

7/75

20x

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MINES ET METALLURGIE

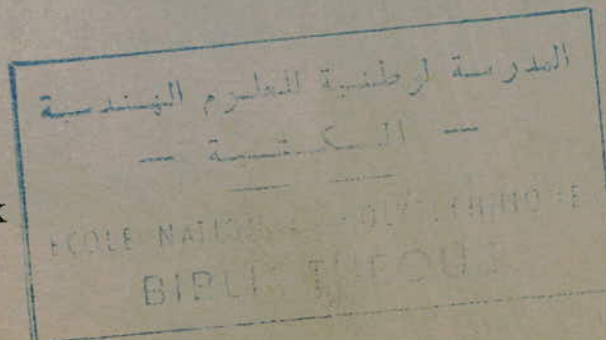


Projet de Fin d'Etudes présenté par Youcef HADJERSI

Etude geostatistique du
gisement de fer de gara -
djebilet

4 PLANS

Sujet proposé :
par M. GUERRAK



Dirigé :
par M. OUSSIKOV
et DESCHAMPS

RA STRONG

imam Jorron

EXTI

Guer

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MINES ET METALLURGIE

Projet de Fin d'Etudes présenté par Youcef HADJERSI

Etude geostatistique du
gisement de fer de gara-
djebilet

Sujet proposé:

par M. GUERRAK

Dirigé:

par M. OUSSIKOV

et M. DESCHAMPS

JE DEDIE CE TRAVAIL A MA MERE
ET A LA MEMOIRE DE MON PERE

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis de remercier, dans ce modeste travail, toutes les personnes qui ont bien voulu m'accorder leur aide. Je remercie, particulièrement, Monsieur OUSSIKOV pour les conseils qu'il m'a prodigué tout au long de cette étude. Que tous les professeurs ayant contribué à ma formation, particulièrement les professeurs du département Mines et Métallurgie, trouvent dans ce travail l'expression de ma profonde gratitude.



TABLE DES MATIERES

1.Introduction	(17)
2.Partie géologique	(3)
2.1.Description géologique	
2.2.Prospection et évaluation du gisement	
2.3.Hydrogéologie	
3.Estimation mathématique des données de la prospection	(16)
3.1.Introduction	
3.2.Etude par la statistique classique	
3.2.1.Présentation	
3.2.2.Etablissement de la loi de référence des grandeurs	
3.2.3.Erreurs commises à l'estimation des grandeurs	
3.2.3.1.Puissance	
3.2.3.2.Teneur	
3.2.3.3/ Réserves de minerai	
3.2.4.Corrélation entre les différents paramètres géologiques	
3.3.Etude géostatistique	(38)
3.3.1.Présentation	
3.3.2.Estimation des constituants aléatoires	
3.3.3.Etude de la répartition spatiale des puissances et des teneurs	
3.3.4.Estimation des erreurs	
3.3.5.Conclusion	
3.4.Analyse de la maille de prospection	65
4.Conclusion	69

I N T R O D U C T I O N

Depuis peu de temps, on a commencé à utiliser des méthodes mathématiques à l'étude des gisements (début 20e Siècle).

Ces études ont débuté par l'utilisation des méthodes par la statistique classique. A l'heure actuelle, on a élaboré de nouveaux modèles mathématiques plus valables que les précédents parce que, dans ce cas, on tient compte de toutes les particularités de la répartition spatiale des grandeurs géologiques étudiées (G. MATHERON, KRIDGE, CARLIER, D. RODIONOV,..).

L'étude géostatistique a pour but de traiter mathématiquement les données que fournit une prospection de gisement. Ces données sont des grandeurs géologiques (puissance, teneur, accumulation, densité,...) avec lesquelles on détermine les réserves de minerai ou de métal.

Nous entendons par traitement mathématique, le calcul d'estimation des erreurs commises à l'étude des paramètres géologiques.

Avec ces nouveaux modèles mathématiques, on traite les problèmes suivants :

- le contrôle de l'échantillonnage
- la représentation de l'évolution des paramètres géologiques dans un espace considéré par représentation d'un trend ou d'un plan en isolignes.
- la corrélation entre les grandeurs géologiques.
- la vérification des méthodes adoptées pour le calcul des réserves.
- L'analyse de la maille de prospection.

Tous les problèmes précédents, exempté le contrôle de l'échantillonnage, seront étudiés, avec un maximum de détails, dans notre travail.

Comme objet d'étude, nous avons choisi les données de la prospection du gisement de fer de GAR-DJEBILET. Nous ne prendrons en considération que la partie orientale du gisement Centre, car c'est la partie qui a été la plus explorée.

Le gisement de fer de GARA-DJEBILET est connu comme étant un gisement énorme, avec des réserves de minerai de l'ordre de deux (2) milliards de tonnes et des teneurs en fer assez élevées.

Découvert en 1952, son exploitation n'a toujours pas commencée. Ceci est dû surtout :

-- au problème du traitement : le minerai de fer contient un élément nuisible, le phosphore, dont la teneur moyenne est d'environ 0,8 % dans l'ensemble du gisement.

-- aux conditions économiques de la région : manque d'eau, peu de population, insuffisance des moyens de communication.

La construction de la voie ferrée reliant GARA-DJEBILET au Port d'Arzew, laisse à penser que l'exploitation de ce gisement se fera dans un avenir proche.

Nous espérons que cette étude donnera quelques renseignements nécessaires à l'exploitation future de ce gisement.

Vu la découverte d'un nouveau gisement dans le pays, du même type générique et industriel que le gisement de GARA-DJEBILET, dont les réserves sont encore inconnues, nous espérons, d'après notre étude, déterminer la maille de prospection nécessaire et suffisante à l'étude préliminaire et détaillée de ce nouveau gisement.

2. PARTIE GEOLOGIQUE/

2.I. Description Geologique

2.I.I. Généralités

Le gisement de Gara-Djebilet est situé au Sahara Occidental à 150 km au Sud-Est de Tindouf. Il est ainsi dans une région très aride : moyenne de 50mm de chute de pluie annuelle. Pour cela, la population est très réduite dans ce type de région.

L'infrastructure routière est inexistante à l'exception d'une piste entre Tindouf et le gisement, et une route goudronnée reliant Béchar à Tindouf. Le chemin de fer ne descend pas plus loin que Béchar.

Les conditions économiques actuelles de la région sont défavorables. Le territoire représente un immense plateau coupé d'Ouest en Est par quelques Cuestas. Il est constitué de trois grandes unités géologiques :

Le massif cristallin précambrien des Eglabs affleurant au sud du gisement, est constitué de : granits, gneiss, schistes, sa couverture Paléozoïque au centre ; on y rencontre tous les terrains de la série primaire du Cambrien au Carbonifère moyen.

Au nord les terrains des hammadas, horizontaux, d'âge tertiaire et quaternaire. C'est sur la bordure méridionale de la couverture paléozoïque qu'apparaît le niveau ferrugineux formant le gisement de Gara-Djebilet.

2.I.2. Géologie régionale

Les caractères de la géologie générale sont principalement :

2.I.2.1. L'antécambrien : dans cette unité, on peut distinguer deux séries anciennes, généralement métamorphiques, séparées par une discordance :

la série de CHEGGA : la plus ancienne

la série du Yetti : plus récente

L'essentiel du massif antécambrien est constitué par la série du Yetti dont l'épaisseur s'accroît sensiblement vers l'Ouest, elle est formée de roches métamorphiques contenant fréquemment de la magnétite.

2.I.2.2. Le primaire : il est sub-horizontale et repose en discordance sur l'antécambrien.

du nord et au sud de la dorsale cristalline, les caractères

de cette formation sont différents. Au nord elle débute par des grés et quartzites épais de 0 à 100 mètres. Au sud, sur des centaines de kilomètres, tout au long de la dorsale, on rencontre un ensemble de grés et calcaires dolomitiques dont l'épaisseur atteint souvent 1000 mètres. Les faits les plus remarquables du primaire sont: la discontinuité de la puissance des grés cambro-ordovi-ciens, l'allure transgressif vers l'Est des schistes Gothlandiens, le facies nettement transgressif des grés sigéniens, l'émersion à l'Emsien du sud du gisement, aux GARAS centre et Ouest, la transgression Eifélienne

le Dévonien Inférieur présente une puissance totale comprise entre 90 et 150 mètres. Il débute par des schistes et grés fins avec des intercalations de petits lits ferrugineux oolithiques, au dessus vient une série plus gréseuse avec niveaux de Calcaires et argiles, et des grés grossiers que se sont développées les lentilles de minerai de fer oolithique. La stratification entrecroisée est fréquente dans cet étage. Le pendage général des séries est faible: de 2 à 4 degrés. La tectonique est pratiquement inexistante dans le primaire. Dans le Cambrien, on voit un ensemble de cassures peu importantes. La faille la plus importante a un rejet d'environ 13 mètres.

2.1.3. Géologie du gisement.

Le gisement affleure d'Ouest en est sur une quarantaine de kilomètre à la base d'une série primaire qui frange au nord le massif granitique et cristallin des Eglabs. Il se trouve sur le flanc sud du Synclinal de Tindouf. C'est un gisement de fer sédimentaire constitué en général par du minerai oolithique.

2.1.3.1. Stratigraphie (cf planches A ET B.)

le gisement de fer de Gara-Djebilet appartient au sommet du Dévonien inférieur, à savoir l'Emsien. La formation oolithique est comprise entre deux niveaux lithologiquement différents: au mur ce sont des argiles, au toit ce sont des grés.

Les couches du mur sont représentées par un minerai oolithique non magnétique. Leur épaisseur varie de 0 à 10 mètres. Ces couches se composent de deux types de minerais différents: un minerai ocreux à la base, constitué d'oolithes chloriteuses auréolées de limonite. Leur ciment est la sidérite. La teneur en fer varie de 40 à 52%. Un minerai gris-rouge finement oolithique au sommet. Leur ciment est représenté par de la sidérose et de la chlorite collée aux oolithes.

oolithique riche en magnetite, de couleur noir-verdatre, brun-rouge ou gris. Ce minerai forme les Couches Magnétiques d'épaisseur comprise entre 6 et 10 mètres. On peut y rencontrer trois sortes d'oolithes:

des oolithes à nucléus de chlorite et enveloppes de magnétite.
des oolithes, plus rares, à magnétite, sidérose et chlorite. La teneur moyenne pour le gisement centre est de 57,7%, tandis qu'à l'Ouest elle est de 50%. La totalité des réserves à haute teneur se trouve concentrée dans les couches magnétiques. Surmontant les couches magnétiques, on rencontre les couches dites couches du toit. Leur puissance varie de 5 à 15 mètres. Ce sont des couches oolithiques, riches en sidérose associée à la magnétite et l'hématite; les noyaux des oolithes sont chloriteux. Le ciment est formé de sidérose et d'hématite. Les minerais du toit ont des teneurs de 56% au contact des couches magnétiques; en général ces teneurs ne dépassent pas 50% en fer.

2.1.3.2. DESCRIPTION des gîtes du gisement (cf planche C)

Le gisement est constitué principalement de trois cuvettes de sédimentation: GARA Ouest, GARA Centre et GARA Est.

La GARA Ouest a une longueur de 14 kilomètres et une largeur moyenne de 1500 Mètres à l'Ouest et 6 kilomètres à l'Est. Au sud, une falaise surplombant de plusieurs dizaines de mètres la série paléozoïque, limite le bassin. Au nord, le minerai est presque en affleurement. L'épaisseur de la couche de minerai à plus de 50% en fer, varie de 0 à 12 mètres. La pente des couches est faible: 1 à 1,5% Nord-Est.

La GARA Centre ou GARA Djebilet est séparée du premier bassin par 9 km500 de stérile. Elle présente une longueur de 17 km600 d'Ouest en Est avec une largeur moyenne de 3 km400. L'épaisseur de la couche de minerai homogène peut atteindre 21 mètres. La couche de minerai s'enfonce vers le nord-Est avec un pendage moyen de 2% sous des formations gréseuses. La bordure Sud du gisement est constituée par une falaise moins importante que la précédente. La GARA Est, séparée par 8 kilomètres environ du bassin central, à une longueur de 7 kilomètres et une largeur moyenne de 1 kilomètre. La totalité de cette lentille est en affleurement.

D'autres lentilles existent aussi dans cette région:

GARA Befraa, Bou Bernous, Gour Jiffa, ...

2.1.4. Etude du minerai

2.1.4.1. Caractéristiques physiques

.Aspect physique: le minerai magnétique de GARA-Djebilet est un minerai oolithique, poreux, de teinte foncée; il est noir bleuté quand il est très riche, noir verdâtre lorsqu'il contient de la chlorite, brun noir ou noir rougeâtre lorsqu'il contient de l'oligiste. Quand il contient beaucoup de sidérose et d'apatite, il devient moins magnétique et présente une couleur grisâtre.

