

LES MINES DE FER DE LORRAINE ET LA GEOSTATISTIQUE

Deux Attitudes

On m'a demandé de vous parler des méthodes de la géostatistique, et de l'intérêt pratique que peut présenter leur application au bassin ferrifère de Lorraine. Comme il s'agit de méthodes assez nouvelles, je voudrais tout d'abord dissiper quelques malentendus possibles. Toute technique, nouvelle ou non, présente à la fois des possibilités et des limites ; si la technique est ancienne, éprouvée depuis longtemps, chacun est familiarisé avec elle et sait très bien quels problèmes elle peut résoudre, et quels sont ceux qu'il est inutile de lui poser parce qu'ils échappent à son champ d'application. Mais si la technique est nouvelle, elle risque de susciter, dans la profession, deux attitudes extrêmes parfaitement contradictoires.

Les uns ne verront que les limites et accueilleront la technique en question avec un scepticisme teinté d'ironie. Ils y verront une spéculation de l'esprit, agréable et amusante, mais sans grand rapport avec les problèmes réels et les difficultés qu'ils rencontrent dans leur activité pratique. Ils se heurtent à des questions tellement diverses, qui dépendent de facteurs tellement nombreux et inextricables qu'apparemment, seul le bon sens et une très solide expérience pratique peuvent permettre de s'y retrouver. Et certes, personne ne niera le caractère irremplaçable du bon sens et de l'expérience. Bien loin de le nier, nous verrons dans un instant que la géostatistique s'efforce de prendre comme point de départ les enseignements mêmes de l'expérience des mineurs. Elle ne prétend pas résoudre tous les problèmes, mais elle apporte au praticien des moyens supplémentaires pour clarifier certains d'entre eux. Et, si justement ces problèmes sont nombreux et inextricables, pourquoi l'homme d'expérience se priverait-il volontairement de ce moyen d'action supplémentaire ?

L'autre attitude, absolument contraire, consiste à ne voir que les possibilités et à perdre de vue les limites. Pour peu que la nouvelle technique ait remporté quelques succès spectaculaires, on ne jure plus que par elle. On lui deman-

... / ...

de bien plus qu'elle ne peut donner. Plus besoin de géologie, inutile de faire des sondages et des analyses chimiques, la géostatistique résout tous les problèmes : Le géostatisticien qui prêcherait une telle attitude ne serait plus un géostatisticien, mais un charlatan, et se déconsidérerait. En réalité, il n'y a pas de baguette magique. Les problèmes difficiles restent des problèmes difficiles et la géostatistique ne les résout pas tous, loin de là.

Entre ces deux attitudes, la première regrettable, la deuxième dangereuse, la raison conseille de trouver un juste milieu, c'est-à-dire de prendre une conscience exacte à la fois des possibilités et des limites de la méthode. Il y a des questions qu'il est inutile de poser au géostatisticien, parce qu'il ne peut pas y répondre. Il y en a d'autres, au contraire, auxquelles il peut apporter des réponses très précises, d'autres enfin auxquelles il ne pourra donner que des réponses partielles. Donnons quelques exemples :

Questions à ne pas poser.

- Supposons qu'une couche minéralisée, non affleurante, ait été touchée en un point par un sondage unique. Il est inutile de demander au géostatisticien une estimation précise du tonnage exploitable : On ne dispose que d'un renseignement ponctuel, et l'aire minéralisée peut avoir n'importe quelle extension, depuis $1m^2$ jusqu'à plusieurs Km^2 . Il est inutile d'être géostatisticien pour s'en apercevoir, le bon sens suffit. Aucun artifice, aucune baguette magique, ne peuvent remplacer une information manquante.

- Comme deuxième exemple, supposons que le mineur désire faire un sondage pour reconnaître une zone susceptible d'être minéralisée, et, en particulier, pour y localiser le prolongement d'une couche intéressante connue dans une zone voisine. Pour localiser les emplacements favorables, il existe une science et une pratique géologique, bien adaptée à leur objet. La géostatistique n'apporterait rien de plus.

