement les fonctions auxiliaires $H(L/a, l/a)$ et $F(L/a, l/a)$, a est la portée du variogramme considéré. Cette dernière est de 215 mètres. L et l sont les côtés du bloc estimé. Dans mon cas, ces deux grandeurs sont égales (bloc carrée de $40 \times 40 \text{ m}^2$). On aura donc:

$$\begin{aligned} \sigma_{E,a_1,a_2}^2 &= C_0 + C[2H(0.093, 0.093) - F(0.186, 0.186)] \\ &= 0.4 + 0.24[0.045] = 0.411 \\ \Rightarrow \sigma_{E,a_1,a_2}^2 &= 0.411 \end{aligned}$$

La variance d'estimation logarithmique est égale à 0.411. En utilisant les tables donnant les variances d'extensions (voir figure 5), on aura

$$\begin{aligned} \sigma_{E,a_1,a_2}^2 &= C_0 + C[\sigma_E^2] \\ \sigma_E^2 = 0.0475 &\Rightarrow \sigma_{E,a_1,a_2}^2 = 0.411 \end{aligned}$$

retour aux valeurs absolues

La variance précédemment calculée est une variance d'estimation de l'erreur commise en estimant la moyenne logarithmique de la puissance sur la surface connue par la moyenne logarithmique arithmétique des puissances krigées.

L'erreur de l'estimation est la somme des erreurs locales. Soient ε cette erreur globale et ε_i l'erreur d'estimation du i ème bloc. On a donc

$$E\{\varepsilon\} = E\left\{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i\right\} = \sum_{i=1}^n E\{\varepsilon_i\}$$

Or le krigeage est un estimateur sans biais, on aura donc

$$E\{\varepsilon_i\} = 0 \Rightarrow E\{\varepsilon\} = 0$$

Le retour aux valeurs absolues fait intervenir les équations suivantes:

$$m = e^{\left[m' + \frac{\sigma_{E_{a_1 a_2}}^2}{2}\right]}$$

$$\sigma_{E_{a_1 a_2}}^2 = m^2 \left[e^{\sigma_{E_{a_1 a_2}}^2} - 1 \right]$$

m' : espérance logarithmique

m : espérance absolue

Application numérique:

$m' = 0$ (la moyenne des erreurs est nulle car le krigeage est un estimateur sans biais)

$$\sigma_{E_{a_1 a_2}}^2 = 0.411$$

$$\sigma_{E_{a_1 a_2}}^2 = 0.766$$

La variance globale de l'estimation de l'épaisseur moyenne à travers la surface connue est donc

$$\sigma_{E_{T_h}}^2 \approx \frac{1}{n} \sigma_{E_{a_1 a_2}}^2 \approx 3.630 \cdot 10^{-3}$$

Calcul de la variance d'estimation de la puissance sur la vraie surface

Le fait que les limites exactes du domaine à estimé ne sont jamais connues, entraîne une erreur supplémentaire de nature géométrique. Ainsi, la vraie surface S est estimée par la surface délimitée par ces blocs krigés. On a donc

$$S = S^* + dS \quad \left\{ \begin{array}{l} S^* : \text{surface calculée} \\ dS : \text{erreur d'estimation de } S \end{array} \right.$$

La puissance moyenne à estimer est

$$\bar{T}_{hs} = \frac{1}{S} \int T_h(x) dx$$

La différence entre les moyenne de l'épaisseur à travers la vraie surface et la surface estimée correspond à l'erreur de la surface, c'est à dire

$$T_{hs} = T_{hs^*} + dS T_h$$

Ainsi, la variance de l'erreur commise est comme suit:

$$\begin{aligned} E\{[T_h - T_{hs^*}]^2\} &= E\{[T_{hs} - T_{hs^*} + d_s T_h]^2\} \\ &= \sigma_{ET_h}^2 + E\{[d_s T_h]^2\} + 2E\{[T_{hs} - T_{hs^*}] d_s T_h\} \end{aligned}$$

L'erreur d'estimation à champs connu est indépendante de l'erreur géométrique. Le dernier terme de l'équation précédente est alors nul. La variance d'estimation globale est alors la somme de deux variances, c'est à dire

$$E\{[T_h - T_{hs^*}]^2\} = \sigma_{ET_h}^2 + E\{[d_s T_h]^2\}$$

Le premier terme est la variance d'estimation à travers la surface connue. Le second est un terme de "bordure"¹⁸. Ce dernier est exprimé par la relation suivante:

$$E\{[d_s T_h]^2\} = \frac{\sigma_s^2}{S^2} D^2(0/S)$$

$\frac{\sigma_s^2}{S^2}$: variance relative d'estimation de la surface

$D^2(0/S)$ est la variance de dispersion de la puissance dans la surface S .

En somme, la variance globale d'estimation de la puissance est donnée par la formule suivante:

¹⁸Voir le "Guide de géostatistique minière; Journal 1975 "

$$\sigma_A^2 = E\left\{\left[T_h - T_{hs}^*\right]^2\right\} = \sigma_{ET_h}^2 + \frac{\sigma_S^2}{S^2} D_{T_h}^2(0/S)$$

Application numérique

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ET_h}^2 &= 3.630 \cdot 10^{-3} \\ \frac{\sigma_S^2}{S^2} &= 2.7687 \cdot 10^{-4} \\ D_{T_h}^2(0/S) &= 0.100 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_{T_h}^2 = 3.657 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

4-3-Calcul de la variance d'estimation de l'accumulation

la variance d'estimation globale de l'accumulation métal à travers la surface connue est

$$\sigma_{EA}^2 = E\left\{\left[A_s - A\right]^2\right\} \approx \frac{1}{n} \sigma_{E_{a_1 a_2}}^2$$

La même démarche que pour le calcul de la variance d'estimation de la puissance est alors suivie.

Calcul de $\sigma_{E_{a_1 a_2}}^2$

Le calcul de cette variance fait intervenir les fonctions auxiliaires. La VR accumulation doit donc être transformer¹⁹. L'analyse structurale donne le variogramme associé à cette régionalisation. Ce dernier est une structure gigoque. Le premier variogramme est sphérique de constante de pépite 1.10, de palier 1.20 et de portée 200 mètres. Le second est également un sphérique de palier 0.76 est de portée 550 mètres.

1 ère structure

$$\sigma_1^2 = 2H(a_1/2; a_2/2) - F(a_1; a_2)$$

$$a_1 = a_2 = 40 \text{ m}$$

$$\sigma_1^2 = 2H(20;20) - F(40;40)$$

$$= C_0 + C(\chi)$$

$$= 1.10 + 1.20(0.075) = 1.19$$

2 eme structure

¹⁹Le logarithme de la VR accumulation est pris en considération.

$$\begin{aligned}\sigma_2^2 &= 2H(a_1/2; a_2/2) - F(a_1; a_2) \\ a_1 &= a_2 = 40 \text{ m} \\ \sigma_2^2 &= 2H(20; 20) - F(40; 40) \\ &= C(\chi) \\ &= 0.76 (0.03) = 0.0228\end{aligned}$$

La linéarité des opérations géostatistiques permet donc d'avoir

$$\begin{aligned}\sigma_{E_{a_1, a_2}}^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \\ &= 1.2128\end{aligned}$$

Les abaques 3 et 4 ont été utilisées pour le calcul de ces fonctions auxiliaires.

le retour aux valeurs absolues se fait également de la même manière que pour le calcul de la variance d'estimation de la puissance.

L'espérance mathématique pour les valeurs transformées est bien entendue nulle²⁰. On aura donc

$$\begin{cases} m = e^{\left[m' + \frac{\sigma_{E_{a_1, a_2}}^2}{2} \right]} \\ \sigma_{E_{a_1, a_2}}^2 = m^2 (e^{\frac{\sigma_{E_{a_1, a_2}}^2}{m^2}} - 1) \end{cases}$$

$$\begin{aligned}m' &= 0 ; \sigma_{E_{a_1, a_2}}^2 = 1.2128 \\ m &= 1.8338 \Rightarrow \sigma_{E_{a_1, a_2}}^2 = 7.9459\end{aligned}$$

Finalement, la variance d'estimation globale de l'accumulation métal est donnée par l'expression suivante:

$$\sigma_{EA}^2 \approx \frac{1}{n} \sigma_{E_{a_1, a_2}}^2 = 0.037 \text{ m}^2$$

Calculons la variance d'estimation de l'accumulation métal sur la vraie surface.

La formule précédemment établit pour la puissance est générale, aussi la variance d'estimation de la puissance sur la vraie surface S est:

²⁰car la l'espérance de l'erreur globale est la sommes des espérances des erreurs elementaires. Ces dernière sont nulles car le krigage est un estimateur sans biais.

$$\sigma_{\Lambda}^2 = \sigma_{EA}^2 + \frac{\sigma_s^2}{S^2} D_{\Lambda}^2(0/S)$$

Application numérique

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{EA}^2 &= 0.037 \text{ m}^2\text{g}^2/\text{t}^2 \\ \frac{\sigma_s^2}{S^2} &= 2.7687 \cdot 10^{-4} \\ D_{\Lambda}^2(0/S) &= 167.973 \text{ m}^2\text{g}^2/\text{t}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_{\Lambda}^2 = 0.083 \text{ m}^2\text{g}^2/\text{t}^2$$

3-4-Calcul de la variance d'estimation de la teneur

Sur la surface connue S , on a estimé l'accumulation moyenne ainsi que la puissance moyenne par leurs moyenne arithmétique.

$$\Lambda_{s^*} = \frac{1}{S^*} \int_{s^*} a(\bar{x}) dx \quad \text{par } \Lambda_{s^*}^*$$

$$T_{hs^*} = \frac{1}{S^*} \int_{s^*} Th(x) dx \quad \text{par } T_{s^*}^*$$

La teneur moyenne est mieux estimée en faisant le rapport des moyennes de l'accumulation métal et de la puissance (Journel, 1975). Donc, on a:

$$G_s = \frac{\Lambda_{s^*}}{T_{hs^*}} \text{ est estimée par } \hat{G}_s = \frac{\Lambda_{s^*}^*}{T_{hs^*}^*}$$

La teneur moyenne des blocs krigés est

$G = 8.12 \text{ g/t Au}$

calcul de la variance d'estimation de la teneur moyenne sur la vrai surface

La variance relative d'estimation de la teneur moyenne est donnée par l'expression suivante:

$$\frac{\sigma_G^2}{G^2} = \frac{\sigma_\Lambda^2}{\Lambda^2} + \frac{\sigma_{T_h}^2}{T_h^2} - 2\rho_{\Lambda T_h} \frac{\sigma_\Lambda}{\Lambda} \frac{\sigma_{T_h}}{T_h}$$

Application numérique

$$\frac{\sigma_G^2}{G^2} = 2.56 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \sigma_G^2 = 0.168 \approx 0.17 \text{ g}^2/\text{t}^2\text{Au}$$

Dans un intervalle de confiance de 95%, la teneur moyenne des 211 blocs krigés est:

$$G = (8.12 \pm 0.33) \text{ g/t Au}$$

3-5-calcul du tonnage

Le tonnage T est calculé à partir de l'expression suivante:

$$T = Th S d$$

Application numérique

$$T = 1\,224\,137.6 \text{ tonnes de minerais}$$

Calcul de la variance d'estimation du tonnage

La variance d'estimation du tonnage total sur la vraie surface est donnée par l'expression suivante:

$$\frac{\sigma_T^2}{T^2} = \frac{\sigma_{ET_h}^2}{T_h^2} + \frac{\sigma_S^2}{S^2} \left(1 + \frac{D_{T_h}^2 (0/S)}{T_h^2} \right)$$

Application numérique

$$\frac{\sigma_T^2}{T^2} = 2.471 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \sigma_T = 60\,859.3 \text{ tonnes de minerais}$$

4-6- Calcul de la quantité de métal

La quantité de métal disponible est donnée par la formule suivante:

$$Q = A S d$$

Application numérique:

$$Q = 9.903 \text{ tonnes d'or métal}$$

La variance d'estimation de la quantité de métal est donnée par la formule suivante:

$$\frac{\sigma_Q^2}{Q^2} = \frac{\sigma_{EA}^2}{A^2} + \frac{\sigma_S^2}{S^2} \left(1 + \frac{D_A^2(0/S)}{A^2} \right)$$

Application numérique

$$\frac{\sigma_Q^2}{Q^2} = 1.037 \cdot 10^{-3} \Leftrightarrow \sigma_Q^2 = 0.1017 \Rightarrow \sigma_Q = 0.32 \text{ tonne d'or}$$

Avec un risque de 5%, la quantité de métal disponible est la suivante:

$$Q = (9.903 \pm 0.637) \text{ tonnes d'or métal.}$$

4-Calcul des réserves hors krigeage

La limite supérieure de la zone constituée par les blocs krigés est à la côte de 510 mètre. Or, au niveau de la surface dont la côte moyenne est de 535.28 mètres, des tranchées creusées tout les 10 mètres en moyenne ont été réalisées. Cette importante densité de l'information doit être prise en considération. On définit donc une autre catégorie de réserves dites "non krigées" ou auxiliaires.

calcul des réserves auxiliaires

4-1- Calcul de la surface

La surface est délimitée en profondeur par le niveau 510, Longitudinalement, elle correspond à la longueur totale d'échantillonnage, c'est à dire 1876 mètres.

La surface S ainsi délimitée se calcule comme suit:

$$S = L \cdot l$$

L : longueur totale d'échantillonnage

l : profondeur totale

Application numérique

$$S = 1876 \times 20.28 = 38\ 045.3 \text{ m}^2$$

La surface ainsi calculée est donc

$$S = 38\ 045.3 \text{ m}^2$$

La variance relative d'estimation de la surface S est donc

$$\frac{\sigma_s^2}{S^2} = \frac{\sigma_1^2}{1^2}$$

Application numérique

$$\sigma_s^2 = 7.482 \text{ m}^2 \Rightarrow \frac{\sigma_s^2}{S^2} = 0.018$$

4-2- Calcul du tonnage

La puissance moyenne de cette catégorie de réserves est assimilée à celle des réserves obtenues par krigeage, soit 1.29 mètre. le tonnage est donc donné par la formule suivante:

$$T = S T_h d$$

Application numérique

$$\left. \begin{array}{l} d = 2.8 \text{ g/cm}^3 \\ S = 38\ 045.3 \text{ m}^2 \\ T_h = 1.29 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow T = 137\ 419 \text{ tonnes de minerais}$$

$$T = 137\ 419 \text{ tonnes de minerais}$$

La variance relative d'estimation du tonnage est donc

$$\frac{\sigma_T^2}{T^2} = \frac{\sigma_s^2}{S^2} + \frac{\sigma_{T_h}^2}{T_h^2}$$

Application numérique:.

$$\frac{\sigma_r^2}{T^2} = 0.020 \Rightarrow \sigma_T = 19\,434.1 \text{ tonnes de minerais}$$

Avec un risque d'erreur de 5%, le tonnage globale est

$$T = 171\,307 \pm 38\,868.2) \text{ tonnes de minerais}$$

4-3- Calcul de la quantité de métal

La quantité de métal disponible dans cette catégorie de réserves est donnée par la formule suivante:

$$Q = S A d$$

S : surface considérée

A : accumulation métal

d : densité du minerai

Application numérique

$$Q = 1.116 \text{ d'or métal}$$

La variance relative d'estimation de la quantité de métal disponible, est donnée par l'expression suivante:

$$\frac{\sigma_Q^2}{Q^2} = \frac{\sigma_S^2}{S^2} + \frac{\sigma_A^2}{A^2}$$

Application numérique

$$\frac{\sigma_Q^2}{Q^2} = 0.019 \Rightarrow \sigma_Q = 0.153 \text{ tonne d'or metal}$$

Avec un risque d'erreur de 5%, la quantité totale d'or métal est de

$$Q = (1.116 \pm 0.36) \text{ tonnes d'or métal}$$

Chapitre VIII
Courbe tonnage-teneur

Sommaire

1- Introduction.....	144
2- Relation de lissage.....	144
3- Histogramme des teneurs vraies.....	145
4- Distributions des teneurs vraies et des teneurs krigées.....	145
5- Détermination de la loi de distribution des teneurs vraies à partir des teneurs krigées.....	146
6- Calcul des réserves récupérables.....	148
7- Etablissement des courbes tonnage-teneur.....	149

1- Introduction

La courbe tonnage-teneur est un outil très important pour l'ingénieur des mines du moment où elle l'informe rapidement et exactement de la quantité de minerais dont la teneur est supérieure à une teneur de coupure (ou COG).