.Densité apparente: c'est la densité du minerai en place compte tenu des vides; dans GARA-Centre elle varie entre 3,5 et 4,3 suivant la teneur: la densité moyenne pour un minerai de 57% de fer est voisine de 3,8. Pour le minerai de GARA-Ouest, elle varie de 3,2 à 3,9; Pour un minerai à 58% de fer, la densité moyenne est de 3,5. Densité vraie: c'est la densité propre du minerai lorsqu'on ne tient pas compte de sa porosité. Suivant la teneur en fer, cette densité varie entre 4 et 4,8 pour GARA-Centre et pour GARA-Ouest, elle est comprise entre 4 et 4,4.

.Porosité: Elle varie beaucoup suivant la composition des minerais. Pour GARA-Centre, la porosité moyenne est de l'ordre de 15%, et de 18% pour GARA-Ouest.

Humidité: en supposant que tous les pores sont remplis d'eau, la teneur en humidité est comprise entre 2 et 8%. La moyenne est de 5%.

.Dureté: les minerais magnétiques sans sidérose sont peu résistants et faciles à forer. Les minerais à sidérose sont compacts et plus résistants. Au sein des couches à magnétite, les intercalations chloritiques sont compacts et difficiles à forer. Les grès du toit sont peu compacts et faciles à forer.

2.1.4.2. Composition minéralogique et chimique.

2.1.4.2.1. Composition minéralogique. Presque tous les minéraux visibles au microscope contiennent du fer.

Dans les zones de la couche utile qui n'ont pas été soumises à l'altération superficielle, ce sont les minéraux suivants:

Magnétite: finement cristallisées^{se}, présentant souvent des formes cubiques, Elle se rencontre généralement dans les oolithes et rarement dans le ciment. C'est le minéral le plus intéressant par sa teneur en fer élevée et ses propriétés magnétiques.

Hématite rouge: elle apparaît sous des formes très variées (formes terreuses, oligiste en lamelles) au cœur des oolithes ou dans le ciment.

.../...

Oxydes hydratés: ce sont la gæ thite, limonite relativement peu importants.

Divers Chlorites: du groupe de la chamosite, elle apportent la silice et l'alumine. La formule chimique approximative de la chamosite est: $(Si_2 Al_2) O_{10}(OH)_8(Fe,Al)$: sa teneur en fer est de 32%.

Sidérite: c'est un carbonate de fer($FeCO_3$) qui apparait en lenticles dans le ciment et les oolithes. La sidérite apporte au minerai la totalité de son anhydride carbonique. Le seul minerai non ferrifère important du minerai est l'apatite, phosphate de calcium; il apporte le phosphore (p) et le calcium sous forme de CaO . L'eau de constitution vient à la fois de la chlorite et de la gæ thite.

Dans les zones où le minerai magnétique affleure, l'altération superficielle s'est traduite par l'oxydation maximum de tous les minéraux: la sidérite s'est transformée en limonite, la chlorite en digiste et en argile, et surtout la magnétite s'est oxydé en maghémite.

En règle générale, il s'agit de minerais oolithiques ayant plus ou moins subi des phénomènes d'oxydation. La sidérite et la chlorite constituent à l'origine les oolithes. Ces deux éléments ont été oxydés en $Fe_2 O_3$ et $Fe_3 O_4$.

2.1.4.2.2. Composition chimique. L'analyse chimique, faite par le laboratoire de la SONAREM, pour le minerai magnétique de GARA-Djebilet, à donné les valeurs moyennes résumées dans le tableau ci-dessous. De ce tableau et de l'établissement des histogrammes des teneurs en éléments utiles (Fe, P, Al_2O_3 , SiO_2 ,...) il ressort que le minerai présente une assez bonne homogénéité.

Tableau des teneurs en éléments utiles (Fe, P, Al_2O_3 , SiO_2 ,...) du minerai magnétique de GARA-Djebilet.

Dans les zones où le minerai magnétique affleure, l'altération superficielle s'est traduite par l'oxydation maximum de tous les minéraux: la sidérite s'est transformée en limonite, la chlorite en digiste et en argile, et surtout la magnétite s'est oxydé en maghémite.

En règle générale, il s'agit de minerais oolithiques ayant plus ou moins subi des phénomènes d'oxydation. La sidérite et la chlorite constituent à l'origine les oolithes. Ces deux éléments ont été oxydés en $Fe_2 O_3$ et $Fe_3 O_4$.

COMPOSITION CHIMIQUE DU MINERAI DE

GARA - DJEBILET

Elément	Teneur Moyennes %		Minerai à Magné- tite		Minerai à Magné- nite		Minerai Inter- diaire.	
	CENTRE	OUEST	CENTRE	OUEST	CENTRE	OUEST	CENTRE	OUEST.
Fe ^{total}	57,3	58,3	57,7	57,9	57,1	58,6	57,1	58,4
Fe ²⁺	-	-	-	17,5	0,7	1,5	12,0	9,2
SiO ₂	4,7	4,9						
Al ₂ O ₃	4,4	4,0						
TiO ₂	0,3	0,3	0,3	0,3				
CaO	1,4	1,4	1,5	1,5	-	1,5	-	1,3
MgO	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,3	-	0,2
P	0,8	0,8	0,8	0,8	-	0,8	-	0,8
S	trace	0,02	tr	0,01	-	tr	-	tr
CO ₂	3,6	2,5	-	2,9	0,4	2,5	2,8	2,1
H ₂ O	3,0	2,9	-	3,3	4,6	3,5	3,4	3,2
MnO	0,3	0,3	-	0,3	-	0,2	-	0,2

2.1.5. GÈNESE DU GISEMENT

2.1.5.1. Formation du gisement.

On admet que le faciès oolithique s'est localisé dans des bassins littoraux de la mer dévonienne au nord du continent précambrien. L'oolithe s'est formé dans les zones profondes, les hauts fonds de ces bassins recevant une sédimentation plus détritique sous forme de grés. Le fer est apporté dans les eaux chaudes par lixivage des minéraux des roches continentales tels que : biotite, amphyboles,

2.1.5.2. Formation du minerai

Dans un premier temps il y a eu précipitation du fer à l'état d'hydroxyde (goëthite) sous forme oolithique. Puis la diagenèse en milieu marin réducteur entraîna une recristallisation sous la forme des oolithes chloritueuses actuelles. Dans le même temps, il s'est formé aussi d'autres minéraux tel que les carbonates (sidérite) et les sulfures (marcassite).

Des éléments secondaires comme le phosphore cristallise en apatite.

Ultérieurement le remaniement supergène a entraîné à partir des précédents éléments, la formation des minerais oxydés tels que: oligiste, maghémite, magnétite,...

2.2. PROSPECTION ET EVALUATION DU GISEMENT

2.2.1. Méthode de prospection

Le reconnaissance du gisement de fer de Gara-Djebilet s'est faite en deux parties:

2.2.1.1. Propection Préliminaire:

Elle a montré l'existence d'un minerai par l'établissement d'une carte d'anomalie
Ces travaux ont composé :

Une étude magnétique aéroportée qui a donné une carte représentant les courbes d'égalité d'intensité du champ magnétique. Cette étude a permis de tracer la carte d'anomalies pour les trois Garas.

Une reconnaissance par puits implantés aux nœuds d'un réseau triangulaire de deux kilomètres de côté pour les Garas Centre et Ouest.

Une reconnaissance par quatre sondages sur la Gara Ouest et cinq sondages sur la Gara Est .

2.2.1.2. Prospection de détail.

Les Garas Ouest et Centre ont été reconnues par une série de sondages au diamant implantés aux nœuds d'un réseau à maille triangulaire de 500 mètres de côté sur la Gara Centre et 750 mètres de côté sur la Gara Ouest.

Sur la Gara Centre, 34 sondages ont été forés en 1953-1954 et 117 autres sondages de 1957 à 1960.

Sur la Gara Ouest, on a foré 53 sondages en 1960 et 1961. Il est à noter que le métrage total foré dépasse 7000 mètres.

2.2.2. Echantillonnage.

Les carottes ont fait l'objet d'un examen minéralogique et pétrographique minutieux. Le rendement de carottage était supérieur à 95% dans la zone riche de la formation. Le poids de la carotte obtenue était de 6 kilogrammes environ. Pour chaque sondage, le prélèvement sur les demi-carottes s'est fait mètre par mètre.

Pour effectuer les analyses, on a opéré de la manière suivante:

Répérage des côtes sur la carotte.

Séparation de la carotte longitudinalement en deux parties égales.

Expédition d'une moitié des carottes au laboratoire, la seconde étant conservée en archive-échantillon.

Les demi-carottes ont été concassées, broyées puis réduites jusqu'à un échantillon représentatif de 200 g. Pour chaque échantillon, l'analyse a été faite pour le fer, la silice, l'alumine, le phosphore, le soufre, le gaz carbonique,...

2.2.3. Contrôles:

Le contrôle a porté sur :

2.2.3.1. Echantillonnage.

Pour un sondage, chaque mètre de minerai a été analysé deux fois par le même laboratoire. La première analyse a porté sur un échantillon de 200 g obtenu par quartage. La seconde analyse a porté sur un autre échantillon de 200 g obtenu, au laboratoire, par broyage des demi-carottes n'ayant pas servi au premier échantillon. Après ces deux analyses, on a remarqué que les différences étaient de l'ordre de grandeur de l'erreur d'analyse et de sens différents. Ceci permet de dire que l'échantillonnage n'introduit pas d'erreur systématique.

2.2.3.2. Analyses.

Une quinzaine d'échantillons, dont les teneurs varient de 43 à 63 %, ont été analysés par six laboratoires différents. On a remarqué qu'il y avait des erreurs d'analyses supportables.

2.2.3.3. Régularité de la Couche.

Pour le contrôle de la puissance de la couche, l'écart observé était de l'ordre décimétrique. Pour le teneur, les écarts étaient de l'ordre des erreurs d'analyses. En conclusion, on peut dire que les erreurs systématiques sont inexistantes. Ceci permettra de faire le calcul des réserves avec une assez bonne précision.

2.2.4. Calcul des réserves.

Le gisement de Gara-Djebilet se présentant sous forme de couches à très faible pendage, les contours des gîtes sont représentés dans le plan horizontal (planche D)

La délimitation de ces contours a été faite par extrapolation limite entre deux sondages voisins.

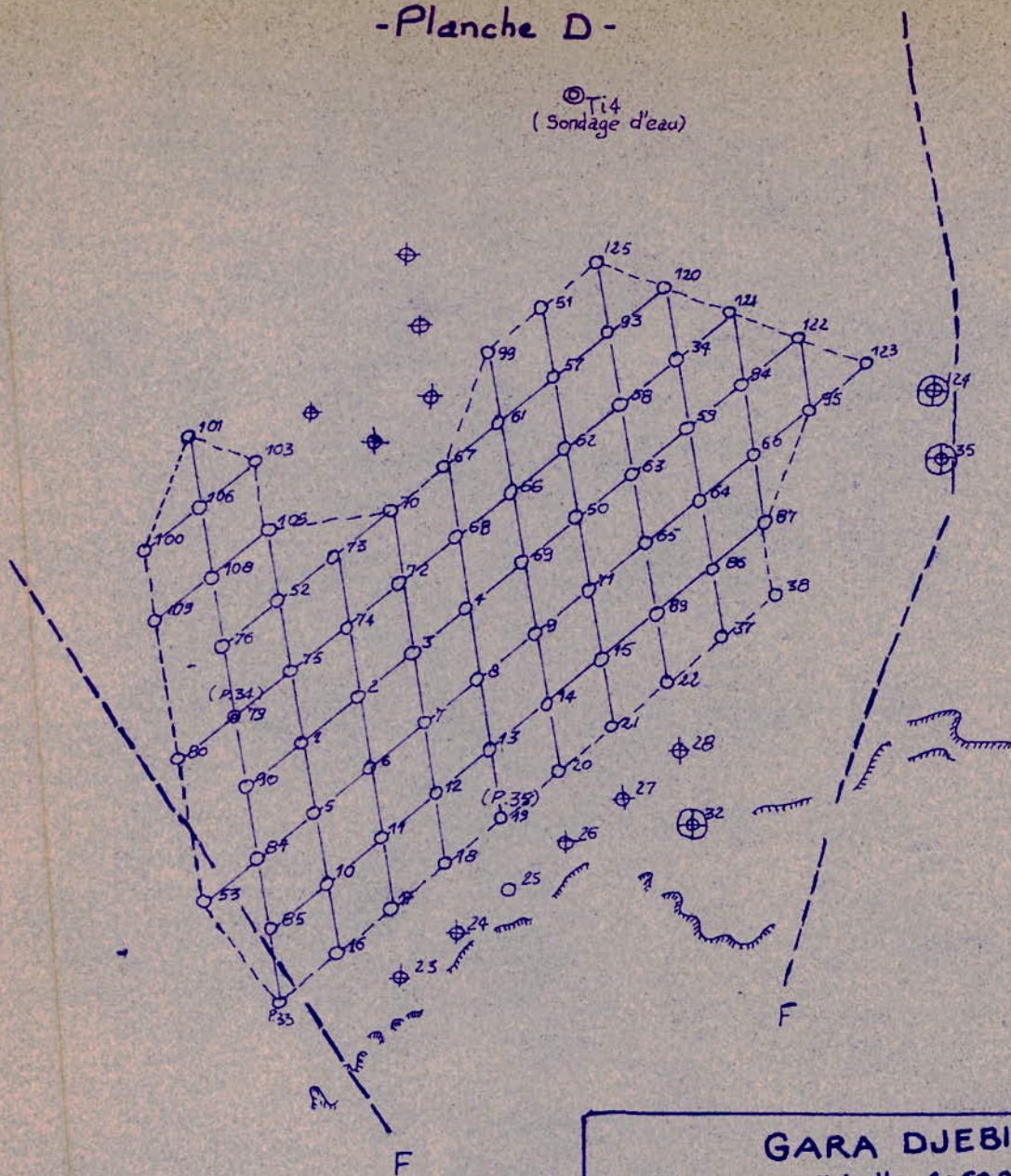
Du point de vue certitude les réserves ont été classés en trois groupes:

- Minerai certain: Zone explorée systématiquement (partie orientale du gisement Centre).
- Minerai probable et très probable: Pour le minerai situé en bordure de la zone explorée systématiquement et pour le minerai situé dans des zones reconnues par sondages espacés (prolongement Ouest du gisement Centre)
- Minerai possible: pour le minerai situé en bordure de la zone considérée comme minerai très probable, reconnue par sondages espacés.