Questions que l'on peut poser

Comme premier exemple de questions que l'on peut poser à la géostatistique, examinons en premier lieu le problème de l'estimation globale d'une concession, ou d'une large portion de celle-ci, et, en particulier, le choix d'une maille de son-

dages de reconnaissance. Ici, la géostatistique peut donner une réponse précise, à condition de pouvoir s'étalonner: il est clair que la réponse dépend des caractéristiques de la couche elle-même, et ne peut se formuler que si l'on a déjà une première idée de ces caractéristiques. Il existe plusieurs manières de s'étalonner:

- Tout d'abord, si les sondages ont déjà été effectués, l'examen géostatistique de leurs résultats, s'ils sont assez nombreux, permet de déterminer directement les caractéristiques de la zone même que l'on veut estimer. Cette critique interne des résultats permet de calculer l'erreur possible affectée aux travaux déjà faits, mais aussi de prévoir l'effet sur cette erreur d'un resserrement éventuel de la maille: en particulier, si l'erreur est jugée trop forte, il est possible de déterminer le nombre de sondages supplémentaires requis pour la ramener à une valeur acceptable.

- Si, au contraire, aucun sondage n'a encore été fait, on peut cependant obtenir des indications a priori sur l'efficacité des différentes mailles, à condition de pouvoir s'étalonner sur une zone voisine, comportant les mêmes couches que la zone à reconnaître, et des caractéristiques analogues: comme toute extrapolation, cette méthode implique un risque, puisqu'après tout rien ne garantit que les caractéristiques ne se modifient pas, mais ce risque reste limité si les zones de référence sont judicieusement choisies.

Dans les deux cas, la réponse de la géostatistique prend la forme d'une courbe donnant, en fonction de la maille adoptée, la valeur de l'erreur possible. Il suffit de lire cette courbe en sens inverse pour déterminer la maille que l'on doit choisir si l'on désire avoir une erreur inférieure à une valeur donnée.

Comme deuxième exemple, je vous parlerai du krigeage.

Ce que nous appelons "Krigeage", (du nom d'un mineur Sud africain D.G. KRIGE, qui a été l'un des premiers à utiliser ce genre de méthode dans le gisement d'or du Rand), c'est une chose très simple, que les mineurs pratiquent empiriquement depuis longtemps. Il s'agit de la prévision de la teneur, ou de l'indice, d'un panneau correspondant, par exemple, à un mois d'exploitation. On dispose, par exemple, d'un rainurage au centre, et de quatre rainurages voisins, mais extérieurs. Le krigeage

consiste à faire une moyenne pondérée par des coefficients convenablement choisis, de l'échantillon intérieur et des quatre échantillons extérieurs : de telles moyennes pondérées, on en fait tous les jours en Lorraine. Qu'est-ce que la géostatistique apporte de plus relativement à la méthode traditionnelle ? Essentiellement deux choses :

- 1/- une méthode de calcul exacte, permettant de déterminer les meilleurs coefficients possibles. En général, ils sont assez proches des coefficients adoptés par les mineurs sur la base de leur expérience. Mais il y a parfois des divergences, et de toute façon il est bon de disposer d'une méthode de calcul précise.
- 2/- mais surtout, elle permet de prévoir la fourchette d'erreur, et, inversement elle permet de recommander une maille de rainurage pour kriger les panneaux avec une précision donnée.

Au point de vue pratique, c'est peut-être une des applications les plus intéressantes pour les mineurs : quelle maille de rainurage adopter pour prévoir la production mensuelle avec une précision donnée, sur la teneur en Fer ou l'indice ? La géostatistique peut répondre à cette question, et sa réponse est mise sous forme d'abaque permettant de déterminer les coefficients et la précision, en fonction des paramètres géométriques (maille, et taille du panneau) et des caractéristiques géostatistiques de la couche. C'est un travail qui peut être fait une fois pour toutes pour une couche dont les caractéristiques restent constantes.