Les teneurs krigées sont regroupées en 15 à 20 classes. De là, une courbe expérimentale peut alors être établie en comptant seulement le nombre de blocs de teneur supérieure à la COG.

Si les réserves géologiques ne sont qu'un constat, les réserves récupérables sont par essence discutables. En effet, leur taux de récupération dépend de plusieurs paramètres tel que l'aspect économique, le mode d'exploitation, etc. A ce stade de l'étude, la sélection des blocs est intimement liée aux facteurs suivants:

- Le niveau de l'information au moment de la sélection
- Les dimensions des unités d'exploitation.

L'influence de ces deux facteurs est exprimée par les variances de dispersion et d'estimation (Journel et Huijbregts, 1978). Il est également nécessaire de tenir compte de la géométrie de l'unité de sélection (Journel, 1975).

2- Relation de lissage

La sélection des réserves récupérables relatives à une COG se base sur les teneurs des unités krigées. A ce stade, ce choix est alors parfaitement justifié²¹.

Soient $D^2(v/G)$ et $D^2_K(v/G)$ respectivement la variance de dispersion des teneurs vraies des unités v dans le gisement G et des teneurs krigées de ces mêmes unités dans le gisement G . On démontre que pour les teneurs krigées **seulement** la relation reliant ces deux variances de dispersions, c'est la relation de lissage. Elle s'exprime ainsi:

$$D^2_K(v/G) = D^2(v/G) + \bar{\sigma}_{Kv}^2$$
$$\bar{\sigma}_{Kv}^2 = \frac{1}{n} \sum_i \sigma_{Kvi}^2 = \frac{1}{n} \sum_i E\{[Z_{vi} - Z'_{vi}]^2\}$$

²¹En effet, à ce stade, on ne dispose que des teneurs krigées.

3- Histogramme des teneurs vraies

Il est possible d'obtenir l'histogramme des teneurs vraies à partir des teneurs krigées à l'aide des moyens suivants:

- Etendre le type de loi de distribution des teneurs krigées aux teneurs vraies. La fonction de distribution des valeurs vraies a alors la même allure que celle des valeurs krigées.
- Utiliser une correction de la variance. En effet la variance de distribution des teneurs vraies peut être obtenue en utilisant la relation de lissage précédemment décrite.

4- Distributions des teneurs vraies et teneurs krigées

Soient z_v et z^*_v respectivement les teneurs vraies et les teneurs krigées correspondant à la même unité v . Elles peuvent être considérées comme des réalisations de deux F.A Z_v et Z^*_v respectivement. Soit $f(z)$ l'ensemble des unités sélectionnées sur la base de leurs teneurs krigées. En utilisant une terminologie probabiliste, $f(z)$ est une espérance mathématique conditionnelle symbolisée par:

$$f(z) = E\{Z_v/Z^*_v = Z_0\} \quad (I)$$

Cette expression se lit comme suit : $f(z)$ est l'ensemble des teneurs vraies sélectionnées tel que leurs teneurs krigées sont supérieures ou égales à la COG. Le cas idéal est $f(z) = z$, ce qui correspond sur un graphique ayant pour axe des abscisses les teneurs krigées et pour ordonnée les teneurs vraies, par une droite à 45° passant par l'origine²².

Une autre condition encore plus sévère peut être imposée. Elle s'exprime ainsi:

$$E\{[Z_v - Z^*_v]/Z^*_v = Z_0\} = 0 \quad \forall Z_0$$

Les deux expressions précédentes expriment la condition de non biais. En pratique, on a toujours l'égalité suivante:

$$E\{Z_v/Z^*_v = Z\} = f(Z)$$

²²ce qui veut dire que les teneurs krigées sont égales aux teneurs vraies

Un meilleur estimateur pourrait donc être déterminé en minimisant l'erreur quadratique moyenne. C'est à dire la variance suivante:

$$E\{[f(Z_v^*) - Z_v^*]^2\}$$

On définit ainsi un critère appelé critère d'exactitude²³. Cet estimateur doit en plus vérifier le critère de dispersion, c'est à dire minimiser la variance conditionnelle suivante pour toutes les valeurs.

$$E\{[Z_v - f(Z_v^*)]^2 / Z_v^* = Z\} \forall Z$$

Le meilleur estimateur est donc celui qui obéit à ces deux critères. Soit la variance d'estimation de la teneur vraie par sa teneur krigée. Elle s'exprime comme suit:

$$\begin{aligned} E\{[Z_v - Z_v^*]^2\} &= E\{[Z_v - f(Z_v^*)]^2\} + E\{[f(Z_v^*) - Z_v^*]^2\} \\ &\quad + 2E\{[Z_v - f(Z_v^*)][f(Z_v^*) - Z_v^*]\} \end{aligned}$$

Le terme croisé s'annule du fait que l'esperance conditionnelle (I) s'annule. On aura donc:

$$E\{[Z_v - Z_v^*]^2\} = E\{[Z_v - f(Z_v^*)]^2\} + E\{[f(Z_v^*) - Z_v^*]^2\}$$

Il est important de signaler à ce stade que le krigeage est l'estimateur linéaire qui établit un compromis entre ces deux critères en minimisant leur somme. C'est pourquoi, il est préféré aux autres estimateurs.

5- Détermination de la loi de distribution des teneurs vraies à partir des teneurs krigées.

Soit Z une variable distribuée selon une loi log-normale d'esperance m et de variance σ_z^2 . Soit Φ_z la fonction de transformation gaussienne qui transforme une variable U normalement distribuée en variable Z de distribution log-normale.

²³Pour de plus ample informations, se referer au Mining Geostatistics, Journel et Huigbregt, 1978

3- Histogramme des teneurs vraies

Il est possible d'obtenir l'histogramme des teneurs vraies à partir des teneurs krigées à l'aide des moyens suivants:

- Etendre le type de loi de distribution des teneurs krigées aux teneurs vraies. La fonction de distribution des valeurs vraies a alors la même allure que celle des valeurs krigées.
- Utiliser une correction de la variance. En effet la variance de distribution des teneurs vraies peut être obtenue en utilisant la relation de lissage précédemment décrite.

4- Distributions des teneurs vraies et teneurs krigées

Soient z_v et z_v^* , respectivement les teneurs vraies et les teneurs krigées correspondant à la même unité v . Elles peuvent être considérées comme des réalisations de deux F.A Z_v et Z_v^* , respectivement. Soit $f(z)$ l'ensemble des unités sélectionnées sur la base de leurs teneurs krigées. En utilisant une terminologie probabiliste, $f(z)$ est une espérance mathématique conditionnelle symbolisée par:

$$f(z) = E\{Z_v/Z_v^* = z_0\} \quad (I)$$

Cette expression se lit comme suit : $f(z)$ est l'ensemble des teneurs vraies sélectionnées tel que leurs teneurs krigées sont supérieures ou égales à la COG. Le cas idéal est $f(z) = z$, ce qui correspond sur un graphique ayant pour axe des abscisses les teneurs krigées et pour ordonnée les teneurs vraies, par une droite à 45° passant par l'origine²².

Une autre condition encore plus sévère peut être imposée. Elle s'exprime ainsi:

$$E\{[Z_v - Z_v^*]/Z_v^* = z_0\} = 0 \quad \forall z_0$$

Les deux expressions précédentes expriment la condition de non biais. En pratique, on a toujours l'égalité suivante:

$$E\{Z_v/Z_v^* = Z\} = f(Z)$$

²²ce qui veut dire que les teneurs krigées sont égales aux teneurs vraies

Un meilleur estimateur pourrait donc être déterminé en minimisant l'erreur quadratique moyenne. C'est à dire la variance suivante:

$$E\{[f(Z_v^*) - Z_v^*]^2\}$$

On définit ainsi un critère appelé critère d'exactitude²³. Cet estimateur doit en plus vérifier le critère de dispersion, c'est à dire minimiser la variance conditionnelle suivante pour toutes les valeurs.

$$E\{[Z_v - f(Z_v^*)]^2 / Z_v^* = Z\} \forall Z$$

Le meilleur estimateur est donc celui qui obéit à ces deux critères. Soit la variance d'estimation de la teneur vraie par sa teneur krigée. Elle s'exprime comme suit:

$$E\{[Z_v - Z_v^*]^2\} = E\{[Z_v - f(Z_v^*)]^2\} + E\{[f(Z_v^*) - Z_v^*]^2\} \\ + 2E\{[Z_v - f(Z_v^*)][f(Z_v^*) - Z_v^*]\}$$

Le terme croisé s'annule du fait que l'esperance conditionnelle (I) s'annule. On aura donc:

$$E\{[Z_v - Z_v^*]^2\} = E\{[Z_v - f(Z_v^*)]^2\} + E\{[f(Z_v^*) - Z_v^*]^2\}$$

Il est important de signaler à ce stade que le krigeage est l'estimateur linéaire qui établit un compromis entre ces deux critères en minimisant leur somme. C'est pourquoi, il est préféré aux autres estimateurs.

5- Détermination de la loi de distribution des teneurs vraies à partir des teneurs krigées.

Soit Z une variable distribuée selon une loi log-normale d'esperance m et de variance σ_z^2 . Soit Φ_z la fonction de transformation gaussienne qui transforme une variable U normalement distribuée en variable Z de distribution log-normale.

²³Pour de plus ample informations, se référer au Mining Geostatistics, Journel et Huigregt, 1978

$$Z = \Phi_z(U) = e^{[m' + \sigma_z^2 U]}$$

m' : moyenne logarithmique de Z

σ_z^2 : variance logarithmique de Z

Notons également que:

$$E\{Z\} = m = e^{[m' + \sigma_z^2 / 2]}$$

$$\text{Var}\{Z\} = \sigma_z^2 = m^2(e^{\sigma_z^2} - 1)$$

on aura donc

$$\begin{aligned} Z &= \Phi_z(U) \\ &= m e^{\sigma_z^2 / 2} e^{\sigma_z^2 U} \end{aligned}$$

La fonction de distribution des teneurs vraies est déduite de celle des teneurs krigées. Elles ont la même allure par hypothèse. En effet, si tel n'est pas le cas, le problème tel que posé n'aurait pas de solution unique. La moyenne des teneurs krigées (ou espérance des teneurs krigées) est égale à celle des teneurs vraies. Les variances sont respectivement données par $\sigma_{Z_v}^2$ et σ_z^2

En utilisant la fonction de transformation gaussienne, on a:

$$Z_v = \Phi_z(U) = m e^{\sigma_z^2 / 2} e^{\sigma_z^2 U}$$

$$\sigma_{Z_v}^2 = \text{Var}\{Z_v\} = m^2(e^{\sigma_z^2} - 1)$$

Or on a: $m = e^{(m' + \sigma_z^2 / 2)}$

m' : moyenne logarithmique des teneurs krigées

La variance logarithmique des teneurs vraies est donnée par l'expression suivante:

$$\sigma_{Z_v}^2 = m^2(e^{\sigma_z^2} - 1) \Leftrightarrow \sigma_{Z_v}^2 = \text{Ln}\left(\frac{\sigma_{Z_v}^2}{m^2} + 1\right)$$

La fonction de distribution des teneurs vraies peut alors être déduite de celle des teneurs krigées. On a donc

$$F_{Z_v}(Z_v) = \text{prob}(Z_v \leq z_v) = \text{Prob}(U \leq u) = G(u)$$

$G(u)$ est la fonction de distribution normale standard

6- Calcul des réserves récupérables

Soit à calculer le tonnage récupérable, la quantité de métal et la teneur moyenne à l'aide de la fonction stationnaire de distribution $F_z(z)$ de la F.A $Z(x)$. Soit T_0 le tonnage total. Les expressions classiques sont alors données par

- Le tonnage total est donnée comme suit:

$$T(z_0) = T_0(1 - F_z(z_0)) = T_0 \int_{z_0}^{+\infty} f_z(z) dz$$

- La quantité de métal récupérable est

$$Q(z_0) = T_0 \int_{z_0}^{+\infty} z f_z(z) dz$$

- La teneur moyenne correspondante est

$$m(z_0) = \frac{Q(z_0)}{T(z_0)}$$

remarque:

Ces formules sont classiques et générales

Les teneurs krigées sont distribuées selon une loi log-normale de moyenne m et de variance $\sigma_{Z_v}^2$.

La variance logarithmique des teneurs vraies s'exprime par la relation suivante:

$$m = e^{(\eta' + \sigma_{Z_v}^2)}$$
$$\sigma_{Z_v}^2 = \text{Ln} \left(\frac{\sigma_{Z_v}^2}{m^2} + 1 \right)$$

Le tonnage récupérable relatifs à une teneur de coupure z_0 est donné par l'expression suivante:

$$T(z_0) = T_0 G \left(\frac{1}{\sigma_{Z_v}^2} \text{Ln} \frac{m}{z_0} - \frac{\sigma_{Z_v}^2}{2} \right)$$

m : moyenne de Z_v

$G(x)$: fonction de transformation normale standard

La quantité de métal est alors ainsi exprimée

$$Q(z_0) = T_0 m G \left(\frac{1}{\sigma_{Z_v}^2} \ln \frac{m}{z_0} + \frac{\sigma_{Z_v}^2}{2} \right)$$

m : moyenne de Z_v^*

G(x): fonction de transformation normale standard

7- Etablissement des courbes tonnage-teneur

La variance de dispersion des teneurs vraies dans le gisement est obtenue en utilisant la relation de lissage précédemment établie.

$$D_k^2(v/G) = D_k^{*2}(v/G) + \bar{\sigma}_{Kv}^2$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_{Kv}^2 &= \frac{1}{n} \sum_i \sigma_{Kvi}^2 = 1.018 \text{ g}^2/\text{t}^2\text{Au} \\ D_k^{*2}(v/G) &= 49.79 \text{ g}^2/\text{t}^2\text{Au} \end{aligned} \right\} \Rightarrow D_k^2(v/G) = 50.808 \text{ g}^2/\text{t}^2\text{Au}$$

$$m = e^{(m' + \sigma_{Kv}^2/2)} = 7.282 \text{ g/t Au}$$

$$\sigma_{Kv}^2 = \text{Ln} \left(\frac{\sigma_{Kv}^2}{m^2} + 1 \right) = 0.6719$$

$$\sigma_{Kv}^{*2} = 0.4984$$

Le logiciel utilisé est le module RECOVERY ver 1.10 de GEOSTAT TOOLBOX de Froidevaux (1988).