Pour le calcul de ces réserves, on a considéré une densité apparente du minerai égale à 3,3. Cette valeur est inférieure de plus de 10% à celle de la densité apparente moyenne du gisement Centre et inférieure de 6% à celle du gisement Ouest.

- Planche D -

⊙ Ti4
(Sondage d'eau)



GARA DJEBILET

Echelle 1:50.000

--- Limite du gisement calculé

○ Sondages positifs

~~~~~ falaise du Dévonien Inférieur

⊕ Sondages à faible teneur

⊗ Sondages stériles

- / - / - Faille : F



Les réserves, produit du volume par densité ( $Q=V.d$ ), ont été calculées pour les prismes droits ayant pour base des triangles équilatéraux de 500 mètres de côté sur la Gara Centre et 750 mètres de côté sur Gara-Ouest, et Pour arêtes les sondages implantés aux sommets de ces triangles.

Dans le calcul des réserves de minerai certain, seuls les prismes dont les trois arêtes recourent la couche utile, ont été pris en considération.

On a supposé que dans un prisme donné, l'épaisseur de la couche de minerai était égale à la moyenne arithmétique des épaisseurs de la couche utile aux trois sommets, et sa teneur la moyenne arithmétique des teneurs moyennes de la couche utile aux trois sommets.

Ce calcul a donné le tableau suivant :

RESERVES DE MINERAI MAGNETIQUE (en Millions de Tonnes)

|             | Minerai Certain | Minerai Probable<br>et très probable | Minerai Possible | Total |
|-------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|-------|
| Gara-Centre | 380             | 150                                  | 50               | 580   |
| Gara-Ouest  | 375             | 30                                   | -                | 405   |
| Total       | 755             | 180                                  | 50               | 985   |

Etant donné l'épaisseur des terrains stériles qui recouvrent la couche utile, on a effectué un autre calcul montrant la répartition des tonnages de minerai certain suivant le tempérament.

Le tempérament de la couche est le rapport de l'épaisseur de terrains stériles sur la puissance de la couche exploitable.

$$\text{Tempérament} = \frac{\text{Epaisseur des terrain stériles}}{\text{Epaisseur de la couche exploitable}}$$

#### REPARTITION DES TONNAGES CERTAINS PAR TEMPERAMENT

(Million de tonnes)

| Tempérament | Gisement Centre |                 | Gisement Ouest |                 | Total   |                 |
|-------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------|-----------------|
|             | Tonnage         | Teneur en fer % | Tonnage        | Teneur en fer % | Tonnage | Teneur en fer % |
| 0 à 1       | 42,413          | 57,88           | 249,783        | 58,27           | 292,196 | 58,07           |
| 1 à 2       | 111,325         | 57,79           | 66,020         | 58,39           | 177,345 | 58,09           |
| 2 à 3       | 97,716          | 57,78           | 21,915         | 58,31           | 119,613 | 58,04           |
| 3 à 4       | 82,480          | 57,60           | 26,879         | 58,45           | 109,359 | 58,02           |
| 4           | 43,592          | 57,68           | 12,09          | 58,09           | 56,221  | 57,86           |
| Total       | 377,526         | 57,74           | 377,226        | 58,30           | 754,752 | 58,02           |

### 2.3. HYDROGEOLOGIE.

Le problème de l'eau a une grande importance dans des régions désertiques telle que la région de Gara Djebilet.

Le seul point d'eau permanent dans cette région est la source d'Aouinet Legraa située à 40 Km à l'est de Gara Djebilet dont le débit moyen est compris entre 0,5 et 1 l/s. Son eau, légèrement magnésienne est potable.

Un premier forage, le Ti 1, a été exécuté à 20 km au Sud de Tindouf. Ce forage a donné un débit d'une quinzaine de litres par seconde d'une eau dure à teneur en sulfate et chlorure relativement élevée, mais propre à l'alimentation humaine. Ce sondage alimente Tindouf en eau potable.

Deux autres forage ont été exécutés au voisinage de Gara Djebilet. Le Ti 3 à 15 km au Nord Ouest a donné un débit d'environ 1 l/s d'une eau dure acceptable pour la consommation.

Le Ti 4, à 10 Km au Nord - Est, a donné un débit de 1 l/s d'eau douce, de qualité médiocre.

Les besoins en eau pour l'ensemble de la mine future ont été estimés à environ 15 l/s. Il sera alors nécessaire d'effectuer d'autres forages.

Il est à noter que dans la région, on peut situer les réservoirs d'eaux souterraines dans les horizons gréseux suivants:

- Grés Ordoviciens : (Aouinet Legraa)
- Grés Eiféliens : (Ti 3)
- Grés du Viséen Inférieur : (Ti 1).



### 3. ESTIMATION MATHÉMATIQUE DES DONNÉES DE LA PROSPECTION

#### 3.1. Introduction

Le problème fondamental qui se pose au géologue ou au mineur lorsqu'il a reconnu un gisement à partir d'un certain nombre de sondages, est d'évaluer les réserves de minerai, le tonnage de métal et la teneur moyenne du gisement, et de savoir avec quelle précision, l'estimation qu'il a faite représente la réalité.

Les trois grandeurs géologiques citées sont liées par la relation  $T=Q.t$ .

Par expérience, lors de la prospection des gisements, il apparaît toujours des erreurs d'estimation sur les résultats obtenus. Ces erreurs sont principalement:

.Les erreurs techniques.

.Les erreurs d'analogie.

Les erreurs techniques peuvent être accidentelles et systématiques. En pratique, les erreurs accidentelles n'exercent une influence importante sur la précision des réserves que dans le cas d'une petite quantité de mesures. Elles sont compensées mutuellement pour une grande quantité de mesures. Les erreurs systématiques, si elles existent, peuvent fausser fortement la valeur des réserves. Les erreurs techniques apparaissent au cours de la mesure des distances et des surfaces minéralisées, dans la mesure de puissance pour chaque point d'observation, dans le mode de prélèvement, du traitement et de l'analyse de chaque échantillon.

Les erreurs d'analogie apparaissent lorsqu'on considère une série de points d'observation. Elles sont conditionnées par le fait, qu'à toute interpolation des données entre les points d'observation,

.../...

on admet que la forme et les propriétés du corps (exemple de puissance et teneur) se modifient selon l'équation d'une droite. Les erreurs d'interpolation sont les erreurs d'extension des valeurs moyennes de l'épaisseur, du poids volumétrique et de la teneur. Les erreurs d'analogie apportent certaines différences entre les réserves réelles et estimées. Ces différences atteindront une grande valeur pour certains blocs et seront de signe positif ou négatif. Pour le gisement tout entier, elles seront compensées réciproquement.

Les erreurs d'analogie dépendent de la variabilité des grandeurs géologiques, du réseau de recherche et d'échantillonnage ainsi que du nombre de points d'observation. Très souvent on utilise les méthodes de statistique classique pour juger ces erreurs. Récemment, on a commencé à utiliser les méthodes géostatistiques en considérant les grandeurs géologiques comme variables régionalisées.