Questions plus générales

Parmi les questions pour lesquelles la géostatistique peut apporter une réponse au moins partielle, je citerai l'évolution des réserves en fonction de l'abaissement de la teneur limite, problème qui est à l'ordre du jour, en liaison avec la diffusion des méthodes d'enrichissement. Là les méthodes géostatistiques n'ont pas encore été mises au point, mais je pense que le problème peut être résolu et qu'il est possible d'apporter une réponse partielle, ou du moins des éléments pouvant aider à la formulation d'une réponse.

Deux recommandations

Avant de passer à l'exposé proprement dit des principes et des méthodes de la géostatistique, je voudrais conclure ce tour d'horizon en vous adressant deux demandes :

- la première demande : essayer de ne pas opposer la pratique et l'expérience du mineur avec la géostatistique considérée comme une théorie plus ou moins abstraite et fumeuse. Certes nous nous servons des mathématiques (et encore il ne s'agit pas de mathématiques tellement transcendantes). Mais les mathématiques ne sont en aucune façon un but en soi. Les physiciens aussi les utilisent. C'est pour eux un instrument commode qui leur permet de représenter, ou de prévoir les phénomènes naturels, de façon aussi précise que possible. L'essentiel reste la réalité physique elle-même. Le physicien part d'une analyse physique qualitative du ^{phénomène} lui-même. Sur la base de cette analyse, il construit un modèle qui systématise et met en forme théorique et quantitative l'image qualitative qu'il s'en est faite, ensuite, il tire les conséquences possibles de ce modèle mathématique pour les confronter avec l'expérience ou pour prévoir des phénomènes nouveaux et des applications.

Nous nous efforçons de procéder de la même manière. A la base même de la géostatistique nous plaçons les enseignements de la pratique minière, que nous cherchons ensuite à mettre en forme théorique et à systématiser. Et les résultats obtenus, confrontés avec la pratique et dans la mesure où la pratique les confirme, contribuent à leur tour à un enrichissement et à un élargissement de l'expérience minière.

Cela est tellement vrai que le critère principal qui nous a guidé dans l'établissement de la théorie a été de recouper ou de retrouver les enseignements pratiques suggérés par l'expérience et l'intuition des mineurs. Vers les années 50, il était devenu à la mode d'appliquer les méthodes du calcul des probabilités à l'estimation des gisements. Une transposition maladroite et brutale de ces méthodes aboutissait à certaines recommandations ahurissantes, et tout-à-fait contraires à l'expérience. Par exemple, pour reconnaître un gisement par sondages, on conseillait de tirer au sort l'implantation de chaque sondage (c'est-à-dire, très exactement, de les implanter n'importe où). Naturellement, les mineurs n'ont rien voulu savoir et ont continué à implanter leurs sondages selon des mailles régulières. En fait, la géostatistique permet de démontrer qu'effectivement les mailles régulières donnent de meilleurs résultats.

Ou bien encore, on disait : la précision dépend uniquement du nombre d'échantillons prélevés, et varie comme la racine carrée de ce nombre. C'était une transposition maladroite de la théorie des erreurs (4 analyses chimiques donnent une précision deux fois plus grande, etc ...). Par exemple, si l'on avait un gisement reconnu par un seul sondage, il suffirait de découper les carottes en tronçons de 5 millimètres au lieu de 50 cms, pour avoir 100 fois plus d'échantillons, donc une précision 10 fois meilleure. Naturellement, cela est faux. La multiplication des échantillons ainsi obtenus est illusoire, et ne fait que répéter indéfiniment la même information, sans rien apporter de plus. La géostatistique démontre, effectivement, que les tronçons de 5mm donnent la même précision sur le gisement que les carottes de 50 cms, comme n'importe quel mineur le comprend d'instinct.