Le fichier paramètre utilisé est le suivant:

Parameters for RECOVERY:

Input file: adel.dat

Variable : teneur

Option

Sub-Setting : No

Weighting : No

Title : No

Indirect Permanance of lognormality

β^2 : 0.6719 " variance logarithmique des teneurs vraies"

β_v^2 : 0.4984 " variance logarithmique des teneurs krigées"

Recoverables Reserves Calculation

Cut-off#	Teneur
1	2.5
2	5.0
3	7.5
4	10.0
5	12.5
6	15.0
7	17.5
8	20.0
9	22.5
10	25.0
11	27.5
12	30.0

Les résultats ainsi obtenus sont donnés par le fichier suivant:

Results File

Change of support thru Indirect Permanance of Lognormality
Variable: teneur

Cut-off	Tonnage[%]	Quantity of metal (%)	Grade
2.5	95.81	98.36	7.71
5.0	55.58	78.02	10.54
7.5	32.57	58.95	13.59
10.0	18.88	43.40	17.26
12.5	14.10	35.70	19.00
15.0	8.20	25.30	23.17
17.5	5.71	19.92	26.18
20.0	4.25	16.16	28.52
22.5	3.31	13.36	30.34
25.0	3.10	12.49	30.30
27.5	2.04	8.84	32.59
30.0	1.10	5.46	37.37

La figure 1 montre la courbe tonnage-teneur théorique.

Calcul de la courbe tonnage-teneur expérimentale

Le tonnage de teneur supérieure à la COG est déterminée en comptant le nombre de blocs dont la teneur est supérieure à la teneur de coupure (COG). Le fichier des données est TENEUR.RES (voir Annexe 3).

En se fixant les même teneur de coupures que lors de l'établissement de la courbes théorique, on a les résultats suivants:

Classe	Effectif cumulé	Tonnage [%]
2.5	23	89.15
5.0	105	43.52
7.5	147	30.60
10.0	172	18.86
12.5	180	15.09
15.0	192	9.43
17.5	197	7.07
20.0	200	5.66
22.5	202	4.71
25.0	205	3.30
27.5	208	1.41
30.0	209	0.94

La courbe dressée à partir de ces données est la figure 1. Il est très important de signaler la bonne similitude existante entre la courbe théorique et expérimentale. Si la sélection est faite sur les teneurs krigées vérifiant la condition (I) de non biais, alors le problème de l'estimation des réserves récupérables est résolu. En effet, le tonnage récupérable est très simplement le nombre de blocs dont les teneurs krigées sont supérieures à la COG. La teneur vraie de ces réserves est alors estimée sans biais par la moyenne des teneur krigées de ces unités (Journal et Huijbregts, 1978).

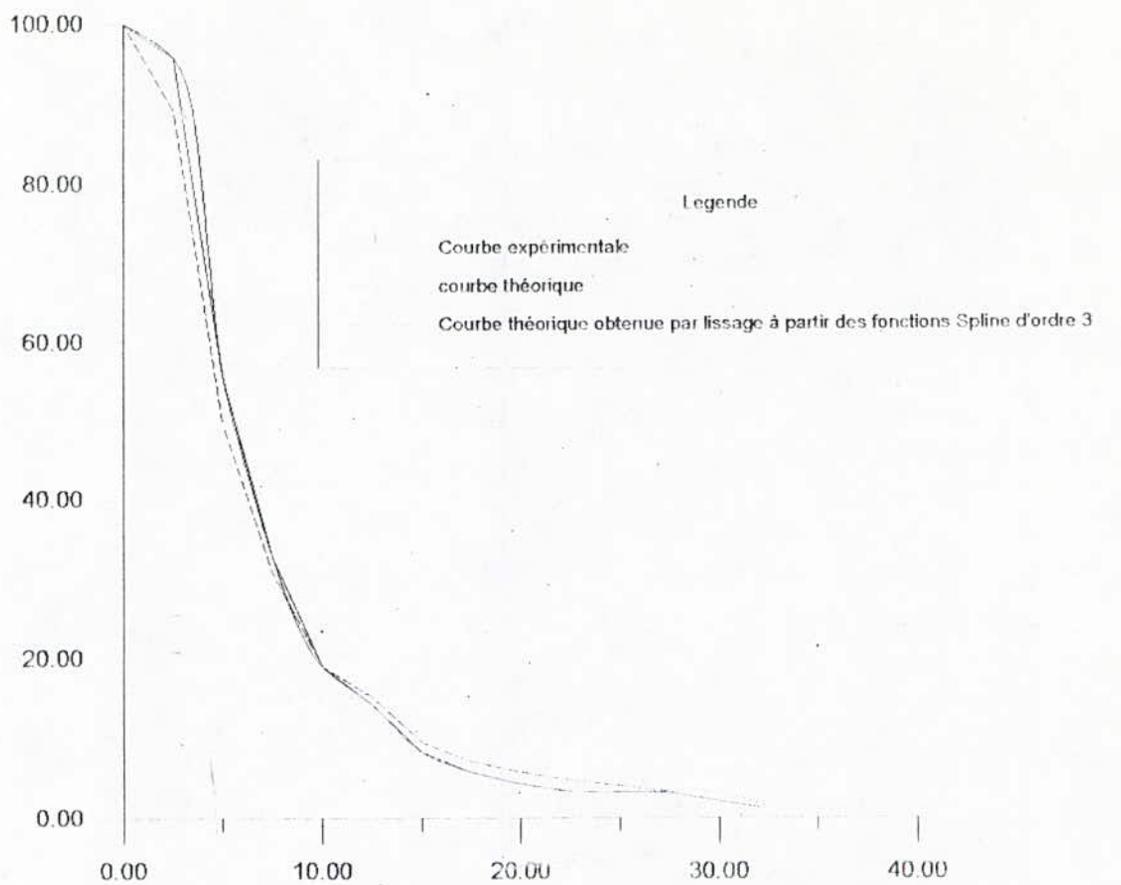


Figure 1- Courbes tonnage-teneur expérimental et théorique

Chapitre IX
Classification des réserves

Sommaire

1-Introduction.....	155
2- Description de la méthode de classification.....	156
3- Application de la méthode.....	158
4- Durée de vie des réserves.....	159
5- Présentatiob des calculs antérieurs.....	159

1- Introduction

Les variances de krigeage des blocs peut être utilisée comme base de classification des réserves. En effet, la procédure consiste à l'établissement d'une courbe de fréquence d'apparition de toutes les variances de krigeage. La courbe ainsi obtenue pourrait révéler l'existence de différentes populations.

Il est important de signaler que la variance de krigeage est intimement liée au nombre d'échantillons se trouvant à l'intérieur de la zone de recherche ainsi que la distance de séparation. L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans le fait qu'elle n'est pas uniforme.

En 1976, Royle propose un système de classification qui se base sur les grandeurs krigées ainsi que leurs variances de krigeage. Il affirma que pour chaque bloc krigé, du corps minéralisé, la probabilité que sa teneur est supérieure à la COG peut être déterminée. La première étape consiste à ordonner les blocs selon un ordre croissant des variances krigées. Ainsi pour chaque bloc, la grandeur suivante est calculée

$$D = (\text{valeur krigée} - \text{COG}) / \sigma_k$$

Ce facteur D s'exprime comme un ratio de la variance de krigeage.

Les réserves prouvées seraient donc l'ensemble des blocs ayant une teneur supérieure à la COG avec une grande probabilité (90%). Les réserves possibles ou indiquées sont l'ensemble des blocs ayant une teneur supérieure à la COG avec une probabilité supérieure à 60%.

En 1982, DIEHL et DAVID suggère un système de classification plus rigide basé sur la variance relative de krigeage. Cette classification est adoptée par USBM/USGS. Un niveau d'incertitude (assurance) et de précision (tolérance) est définie pour chaque catégorie de réserves.

Ce système de classification n'est pas internationalement appliqué. En effet, le niveau d'assurance et de précision ne sont pas uniformément agréés. La nature de la minéralisation influe fortement sur ces niveaux.

Identified				Undiscovered	
Demonstrated					
Mesured		Indicated			
Proved probable		(possible)		Inferred	Hypothecal Speculative
+ - 10% (1)	+ - 20%	+ - 40 %	+ - 60 %		
>80% (2)	60-80%	40-60%	20 - 40%	10-20%	<10%
Economically significant resources				Reources base	

(1): Tolérance

(2): Assurance

Tableau 1- Système de classification d'après
DIEHL et DAVID (1982)

La classification adoptée est celle du groupe minier français PECHINEY (1970). Cette dernière s'inspire de la classification proposée par la revue (Erz Metal , février 1959). L'avantage de cette dernières réside dans le fait qu'elle rend plus parlant les résultats fournis par l'étude géostatistique en adoptant une terminologie internationale.

2- Description de la méthode

Les gisement sont partagés en deux catégories

- exploitable
- potentiel

Chaque catégorie est elle même divisée en quatres parties qui sont :

- certaines A:

Ses réserves sont celles dont le contour est parfaitement connu est intervalle de confiance relatif est comme suit:

$$\frac{\sigma_r}{T} < 10 \%$$

La probabilité correspondante est de 90%

- probable B:

Ses réserves sont celle dont le contour est connu avec des lacunes et dont l'intervalle relatif est inférieur à 20 %.

$$\frac{\sigma_T}{T} < 20 \%$$

La probabilité correspondante est de 80%.

- indiquées C1:

Le gisement est reconnu par des travaux de reconnaissance lointains. L'intervalle relatif est inférieur à 30%.

$$\frac{\sigma_T}{T} < 30\%$$

La probabilité correspondante est de 40%.

- estimée C2:

Le corps minéralisé est indiqué suite à des travaux de reconnaissances isolés.

$$\frac{\sigma_T}{T} < 30\%$$

La probabilité correspondante est de 40 %

Soient T et T respectivement le tonnage réel et le tonnage estimé.

$$T = T + \varepsilon$$

L'objectif principale de l'approche géostatistique consiste à estimer ce tonnage avec une erreur d'esperance nulle et de une variance minimale:

$$T = T + \varepsilon \Leftrightarrow \begin{cases} E\{\varepsilon\} = 0 \\ E\{\varepsilon^2\} = \sigma_T^2 \end{cases}$$

L'erreur ainsi commise en estimant T par T peut être supposée comme aléatoire et normalement distribuée de moyenne nulle et de variance σ_T^2 .

$$\frac{\sigma_T}{T} < \frac{\beta}{\alpha}$$

α : seuil de probabilité déterminé à partir des tables de la loi normale

β : coefficient de classement (0.1 ; 0.2 etc..)

	α	β
A	1.645	0.1
B	1.282	0.2
C1	0.845	0.3
C2	0.525	0.4

Tableau 2 - Classification des gisements

3- Application de la méthode

reserves krigées

$$\left. \begin{array}{l} T = 1\ 224\ 173.6 \text{ tonnes} \\ \sigma_T = 60\ 859.3 \text{ tonnes} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\sigma_T}{T} = 0.0497 < \frac{0.1}{1.645} = 0.0608$$

Les réserves krigées sont donc classées en A. Les résultats numériques sont donc :

$$\alpha \sigma_T = 100113.5 \text{ tonnes de minerais}$$

finalement on a :

$$\text{Prob} [1\ 124\ 024 < T < 1\ 324\ 251] > 90\%$$

De même pour la teneur en or, on a :

$$\bar{G} = 8.12 \text{ g / t Au}$$

$$\sigma_G = 0.57 \text{ g / t Au}$$

$$\alpha \sigma_G = 0.94 \text{ g / t Au}$$

Il revient donc de dire

$$\text{Prob} [7.18 < G < 9.06] > 90\%$$

réserves non krigées

$$\left. \begin{array}{l} T = 137\,419.6 \text{ tonnes} \\ \sigma_T = 19\,434.1 \text{ tonnes} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\sigma_T}{T} = 0.141 < \frac{0.2}{1.282} = 0.156$$

Ces réserves sont donc classées en B (probable). Donc on a
Prob [112505.12 < T < 162334.1] > 80 %

La teneur moyenne de ces réserves est donc

$$\text{Prob}[7.38 < G < 8.85]$$

4-Durée de vie des réserves

L'étude de faisabilité effectuée par le groupe SIDAM porte le niveau d'exploitation à 130000 tonnes de minerai par an. Ce qui porte, d'après les calculs de SIDAM, la durée de vie du gisement à 15 ans.

En se basant sur ces mêmes calculs, on peut dire que la durée de vie des réserves de la catégorie A est de 9 ans. Celle de la catégorie B est de une année.

5- Présentation des calculs antérieurs

Catégorie	Épaisseur moyenne	Tonnage (t)	Teneur (g/t Au)
- EREM (1990) C1 + C2	2.37 m	1 431 850	19.1
- ORGM (1992) C1 + C2	2.06 m	1 905 900	18.7
- SIDAM (1993) C1 + C2	1.46 m	1 622 591	10.10

Tableau1 : Calculs de réserves antérieurs

Conclusion Finale

Conclusion finale

Le gisement aurifère d'Amesmesssa a été reconnu par de nombreux travaux miniers totalisant 25 680 mètres de sondages, 194 tranchées, un puits de reconnaissance, un travers-banc et 26 recoups. La profondeur maximale atteinte est de 400 mètres. Le gisement aurifère d'Amesmesssa est du type filonien. Sa puissance varie de zéro à 10 mètres avec une moyenne de 1.3 mètre. L'analyse structurale révèle un enrichissement des teneurs en profondeur. Le potentiel aurifère du gisement est donc importante en profondeur. Il est également important de signaler qu'au court de l'exploitation, une reconnaissance accompagnante est à envisager. Le diamètre des sondage est alors plus petit du fait que la minéralisation est uniformément répartie. Les réserves géologiques s'évaluent à 2 272 700 tonnes de minerais. La teneur moyenne est de 8.12 g/t Au. Ces réserves se divisent en trois catégories, A, B et C2. La première correspond aux blocs krigés qui sont au nombre de 211. Les réserves de cette classe sont de 1 219 411.2 tonnes de minerais.

La catégorie B est délimité en surface par la topographie, de là, elle s'étend jusqu'à une profondeur de 20.1 mètre. Le tonnage globale est de La figure I montre les courbes en iso-teneur relative aux réserves de la catégorie B. Les études de faisabilité réalisée par SIDAM indiquent que le gisement aurifère d'Amesmesssa sera exploité à ciel ouvert jusqu'à une profondeur donnée, puis le passage à l'exploitation par voie souterraine est alors indispensable.