En général, on peut dire que les erreurs rencontrées dépendent de la variabilité des grandeurs étudiées, dans l'espace du gisement ainsi que de la densité de la maille de prospection.

Pour cela, nous avons été amenés à faire deux études:

.L'ETUDE PAR LA STATISTIQUE CLASSIQUE

.L'ETUDE GEOSTATISTIQUE



# GARA CENTRALE

| Numéro (sondage) | Teneur (%) | Puissance (m) | Recouvrement (m) |
|------------------|------------|---------------|------------------|
| 1                | 57,47      | 14            | 9                |
| 2                | 58,48      | 13            | 5                |
| 3                | 56,08      | 8             | 14               |
| 4                | 56,06      | 13            | 19               |
| 5                | 56,73      | 9             | 10               |
| 6                | 58,72      | 13            | 10               |
| 7                | 57,07      | 11            | 13               |
| 8                | 58,10      | 12            | 22               |
| 9                | 56,74      | 13            | 19               |
| 10               | 57,32      | 7             | 11               |
| 11               | 58,16      | 16            | 8                |
| 12               | 57,42      | 7             | 11               |
| 13               | 56,86      | 10            | 11               |
| 14               | 57,22      | 7             | 17               |
| 15               | 58,06      | 10            | 18               |
| 16               | 57,00      | 8             | 5                |
| 17               | 57,30      | 11,5          | 3,5              |
| 18               | 56,38      | 13            | 6                |
| 19               | 57,56      | 10            | 8                |
| 20               | 57,56      | 10            | 10               |
| 21               | 60,20      | 10            | 17               |
| 22               | 59,48      | 8             | 18               |
| 34               | 58,00      | 9             | 29               |
| 37               | 57,62      | 8             | 20               |
| 38               | 57,80      | 5             | 22               |
| 50               | 57,00      | 9             | 19               |
| 51               | 56,60      | 10            | 36               |
| 52               | 56,80      | 10            | 17               |
| 53               | 57,30      | 5             | 17               |
| 57               | 56,90      | 6             | 31               |
| 58               | 57,50      | 10,5          | 26               |
| 59               | 58,00      | 13,5          | 27               |
| 60               | 58,50      | 10,5          | 28               |
| 61               | 57,40      | 8             | 23               |
| 62               | 57,50      | 8             | 21               |
| 63               | 59,10      | 9             | 24               |
| 64               | 57,20      | 12            | 22               |

| Numéro (sondage) | Teneur (%) | Puissance (m) | Recouvrement (m) |
|------------------|------------|---------------|------------------|
| 65               | 58,50      | 11            | 21               |
| 66               | 59,00      | 9             | 18               |
| 67               | 57,90      | 11            | 25               |
| 68               | 58,70      | 10            | 20               |
| 69               | 56,85      | 10            | 16               |
| 70               | 56,90      | 9             | 19               |
| 71               | 58,20      | 11            | 12               |
| 72               | 57,80      | 14            | 13               |
| 73               | 57,70      | 6             | 18               |
| 74               | 57,50      | 7             | 14               |
| 75               | 56,70      | 7             | 15               |
| 76               | 56,60      | 9             | 18               |
| 77               | 57,00      | 9             | 12               |
| 79               | 56,42      | 5,7           | 8,7              |
| 80               | 57,40      | 4             | 8                |
| 84               | 57,00      | 4             | 6                |
| 85               | 58,30      | 9             | 5                |
| 86               | 59,80      | 10            | 20               |
| 87               | 57,40      | 8             | 20               |
| 89               | 58,10      | 11            | 18               |
| 90               | 57,20      | 8             | 8                |
| 93               | 58,70      | 12            | 31               |
| 94               | 57,20      | 10            | 32               |
| 95               | 59,00      | 6             | 33               |
| 99               | 57,10      | 8             | 30               |
| 100              | 57,60      | 10            | 22               |
| 101              | 57,40      | 10            | 23               |
| 103              | 57,60      | 6             | 23               |
| 105              | 57,10      | 9             | 16               |
| 106              | 55,70      | 7             | 20               |
| 108              | 57,50      | 12            | 23               |
| 109              | 56,70      | 10            | 18               |
| 120              | 57,40      | 10            | 37               |
| 121              | 57,41      | 9             | 34               |
| 122              | 58,20      | 6             | 34               |
| 123              | 58,50      | 8             | 33               |
| 125              | 57,80      | 8             | 36               |
| P. 33            | 56,85      | 34            | 16,2             |

### 3.2. Etude par la statistique classique

#### 3.2.1. Présentation

Si on considère les grandeurs géologiques (teneur, puissance) comme variables aléatoires, c'est à dire indépendantes dans l'espace du gisement, il sera possible d'établir des histogrammes ou courbes de fréquence. Un tel histogramme peut servir comme caractéristique quantitative de la variabilité des grandeurs étudiées. Il peut être traduit par les paramètres principaux d'une distribution statistique: moyenne ( $\bar{X}$ ), écart-type ( $Z$ ), coefficient d'assymétrie ( $\gamma_1$ ), coefficient d'aplatissement ou de Curtosis ( $\gamma_2$ ).

Ainsi la meilleure estimation de l'histogramme sera la forme mathématique de la loi de référence et de ses paramètres.

Pour cela on a proposé de nombreuses expressions mathématiques pour représenter la distribution statistique idéale à laquelle il conviendrait de rapprocher les histogrammes expérimentaux représentant la distribution des grandeurs géologiques. La plus simple d'entre elles est la loi normale ou de Gauss. Les autres lois utilisées sont: lognormale, gamma, binomiale, ...