La deuxième demande : ne pas opposer géostatistique et géologie, et surtout ne pas dire : puisqu'on a la géostatistique, ce n'est plus la peine de faire de la géologie. En fait, géostatistique et géologie sont, très exactement, complémentaires. Pour définir les traits structuraux d'un ensemble minéralisé, les méthodes géologiques sont irremplaçables. Or, pour travailler de manière efficace, le géostatisticien a besoin de se ramener à des ensembles homogènes, c'est-à-dire à des unités structurelles. Ces unités, il ne pourrait les définir lui-même qu'au prix d'un travail prohibitif, et, le plus souvent, il n'y parviendrait même pas. Il a besoin du géologue, le cadre dans lequel va s'exercer son travail doit être délimité au préalable par le géologue. Je pense, par exemple, aux résultats remarquables que donne l'analyse des séquences lithologiques. Ces résultats, que le géostatisticien n'aurait pas pu obtenir par ses propres méthodes de travail, lui fournissent un cadre général et une base de départ infiniment précieuse pour une étude géostatistique du bassin. Mais inversement, une telle étude géostatistique, en tant qu'elle lui fournirait des éléments chiffrés, pourrait être très utile ^{au} géologue. On parle, par exemple, de minéralisation régulière, ou plus ou moins discontinue. Il n'est pas mauvais de pouvoir mesurer ce caractère de plus ou moins grande continuité, et cela la géostatistique peut le faire. De même, la géostatistique permet de mettre en évidence certaines anisotropies dans la répartition spatiale d'une minéralisation : directions préférentielles, runs, zonalités. Il serait extrêmement intéressant d'en donner une interprétation géologique, en liaison avec une paléotopographie des lignes de courants, etc ... Il y a là un domaine de recherche qu'il serait fructueux

d'approfondir, et qui pourrait conduire à des applications pratiques importantes. Des recherches de cette nature sont en cours, en particulier, chez les pétroliers.

PRINCIPES DE BASE DE LA GEOSTATISTIQUE

HISTORIQUE

Il est temps maintenant de préciser un peu en quoi consiste cette géostatistique. Si vous le voulez bien, je commencerai par en exposer rapidement les principes généraux, puis je reviendrai sur les applications pratiques dont j'ai déjà un peu parlé, et, pour terminer, je dresserai un programme sommaire de travail pour l'adaptation de ces méthodes au cas du bassin de Lorraine.

Historiquement, on peut dire sans doute que la géostatistique est aussi vieille que l'art des mines lui-même. Dès que les mineurs se sont préoccupés de prévoir à l'avance les résultats de leurs travaux à venir, et, plus particulièrement, dès qu'ils ont commencé à prélever et à analyser des échantillons, et à calculer des teneurs moyennes pondérées par des puissances et des zones d'influence, on peut dire que la géostatistique était née. De fait, soulignons bien que ces méthodes traditionnelles conservent leur valeur : loin de les réfuter, comme je vous l'ai dit, les développements modernes de la géostatistique les ont, dans leur ensemble, confirmées : simplement, on est allé plus loin dans la même direction.

Le premier changement s'est produit lorsque l'on a songé à appliquer au problème de l'estimation des gisements les techniques du calcul des probabilités classiques : si une application maladroite de ces techniques a parfois conduit à des absurdités, comme je vous l'ai signalé tout-à-l'heure, il est indéniable que, dans l'ensemble, les résultats ont été fructueux. C'est même un peu un paradoxe, car, en fait, les méthodes statistiques classiques ne sont pas applicables à ce problème. En réalité, l'Ecole d'Afrique du Sud, qui a obtenu les résultats les plus notables avec KRIGE, SICHEL et le hollandais de WIJS, disait et croyait qu'elle appliquait la statistique classique, mais les méthodes qu'elle mettait au point en différaient no-

tablement, et s'adaptaient spontanément à leur objet.

Le deuxième changement s'est manifesté quand on a clairement réalisé que la statistique classique n'était pas directement utilisable. La géostatistique a commencé à élaborer ses propres méthodes, et son propre formalisme mathématique, qui n'est pas autre chose qu'une mise en forme abstraite et une systématisation de l'expérience minière séculaire. On est ainsi parvenu à une doctrine efficace d'application pratique, bien au point pour les mines métalliques (gisements à caractère hydrothermal). Ces méthodes se répandent : en France, le B.R.G.M. et, pour l'uranium, le C.E.A. les utilisent systématiquement, tandis que les sociétés minières y viennent peu à peu.