La figure I montre que la partie gauche (Sud) des réserves de catégorie B est plus riche. Aussi, l'exploitation effective de cette catégorie de réserves nécessite l'ouverture de deux fronts, l'un dans la partie riche, l'autre dans la partie pauvre. A cet effet, deux opportunités existent. La première consiste à ouvrir deux fronts à partir de l'abscisse 930 m. Ces derniers se déplacent en sens inverses (en divergeant). La seconde opportunité consiste à ouvrir deux fronts à partir des extrémités (-8 et 1868 m). Ces derniers se déplacent en convergeant vers le milieu. Cette manière de faire est retenue du fait de l'existence d'un puits de reconnaissance à une abscisse de 920 mètres. Ce puits servira ultérieurement lors du passage à l'exploitation souterraine.

En somme, le gisement aurifère d'Amesmesssa présente un grand potentiel économique. La faille de In Ouzzal, longue de 200 km, génératrice du gisement d'Amesmesssa, présente également un district potentiel. Il convient donc d'étendre la prospection tout au long de la faille.

Les annexes

Annexe II
Resultats de l'analyse structurale

Variable étudiée
Ln (Accumulation)

1-Construction du variogramme omnidirectionnel

Fichier ACU_090.RES

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 10

-1.0e21 1.0e31

LNACU_090.RES

15

40

15

1

0 90 1820

1

1 1 1

fichier LNACU_090.RES

1/2 Vario traditionnel ; azimuth 0.0, tolerance 90.00

4

lag

distance

variogramme

nombre de paires

1	9.792	1.27215	178
2	41.771	1.53825	1197
3	80.975	2.15979	1831
4	120.765	2.22625	2166
5	160.503	2.32486	2584
6	200.036	2.52776	2602
7	240.187	2.55251	2580
8	280.057	2.57651	2567
9	320.072	2.60520	2455
10	360.054	2.66528	2330
11	399.999	2.60427	2257
12	440.070	2.49281	2099
13	479.983	2.53548	2050
14	520.037	2.64290	1949
15	560.290	2.56296	1855

2-Construction du variogramme suivant l'azimuth 90°

Fichier ACU_9020.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 10

-1.0e21 1.0e31

Vario.dat

25

50

15

1

90 20 1325

1 1 1

Fichier LNACU_9020.RES

variogramme pour ln(accumulation): azimuth 90+-20;

4

lag

distance

vario

nombre

1	9.909	1.11194	162
2	49.271	1.52427	606
3	100.588	1.84062	728
4	150.986	1.89173	1030
5	200.626	2.12495	1181
6	249.330	2.28799	1353
7	299.652	2.15378	1348
8	350.378	2.15038	1429
9	400.166	2.22864	1573
10	449.436	2.21464	1547
11	499.748	2.41038	1550
12	550.159	2.33302	1533
13	600.033	2.49185	1533
14	649.561	2.43733	1504
15	699.633	2.26761	1359
16	750.544	2.31898	1353
17	800.133	2.26767	1285
18	849.304	2.34285	1196
19	899.424	2.31513	1019
20	950.565	2.27099	974

21	1000.205	2.27982	945
22	1049.054	2.31018	858
23	1099.454	2.19146	715
24	1149.640	2.17970	600
25	1200.312	2.18885	585

3-Construction du variogramme selon la direction d'azimuth 0°

3-1-Fichier paramètre ACU_020.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 10

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

16

40

15

1

0 20 393

1

1 1 1

3-2-Fichier LNACU_020.RES

Traditional 1/2 Vario azimuth 0.0 ; tolerance 20.00

4

lag

distance

vario

nombre

2	41.026	1.78544	225
3	81.575	2.60577	273
4	122.501	2.40788	305
5	160.211	2.91071	428
6	197.047	3.06725	236
7	239.719	3.14383	159
8	280.246	3.47938	192
9	316.382	2.76386	103
10	352.602	4.09970	52

4-Construction du variogramme selon l'azimuth 45°

4-1-Fichier ACU_4520.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 10

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

15

40

15

1

45 20 407

1 1 1

4-2-Fichier LNACU_4520.RES

variogramme pour ln(accumulation); azimuth:45; tolérance 20°

4

lag

distance

vario

nombre

2	45.241	1.43649	175
3	80.201	2.22534	323
4	119.870	2.38335	354
5	160.448	2.46237	424
6	199.540	2.62231	482
7	239.629	2.68912	415
8	278.887	2.86737	374
9	320.331	3.42986	340
10	359.318	3.14277	280
11	399.296	3.26423	235
12	439.275	3.95991	165
13	480.255	3.28216	115
14	519.308	3.28327	102
15	559.017	3.47435	74

5-Construction du variogramme selon l'azimuth 135°

5-1-Fichier de paramètres: ACU_13520.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 10

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

14

45

15

1

135 20 407

1

1 1 1

5-2-Fichier LNACU_13520.RES

variogramme pour ln(accumulation): azimuth 135°; tolérance

20°

4

lag

distance

vario

nombre

2	49.553	1.90245	219
3	91.303	2.67525	339
4	135.747	2.58053	383
5	180.120	2.73820	484
6	224.627	2.92366	472
7	269.436	2.89635	413
8	315.364	3.17498	360
9	359.689	3.80629	328
10	404.482	4.63667	231
11	449.721	3.54021	170
12	494.419	3.37865	121
13	538.606	3.84547	100
14	585.466	3.08210	75

6-Modélisation de l'anisotropie

Fichier LNACU_MOD.RES

modélisation du variogramme moyen pour ln(accumulation)

7

distance

gama1 " selon l'azimuth 0°"

gama2 " selon l'azimuth 90°"

gama3 " selon l'azimuth 45°"

gama4 " selon l'azimuth 135°"

gama_moy "variogramme moyen "

gama_the " variogramme ajusté"

10	1.233	1.179	1.147	1.256	1.203	1.210
20	1.364	1.258	1.216	1.402	1.310	1.322
30	1.498	1.336	1.305	1.539	1.419	1.431
40	1.629	1.413	1.411	1.667	1.550	1.540
50	1.757	1.494	1.513	1.786	1.637	1.643
60	1.883	1.566	1.649	1.898	1.749	1.746
70	2.006	1.639	1.754	2.002	1.850	1.847
80	2.126	1.705	1.869	2.100	1.950	1.944
90	2.241	1.78	1.978	2.191	2.047	2.049
100	2.352	1.846	2.078	2.276	2.138	2.128
120	2.558	1.973	2.245	2.431	2.301	2.293
140	2.738	2.084	2.373	2.566	2.440	2.436
160	2.894	2.180	2.469	2.683	2.556	2.543
180	3.013	2.260	2.549	2.786	2.652	2.632
200	3.099	2.319	2.615	2.876	2.727	2.694
230	3.150	2.366	2.706	2.990	2.803	2.748
260	3.150	2.370	2.785	3.084	2.847	2.798
290	3.150	2.370	2.862	3.160	2.885	2.844
320	3.150	2.370	3.000	3.220	2.935	2.886
350	3.150	2.370	3.069	3.273	2.965	2.927
380	3.150	2.370	3.128	3.334	2.995	2.957
420	3.150	2.370	3.198	3.358	3.019	2.999
460	3.150	2.370	3.249	3.392	3.040	3.030
500	3.150	2.370	3.266	3.417	3.050	3.050
550	3.150	2.370	3.300	3.441	3.065	3.060

Variable étudiée
Ln(epaisseur)

1-Variogramme omnidirectionnel

1-1-Fichier de paramètre EPAIS 090.RES

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 14

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

16

40

15

1

0 90 1325

1 1 1

1-2-Fichier de resultats LNEPAIS 090.RES

Variogramme omnidirectionel pour ln(epaisseur)

4

lag

distance

vario

nombre

1	9.792	0.42325	178
2	41.771	0.48625	1197
3	80.975	0.54254	1831
4	120.765	0.54326	2166
5	160.503	0.61319	2584
6	200.036	0.61384	2602
7	240.187	0.62228	2580
8	280.057	0.60982	2567
9	320.072	0.59562	2455
10	360.054	0.63698	2330
11	399.999	0.59912	2257
12	440.070	0.60716	2099
13	479.983	0.60607	2050
14	520.037	0.61193	1949
15	560.290	0.62990	1855
16	600.072	0.62166	1746

2- Variogramme selon l'azimuth 90°

2-1-Fichier de paramètres: LNEPAIS_9020.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 14

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

45

40

15

1

90 20 1325

1

1 1 1

2-1-Fichier resultats: LNEPAIS_9020.RES

variogramme expérimental pour ln(epaisseur); azimuth 90°
tolérance =20°

4			
lag			
distance			
vario			
nombre			
1	9.909	0.41546	162
2	40.379	0.48198	580
3	80.470	0.52190	694
4	120.337	0.50255	923
5	160.631	0.53693	1108
6	200.626	0.54781	1181
7	240.807	0.59275	1329
8	280.371	0.57545	1423
9	320.417	0.56186	1425
10	360.501	0.57573	1465
11	400.166	0.56157	1573
12	440.304	0.57665	1534
13	480.170	0.58699	1627
14	520.066	0.61335	1610
15	560.320	0.63775	1607
16	600.033	0.62265	1533
17	639.953	0.60438	1517
18	680.104	0.58872	1461
19	719.929	0.59750	1435
20	759.925	0.62244	1362

21	800.133	0.58139	1285
22	839.991	0.60768	1229
23	879.976	0.61695	1138
24	920.493	0.61701	1068
25	960.212	0.63458	1013
26	1000.205	0.59629	945
27	1040.257	0.62493	882
28	1080.130	0.65558	781
29	1120.224	0.59899	721
30	1159.861	0.66898	603
31	1200.312	0.67683	585
32	1240.257	0.61719	491
33	1280.517	0.49445	460
34	1320.535	0.55297	404
35	1360.166	0.58044	341
36	1399.892	0.54621	295
37	1440.048	0.53019	267
38	1480.215	0.51804	220
39	1519.532	0.55956	175
40	1560.298	0.63298	139
41	1598.772	0.59257	103
42	1639.083	0.58333	77
43	1679.510	0.67656	58
44	1718.610	0.72028	42

3-Variogramme selon l'azimuth 0°

3-1-Fichier de paramètres: LNEPAI_020.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 14

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

15

25

10

1

0 20 393

1 1 1

3-2-Fichier resultat: LNEPAI_020.RES

variogrammes pour ln(epaisseur) azimuth 00; tolerance 200

4

lag
distance
vario
nombre

2	30.124	0.47133	86
3	50.843	0.54956	152
4	76.477	0.58410	168
5	98.989	0.54236	170
6	126.150	0.59373	243
7	150.820	0.71964	243
8	173.938	1.05219	240
9	198.651	0.53392	16
10	225.077	0.66118	124
11	250.601	0.67640	97
12	274.179	0.46489	118
13	298.572	0.82668	121
14	321.883	0.45977	52
15	348.351	0.96815	65

4-Variogramme selon l'azimuth 45°

4-1-Fichier de paramètres: LNEPAI_4520.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adell.dat

2 3

1 14

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

15

50

15

1

45 20 407

1

1 1 1

4-2-Fichier de paramètres: LNEPAI_4520.RES

variable étudiée $\ln(\text{teneur})$

1-Variogramme omnidirectionnel

1-1-Fichier des paramètres

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 13

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

16

40

15

1

0 90 1820

1

1 1 1

1-2- Fichier LNTEN_2090.RES

variogramme pour ln(teneur);azimuth=0+-90:fichier
param=b1.par

7

lag

distance

vario

number

1	9.792	0.91838	178
2	41.771	1.09908	1197
3	80.975	1.39812	1831
4	120.765	1.45851	2166
5	160.503	1.44434	2584
6	200.036	1.54404	2602
7	240.187	1.60116	2580
8	280.057	1.61823	2567
9	320.072	1.64852	2455
10	360.054	1.60322	2330
11	399.999	1.62538	2257
12	440.070	1.50804	2099
13	479.983	1.58995	2050
14	520.037	1.58861	1949
15	560.290	1.53369	1855
16	600.072	1.53526	1746

2-Variogramme selon l'azimuth 90°

2-1-Fichier de paramètres LNTEN_9020.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 13

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

45

40

15

1

90 20 1328

1

1 1 1

2-2-Fichier de resultats LNTEN_9020.RES

variogramme pour ln(teneur):azimuth90°;tolérance 20°

4

lag

distance

vario

nombre

1	9.909	0.86026	162
2	40.379	1.11144	580
3	80.470	1.20761	694
4	120.337	1.27430	923
5	160.631	1.24772	1108
6	200.626	1.31446	1181
7	240.807	1.42365	1329
8	280.371	1.28875	1423
9	320.417	1.41269	1425
10	360.501	1.40028	1465
11	400.166	1.41559	1573
12	440.304	1.29514	1534
13	480.170	1.44981	1627
14	520.066	1.45613	1610
15	560.320	1.43443	1607
16	600.033	1.48198	1533
17	639.953	1.51958	1517
18	680.104	1.47530	1461
19	719.929	1.37143	1435
20	759.925	1.46688	1362
21	800.133	1.45449	1285
22	839.991	1.41302	1229

23	879.976	1.37456	1138
24	920.493	1.40656	1068
25	960.212	1.45530	1013
26	1000.205	1.35442	945
27	1040.257	1.44710	882
28	1080.130	1.36823	781
30	1159.861	1.30878	603
31	1200.312	1.21571	585
32	1240.257	1.23632	491
33	1280.517	1.09807	460
34	1320.535	1.15318	404
35	1360.166	1.15447	341
36	1399.892	0.91776	295
37	1440.048	0.91481	267
38	1480.215	0.75394	220
39	1519.532	0.82302	175
40	1560.298	0.87437	139
41	1598.772	0.86146	103
42	1639.083	0.90268	77
43	1679.510	0.75109	58
44	1718.610	0.89677	42

2-Selon l'azimuth 0°

2-1-Fichier de paramètres LNTEN_020.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 13

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

16

35

14

1

0 20 393

1

1 1 1

2-2-Fichier de resultats: LNTEN_020.PAR

variogramme pour ln(teneur); azimuth=0°; tolérance 20°

4

lag

distance

vario

nombre

2	36.319	1.13183	177
3	71.753	1.51747	222
4	104.148	1.57974	219
5	139.632	1.76482	318
6	173.041	1.73996	368
7	208.145	1.95470	186
8	244.952	2.01916	137
9	280.196	2.50470	179
10	312.966	1.63951	119
11	348.090	1.38754	79

3-Selon l'azimuth 45°

3-1-Fichier de paramètres LNTEN_4520.PAR

Parameters for GAMV2M

START OF PARAMETERS:

c:\adel\adel1.dat

2 3

1 13

-1.0e21 1.0e31

adel.dat

13

50

15

1

45 20 407

1

1 1 1

3-2-Fichier resultats LNTEN_4520.RES

2	52.075	1.13099	271
3	99.940	1.44817	384
4	149.743	1.55230	415
5	199.509	1.51525	487
6	249.664	1.74764	387
7	299.805	2.00278	332
8	350.116	1.99902	285
9	399.248	2.06132	236
10	450.200	2.14637	152
11	499.343	2.25161	117
12	550.038	1.96611	79

4-Selon la direction 135°

4-2-Fichier de paramètres: LNTEN_13520.PAR

Traditional 1/2 Vario; azimuth 135.0 tol 20.00

6
lag
distance
vario
nombre

2	44.863	1.15752	154
3	79.870	1.56760	311
4	120.259	1.73481	363
5	159.954	1.59682	422
6	199.661	1.79462	462
7	239.502	1.76177	453
8	279.513	1.98102	394
9	320.214	2.18000	349
10	359.689	2.22299	328
11	399.755	2.69294	227
12	440.020	2.05230	177
13	479.727	2.23853	139
14	519.656	2.61361	117
15	560.258	1.97322	91
16	600.167	1.87371	78

Annexe 3
Resultats fournis par le
krigeage

résultats du krigeage pour
l'accumulation métal

1-Krigeage de bloc pour les valeurs transformées

1-1-Fichier de paramètres

Parameters for kriging

Input file : adel1.dat

Output file : LN_ACCUM.KRG

Variable selected : ln_accumul (logarithme de l'accumulation)

Variogram model :

Model	Sill	Nugget	Range
spherical	1.20	1.10	200
spherical	0.76	0.00	550

Kriging type : ordinary kriging

Kriging grid :

	X-axis	Y-axis
Variable :	Northing	Depth
Origin :	-8.0	150
Cell size:	40	40
Number :	47	9

Search ellipse:

Major axis radius: 160

Minor axis radius: 110

Min. data/ellipse: 10

Max. data/quadr : 15

2-Fichier LN_ACCU.KRG

Ordinary kriging blocks results for ln(accumulation)

8

Col.