#### 3.2.2. Etablissement de la loi de référence des grandeurs géologiques

Les données de la prospection du tableau A ont été classées en séries statistiques afin de rendre possible leur étude sous forme d'histogrammes (planches S1 et S2).

##### 3.2.2.1. Calcul des paramètres statistiques

Nous avons utilisé un modèle mathématique simplifié, celui des moments conditionnés. Ces moments vont permettre de calculer facilement les paramètres des distributions.

.../...

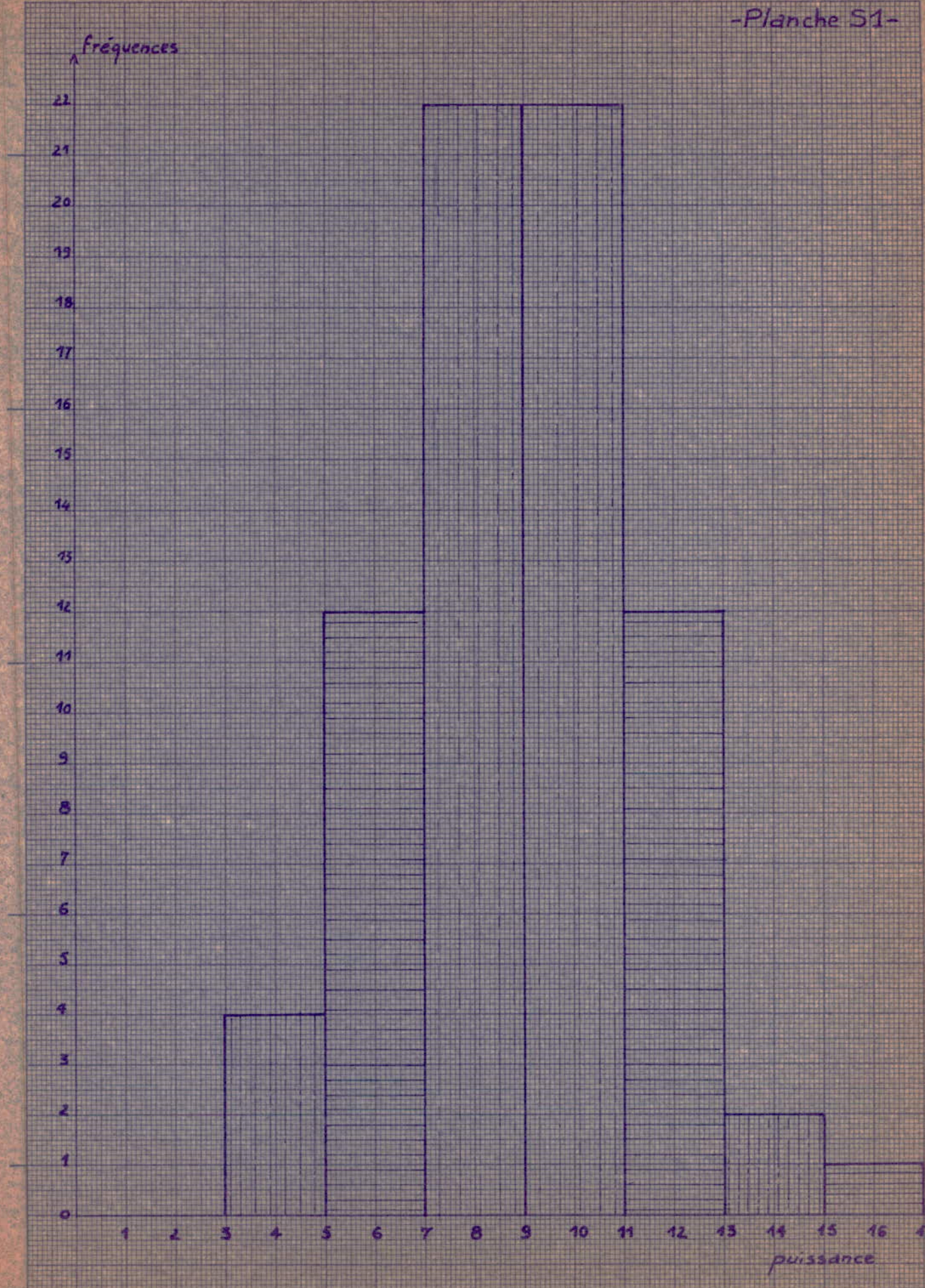


fréquences

22  
21  
20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

puissance





### 3.2.2.I.I. Moments conditionnés

#### I.) Moments conditionnés simples:

On définit le moment conditionné simple d'ordre k par:

$$m'_k = \frac{\sum X_i^k \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \text{avec } m_i : \text{fréquence absolue}$$

Ainsi on aura:

.moment conditionné simple d'ordre 1:  $m'_1 = \frac{\sum X_i \cdot m_i}{\sum m_i}$

.moment conditionné simple d'ordre 2:  $m'_2 = \frac{\sum X_i^2 \cdot m_i}{\sum m_i}$

.moment conditionné simple d'ordre 3:  $m'_3 = \frac{\sum X_i^3 \cdot m_i}{\sum m_i}$

.moment conditionné simple d'ordre 4:  $m'_4 = \frac{\sum X_i^4 \cdot m_i}{\sum m_i}$

#### 2.) Moments conditionnés centrés:

.moment centré d'ordre 1:  $M'_1 = 0$

.moment centré d'ordre 2:  $M'_2 = m'_2 - m_1^2$

.moment centré d'ordre 3:  $M'_3 = m'_3 - 3 \cdot m_1 \cdot m'_2 + 2m_1^3$

.moment centré d'ordre 4:  $M'_4 = m'_4 - 4m_1 m'_3 + 6m_1^2 m'_2 - 3m_1^4$

### 3.2.2.I.2. Paramètres statistiques

En utilisant les moments précédents, les différents paramètres de la distribution seront :

.Moyenne:  $\bar{X} = X_0 + \Delta t \cdot m'_1$

.Ecart-type:  $\sigma = \Delta t \sqrt{M'_2}$

.Coefficient d'assymétrie:  $\gamma_1 = \frac{M'_3}{\sqrt{M'_2^3}}$

.Coefficient d'applatissement:  $\gamma_2 = \frac{M'_4}{M'_2^2} - 3$

.../...



## SERIES STATISTIQUES : PUISSANCE

| Intervalle de Classe | Moyenne des Classes : $t_i$ | Frequence absolue $m_i$ | $X_i' = \frac{t_i - X_0}{\Delta t}$ | $X_i' \cdot m_i$ | $X_i'^2 \cdot m_i$ | $X_i'^3 \cdot m_i$ | $X_i'^4 \cdot m_i$ |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 3 - 5                | 4                           | 4                       | -3                                  | -12              | 36                 | -108               | 324                |
| 5 - 7                | 6                           | 12                      | -2                                  | -24              | 48                 | -96                | 192                |
| 7 - 9                | 8                           | 22                      | -1                                  | -22              | 22                 | -22                | 22                 |
| 9 - 11               | $X_0 = 10$                  | 22                      | 0                                   | 0                | 0                  | 0                  | 0                  |
| 11 - 13              | 12                          | 12                      | 1                                   | 12               | 12                 | 12                 | 12                 |
| 13 - 15              | 14                          | 2                       | 2                                   | 4                | 8                  | 16                 | 32                 |
| 15 - 17              | 16                          | 1                       | 3                                   | 3                | 9                  | 27                 | 81                 |
| $\Sigma$             |                             | 75                      |                                     | -39              | 135                | -171               | 663                |

Ce tableau de calcul pour les puissances nous permettra de trouver facilement les différents paramètres de la distribution.

Intervalle de chaque classe :  $\Delta t = 2$

Moyenne de la classe centrale :  $X_0 = 10$

SERIES STATISTIQUES : TENEUR

| Intervalle de Classe | Moyenne des Classes $t_i$ | Fréquence absolue $m_i$ | $X'_i = \frac{t_i - X_0}{\Delta t}$ | $X'_i \cdot m_i$ | $X_i^2 \cdot m_i$ | $X_i^3 \cdot m_i$ | $X_i^4 \cdot m_i$ |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 55,5 - 56,2          | 55,85                     | 4                       | -3                                  | -12              | 36                | -108              | 324               |
| 56,2 - 56,9          | 56,55                     | 11                      | -2                                  | -22              | 44                | -88               | 176               |
| 56,9 - 57,6          | 57,25                     | 29                      | -1,04                               | -30,16           | 31,37             | -32,62            | 33,92             |
| 57,6 - 58,3          | $X_0 = 57,95$             | 16                      | 0                                   | 0                | 0                 | 0                 | 0                 |
| 58,3 - 59            | 58,65                     | 8                       | 1                                   | 8                | 8                 | 8                 | 8                 |
| 59 - 59,7            | 59,35                     | 5                       | 2                                   | 10               | 20                | 40                | 80                |
| 59,7 - 60,4          | 60,05                     | 2                       | 3                                   | 6                | 18                | 54                | 162               |
| $\Sigma$             |                           | 75                      |                                     | -40,16           | 157,37            | -126,62           | 783,92            |

Ce tableau, semblable au précédent, nous permettra d'établir l'histogramme et de calculer les moments conditionnés.

Intervalle de classe :  $\Delta t = 0,7$

Moyenne de la classe centrale pour que  $X'_i = 0$  :  $X_0 = 57,95$



# CALCUL DES PARAMETRES

| Moments Conditionnés<br>Simples         | Moments Conditionnés<br>Centrés | Puissance |        | Teneur |        |
|-----------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------|--------|--------|
|                                         |                                 | $m'_i$    | $M'_i$ | $m'_i$ | $M'_i$ |
| $m'_1$                                  | $M'_1$                          | -0,52     | 0      | -0,54  | 0      |
| $m'_2$                                  | $M'_2$                          | 1,80      | 1,53   | 2,10   | 1,81   |
| $m'_3$                                  | $M'_3$                          | -2,28     | 0,25   | -1,69  | 1,40   |