Le troisième changement décisif doit être, à mon avis, marqué par l'extension aux grands gisements sédimentaires des méthodes ainsi mises au point. Le sujet est à l'ordre du jour. Les pétroliers, en particulier, s'y intéressent vivement et ont commencé leurs propres recherches. Le bassin de Lorraine constitue un champ de recherche tout indiqué, et les résultats obtenus l'an dernier sont déjà très encourageants. Il ne serait pas mauvais, en ce domaine, de prendre de vitesse Russes et Américains.

PRINCIPES DE BASE

La géostatistique peut être définie comme l'étude de la manière dont se répartissent dans l'espace les grandeurs utiles au mineur ou au géologue : par exemple une teneur en Fer, SiO_2 , Ca O, l'indice, la puissance de la minéralisation payante, etc ... L'accent est mis sur le caractère spatial. Dans un traitement statistique ordinaire, on prend les teneurs des échantillons et on fait abstraction de l'endroit où ils ont été prélevés. Cela ne suffit pas : il ne suffit pas de savoir avec quelle fréquence une teneur donnée se rencontre dans un gisement. Il faut savoir aussi de quelle manière les teneurs se succèdent sur le terrain et, en particulier, quelle est la taille et la position des zones payantes. Au point de départ de la théorie, on trouve ainsi la reconnaissance d'un fait : l'impuissance de la statistique ordinaire à rendre compte de l'aspect spatial du phénomène, qui est justement l'aspect le plus important.

... / ...

D'une manière plus précise, l'objet du calcul des probabilités classiques, c'est l'étude des variables aléatoires. L'exemple simple du jeu de pile ou face montre très bien de quoi il s'agit. Si c'est pile, je marque + 1, si c'est face, je marque - 1. Je n'ai aucun moyen de savoir à l'avance si ce sera + 1 ou - 1, tout ce que je sais c'est qu'il y a une chance sur deux pour que l'un ou l'autre se produise. Une variable aléatoire présente deux caractères essentiels :

- la possibilité de répéter indéfiniment l'épreuve qui attribue une valeur numérique à la variable (je peux lancer la pièce de monnaie aussi souvent que je veux).

- l'indépendance de chacune des épreuves vis-à-vis des précédentes et des suivantes (si les 100 premiers coups ont tous donné pile, le 101^{me} a toujours une chance sur deux de donner face).

Est-ce qu'une teneur dans un gisement possède ces deux caractères ? Il est clair que non. La teneur d'un panneau, en premier lieu, est unique. On ne l'exploite qu'une fois, et la possibilité de répéter indéfiniment l'épreuve n'existe pas. Si, au lieu d'un panneau, il s'agit de la teneur d'un échantillon, d'un rainurage, par exemple, il en est exactement de même, puisque la teneur, en un point donné de coordonnées (x,y) est unique et bien déterminée. Cependant, on peut prélever un deuxième échantillon à côté du premier, puis un troisième, etc ..., ce qui donne la possibilité apparente de répéter l'épreuve. En réalité, il ne s'agit pas exactement de la même épreuve, mais d'une épreuve légèrement différente. Mais, même si on admet cette possibilité de répétition, le deuxième caractère ne sera sûrement pas respecté. Deux échantillons voisins ne sont certainement pas indépendants. Ils ont tendance, en moyenne, à être riches tous les deux si on les a prélevés dans un panneau riche, et inversement.

Ainsi donc, une teneur ne peut pas être assimilée à une variable aléatoire. Nous parlons de variables régionalisées, précisément pour mettre l'accent sur l'aspect spatial du phénomène : toute variable régionalisée présente trois caractères :

- en premier lieu elle est localisée : ses variations ont pour théâtre l'espace de la minéralisation (le volume du gisement ou de la couche),

... / ...

- en deuxième lieu, elle peut présenter une plus ou moins grande continuité dans sa variation spatiale, qui se traduira, par exemple, par un écart plus ou moins grand entre les teneurs des deux rainurages voisins envisagés plus haut.