Line

Northing

Depth

N(lnaccumul)

lnaccumul*

σ_k^2 (lnaccumul)

mu

5	7	172.00	410.00	11	0.921	0.758	-0.027
5	8	172.00	450.00	12	0.786	0.552	-0.024
5	9	172.00	490.00	11	1.139	0.245	-0.019
6	8	212.00	450.00	12	0.727	0.394	-0.007
6	9	212.00	490.00	11	1.158	0.178	-0.012
7	7	252.00	410.00	13	0.399	0.370	-0.007
7	8	252.00	450.00	13	0.870	0.241	-0.001
7	9	252.00	490.00	13	1.618	0.162	-0.008
8	7	292.00	410.00	16	0.847	0.392	-0.007
8	8	292.00	450.00	17	1.244	0.130	-0.001
8	9	292.00	490.00	15	2.008	0.163	-0.004
9	6	332.00	370.00	11	1.613	0.573	-0.022
9	7	332.00	410.00	18	1.157	0.448	-0.005

9	8	332.00	450.00	21	1.341	0.260	-0.001
9	9	332.00	490.00	16	1.829	0.195	-0.006
10	6	372.00	370.00	15	2.068	0.235	-0.007
10	7	372.00	410.00	21	1.188	0.331	-0.001
10	8	372.00	450.00	23	0.987	0.239	0.000
10	9	372.00	490.00	18	1.580	0.205	-0.007
11	6	412.00	370.00	15	1.870	0.209	0.000
11	7	412.00	410.00	23	1.231	0.160	0.001
11	8	412.00	450.00	25	1.154	0.130	0.002
11	9	412.00	490.00	21	1.807	0.152	-0.007
12	5	452.00	330.00	14	0.916	0.380	0.002
12	6	452.00	370.00	20	1.724	0.260	0.002
12	7	452.00	410.00	27	1.985	0.215	0.001
12	8	452.00	450.00	27	2.021	0.178	0.001
12	9	452.00	490.00	20	1.989	0.220	-0.001
13	4	492.00	290.00	11	1.004	0.473	0.009
13	5	492.00	330.00	17	0.848	0.411	0.001
13	6	492.00	370.00	22	1.955	0.178	-0.002
13	7	492.00	410.00	26	2.805	0.199	0.004
13	8	492.00	450.00	27	2.544	0.162	0.003
13	9	492.00	490.00	19	1.859	0.166	-0.009
14	4	532.00	290.00	11	1.577	0.569	0.020
14	5	532.00	330.00	17	1.525	0.440	0.006
14	6	532.00	370.00	25	2.547	0.191	-0.007
14	7	532.00	410.00	30	3.220	0.161	0.002
14	8	532.00	450.00	30	1.910	0.130	0.002
14	9	532.00	490.00	22	1.196	0.125	-0.008
15	4	572.00	290.00	16	1.369	0.501	0.005
15	5	572.00	330.00	20	1.967	0.432	0.004
15	6	572.00	370.00	25	3.152	0.129	-0.004
15	7	572.00	410.00	33	3.345	0.137	0.001
15	8	572.00	450.00	31	1.675	0.153	0.000
15	9	572.00	490.00	24	1.090	0.269	-0.013
16	4	612.00	290.00	16	0.378	0.293	0.003
16	5	612.00	330.00	21	1.786	0.343	-0.006
16	6	612.00	370.00	28	3.781	0.203	-0.001
16	7	612.00	410.00	37	4.081	0.164	0.000
16	8	612.00	450.00	38	2.606	0.254	-0.002
16	9	612.00	490.00	27	1.479	0.325	-0.017
17	4	652.00	290.00	17	0.465	0.341	0.003
17	5	652.00	330.00	22	1.657	0.208	0.000
17	6	652.00	370.00	30	3.225	0.159	0.001
17	7	652.00	410.00	40	4.140	0.130	0.001
17	8	652.00	450.00	42	2.911	0.128	0.001
17	9	652.00	490.00	30	1.915	0.168	-0.011
18	4	692.00	290.00	15	0.906	0.281	0.007
18	5	692.00	330.00	23	0.968	0.184	0.002
18	6	692.00	370.00	31	1.946	0.092	0.000
18	7	692.00	410.00	43	3.212	0.164	0.002
18	8	692.00	450.00	43	3.040	0.137	0.002
18	9	692.00	490.00	33	2.384	0.102	-0.003
19	4	732.00	290.00	15	1.274	0.350	0.010
19	5	732.00	330.00	23	1.119	0.337	0.003
19	6	732.00	370.00	31	1.899	0.147	0.000
19	7	732.00	410.00	42	2.396	0.122	0.001
19	8	732.00	450.00	43	2.070	0.135	0.003

19	9	732.00	490.00	32	2.074	0.094	0.001
20	4	772.00	290.00	18	0.934	0.338	0.004
20	5	772.00	330.00	24	1.013	0.403	0.005
20	6	772.00	370.00	29	1.613	0.151	-0.002
20	7	772.00	410.00	45	2.235	0.129	0.001
20	8	772.00	450.00	45	1.551	0.115	0.002
20	9	772.00	490.00	38	2.222	0.088	-0.001
21	4	812.00	290.00	15	0.845	0.329	0.007
21	5	812.00	330.00	24	1.015	0.430	0.005
21	6	812.00	370.00	29	1.462	0.218	-0.003
21	7	812.00	410.00	42	1.676	0.124	0.000
21	8	812.00	450.00	47	1.639	0.126	0.002
21	9	812.00	490.00	39	1.791	0.089	-0.001
22	4	852.00	290.00	18	1.139	0.459	0.004
22	5	852.00	330.00	22	1.161	0.402	0.002
22	6	852.00	370.00	28	1.632	0.179	0.000
22	7	852.00	410.00	41	1.661	0.153	0.001
22	8	852.00	450.00	45	1.376	0.158	0.003
22	9	852.00	490.00	38	1.186	0.093	0.000
23	4	892.00	290.00	14	1.419	0.337	0.009
23	5	892.00	330.00	25	1.047	0.301	0.001
23	6	892.00	370.00	26	1.079	0.134	-0.001
23	7	892.00	410.00	38	1.820	0.168	0.002
23	8	892.00	450.00	43	1.251	0.179	0.003
23	9	892.00	490.00	37	0.652	0.099	0.000
24	4	932.00	290.00	19	0.395	0.340	.
0.004							
24	5	932.00	330.00	22	1.630	0.275	0.001
24	6	932.00	370.00	27	1.619	0.141	0.000
24	7	932.00	410.00	38	1.904	0.151	0.002
24	8	932.00	450.00	41	1.504	0.120	0.002
24	9	932.00	490.00	34	1.099	0.113	0.001
25	3	972.00	250.00	11	0.299	0.235	-0.002
25	4	972.00	290.00	16	1.254	0.357	0.001
25	5	972.00	330.00	21	1.825	0.205	0.001
25	6	972.00	370.00	26	1.800	0.141	0.001
25	7	972.00	410.00	38	1.954	0.199	0.002
25	8	972.00	450.00	43	2.489	0.142	0.002
25	9	972.00	490.00	34	2.562	0.119	0.001
26	3	1012.00	250.00	12	0.483	0.382	-0.002
26	4	1012.00	290.00	19	1.041	0.345	0.004
26	5	1012.00	330.00	25	1.244	0.224	-0.001
26	6	1012.00	370.00	29	1.652	0.202	0.002
26	7	1012.00	410.00	40	2.048	0.259	0.002
26	8	1012.00	450.00	41	2.423	0.203	0.003
26	9	1012.00	490.00	35	2.511	0.110	0.000
27	3	1052.00	250.00	12	0.578	0.386	0.006
27	4	1052.00	290.00	20	0.705	0.277	0.000
27	5	1052.00	330.00	24	0.517	0.132	0.001
27	6	1052.00	370.00	30	1.477	0.164	0.002
27	7	1052.00	410.00	42	2.503	0.186	0.002
27	8	1052.00	450.00	40	2.489	0.153	0.002
27	9	1052.00	490.00	33	2.099	0.090	0.000
28	4	1092.00	290.00	18	0.385	0.280	0.001
28	5	1092.00	330.00	20	0.159	0.208	0.004
28	6	1092.00	370.00	28	0.764	0.145	0.002

28	7	1092.00	410.00	40	2.554	0.136	0.000
28	8	1092.00	450.00	39	3.518	0.132	0.002
28	9	1092.00	490.00	32	3.036	0.106	0.001
29	3	1132.00	250.00	11	1.274	0.324	-0.016
29	4	1132.00	290.00	15	-0.033	0.189	0.002
29	5	1132.00	330.00	21	-0.224	0.207	0.000
29	6	1132.00	370.00	25	0.322	0.151	0.003
29	7	1132.00	410.00	37	1.702	0.123	0.001
29	8	1132.00	450.00	37	3.266	0.130	0.002
29	9	1132.00	490.00	31	3.454	0.090	-0.001
30	3	1172.00	250.00	11	1.870	0.397	-0.009
30	4	1172.00	290.00	14	1.008	0.391	0.003
30	5	1172.00	330.00	21	0.468	0.220	0.001
30	6	1172.00	370.00	26	0.241	0.171	0.002
30	7	1172.00	410.00	34	0.815	0.186	0.002
30	8	1172.00	450.00	36	2.431	0.143	0.002
30	9	1172.00	490.00	29	3.103	0.164	-0.006
31	4	1212.00	290.00	15	1.997	0.506	0.000
31	5	1212.00	330.00	19	1.592	0.333	-0.003
31	6	1212.00	370.00	25	0.709	0.259	-0.001
31	7	1212.00	410.00	32	0.495	0.235	0.002
31	8	1212.00	450.00	32	1.814	0.194	0.002
31	9	1212.00	490.00	26	2.891	0.160	-0.010
32	4	1252.00	290.00	14	2.368	0.448	0.001
32	5	1252.00	330.00	15	1.919	0.321	-0.002
32	6	1252.00	370.00	23	0.852	0.199	-0.001
32	7	1252.00	410.00	30	0.462	0.228	0.002
32	8	1252.00	450.00	28	1.111	0.148	0.002
32	9	1252.00	490.00	25	1.987	0.150	-0.010
33	4	1292.00	290.00	13	1.832	0.370	0.001
33	5	1292.00	330.00	15	1.767	0.286	0.001
33	6	1292.00	370.00	20	0.774	0.195	-0.001
33	7	1292.00	410.00	29	0.339	0.197	0.001
33	8	1292.00	450.00	24	0.400	0.153	0.002
33	9	1292.00	490.00	22	1.053	0.204	-0.013
34	4	1332.00	290.00	11	0.747	0.411	0.010
34	5	1332.00	330.00	15	0.587	0.301	0.006
34	6	1332.00	370.00	17	0.743	0.207	-0.001
34	7	1332.00	410.00	24	1.022	0.195	0.003
34	8	1332.00	450.00	24	1.153	0.178	0.002
34	9	1332.00	490.00	20	1.127	0.248	-0.015
35	4	1372.00	290.00	12	0.172	0.442	0.007
35	5	1372.00	330.00	16	0.148	0.318	0.005
35	6	1372.00	370.00	19	0.843	0.257	-0.003
35	7	1372.00	410.00	28	1.752	0.240	0.001
35	8	1372.00	450.00	26	2.380	0.176	0.002
35	9	1372.00	490.00	23	2.254	0.187	-0.012
36	4	1412.00	290.00	12	0.121	0.369	0.001
36	5	1412.00	330.00	17	0.087	0.340	0.001
36	6	1412.00	370.00	20	0.563	0.209	0.001
36	7	1412.00	410.00	26	1.742	0.200	0.005
36	8	1412.00	450.00	27	2.344	0.160	0.002
36	9	1412.00	490.00	21	2.457	0.184	-0.012
37	4	1452.00	290.00	11	0.535	0.350	0.001
37	5	1452.00	330.00	14	0.372	0.228	0.001
37	6	1452.00	370.00	21	0.703	0.230	0.003

37	7	1452.00	410.00	28	1.444	0.259	0.002
37	8	1452.00	450.00	25	1.527	0.178	0.002
37	9	1452.00	490.00	19	1.604	0.180	-0.011
38	4	1492.00	290.00	11	1.080	0.402	-0.004
38	5	1492.00	330.00	13	1.120	0.220	0.002
38	6	1492.00	370.00	20	0.992	0.207	0.002
38	7	1492.00	410.00	25	1.464	0.220	0.004
38	8	1492.00	450.00	23	1.664	0.133	0.003
38	9	1492.00	490.00	20	1.406	0.125	-0.007
39	5	1532.00	330.00	14	1.308	0.276	-0.004
39	6	1532.00	370.00	19	1.075	0.182	0.001
39	7	1532.00	410.00	23	1.425	0.181	0.004
39	8	1532.00	450.00	23	1.799	0.172	0.000
39	9	1532.00	490.00	20	1.599	0.233	-0.009
40	5	1572.00	330.00	11	1.383	0.276	-0.012
40	6	1572.00	370.00	15	1.125	0.297	0.003
40	7	1572.00	410.00	23	1.137	0.281	0.003
40	8	1572.00	450.00	22	1.273	0.174	0.002
40	9	1572.00	490.00	18	1.662	0.236	-0.008
41	6	1612.00	370.00	14	0.907	0.282	-0.003
41	7	1612.00	410.00	21	0.893	0.250	0.003
41	8	1612.00	450.00	22	0.985	0.232	0.003
41	9	1612.00	490.00	18	1.485	0.162	-0.004
42	6	1652.00	370.00	13	1.064	0.350	-0.011
42	7	1652.00	410.00	19	0.920	0.388	0.004
42	8	1652.00	450.00	17	0.955	0.305	0.007
42	9	1652.00	490.00	13	1.284	0.183	-0.002
43	7	1692.00	410.00	12	1.209	0.391	0.009
43	8	1692.00	450.00	13	1.107	0.246	0.006
43	9	1692.00	490.00	11	1.216	0.213	-0.009
44	7	1732.00	410.00	11	1.561	0.408	-0.002
44	8	1732.00	450.00	12	1.370	0.278	0.002