| $m'_4$                                  | $M'_4$                          | 8,84      | 6,80   | 10,45  | 10,20  |
| Moyenne Arithmétique $\bar{X}$          |                                 | 8,96      |        | 57,57  |        |
| Ecart-Type $\sigma$                     |                                 | 2,48      |        | 0,94   |        |
| Variabilité $V$                         |                                 | 27,45%    |        | 1,63%  |        |
| Coefficient d'Assymétrie $\delta_1$     |                                 | 0,131     |        | 0,43   |        |
| Coefficient d'Applatissement $\delta_2$ |                                 | -0,1      |        | 0,14   |        |
| Test $Q_1$                              |                                 | 0,47      |        | 1,54   |        |
| Test $Q_2$                              |                                 | 0,18      |        | 0,24   |        |

On utilise souvent ce coefficient V pour grouper les gisements suivant la variabilité de leurs grandeurs géologiques:

- |                     |    |     |           |
|---------------------|----|-----|-----------|
| 1) Très réguliers   | si | V   | 20%       |
| 2) Réguliers        | si | V = | 20 à 40%  |
| 3) Irréguliers      | si | V = | 40 à 100% |
| 4) Très irréguliers | si | V   | 150%      |

Ainsi en considérant la variabilité trouvée pour la puissance (V=27,45%), nous pouvons dire que le gisement de fer de Gara-Djebilet est un gisement régulier.

### 3.2.3. Erreurs commises à l'estimation des grandeurs géologiques

Les erreurs commises à l'estimation des grandeurs étudiées (puissance; teneur) dépendent de la variabilité de ces grandeurs et du nombre de points d'observation .

Les histogrammes établis indiquent que la loi de distribution des puissances est normale; tandis que pour les teneurs , la distribution présente une certaine assymétrie à gauche.

Le test employé,  $Q_1$  et  $Q_2$ , montre que les deux distributions sont normales.

Pour une distribution normale, les erreurs absolues et relatives sont de la forme:

Erreur absolue: 
$$M_{a\bar{X}} = \frac{t; Z}{\sqrt{n}}$$

Erreur relative: 
$$M_{r\bar{X}} = \frac{M_{a\bar{X}}}{\bar{X}} \cdot 100$$

.../...



t : coefficient de probabilité

Z : écart-type

$\bar{X}$  : moyenne arithmétique

n : poits d'observation

Un coefficient de probabilité t=2 signifie qu'il existe 95% de chances pour que la grandeur vraie cherchée soit dans

$$\text{l'intervalle: } \bar{X} - \frac{2Z}{\sqrt{n}} < \tilde{X} < \bar{X} + \frac{2Z}{\sqrt{n}}$$

En d'autres termes nous avons:  $P_r \left\{ \bar{X} - \frac{2Z}{\sqrt{n}} < \tilde{X} < \bar{X} + \frac{2Z}{\sqrt{n}} \right\} = 0,95$

POUR une probabilité de 90%, le coefficient sera t=1,65

Dans les calculs qui suivent , nous considérons t=2

### 3.2.3.1. Cas de la puissance.

Le calcul statistique donne les valeurs suivantes, pour un nombre de sondages n=75

Écart-type  $Z_m = 2,48$

Puissance moyenne:  $\bar{X} = 8,96$

t=2

L'erreur absolue est :  $M_{a\bar{X}} = \frac{2 \cdot 2,48}{\sqrt{75}} = 0,58$

L'erreur relative est :  $M_{r\bar{X}} = \frac{0,58 \cdot 100}{8,96} = 6,4\%$

### 3.2.3.2. Cas de la teneur.

L'écart-type calculé, pour n=75, est:  $Z = 0,94$  avec une teneur moyenne de  $\bar{X} = 57,57$ . Le coefficient de probabilité est le même que précédemment t=2.

.../...

L'erreur absolue est:  $M_{aX} = \frac{2.0.94}{75} = 0,25$

L'erreur relative est:  $M_{rX} = \frac{0,25.100}{57,57} = 0,435\%$

3.2.3.3. Cas des réserves

Les réserves de minerai sont définies par:  $Q=V.d=S.\bar{m}.d.$

L'erreur sur Q sera fonction de :  $\Delta Q=f(\Delta S, \Delta d, \Delta \bar{m})$ .

L'erreur sur la surface minéralisée peut être considérée comme faible dans un assez grand nombre de cas, ou bien elle perdra de son importance si une partie seulement du gisement a été reconnue. Dans le cas du gisement de Gara-Djebilet, on ne considère qu'une certaine partie de la surface prospectée. Pour cela on suppose que  $\Delta S=0$ .

La densité apparait comme une variable régionalisée au même titre que la puissance ou la teneur. Très souvent, cette variable est répartie uniformément et sa variation dans l'espace du gisement peut être négligée,  $\Delta d=0$ .

Avec  $\Delta S=0$  et  $\Delta d=0$ , l'erreur sur les réserves sera fonction seulement de l'erreur sur la puissance:  $\Delta Q=f(\Delta \bar{m})$ .

Si  $\bar{Q}$  est la moyenne calculée, les réserves vraies seront:

$$Q = \bar{Q} \pm M_{aQ}$$

L'erreur absolue sur Q est:  $M_{aQ} = \frac{M_{r\bar{m}} \cdot \bar{Q}}{100}$

L'erreur relative est :  $\Delta Q_r = M_{r\bar{m}}$

Dans notre étude, on ne considère que la partie Est du gisement Centre, c'est à dire que les calculs seront faits avec seulement les réserves certaines  $\bar{Q}=380$  Millions de tonnes.

.../...



L'erreur relative est :  $\Delta Q_r = 6,4\%$   
 L'erreur absolue est :  $M_{aQ} = \frac{6,4 \cdot 380}{100} = 24,32$

TABLÉAU RECAPITULATIF POUR LE CALCUL D'ERREUR

| Puissance de la couche exploitable(m) |       | Teneur en fer (%) |       | Réserves (million det.) |        |
|---------------------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------------|--------|
| -0,58                                 | +0,58 | -0,25             | +0,25 | -24,32                  | 24,32  |
| 8,38                                  | 9,54  | 57,32             | 57,82 | 355,68                  | 404,32 |

Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous voyons que l'étude par la statistique ne donne qu'une idée approximative sur les distributions des grandeurs géologiques supposées comme indépendantes les unes des autres.

Les erreurs obtenues n'influent pas beaucoup sur l'estimation des réserves, car le calcul de la variabilité nous montre que le gisement est régulier et que les erreurs à obtenir ne sont pas très importantes.

—; • —

324 . CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES GEOLOGIQUES.

Lorsqu'on estime un gisement, on s'aperçoit qu'il existe deux types de variabilité à différentes propriétés.

Dans un cas les variations de deux ou plusieurs propriétés du gisement sont plus ou moins en accord.

Dans un autre cas, au contraire, les variations sont en désaccord.

La théorie de la corrélation, faisant partie de la statistique mathématique, s'occupe du problème d'explication des relations existants entre les phénomènes observés ensembles.

La relation entre les valeurs x et y ( par exemple teneur-teneur, puissance-teneur, ...) est appelée relation corrélatrice. Le coefficient de corrélation sert à mesurer le degré de dépendance entre x et y. Ce coefficient est toujours compris entre + 1 et -1.

$\rho = 0$  signifie que les valeurs considérées sont indépendantes l'une de l'autre. Les valeurs extrêmes, + 1 et - 1, correspondent au cas où il existe une relation fonctionnelle entre x et y.