- enfin, elle peut présenter diverses sortes d'anisotropies. Il peut exister une direction préférentielle, le long de laquelle les teneurs varient peu, tandis qu'elles se modifient rapidement le long d'une direction transversale. Ces phénomènes d'anisotropie sont bien connus sous le nom de runs, de zonalités, etc...

A ces caractères généraux des variables régionalisées, nous pouvons, dans le cas du bassin lorrain, ajouter les traits spécifiques des gisements sédimentaires :

- En premier lieu, citons la stratification. La stratification en grand donne des couches, individualisables et exploitables séparément. A l'intérieur de chaque couche, elle se traduit par l'existence de bancs, qui se succèdent verticalement, séparés par des surfaces de discontinuités. La teneur, quasi constante à l'intérieur d'un banc, varie brusquement au passage d'un banc à l'autre. Ce phénomène paraît très banal et très familier : mais il est fondamental. Une formulation théorique du problème qui n'en tiendrait pas compte passerait à côté du réel.

- A ces discontinuités verticales, matérialisées par les joints stratigraphiques, s'ajoutent les discontinuités latérales dues à la terminaison lenticulaire des bancs. Il est rare qu'un banc individuel puisse être suivi sur plus de quelques centaines de mètres. Tôt ou tard, il se termine, et un banc différent le relaye. Ce phénomène de relai des bancs semble traduire, à chaque niveau stratigraphique, un compartimentage de l'aire de sédimentation en micro-bassin évoluant de façon plus ou moins autonome. Les études faites l'an dernier ont permis d'attribuer à ces microstructures des dimensions de quelques centaines de mètres.

- Lorsque les terminaisons latérales de plusieurs bancs d'une même couche se produisent à peu près à l'aplomb d'une même verticale, on observe le phénomène du seuil de teneur : à une zone où les teneurs en Fer variaient peu, dans une gamme de 33 % - 35 %, par exemple, succède sans transition un panneau à 28 % - 30 %. Mais souvent aussi les différents bancs d'une même couche évoluent et se relayent indépendamment les uns des autres. Les discontinuités latérales n'étant plus superposées, la teneur globale de la couche offre l'apparence d'une variation continue.

Ces différents aspects spécifiques de la distribution spatiale des variables régionalisées, profondément étrangers au calcul des probabilités classiques, la géostatistique doit obligatoirement en rendre compte, sous peine d'être inefficace. Elle y parvient à l'aide d'un outil mathématique simple, le variogramme.

LE VARIOGRAMME

C'est une courbe qui représente le degré de continuité de la minéralisation. On porte en abscisse une distance d , et en ordonnée la valeur moyenne du carré de la différence des teneurs des échantillons prélevés à la distance d l'un de l'autre. C'est une courbe croissante, puisque deux échantillons ont, en moyenne, des teneurs d'autant plus différentes qu'ils sont plus éloignés. L'allure de cette courbe donne une image de la manière dont les teneurs se modifient avec la distance. Plus précisément :

- La plus ou moins grande régularité de la minéralisation est représentée par le comportement plus ou moins régulier du variogramme au voisinage de l'origine.

- Le variogramme n'est pas forcément le même dans les différentes directions de l'espace. En étudiant comment il se déforme quand on change la direction, on met en évidence des directions préférentielles, des runs, des zonalités (anisotropie).

- Les caractères structuraux se reflètent aussi sur cette courbe. Les phénomènes liés à l'existence de micro-bassins de sédimentation autonomes (relai des bancs et seuil de teneur) se manifestent, sur les variogrammes expérimentaux, par un palier de la courbe au delà d'une distance égale au diamètre moyen d'un micro-bassin (portée) : et le fait que ces portées ne soient pas les mêmes dans les différentes directions permet de déterminer les directions d'allongement et la forme moyenne de ces micro-bassins.

Cet outil, le variogramme, ne représente pas la totalité, ni les détails locaux du phénomène, mais il rend compte de ses caractères essentiels. Il en est comme de l'analyse harmonique d'un phénomène vibratoire. Chaque harmonique comporte d'une part une phase, de l'autre une amplitude. La configuration locale de la vi-

bration dépend au plus haut point des phases, mais l'énergie ne dépend que du carré des amplitudes. La courbe spectrale, qui donne le carré des amplitudes, c'est-à-dire l'énergie, des harmoniques ne décrit pas tout le phénomène, mais elle rend compte de l'essentiel (c'est-à-dire des caractéristiques énergétiques). Le variogramme joue exactement le rôle de cette courbe spectrale.