3-Fichier RESUL.KRG
 Kriging results -

9

Col.
Line
Northing
Depth
Nombre
accumulation
var_accu
epaisseur
var_epais

5	7	172	410	11	4.06738
2.79035	1.237	0.00343			
5	8	172	450	12	3.54309
2.27065	1.275	0.00328			
5	9	172	490	11	5.01784
1.67018	1.447	0.00314			
6	8	212	450	12	3.2838
1.93811	2.023	0.00719			
6	9	212	490	11	5.07842
1.56171	1.390	0.00306			
7	7	252	410	13	2.36553
1.89215	1.018	0.00317			
7	8	252	450	13	3.76595
1.66312	1.124	0.00350			
7	9	252	490	13	8.01248
1.53684	1.427	0.00300			
8	7	292	410	16	3.70247
1.93424	1.036	0.00314			
8	8	292	450	17	5.47395
1.48839	1.123	0.00295			
8	9	292	490	15	11.78703
1.53833	1.643	0.00299			
9	6	332	370	11	8.08491
2.31872	1.005	0.00332			
9	7	332	410	18	5.03795
2.04561	1.136	0.00314			
9	8	332	450	21	6.03153
1.69503	1.340	0.00302			
9	9	332	490	16	9.87494
1.58838	1.890	0.00302			
10	6	372	370	15	12.55351
1.65320	1.017	0.00306			
10	7	372	410	21	5.17583
1.81975	1.234	0.00307			
10	8	372	450	23	4.22915
1.65980	1.463	0.00301			
10	9	372	490	18	7.70601
1.60434	1.702	0.00302			

11	6	412	370	15	10.22668
1.61075	1.037	0.00303			
11	7	412	410	23	5.39245
1.53372	1.142	0.00297			
11	8	412	450	25	4.98783
1.48839	1.546	0.00294			
11	9	412	490	21	9.66973
1.52153	1.721	0.00298			
12	5	452	330	14	3.93142
1.91114	1.011	0.00316			
12	6	452	370	20	8.81981
1.69503	1.068	0.00305			
12	7	452	410	27	11.46157
1.62044	1.225	0.00299			
12	8	452	450	27	11.88171
1.56158	1.552	0.00296			
12	9	452	490	20	11.53055
1.62856	1.734	0.00301			
13	4	492	290	11	4.26311
2.09750	1.266	0.00324			
13	5	492	330	17	3.67664
1.97131	1.066	0.00314			
13	6	492	370	22	11.15625
1.56158	1.220	0.00299			
13	7	492	410	26	25.94555
1.59472	1.434	0.00298			
13	8	492	450	27	20.00535
1.53679	1.525	0.00295			
13	9	492	490	19	10.20625
1.54303	1.420	0.00298			
14	4	532	290	11	7.47826
2.30935	1.325	0.00328			
14	5	532	330	17	7.19942
2.02935	1.258	0.00313			
14	6	532	370	25	20.26712
1.58204	1.246	0.00298			
14	7	532	410	30	39.36983
1.53526	1.517	0.00295			
14	8	532	450	30	10.62277
1.48839	1.325	0.00293			
14	9	532	490	22	5.25405
1.48102	1.106	0.00295			
15	4	572	290	16	6.16569
2.15696	1.304	0.00318			
15	5	572	330	20	11.22339
2.01314	1.253	0.00313			
15	6	572	370	25	37.00303
1.48691	1.386	0.00293			

15	7	572	410	33	44.65651
1.49885		1.642	0.00293		
15	8	572	450	31	8.41487
1.52302		1.517	0.00294		
15	9	572	490	24	4.74931
1.71052		1.384	0.00303		
16	4	612	290	16	2.29332
1.75189		1.237	0.00310		
16	5	612	330	21	9.45932
1.84175		1.307	0.00309		
16	6	612	370	28	69.19994
1.60111		1.702	0.00298		
16	7	612	410	37	93.31676
1.53987		2.093	0.00295		
16	8	612	450	38	21.39164
1.68489		1.942	0.00300		
16	9	612	490	27	7.03572
1.80920		1.752	0.00307		
17	4	652	290	17	2.50177
1.83804		1.205	0.00310		
17	5	652	330	22	8.26475
1.60914		1.166	0.00301		
17	6	652	370	30	39.60676
1.53219		1.436	0.00294		
17	7	652	410	40	98.88918
1.48839		2.157	0.00292		
17	8	652	450	42	28.9335
1.48542		2.212	0.00292		
17	9	652	490	30	10.81571
1.54615		1.800	0.00296		
18	4	692	290	15	3.87289
1.73103		1.434	0.00308		
18	5	692	330	23	4.14126
1.57098		1.202	0.00299		
18	6	692	370	31	11.03421
1.43290		1.218	0.00289		
18	7	692	410	43	39.05613
1.53987		1.773	0.00293		
18	8	692	450	43	32.88445
1.49885		2.127	0.00292		
18	9	692	490	33	17.15003
1.44730		1.692	0.00290		
19	4	732	290	15	5.57895
1.85478		1.673	0.00312		
19	5	732	330	23	4.81146
1.83070		1.521	0.00306		
19	6	732	370	31	10.5276
1.51391		1.537	0.00293		

19	7	732	410	42	17.28778
1.47653		1.794	0.00291		
19	8	732	450	43	12.45348
1.49585		1.864	0.00292		
19	9	732	490	32	12.52842
1.43577		2.025	0.00289		
20	4	772	290	18	3.99483
1.83253		1.690	0.00310		
20	5	772	330	24	4.31890
1.95560		1.65	0.00309		
20	6	772	370	29	7.92482
1.51998		1.663	0.00294		
20	7	772	410	45	14.71695
1.48691		1.875	0.00291		
20	8	772	450	45	7.41867
1.46624		1.802	0.00290		
20	9	772	490	38	14.55595
1.42718		2.011	0.00288		
21	4	812	290	15	3.64370
1.81614		1.752	0.00311		
21	5	812	330	24	4.32754
2.00912		1.671	0.00311		
21	6	812	370	29	6.82096
1.62531		1.538	0.00299		
21	7	812	410	42	8.42329
1.47949		1.541	0.00292		
21	8	812	450	47	8.10110
1.48245		1.529	0.00291		
21	9	812	490	39	9.45932
1.42860		1.436	0.00288		
22	4	852	290	18	4.90375
2.06824		1.731	0.00316		
22	5	852	330	22	5.02286
1.95365		1.562	0.00311		
22	6	852	370	28	8.06070
1.56314		1.416	0.00298		
22	7	852	410	41	8.28959
1.52302		1.251	0.00294		
22	8	852	450	45	6.22143
1.53066		1.316	0.00294		
22	9	852	490	38	5.16033
1.43433		1.190	0.00289		
23	4	892	290	14	6.45594
1.83079		1.574	0.00312		
23	5	892	330	25	4.48617
1.76597		1.500	0.00304		
23	6	892	370	26	4.64133
1.49436		1.424	0.00294		

23	7	892	410	38	9.70848
1.54604		1.311	0.00295		
23	8	892	450	43	5.49039
1.56314		1.160	0.00295		
23	9	892	490	37	3.02527
1.44296		1.144	0.00289		
24	4	932	290	19	6.33443
1.83620		1.555	0.00308		
24	5	932	330	22	8.03655
1.72064		1.642	0.00303		
24	6	932	370	27	7.95658
1.50486		1.593	0.00294		
24	7	932	410	38	10.55923
1.51998		1.343	0.00294		
24	8	932	450	41	7.07806
1.47358		1.116	0.00291		
24	9	932	490	34	4.72563
1.46331		1.093	0.00290		
25	3	972	250	11	2.12974
1.65318		1.453	0.00309		
25	4	972	290	16	5.46301
1.86781		1.558	0.00310		
25	5	972	330	21	9.76691
1.60432		1.635	0.00300		
25	6	972	370	26	9.52576
1.50486		1.382	0.00295		
25	7	972	410	38	11.10061
1.59472		1.197	0.00297		
25	8	972	450	43	18.95371
1.50636		1.164	0.00293		
25	9	972	490	34	20.40949
1.47211		1.321	0.00291		
26	3	1012	250	12	2.55998
1.91496		1.320	0.00317		
26	4	1012	290	19	4.44598
1.84540		1.29	0.00309		
26	5	1012	330	25	5.47395
1.63509		1.336	0.00300		
26	6	1012	370	29	8.20710
1.59951		1.272	0.00298		
26	7	1012	410	40	12.19468
1.69333		1.232	0.00301		
26	8	1012	450	41	17.72542
1.60111		1.311	0.00297		
26	9	1012	490	35	19.4141
1.45892		1.490	0.00290		
27	3	1052	250	12	2.79268
1.92267		1.316	0.00319		

27	4	1052	290	20	3.18993
1.72409		1.150	0.00305		
27	5	1052	330	24	2.64058
1.49137		1.101	0.00294		
27	6	1052	370	30	6.88951
1.53987		1.175	0.00295		
27	7	1052	410	42	19.22093
1.57412		1.430	0.00296		
27	8	1052	450	40	18.95371
1.52302		1.588	0.00294		
27	9	1052	490	33	12.85843
1.43003		1.593	0.00289		
28	4	1092	290	18	2.31405
1.72927		1.120	0.00305		
28	5	1092	330	20	1.84043
1.60914		1.019	0.00299		
28	6	1092	370	28	3.37704
1.51089		0.986	0.00294		
28	7	1092	410	40	20.26712
1.49735		1.434	0.00292		
28	8	1092	450	39	53.03753
1.49137		1.829	0.00292		
28	9	1092	490	32	32.78595
1.45310		1.802	0.00289		
29	3	1132	250	11	5.72590
1.80736		1.150	0.00320		
29	4	1132	290	15	1.52196
1.57885		1.016	0.00303		
29	5	1132	330	21	1.25986
1.60753		0.879	0.00299		
29	6	1132	370	25	2.16842
1.51998		0.888	0.00294		
29	7	1132	410	37	8.63652
1.47801		1.198	0.00292		
29	8	1132	450	37	41.22314
1.48839		1.491	0.00292		
29	9	1132	490	31	49.89894
1.43003		1.577	0.00289		
30	3	1172	250	11	10.31913
1.94400		1.117	0.00323		
30	4	1172	290	14	4.30596
1.93227		0.927	0.00315		
30	5	1172	330	21	2.51431
1.62856		0.865	0.00300		
0.00300					
30	6	1172	370	26	2.00171
1.55069		0.793	0.00296		
30	7	1172	410	34	3.55374
1.57412		0.964	0.00296		

30	8	1172	450	36	17.88567
1.50787		1.362	0.00293		
30	9	1172	490	29	35.30413
1.53990		1.803	0.00296		
31	4	1212	290	15	11.61155
2.16777		0.880	0.00320		
31	5	1212	330	19	7.76790
1.82339		0.866	0.00309		
31	6	1212	370	25	3.20592
1.69333		0.802	0.00303		
31	7	1212	410	32	2.58054
1.65318		0.866	0.00300		
31	8	1212	450	32	9.65041
1.58677		1.366	0.00297		
31	9	1212	490	26	28.67426
1.53383		1.834	0.00296		
32	4	1252	290	14	16.81044
2.04561		0.828	0.00319		
32	5	1252	330	15	10.76177
1.80164		0.778	0.00311		
32	6	1252	370	23	3.69877
1.59472		0.771	0.00301		
32	7	1252	410	30	2.49678
1.64164		0.864	0.00299		
32	8	1252	450	28	4.77789
1.51543		1.196	0.00294		
32	9	1252	490	25	11.61155
1.51856		1.456	0.00296		
33	4	1292	290	13	9.83552
1.89212		0.879	0.00316		
33	5	1292	330	15	9.21654
1.73967		0.782	0.00308		
0.00308					
33	6	1292	370	20	3.42123
1.58835		0.856	0.00299		
33	7	1292	410	29	2.21002
1.59153		0.929	0.00297		
33	8	1292	450	24	2.34668
1.52302		0.994	0.00295		
33	9	1292	490	22	4.57680
1.60287		1.156	0.00300		
34	4	1332	290	11	3.29366
1.97144		0.875	0.00321		
34	5	1332	330	15	2.81792
1.76600		0.917	0.00308		
34	6	1332	370	17	3.31680
1.60753		1.020	0.00301		
34	7	1332	410	24	4.36667
1.58835		1.095	0.00298		

34	8	1332	450	24	4.98284
1.56158		1.132	0.00297		
34	9	1332	490	20	4.93820
1.67503		1.167	0.00304		
35	4	1372	290	12	1.85893
2.03341		1.007	0.00320		
35	5	1372	330	16	1.81848
1.79624		0.932	0.00309		
35	6	1372	370	19	3.67297
1.68995		1.018	0.00304		
35	7	1372	410	28	9.07932
1.66146		1.180	0.00301		
35	8	1372	450	26	16.99637
1.55846		1.343	0.00297		
35	9	1372	490	23	15.19551
1.57583		1.294	0.00300		
36	4	1412	290	12	1.77713
1.89023		1.175	0.00316		
36	5	1412	330	17	1.71772
1.83620		1.051	0.00309		
36	6	1412	370	20	2.76489
1.61075		1.069	0.00301		
36	7	1412	410	26	8.95310
1.59632		1.066	0.00301		
36	8	1412	450	27	16.39539
1.53372		1.221	0.00296		
36	9	1412	490	21	18.6156
1.57111		1.349	0.00300		
37	4	1452	290	11	2.68854
1.85465		1.273	0.00317		
37	5	1452	330	14	2.28416
1.64164		1.167	0.00305		
37	6	1452	370	21	3.17402
1.64493		1.019	0.00301		
37	7	1452	410	28	6.66587
1.69333		0.959	0.00301		
37	8	1452	450	25	7.24274
1.56158		1.037	0.00296		
37	9	1452	490	19	7.92482
1.56481		1.192	0.00299		
38	4	1492	290	11	4.65993
1.95365		1.259	0.00320		
38	5	1492	330	13	4.82109
1.62856		1.134	0.00305		
38	6	1492	370	20	4.24185
1.60753		0.863	0.00299		
38	7	1492	410	25	6.78694
1.62856		0.871	0.00298		