On estimera la covariance  $\tau_{x,y}$  et le coefficient de corrélation  $\rho_{x,y}$  à partir de n couples de valeurs expérimentales (  $x_i, y_i$  ) par des estimateurs du type suivant :

$$\tau_{x,y} = \frac{1}{n-1} \sum ( x_i - \bar{x} ) ( y_i - \bar{y} )$$

$$\rho_{x,y} = \frac{\tau_{x,y}}{\tau_x \cdot \tau_y}$$

ou  $\tau_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  et  $\tau_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$

si  $a_x = x_i - \bar{x}$  on aura  $\rho_{x,y} = \frac{\sum a_x \cdot a_y}{(\sum a_x^2 \cdot \sum a_y^2)^{\frac{1}{2}}}$

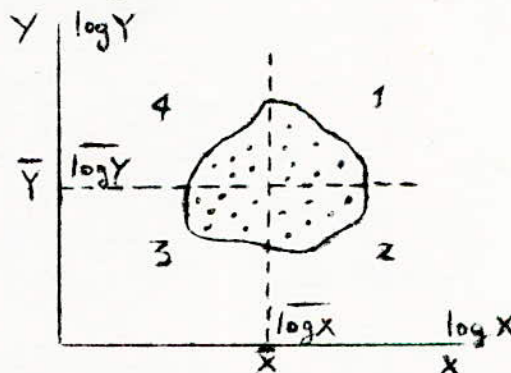


Il existe une autre méthode beaucoup plus rapide mais moins précise, pour l'estimation de  $\rho$ .

On construit le nuage de corrélation (histogramme à deux dimensions) en coordonnées arithmétiques ou logarithmiques.

On porte en abscisse et en ordonnée,  $(X, Y)$  par exemple les teneurs  $a$  et  $b$  en métal  $A$  et  $B$ , d'un même échantillon de telle manière que chaque échantillon soit représenté par un point expérimental et que l'ensemble des  $N$  échantillons soit représenté par un nuage de  $n$  points. On trace les axes passant par le centre de gravité de coordonnées  $X$  et  $Y$  (moyenne arithmétique) si les distributions statistiques de  $Y$  et  $X$  sont normales,  $\log y$  et  $\log x$  si celles-ci sont lognormales.

( Figure 1



Ainsi on aura quatre quadrans. Il suffit de compter le nombre  $N_1$  des points contenus dans le premier et troisième quadrans, et le nombre  $N_2$  dans le deuxième et quatrième quadrans.

L'expression  $\rho' = \sin \frac{\pi (N_1 - N_2)}{2 (N_1 + N_2)}$  fournit une estimation

du coefficient de corrélation  $\rho_{x,y}$ .

Les nuages de corrélation (Fig. 1), ayant une signification qualitative, peuvent aussi être interprétés quantitativement.

On peut définir la valeur moyenne de  $y$  en fonction de  $x$  ou courbe de régression ; c'est à dire la variance de  $y$  lorsque  $x$  est fixée.

Pour la détermination de la courbe de régression, il existe plusieurs méthodes dont la méthode des moindres carrés.

Si on suppose que l'évolution de  $y$  en fonction de  $x$  se fait suivant une droite, la méthode des moindres carrés consistera à trouver les coefficients  $A$  et  $B$  de cette droite :  $Y = AX + B$ .

on pose :

$$\begin{cases} \sum y = nA + b \sum x \\ \sum x \cdot y = A \sum x + b \sum x^2 \end{cases}$$

En général le nombre de données étant assez élevé, la résolution de ce système d'équation se fera par ordinateur.

#### 3241. CORRELATION ENTRE PUISSANCE ET TENEUR.

Pour cette corrélation, nous avons utilisé la méthode rapide pour estimer le coefficient  $e$ .

$$e = \sin \frac{\pi(N_1 - N_2)}{2(N_1 + N_2)}$$

D'après la planche C1, nous déterminons  $N_1$  et  $N_2$

$$\bar{Y} = 9,25 \text{ m et } \bar{X} = 57,58 \%$$

$$N_1 = 42$$

$$N_2 = 33$$

$$e = 0,18$$

Nous pouvons dire que la corrélation entre puissance et teneur n'est pas visible, voire négligeable.

Ce résultat confirme le choix du calcul de la teneur prise comme moyenne arithmétique. Ainsi ce calcul sera la meilleure estimation pour la teneur moyenne vraie.



3242. CORRELATION ENTRE DENSITE ET TENEUR.

Vu la densité de 3,3 prise dans les calculs, nous avons pensé qu'il fallait voir comment évoluait la densité du minerai en fonction de la teneur. D'après la planche C2, il apparait une corrélation positif qu'il n'est pas nécessaire de calculer.

Par contre nous avons cherché la droite de régression entre teneur et densité. Pour cela nous utilisons la méthode des moindres carrés pour avoir les coefficient A et B de cette droite de régression ; le nombre de points d'observation est  $N = 150$ .

L'organigramme qui suit représente la méthode des moindres carrés que nous avons utilisé.

Les résultats obtenus par ordinateur ont été les suivants :

$$A = 0,0423$$

$$B = 1,6492$$

L'équation de la droite de régression serait alors :

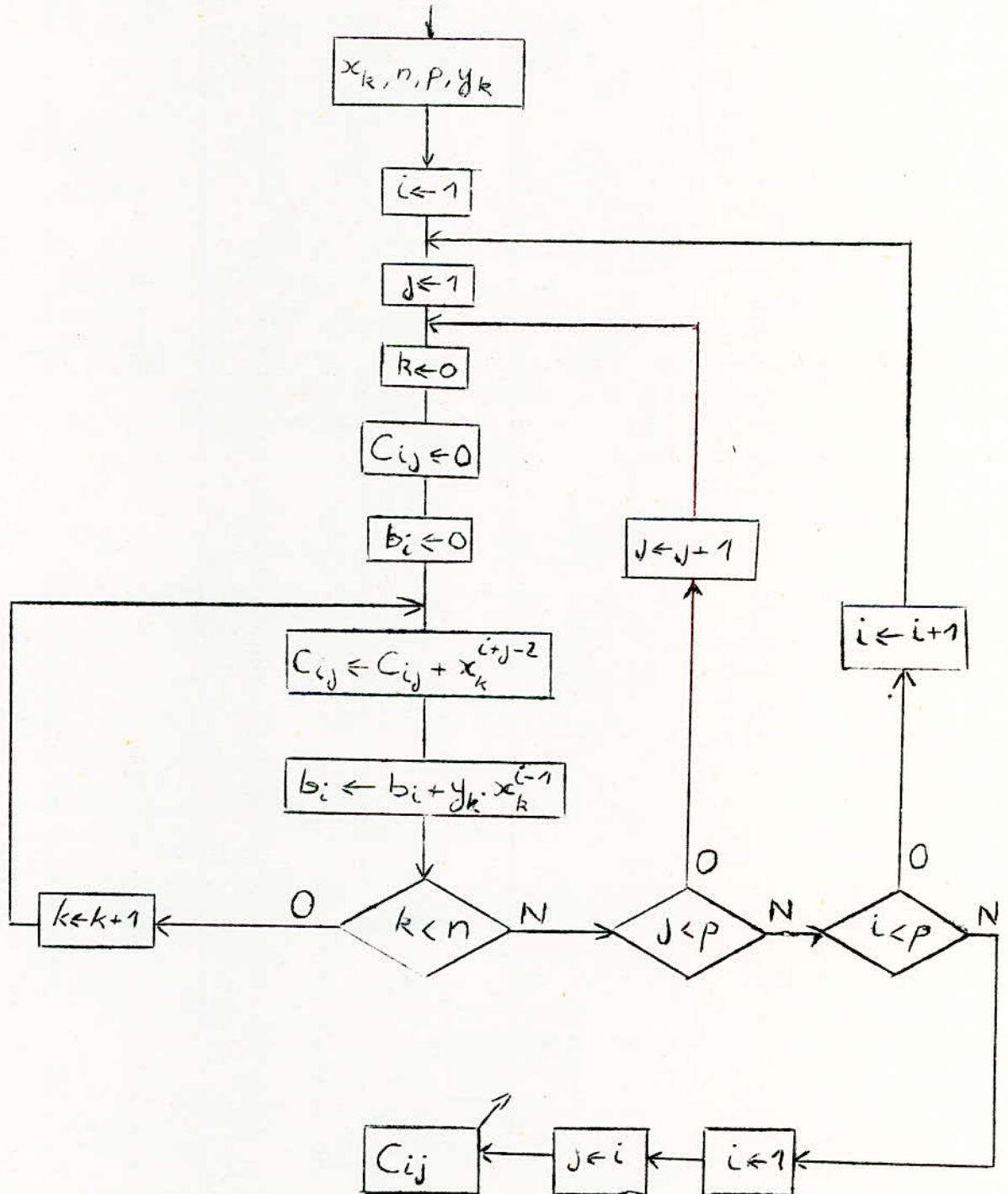
$$y = 0,0423 X + 1,6492 \quad Y : \text{densité} ; X = \text{teneur.}$$

La densité prise dans ce cas est une densité vraie mesurée au laboratoire. Dans le calcul des réserves, c'est la densité apparente qui intervient. Pour cela nous avons effectué un changement qui consiste à tracer une droite passant par 3,3 densité considérée, et parallèle à la droite de régression trouvée par calcul.

Le Schéma de la planche C2 donne le principe à suivre pour l'obtention de la nouvelle droite.

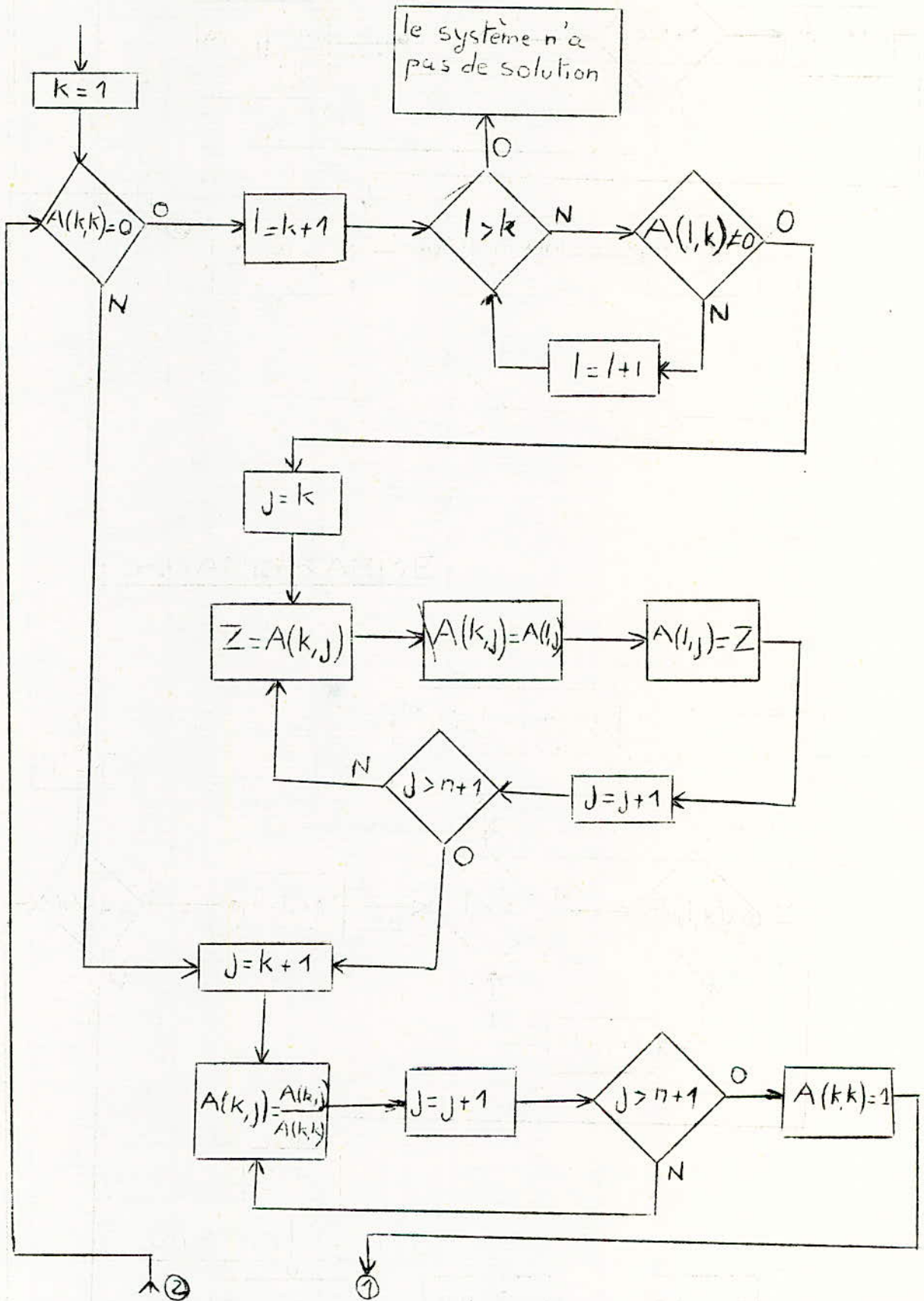
Cette droite obtenue permettra de déterminer, pour une teneur donnée, la densité du bloc et réciproquement. Dans le calcul des réserves (Q), on tiendra compte de la corrélation entre la densité et la teneur, afin

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DES  
MOINDRES CARRES

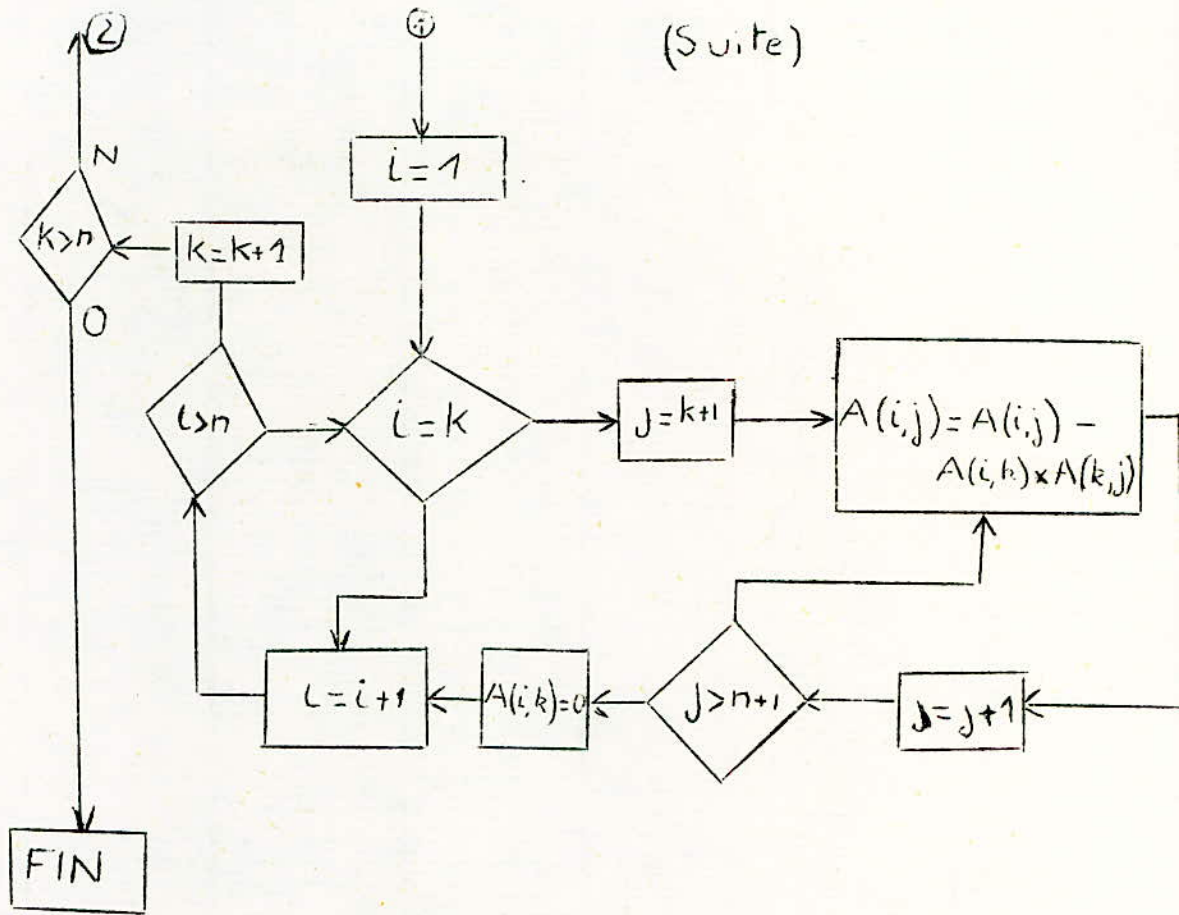




# ORGANIGRAMME



(Suite)



RESOLUTION D'UN SYSTEME  
D'EQUATIONS LINEAIRES



que les calculs de Q soient plus précis.

3243. CORRELATION ENTRE LES TENEURS D'UN MEME SONDAGE.

Dans ce cas, nous essayons de voir s'il existe ou non une corrélation entre les teneurs d'une carotte où le prélèvement a été fait mètre par mètre.

La planche C3 nous donne :

$$N_1 = 70$$

$$N_2 = 28$$

Il leur correspond un coefficient de corrélation, d'après la méthode simplifiée, de :

$$r = 0,62$$

Etant donné l'existence de la corrélation entre les teneurs d'un même sondage, on peut espérer, en serrant la maille de prospection, dégager une certaine continuité dans la répartition spatiale des teneurs de ce gisement.

3244. CORRELATION ENTRE LES TENEURS DE LA SILICE ET DU FER.

En première approximation, l'idée d'une corrélation négative entre silice et fer, nous est donnée par la planche C 4.

D'ailleurs le calcul du coefficient de corrélation confirme cette hypothèse.

Nous avons :

$$N = 50 \quad \text{pour des valeurs moyennes de : } [\overline{\text{Si O}_2}] = 4,82$$

$$N = 99 \quad [\overline{\text{Fe}}] = 59,45$$

Le coefficient est alors :  $r = -0,49$

3245. CORRELATION ENTRE PHOSPHORE ET FER.

Le phosphore étant l'élément nuisible dans le minerai de GARA Djebilet, il est bon de voir sa répartition dans ce minerai.

La planche C 5, représentant le nuage de corrélation, fait apparaître une légère dépendance entre le phosphore et le fer. Cette dépendance est caractérisée par un coefficient de corrélation négatif.

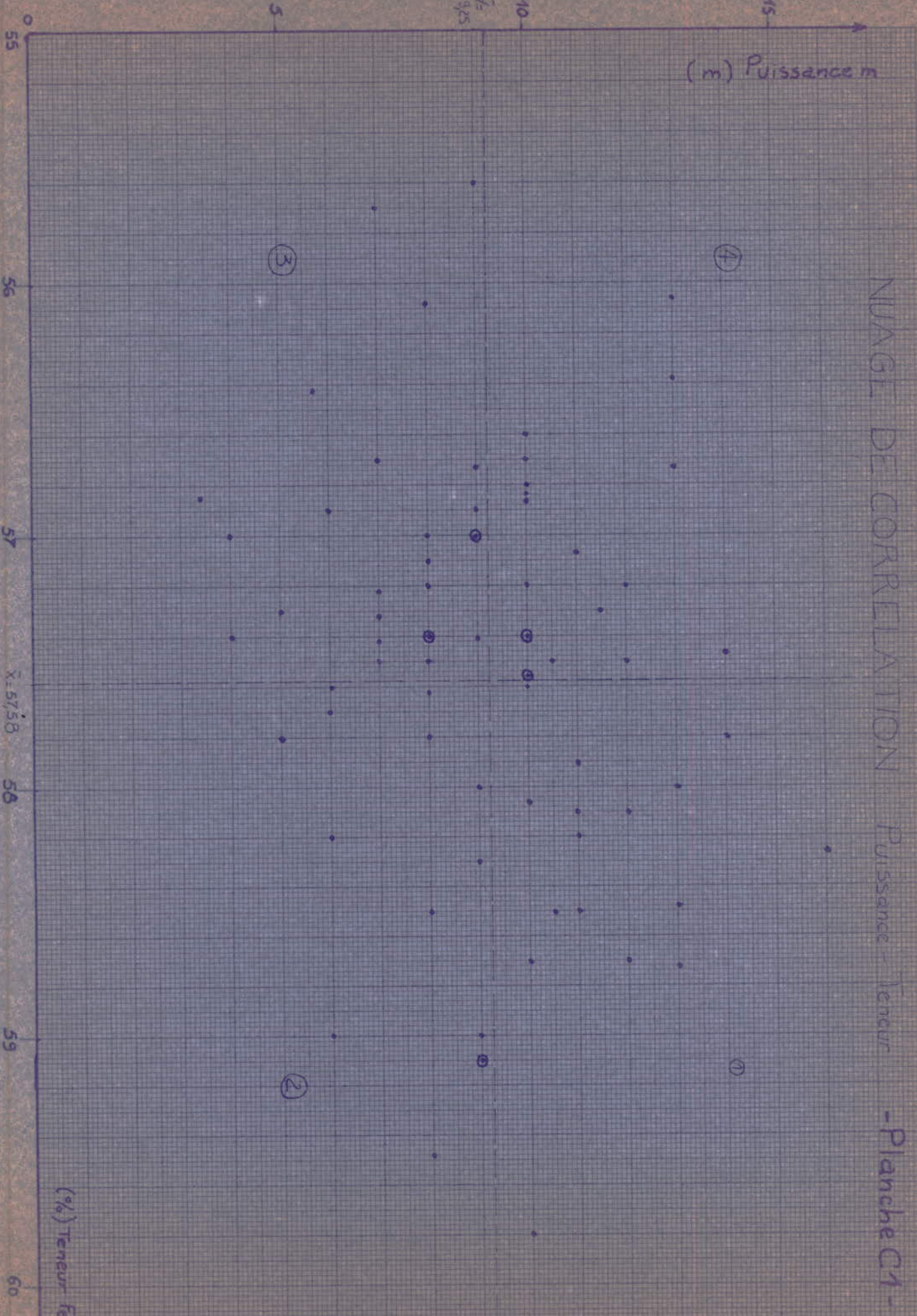
Nous avons :

$$\left. \begin{array}{l} N_1 = 54 \\ N_2 = 88 \end{array} \right\}$$

$$r = - 0,37$$



NUAGE DE CORRELATION Puissance - Teneur  
- Planche C1 -

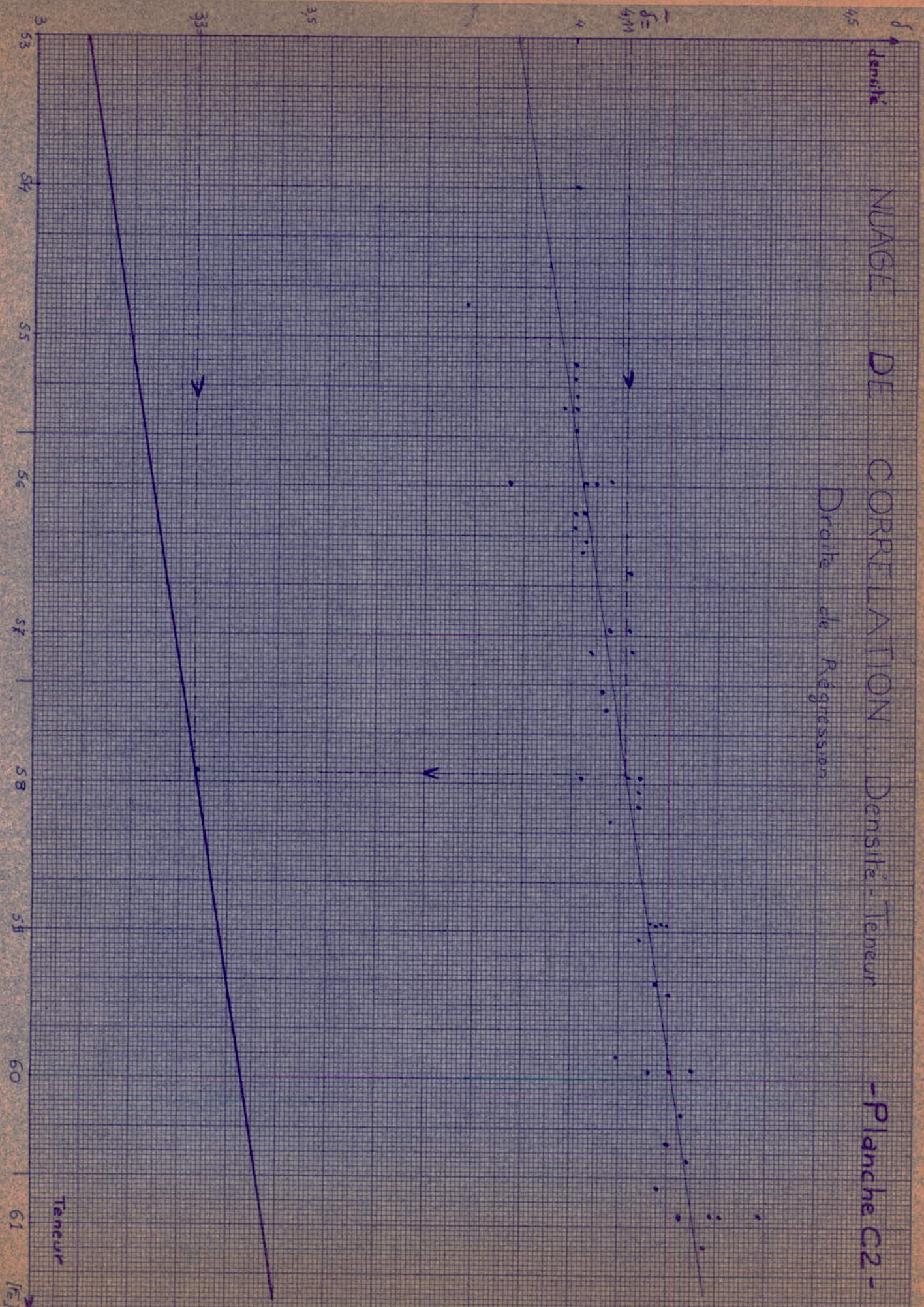




# NUAGE DE CORRELATION : Densité - Teneur

Droite de Régression

- Planche C2 -





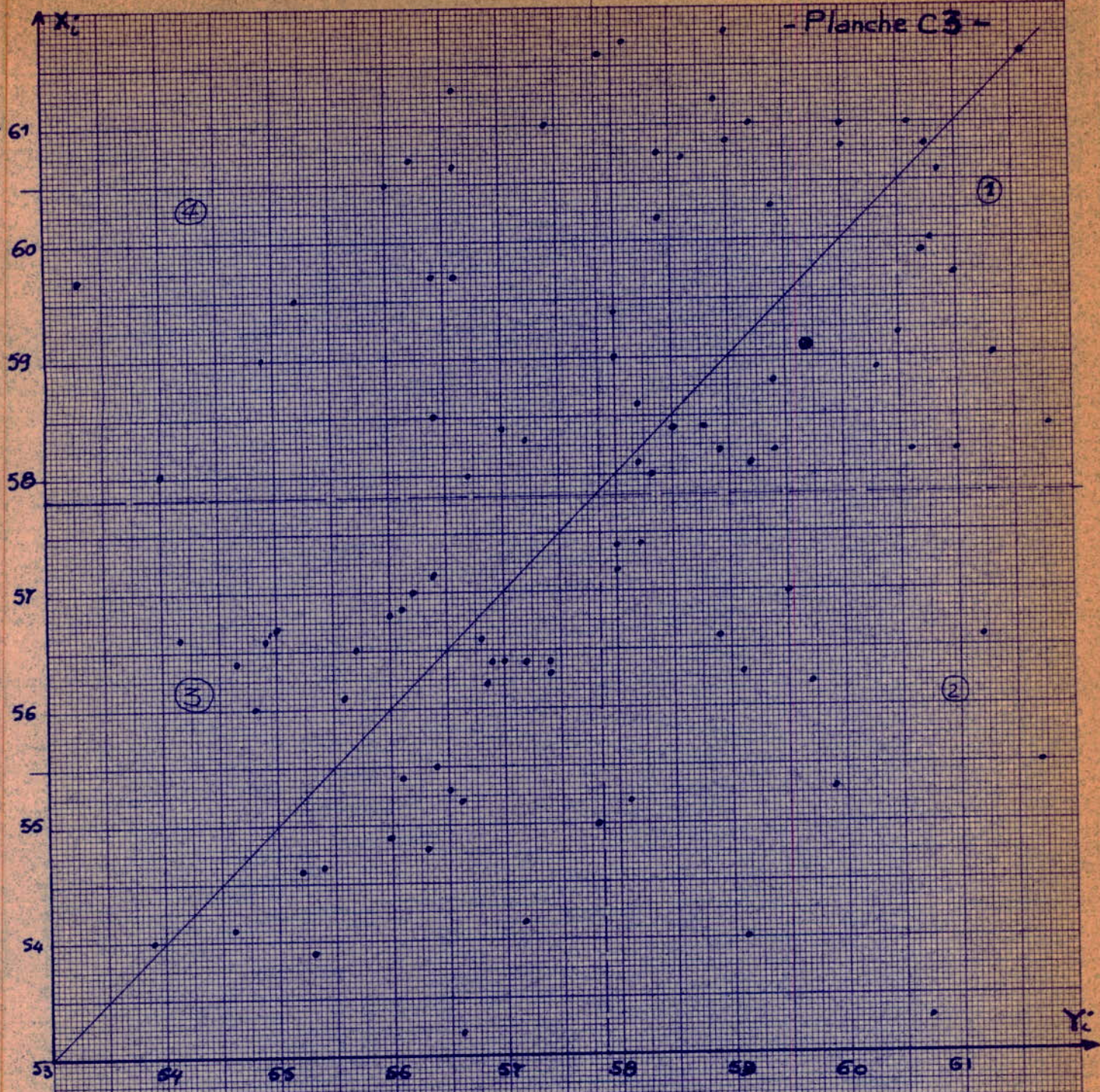


DIAGRAMME DE CORRELATION  
Teneur Fer - Fer