MISE EN OEUVRE PRATIQUE

Le variogramme permet de donner un sens précis à la notion traditionnelle de zone d'influence d'un échantillon. La croissance plus ou moins rapide du variogramme avec la distance représente exactement la manière plus ou moins rapide dont se détériore l'influence d'un échantillon donné sur des zones de plus en plus lointaines du gisement. Il en résulte un moyen de calcul précis des erreurs d'estimation probables. Prenons une rainure au centre d'un panneau. Elle le représente d'autant mieux que sa teneur diffère moins des diverses teneurs des différents points du panneau. L'erreur quadratique moyenne est liée à la valeur quadratique moyenne de la différence des teneurs de la rainure et des différents points du panneau. On montre qu'elle ne dépend que du variogramme, et peut s'en déduire par intégration. Nous n'entrons pas dans le détail de ces calculs, qui constituent la technologie propre de la géostatistique. Soulignons seulement que l'erreur probable dépend de deux facteurs :

- 1/- L'allure du variogramme lui-même, qui représente la manière d'être de la minéralisation. L'erreur est plus forte si le variogramme est moins régulier à l'origine (minéralisation plus discontinue).
- 2/- Géométrie du réseau de prélèvement (et son adaptation aux anisotropies)

De même, si l'on veut Kriger, c'est-à-dire, estimer un panneau à partir de plusieurs échantillons, les uns intérieurs, les autres extérieurs, le variogramme donne une mesure précise de l'influence de chacun d'eux sur le panneau, et, par le calcul, on en déduit les coefficients de pondération conduisant à la plus faible erreur probable possible et la valeur de cette erreur. D'où possibilité de prévoir l'erreur, et de recommander une maille.

PROGRAMME DE TRAVAIL DANS LE BASSIN LORRAIN.

L'étude géostatistique du bassin a été entreprise l'an dernier en liaison avec l'Ecole des Mines de Nancy. Après une période de formation théorique, trois élèves ont consacré leurs sept semaines de stage à un travail pratique, d'expérimentation et de mise au point des méthodes sur les trois concessions de Marron, Saizeray et Murville. L'objectif était triple :

- pédagogique : former de jeunes géostatisticiens, et, plus généralement, donner à de jeunes ingénieurs le goût et la pratique de la recherche appliquée.

- scientifique : mettre au point progressivement des méthodes de travail applicables aux gisements sédimentaires.

- pratique : essayer de résoudre les problèmes qui nous seraient posés par les exploitants.

Les résultats obtenus ont été assez encourageants pour que l'Ecole porte de 3 à 7 le nombre des élèves chargés de continuer, cette année, les recherches entreprises. Ces résultats ont permis de déterminer un modèle de variogramme capable de représenter convenablement les caractéristiques des couches étudiées. L'utilisation de ce modèle a conduit à la mise au point de méthodes et de formules pour le choix d'une maille de sondage, en vue de la reconnaissance d'une concession avec une précision donnée, et le choix d'une maille de rainurage pour le krigeage, c'est-à-dire l'estimation d'un petit panneau correspondant, par exemple, à une production d'un mois. Il apparaît cependant comme nécessaire de continuer ce travail cette année, et d'examiner d'autres concessions, à la fois pour confirmer et roder les méthodes, et pour faire bénéficier d'autres exploitants des résultats obtenus. Il convient, par ailleurs, d'entreprendre l'étude d'un problème qui n'a pas été abordé l'an dernier : l'évolution des réserves en fonction de l'abaissement de la teneur limite. Il s'agit là d'un problème plus difficile, mais dont l'intérêt pratique pourrait devenir considérable au moment où l'on s'intéresse de plus en plus aux méthodes d'enrichissement.

Briey, le 8 Janvier 1963.

G. MATHERON.