38	8	1492	450	23	8.29788
1.49287		0.956	0.00292		
38	9	1492	490	20	6.47533
1.48100		1.019	0.00294		
39	5	1532	330	14	5.85327
1.72236		1.129	0.00308		
39	6	1532	370	19	4.61356
1.56784		0.832	0.00299		
39	7	1532	410	23	6.52734
1.56627		0.817	0.00297		
39	8	1532	450	23	9.52576
1.55224		0.892	0.00296		
39	9	1532	490	20	7.86954
1.64996		0.995	0.00301		
40	5	1572	330	11	6.35982
1.72251		1.167	0.00314		
40	6	1572	370	15	4.84041
1.75892		0.952	0.00308		
40	7	1572	410	23	4.89885
1.73100		0.842	0.00304		
40	8	1572	450	22	5.61814
1.55535		0.851	0.00298		
40	9	1572	490	18	8.37290
1.65488		0.999	0.00303		
41	6	1612	370	14	3.91572
1.73273		1.002	0.00311		
41	7	1612	410	21	3.83819
1.67816		0.890	0.00304		
41	8	1612	450	22	4.20805
1.64822		0.894	0.00302		
41	9	1612	490	18	6.98664
1.53679		1.033	0.00299		
42	6	1652	370	13	4.61818
1.85478		1.098	0.00317		
42	7	1652	410	19	3.93929
1.92649		1.062	0.00312		
42	8	1652	450	17	4.06738
1.77307		1.023	0.00307		
42	9	1652	490	13	5.70304
1.56941		1.093	0.00302		
43	7	1692	410	12	5.23308
1.93237		1.196	0.00318		
43	8	1692	450	13	4.73982
1.67149		1.149	0.00307		
43	9	1692	490	11	5.36556
1.61728		1.184	0.00308		
44	7	1732	410	11	7.52326
1.96540		1.17	0.00321		

44	8	1732	450	12	6.19040
1.72581		1.264	0.00311		

resultats du krigeage pour l'epaisseur

1-Fichier de paramètres: LNEPAIS.PAR

Parameters for kriging

Input file : adell.dat

Output file : LN_EPAIS.KRG

Variable selected : ln_epaisseur (logarithme de l'epaisseur)

Variogram model :

Model	Sill	Nugget	Range
exponential	0.24	0.40	215

Kriging type : ordinary kriging

Kriging grid :

	X-axis	Y-axis
Variable :	Northing	Depth
Origin :	-8.0	150
Cell size:	40	40
Number :	47	9

Search ellipse:

Major axis radius: 160

Minor axis radius: 110

Min. data/ellipse: 10

Max. data/quadr : 15

2-fichier de resultats: LNEPAIS.KRG

kriging for epaisseur, blocks of 40X40 m²

8

Col.

Line

Northing

Depth

N(lnepais)

lnepais*

σ_k^2 (lnepais)

mu

5	7	172.00	410.00	11	0.051	0.178
-0.090						
5	8	172.00	450.00	12	0.100	0.149
-0.071						
5	9	172.00	490.00	11	0.234	0.111
-0.064						
6	8	212.00	450.00	12	0.033	0.125
-0.60						
6	9	212.00	490.00	11	0.202	0.092
-0.056						
7	7	252.00	410.00	13	-0.108	0.126
-0.054						

7	8	252.00	450.00	13	0.004	0.096
-0.041						
7	9	252.00	490.00	13	0.245	0.081
-0.039						
8	7	292.00	410.00	16	-0.082	0.122
-0.046						
8	8	292.00	450.00	17	0.018	0.070
-0.026						
8	9	292.00	490.00	15	0.391	0.080
-0.034						
9	6	332.00	370.00	11	-0.145	0.155
-0.078						
9	7	332.00	410.00	18	0.017	0.126
-0.039						
9	8	332.00	450.00	21	0.197	0.094
-0.024						
9	9	332.00	490.00	16	0.530	0.089
-0.035						
10	6	372.00	370.00	15	-0.096	0.098
-0.041						
10	7	372.00	410.00	21	0.112	0.107
-0.027						
10	8	372.00	450.00	23	0.288	0.091
-0.021						
10	9	372.00	490.00	18	0.428	0.090
-0.032						
11	6	412.00	370.00	15	-0.071	0.092
-0.036						
11	7	412.00	410.00	23	0.041	0.077
-0.020						
11	8	412.00	450.00	25	0.348	0.068
-0.016						
11	9	412.00	490.00	21	0.445	0.078
-0.026						
12	5	452.00	330.00	14	-0.111	0.126
-0.050						
12	6	452.00	370.00	20	-0.037	0.099
-0.031						
12	7	452.00	410.00	27	0.114	0.085
-0.017						
12	8	452.00	450.00	27	0.354	0.076
-0.014						
12	9	452.00	490.00	20	0.450	0.089
-0.029						
13	4	492.00	290.00	11	0.102	0.143
-0.062						
13	5	492.00	330.00	17	-0.048	0.125
-0.040						

13	6	492.00	370.00	22	0.102	0.084
-0.025						
13	7	492.00	410.00	26	0.273	0.082
-0.016						
13	8	492.00	450.00	27	0.337	0.072
-0.013						
13	9	492.00	490.00	19	0.251	0.078
-0.028						
14	4	532.00	290.00	11	0.143	0.153
-0.067						
14	5	532.00	330.00	17	0.123	0.124
-0.035						
14	6	532.00	370.00	25	0.126	0.081
-0.022						
14	7	532.00	410.00	30	0.333	0.071
-0.012						
14	8	532.00	450.00	30	0.199	0.064
-0.011						
14	9	532.00	490.00	22	0.006	0.068
-0.023						
15	4	572.00	290.00	16	0.152	0.138
-0.042						
15	5	572.00	330.00	20	0.118	0.123
-0.036						
15	6	572.00	370.00	25	0.236	0.065
-0.019						
15	7	572.00	410.00	33	0.414	0.064
-0.010						
15	8	572.00	450.00	31	0.332	0.070
-0.013						
15	9	572.00	490.00	24	0.224	0.095
-0.029						
16	4	612.00	290.00	16	0.102	0.113
-0.039						
16	5	612.00	330.00	21	0.161	0.112
-0.035						
16	6	612.00	370.00	28	0.443	0.081
-0.017						
16	7	612.00	410.00	37	0.657	0.072
-0.010						
16	8	612.00	450.00	38	0.578	0.089
-0.014						
16	9	612.00	490.00	27	0.460	0.106
-0.029						
17	4	652.00	290.00	17	0.081	0.116
-0.034						
17	5	652.00	330.00	22	0.054	0.089
-0.028						

17	6	652.00	370.00	30	0.276	0.070
-0.014						
17	7	652.00	410.00	40	0.689	0.063
-0.008						
17	8	652.00	450.00	42	0.713	0.063
-0.009						
17	9	652.00	490.00	30	0.494	0.074
-0.022						
18	4	692.00	290.00	15	0.251	0.108
-0.038						
18	5	692.00	330.00	23	0.090	0.082
-0.022						
18	6	692.00	370.00	31	0.115	0.053
-0.011						
18	7	692.00	410.00	43	0.494	0.067
-0.007						
18	8	692.00	450.00	43	0.677	0.062
-0.006						
18	9	692.00	490.00	33	0.441	0.055
-0.013						
19	4	732.00	290.00	15	0.400	0.118
-0.043						
19	5	732.00	330.00	23	0.322	0.106
-0.026						
19	6	732.00	370.00	31	0.346	0.066
-0.012						
19	7	732.00	410.00	42	0.507	0.059
-0.006						
19	8	732.00	450.00	43	0.546	0.062
-0.005						
19	9	732.00	490.00	32	0.623	0.050
-0.011						
20	4	772.00	290.00	18	0.419	0.115
-0.034						
20	5	772.00	330.00	24	0.402	0.116
-0.027						
20	6	772.00	370.00	29	0.421	0.067
-0.016						
20	7	772.00	410.00	45	0.550	0.059
-0.007						
20	8	772.00	450.00	45	0.512	0.057
-0.005						
20	9	772.00	490.00	38	0.618	0.049
-0.009						
21	4	812.00	290.00	15	0.450	0.115
-0.039						
21	5	812.00	330.00	24	0.414	0.121
-0.028						

21	6	812.00	370.00	29	0.340	0.084
-0.019						
21	7	812.00	410.00	42	0.352	0.062
-0.009						
21	8	812.00	450.00	47	0.393	0.060
-0.005						
21	9	812.00	490.00	39	0.281	0.050
-0.009						
22	4	852.00	290.00	18	0.440	0.132
-0.037						
22	5	852.00	330.00	22	0.344	0.119
-0.030						
22	6	852.00	370.00	28	0.258	0.080
-0.018						
22	7	852.00	410.00	41	0.143	0.070
-0.009						
22	8	852.00	450.00	45	0.197	0.068
-0.006						
22	9	852.00	490.00	38	0.092	0.051
-0.010						
23	4	892.00	290.00	14	0.340	0.117
-0.042						
23	5	892.00	330.00	25	0.312	0.101
-0.022						
23	6	892.00	370.00	26	0.266	0.068
-0.016						
23	7	892.00	410.00	38	0.190	0.072
-0.009						
23	8	892.00	450.00	43	0.070	0.071
-0.007						
23	9	892.00	490.00	37	0.053	0.053
-0.010						
24	3	932.00	250.00	2	0.360	0.266
-0.387						
24	4	932.00	290.00	19	0.342	0.112
-0.028						
24	5	932.00	330.00	22	0.402	0.097
-0.022						
24	6	932.00	370.00	27	0.380	0.069
-0.014						
24	7	932.00	410.00	38	0.215	0.068
-0.008						
24	8	932.00	450.00	41	0.032	0.060
-0.006						
24	9	932.00	490.00	34	0.006	0.056
-0.011						
25	3	972.00	250.00	11	0.251	0.104
-0.051						

25	4	972.00	290.00	16	0.336	0.114
-0.036						
25	5	972.00	330.00	21	0.397	0.086
-0.023						
25	6	972.00	370.00	26	0.237	0.070
-0.015						
25	7	972.00	410.00	38	0.099	0.079
-0.009						
25	8	972.00	450.00	43	0.073	0.067
-0.007						
25	9	972.00	490.00	34	0.196	0.058
-0.011						
26	3	1012.00	250.00	12	0.153	0.129
-0.053						
26	4	1012.00	290.00	19	0.152	0.112
-0.031						
26	5	1012.00	330.00	25	0.199	0.087
-0.019						
26	6	1012.00	370.00	29	0.154	0.082
-0.015						
26	7	1012.00	410.00	40	0.127	0.091
-0.010						
26	8	1012.00	450.00	41	0.190	0.078
-0.009						
26	9	1012.00	490.00	35	0.316	0.055
-0.011						
27	3	1052.00	250.00	12	0.147	0.131
-0.056						
27	4	1052.00	290.00	20	0.039	0.102
-0.029						
27	5	1052.00	330.00	24	0.009	0.069
-0.016						
27	6	1052.00	370.00	30	0.078	0.073
-0.012						
27	7	1052.00	410.00	42	0.278	0.077
-0.008						
27	8	1052.00	450.00	40	0.383	0.069
-0.008						
27	9	1052.00	490.00	33	0.383	0.051
-0.011						
28	4	1092.00	290.00	18	0.012	0.102
-0.030						
28	5	1092.00	330.00	20	-0.076	0.084
-0.023						
28	6	1092.00	370.00	28	-0.097	0.068
-0.011						
28	7	1092.00	410.00	40	0.282	0.064
-0.007						

28	8	1092.00	450.00	39	0.525	0.062
-0.007						
28	9	1092.00	490.00	32	0.506	0.053
-0.011						
29	3	1132.00	250.00	11	-0.001	0.126
-0.069						
29	4	1132.00	290.00	15	-0.092	0.091
-0.036						
29	5	1132.00	330.00	21	-0.222	0.083
-0.022						
29	6	1132.00	370.00	25	-0.203	0.068
-0.013						
29	7	1132.00	410.00	37	0.101	0.062
-0.008						
29	8	1132.00	450.00	37	0.321	0.061
-0.007						
29	9	1132.00	490.00	31	0.371	0.052
-0.013						
30	3	1172.00	250.00	11	-0.026	0.138
-0.065						
30	4	1172.00	290.00	14	-0.193	0.124
-0.046						
30	5	1172.00	330.00	21	-0.242	0.087
-0.025						
30	6	1172.00	370.00	26	-0.319	0.074
-0.016						
30	7	1172.00	410.00	34	-0.119	0.077
-0.011						
30	8	1172.00	450.00	36	0.227	0.067
-0.010						
30	9	1172.00	490.00	29	0.498	0.074
-0.020						
31	4	1212.00	290.00	15	-0.245	0.141
-0.046						
31	5	1212.00	330.00	19	-0.248	0.112
-0.033						
31	6	1212.00	370.00	25	-0.313	0.096
-0.021						
31	7	1212.00	410.00	32	-0.206	0.089
-0.013						
31	8	1212.00	450.00	32	0.228	0.078
-0.012						
31	9	1212.00	490.00	26	0.513	0.074
-0.022						
32	4	1252.00	290.00	14	-0.309	0.136
-0.049						
32	5	1252.00	330.00	15	-0.366	0.115
-0.043						

32	6	1252.00	370.00	23	-0.355	0.088
-0.024						
32	7	1252.00	410.00	30	-0.231	0.087
-0.013						
32	8	1252.00	450.00	28	0.093	0.070
-0.014						
32	9	1252.00	490.00	25	0.282	0.072
-0.022						
33	4	1292.00	290.00	13	-0.247	0.127
-0.047						
33	5	1292.00	330.00	15	-0.354	0.109
-0.037						
33	6	1292.00	370.00	20	-0.251	0.084
-0.024						
33	7	1292.00	410.00	29	-0.158	0.079
-0.013						
33	8	1292.00	450.00	24	-0.094	0.073
-0.016						
33	9	1292.00	490.00	22	0.046	0.086
-0.027						
34	3	1332.00	250.00	2	-0.780	0.232
-0.340						
34	4	1332.00	290.00	11	-0.265	0.135
-0.060						
34	5	1332.00	330.00	15	-0.193	0.110
-0.035						
34	6	1332.00	370.00	17	-0.080	0.087
-0.028						
34	7	1332.00	410.00	24	0.003	0.080
-0.016						
34	8	1332.00	450.00	24	0.035	0.079
-0.017						
34	9	1332.00	490.00	20	0.050	0.096
-0.033						
35	4	1372.00	290.00	12	-0.118	0.136
-0.053						
35	5	1372.00	330.00	16	-0.177	0.113
-0.035						
35	6	1372.00	370.00	19	-0.080	0.099
-0.026						
35	7	1372.00	410.00	28	0.078	0.091
-0.016						
35	8	1372.00	450.00	26	0.206	0.079
-0.017						
35	9	1372.00	490.00	23	0.158	0.086
-0.028						
36	4	1412.00	290.00	12	0.041	0.127
-0.049						

36	5	1412.00	330.00	17	-0.055	0.114
-0.033						
36	6	1412.00	370.00	20	-0.028	0.090
-0.023						
36	7	1412.00	410.00	26	-0.024	0.084
-0.016						
36	8	1412.00	450.00	27	0.113	0.075
-0.015						
36	9	1412.00	490.00	21	0.199	0.083
-0.029						
37	4	1452.00	290.00	11	0.115	0.126
-0.055						
37	5	1452.00	330.00	14	0.045	0.098
-0.038						
37	6	1452.00	370.00	21	-0.074	0.090
-0.021						
37	7	1452.00	410.00	28	-0.127	0.092
-0.014						
37	8	1452.00	450.00	25	-0.050	0.075
-0.015						
37	9	1452.00	490.00	19	0.075	0.080
-0.029						
38	4	1492.00	290.00	11	0.100	0.134
-0.059						
38	5	1492.00	330.00	13	0.015	0.096
-0.039						
38	6	1492.00	370.00	20	-0.242	0.084
-0.023						
38	7	1492.00	410.00	25	-0.224	0.081
-0.014						
38	8	1492.00	450.00	23	-0.131	0.062
-0.014						
38	9	1492.00	490.00	20	-0.077	0.065
-0.024						
39	5	1532.00	330.00	14	0.010	0.106
-0.040						
39	6	1532.00	370.00	19	-0.281	0.081
-0.026						
39	7	1532.00	410.00	23	-0.292	0.076
-0.018						
39	8	1532.00	450.00	23	-0.203	0.074
-0.017						
39	9	1532.00	490.00	20	-0.105	0.089
-0.028						
40	5	1572.00	330.00	11	0.023	0.115
-0.060						
40	6	1572.00	370.00	15	-0.160	0.108
-0.039						

40	7	1572.00	410.00	23	-0.265	0.099
-0.022						
40	8	1572.00	450.00	22	-0.254	0.080
-0.021						
40	9	1572.00	490.00	18	-0.107	0.093
-0.034						
41	6	1612.00	370.00	14	-0.116	0.113
-0.046						
41	7	1612.00	410.00	21	-0.214	0.100
-0.026						
41	8	1612.00	450.00	22	-0.206	0.092
-0.023						
41	9	1612.00	490.00	18	-0.070	0.081
-0.031						
42	6	1652.00	370.00	13	-0.033	0.128
-0.055						
42	7	1652.00	410.00	19	-0.045	0.123
-0.034						
42	8	1652.00	450.00	17	-0.079	0.106
-0.030						
42	9	1652.00	490.00	13	-0.023	0.087
-0.040						
43	7	1692.00	410.00	12	0.054	0.130
-0.053						
43	8	1692.00	450.00	13	0.026	0.103
-0.041						
43	9	1692.00	490.00	11	0.044	0.098
-0.053						
44	7	1732.00	410.00	11	0.033	0.136
-0.060						

3-Resultats du calcul de la teneur: TENEUR.RES

Kriging results for block 40X40

7

Col.
Line
Northing
Depth
Nombre
teneur
var_ten

5	7	172	410	11	3.28810	1.63336
5	8	172	450	12	2.77889	1.26189
5	9	172	490	11	3.46775	.69337
6	8	212	450	12	1.62323	.43044
6	9	212	490	11	3.65354	.69610
7	7	252	410	13	2.32370	1.66521
7	8	252	450	13	3.35049	1.14113
7	9	252	490	13	5.61491	.61019
8	7	292	410	16	3.57381	1.57483
8	8	292	450	17	4.87440	.97455
8	9	292	490	15	7.17409	.44303
9	6	332	370	11	8.04469	1.79563
9	7	332	410	18	4.43481	1.35206
9	8	332	450	21	4.50114	.79513
9	9	332	490	16	5.22484	.36441
10	6	372	370	15	12.34367	1.18336
10	7	372	410	21	4.19435	1.02051
10	8	372	450	23	2.89074	.68985
10	9	372	490	18	4.52762	.46423
11	6	412	370	15	9.86179	1.11840
11	7	412	410	23	4.72194	.97754
11	8	412	450	25	3.22628	.54445
11	9	412	490	21	5.61867	.41518
12	5	452	330	14	3.88864	1.61496
12	6	452	370	20	8.25825	1.13743
12	7	452	410	27	9.35638	.81159
12	8	452	450	27	7.65574	.49992
12	9	452	490	20	6.64968	.42796
13	4	492	290	11	3.36739	1.15494
13	5	492	330	17	3.44901	1.52407
13	6	492	370	22	9.14447	.78894
13	7	492	410	26	18.09313	.63123
13	8	492	450	27	13.11826	.49170
13	9	492	490	19	7.18750	.59504
14	4	532	290	11	5.64397	1.08953
14	5	532	330	17	5.72291	1.05312
14	6	532	370	25	16.26575	.79310
14	7	532	410	30	25.95243	.75640
14	8	532	450	30	8.01719	.64746
14	9	532	490	22	4.75050	1.00333

Kriging results for block 40X40

7

Col.
Line
Northing
Depth
Nombre
teneur
var_ten

5	7	172	410	11	3.28810	1.63336
5	8	172	450	12	2.77889	1.26189
5	9	172	490	11	3.46775	.69337
6	8	212	450	12	1.62323	.43044
6	9	212	490	11	3.65354	.69610
7	7	252	410	13	2.32370	1.66521
7	8	252	450	13	3.35049	1.14113
7	9	252	490	13	5.61491	.61019
8	7	292	410	16	3.57381	1.57483
8	8	292	450	17	4.87440	.97455
8	9	292	490	15	7.17409	.44303
9	6	332	370	11	8.04469	1.79563
9	7	332	410	18	4.43481	1.35206
9	8	332	450	21	4.50114	.79513
9	9	332	490	16	5.22484	.36441
10	6	372	370	15	12.34367	1.18336
10	7	372	410	21	4.19435	1.02051
10	8	372	450	23	2.89074	.68985
10	9	372	490	18	4.52762	.46423
11	6	412	370	15	9.86179	1.11840
11	7	412	410	23	4.72194	.97754
11	8	412	450	25	3.22628	.54445
11	9	412	490	21	5.61867	.41518
12	5	452	330	14	3.88864	1.61496
12	6	452	370	20	8.25825	1.13743
12	7	452	410	27	9.35638	.81159
12	8	452	450	27	7.65574	.49992
12	9	452	490	20	6.64968	.42796
13	4	492	290	11	3.36739	1.15494
13	5	492	330	17	3.44901	1.52407
13	6	492	370	22	9.14447	.78894
13	7	492	410	26	18.09313	.63123
13	8	492	450	27	13.11826	.49170
13	9	492	490	19	7.18750	.59504
14	4	532	290	11	5.64397	1.08953
14	5	532	330	17	5.72291	1.05312
14	6	532	370	25	16.26575	.79310
14	7	532	410	30	25.95243	.75640
14	8	532	450	30	8.01719	.64746
14	9	532	490	22	4.75050	1.00333

15	4	572	290	16	4.72829	1.07540
15	5	572	330	20	8.95721	.98026
15	6	572	370	25	26.69771	.92551
15	7	572	410	33	27.19641	.67788
15	8	572	450	31	5.54705	.53660
15	9	572	490	24	3.43158	.78008
16	4	612	290	16	1.85394	1.06079
16	5	612	330	21	7.23743	.84689
16	6	612	370	28	40.65802	1.26438
16	7	612	410	37	44.58517	.99047
16	8	612	450	38	11.01526	.33147
16	9	612	490	27	4.01582	.50609
17	4	652	290	17	2.07616	1.16496
17	5	652	330	22	7.08812	.92471
17	6	652	370	30	27.58131	.91196
17	7	652	410	40	45.84570	.97641
17	8	652	450	42	13.08025	.22611
17	9	652	490	30	6.00873	.38222
18	4	692	290	15	2.70076	.75490
18	5	692	330	23	3.44531	.94520
18	6	692	370	31	9.05929	.72493
18	7	692	410	43	22.02827	.46203
18	8	692	450	43	15.46048	.25498
18	9	692	490	33	10.13595	.37565
19	4	732	290	15	3.33470	.58263
19	5	732	330	23	3.16335	.70018
19	6	732	370	31	6.84945	.50207
19	7	732	410	42	9.63644	.34255
19	8	732	450	43	6.68105	.33841
19	9	732	490	32	6.18687	.27798
20	4	772	290	18	2.36380	.58405
20	5	772	330	24	2.61752	.64986
20	6	772	370	29	4.76538	.45626
20	7	772	410	45	7.84904	.32414
20	8	772	450	45	4.11691	.38235
20	9	772	490	38	7.23817	.27317
21	4	812	290	15	2.07974	.54412
21	5	812	330	24	2.58979	.65223
21	6	812	370	29	4.43495	.57865
21	7	812	410	42	5.46612	.50545
21	8	812	450	47	5.29830	.51722
21	9	812	490	39	6.58727	.54439
22	4	852	290	18	2.83290	.62075
22	5	852	330	22	3.21566	.70912
22	6	852	370	28	5.69258	.63011
22	7	852	410	41	6.62637	.76667
22	8	852	450	45	4.72753	.73498
22	9	852	490	38	4.33641	.85015
23	4	892	290	14	4.10161	.63253

23	5	892	330	25	2.99078	.69762
23	6	892	370	26	3.25936	.64368
23	7	892	410	38	7.40540	.69686
23	8	892	450	43	4.73309	.96714
23	9	892	490	37	2.64447	.98491
24	4	932	290	19	4.07359	.65129
24	5	932	330	22	4.89437	.53141
24	6	932	370	27	4.99471	.48838
24	7	932	410	38	7.86242	.64626
24	8	932	450	41	6.34235	.93701
24	9	932	490	34	4.32354	1.02979
25	3	972	250	11	1.46575	.73558
25	4	972	290	16	3.50642	.67306
25	5	972	330	21	5.97365	.48206
25	6	972	370	26	6.89274	.61603
25	7	972	410	38	9.27369	.83693
25	8	972	450	43	16.28326	.87078
25	9	972	490	34	15.45003	.65058
26	3	1012	250	12	1.93938	1.01742
26	4	1012	290	19	3.44650	.97148
26	5	1012	330	25	4.09727	.78030
26	6	1012	370	29	6.45212	.78443
26	7	1012	410	40	9.89828	.83504
26	8	1012	450	41	13.52053	.69414
26	9	1012	490	35	13.02960	.48952
27	3	1052	250	12	2.12210	1.02059
27	4	1052	290	20	2.77385	1.16626
27	5	1052	330	24	2.39835	1.11062
27	6	1052	370	30	5.86341	.89684
27	7	1052	410	42	13.44121	.57365
27	8	1052	450	40	11.93559	.44699
27	9	1052	490	33	8.07183	.42915
28	4	1092	290	18	2.06612	1.26694
28	5	1092	330	20	1.80611	1.43602
28	6	1092	370	28	3.42499	1.35008
28	7	1092	410	40	14.13328	.54825
28	8	1092	450	39	28.99810	.59634
28	9	1092	490	32	18.19420	.37175
29	3	1132	250	11	4.97904	1.13456
29	4	1132	290	15	1.49799	1.43372
29	5	1132	330	21	1.43329	1.95734
29	6	1132	370	25	2.44191	1.73865
29	7	1132	410	37	7.20912	.79898
29	8	1132	450	37	27.64798	.83727
29	9	1132	490	31	31.64169	.90419
30	3	1172	250	11	9.23825	1.18056
30	4	1172	290	14	4.64505	1.89752
30	5	1172	330	21	2.90672	1.93347
30	6	1172	370	26	2.52422	2.21851

30	7	1172	410	34	3.68645	1.46097
30	8	1172	450	36	13.13192	.60528
30	9	1172	490	29	19.58077	.40801
31	4	1212	290	15	13.19494	2.07122
31	5	1212	330	19	8.96986	1.84710
31	6	1212	370	25	3.99741	2.25386
31	7	1212	410	32	2.97984	1.95448
31	8	1212	450	32	7.06472	.66471
31	9	1212	490	26	15.63482	.35166
32	4	1252	290	14	20.30246	2.46162
32	5	1252	330	15	13.83261	2.21479
32	6	1252	370	23	4.79737	2.22894
32	7	1252	410	30	2.88979	1.95593
32	8	1252	450	28	3.99489	.90209
32	9	1252	490	25	7.97497	.54787
33	4	1292	290	13	11.18944	1.81875
33	5	1292	330	15	11.78586	2.10544
33	6	1292	370	20	3.99676	1.84946
33	7	1292	410	29	2.37892	1.67026
33	8	1292	450	24	2.36084	1.39473
33	9	1292	490	22	3.95917	1.02509
34	4	1332	290	11	3.76418	2.23541
34	5	1332	330	15	3.07298	1.85984
34	6	1332	370	17	3.25176	1.35394
34	7	1332	410	24	3.98783	1.13083
34	8	1332	450	24	4.40180	1.02492
34	9	1332	490	20	4.23153	1.04374
35	4	1372	290	12	1.84601	1.86621
35	5	1372	330	16	1.95116	1.91076
35	6	1372	370	19	3.60803	1.41437
35	7	1372	410	28	7.69434	.92262
35	8	1372	450	26	12.65552	.64088
35	9	1372	490	23	11.74305	.69633
36	4	1412	290	12	1.51245	1.28799
36	5	1412	330	17	1.63437	1.55612
36	6	1412	370	20	2.58643	1.26640
36	7	1412	410	26	8.39878	1.06905
36	8	1412	450	27	13.42784	.76775
36	9	1412	490	21	13.79956	.64626
37	4	1452	290	11	2.11197	1.05127
37	5	1452	330	14	1.95729	1.11026
37	6	1452	370	21	3.11484	1.39699
37	7	1452	410	28	6.95086	1.44897
37	8	1452	450	25	6.98432	1.13601
37	9	1452	490	19	6.64834	.86786
38	4	1492	290	11	3.70130	1.07186
38	5	1492	330	13	4.25140	1.07163
38	6	1492	370	20	4.91524	1.78872
38	7	1492	410	25	7.79212	1.65534

38	8	1492	450	23	8.67979	1.23457
38	9	1492	490	20	6.35459	1.12872
39	5	1532	330	14	5.18447	1.11403
39	6	1532	370	19	5.54514	1.83831
39	7	1532	410	23	7.98940	1.79784
39	8	1532	450	23	10.67910	1.44717
39	9	1532	490	20	7.90909	1.28252
40	5	1572	330	11	5.44972	1.03309
40	6	1572	370	15	5.08446	1.60743
40	7	1572	410	23	5.81811	1.97952
40	8	1572	450	22	6.60181	1.69399
40	9	1572	490	18	8.38128	1.26489
41	6	1612	370	14	3.90790	1.48168
41	7	1612	410	21	4.31257	1.79334
41	8	1612	450	22	4.70699	1.72214
41	9	1612	490	18	6.76345	1.13011
42	6	1652	370	13	4.20599	1.31212
42	7	1652	410	19	3.70931	1.48610
42	8	1652	450	17	3.97593	1.45471
42	9	1652	490	13	5.21779	1.07582
43	7	1692	410	12	4.37548	1.14889
43	8	1692	450	13	4.12517	1.07735
43	9	1692	490	11	4.53172	.96607
44	7	1732	410	11	6.38105	1.13603
44	8	1732	450	12	4.89747	.89781