### 3.3. ETUDE GEOSTATISTIQUE

Dans la première étude , par la statistique classique , nous avons considéré que les grandeurs géologiques étaient des variables <sup>aléatoires</sup>. Dans la réalité , il en est autrement. Il existe un grand nombre de phénomènes géologiques qui peuvent être décrits par une série de chiffres que l'on considère comme des variables <sup>regionalisées</sup> ~~aléatoires~~, telles que teneur, puissance , accumulation, ...

Par variable régionalisée, on désigne une fonction d'espace dont la valeur varie d'un point à un autre de l'espace avec une certaine apparence de continuité .

L'utilisation d'une variable régionalisée suppose la connaissance de deux volumes géométriques :

. Un champ géométrique : c'est le domaine dans lequel il est possible d'avoir des valeurs définies et à l'intérieur duquel on étudiera la variation .

. Un support géométrique : c'est le volume où la valeur de la variable régionalisée est définie ou calculée (par exemple pour une teneur , c'est le volume de l'échantillon prélevé) .

L'étude des variables régionalisées se fait par la géostatistique, science rendue applicable par G. MATHERON .

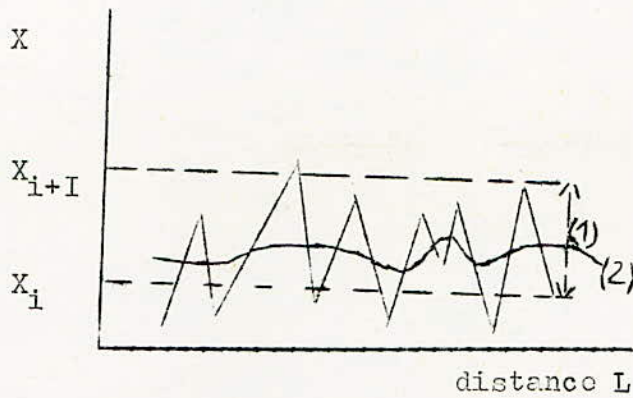
La variabilité observée des grandeurs étudiées se compose de deux constituants :

. Constituant continu ou trend, lorsque la valeur varie d'un point à un autre de l'espace avec une certaine apparence de continuité .

. Constituant aléatoire : il n'a pas de période régulière .

.../...





- (1) : constituant aléatoire  
 $X_{i+I} - X_i$   
 (2) : constituant continu

En générale on peut dire que si une grandeur géologique varie d'un lieu à un autre avec une apparence de continuité, on parlera de variable régionalisée. Cette variable a des valeurs d'autant moins différentes en deux lieux différents que ces derniers sont moins éloignés .

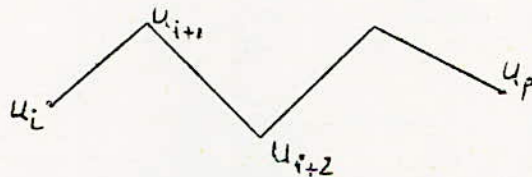
Supposons que la valeur de la variable régionalisée dans chaque point d'observation est composée de deux constituants :

$$u_i = \bar{u}_i + \xi_i$$

$u_i$  = valeur observée

$\bar{u}_i$  = valeur du trend

$\xi_i$  = écart aléatoire



Si l'on admet que la différence entre les grandeurs de deux points d'observation est aléatoire, on peut écrire :

$$\Delta u = u_{i+I} - u_i = \xi_{i+I} - \xi_i \quad \text{car } \bar{u}_i = \bar{u}_{i+I}$$

$$(\Delta u)^2 = \xi_{i+I}^2 + \xi_i^2 - 2 \xi_{i+I} \cdot \xi_i$$

$$(\Delta \bar{u})^2 = 2 \tau_I^2$$

car :  $\bar{\xi}_{i+I}^2 = \bar{\xi}_i^2 = \tau_I^2$

et  $2 \bar{\xi}_i \cdot \bar{\xi}_{i+I} = 2 \bar{\xi}_i \cdot \bar{\xi}_{i+I} = 0$

$$\tau_I^2 = \frac{(\Delta u)^2}{2} = \frac{\sum [u_{i+I} - u_i]^2}{2(n-1)}$$

.../...

$\sigma_r^2$  : variance d'estimation des constituants aléatoires pour une distance  $r$  donnée

Cette variance dépend de la nature de la variabilité des grandeurs géologiques dans l'espace, de la géométrie des travaux miniers et de la distance entre les points d'observation.

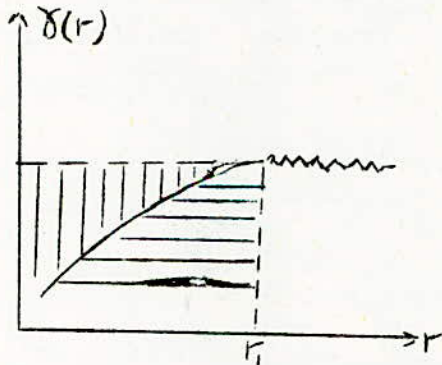
Pour une suite de valeurs  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_p, \dots, u_n$ , on aura :



$$\sigma_p^2 = \frac{1}{(n-p)^2} \sum_r (u_{r+p} - u_r)^2$$

A partir de cette formule, on construit la courbe d'équation  $\sigma_r^2 = \gamma(r)$ . Cette courbe est un demi-variogramme (G. MATHERON).

Elle donne une meilleure estimation de la variable observée.

$\gamma(r)$  représente le constituant aléatoire, et la vitesse d'augmentation de sa courbe indique le rôle de la composante continue.



-  : surface des constituants continus
-  : surface des constituants aléatoires

pour une valeur  $r > r_1$ , on observe uniquement qu'un constituant aléatoire de la variabilité.

.../...

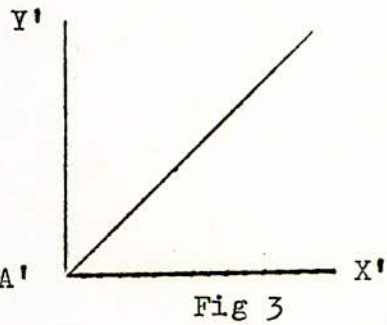
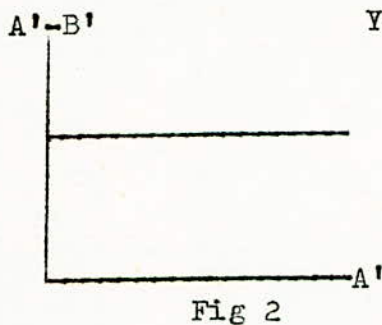
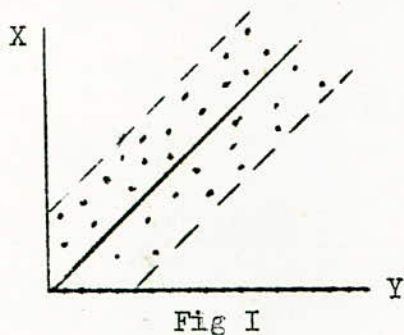


3.3.2. Estimation des constituants aléatoires .

Avant d'aborder les calculs, nous présentons les trois modèles possibles pour l'estimation de ces constituants aléatoires .

3.3.2.1. Cas de la loi normale de la répartition des constituants .

Si les grandeurs à étudier, puissance et teneur, se présentent sous la forme d'un nuage semblable à celui de la figure I, on dira que les constituants aléatoires ne dépendent pas des grandeurs étudiées . Dans ce cas-ci, c'est la loi normale qui décrit bien ces constituants . La vérification de cette loi se fait par l'établissement des courbes  $A' - B' = f(A')$  et  $Y' = f(X')$  (figures 2 et 3)



( $A' - B'$ ) représente l'erreur absolue ;  $Y'$  représente l'erreur relative

La loi normale étant établie, on cherche la variance d'estimation des constituants aléatoires :

$$\chi^2_I = \frac{\sum (x - y)^2}{2(n - 1)}$$

La précision des <sup>calculs</sup> dépendra du résultat de l'écart-type  $\chi_I$  .

3.3.2.2. Cas de la loi quelconque .

3.3.2.2.1. Loi lognormale

Dans ce cas , le nuage de points sera à l'intérieur d'une surface conique (figure I) . On dit que la distribution des constituants aléatoires est lognormale si les courbes  $A' - B' = f(A')$

.../...

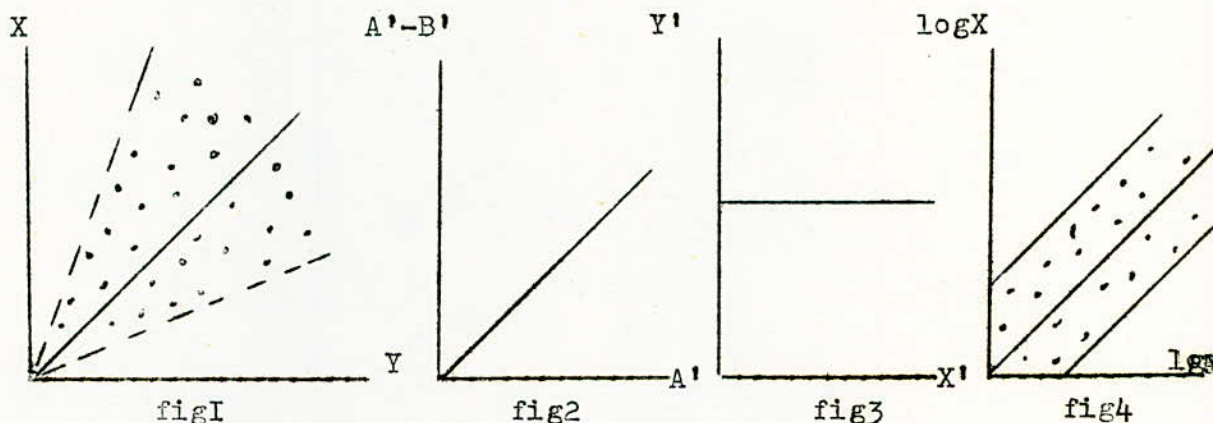
et  $Y' = f(X')$  se présentent sous la forme des figures 2 et 3 .  
 Pour calculer la variance d'estimation , on fait le changement  
 de variable suivant :

X en  $\log X$

Y en  $\log Y$

Les nouvelles valeurs ,  $\log X$  et  $\log Y$  , vont être réparties suivant  
 une loi normale. Cela veut dire que la distribution lognormale  
 initiale a été transformée en une distribution normale (figure 4) .  
 Ainsi le calcul de la variance sera simple :

$$z^2 = \frac{\sum (\log X - \log Y)^2}{2(n-1)}$$



### 3.3.2.2.2. Loi à trois dimensions

On appelle loi à trois dimensions, une loi qui fait intervenir  
 en plus de la moyenne ( $\bar{X}$ ) et de l'écart-type ( $z$ ), une constante  
 de correction C .

Dans ce cas , on a deux formes possibles :

- I. Si le nuage de points se présente sous la forme de la figure I,  
 on trace les courbes  $A'-B'=f(A')$  et  $Y'=f(X')$  (figures 2 et 3) .  
 On remarque que la fonction  $Y'=f(X')$  est de la forme  $Y' = a + b.X'$  .

.../...



Le rapport  $\frac{b}{a}$  donnera un coefficient C positif :  $C = \frac{b}{a}$

Ce coefficient C corrigera les grandeurs X et Y en  $(X+C)$  et  $(Y+C)$  .

Ces dernières valeurs seront transformées en  $\log(X+C)$  et  $\log(Y+C)$  lesquelles suivront une distribution normale (figure 4).

Le calcul de la variance se fera comme précédemment :

$$\chi^2 = \frac{\sum (\log(X+C) - \log(Y+C))^2}{2(n-1)}$$

2. Si le nuage de points se présente sous la forme de la figure I' et les courbes  $A' \rightarrow B' = f(A')$  ,  $Y' = f(X')$  selon les figures 2' et 3' , on introduira une constante  $C = \frac{b}{a}$  qui sera négative d'après la fonction  $Y' = f(X')$  .

La transformation des variables se fera comme avant et l'on aura finalement :

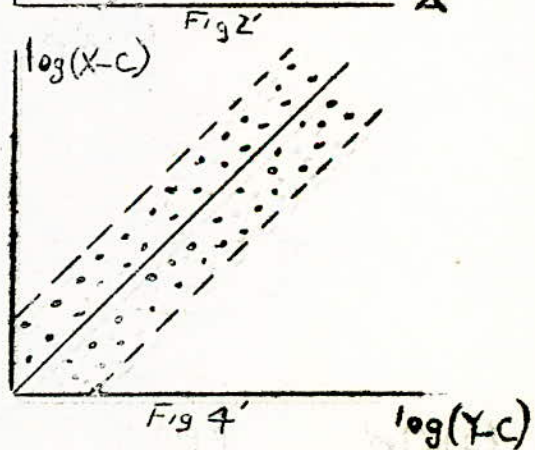
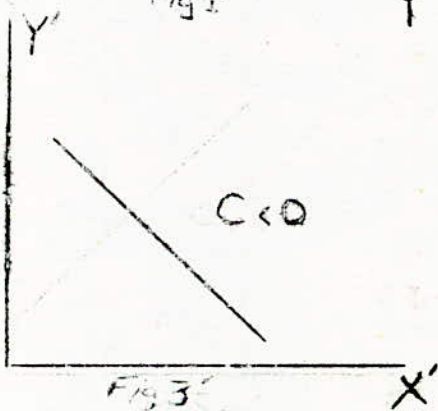
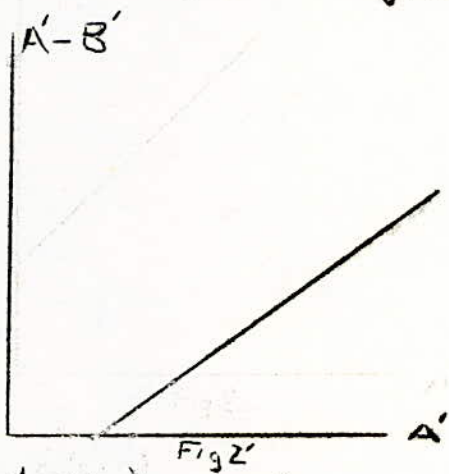
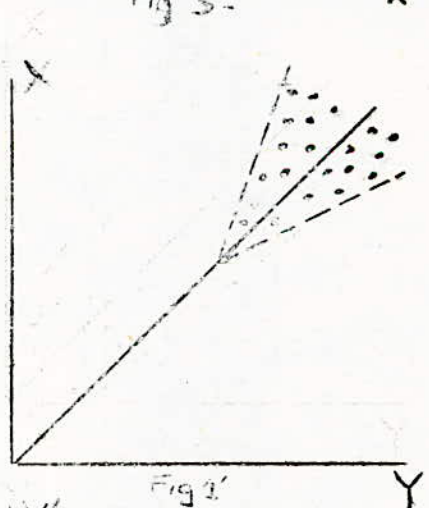
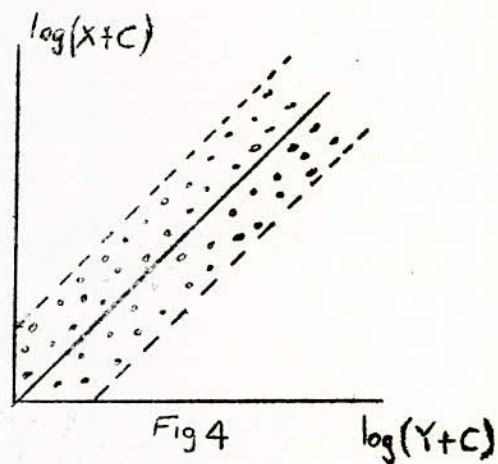
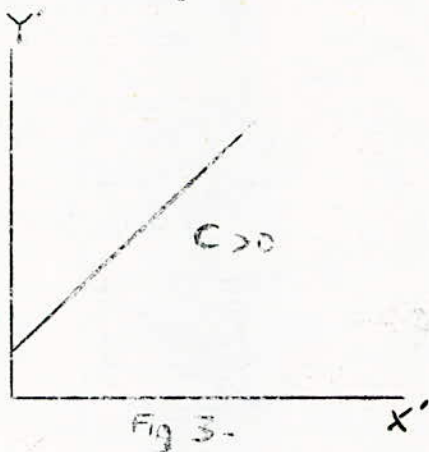
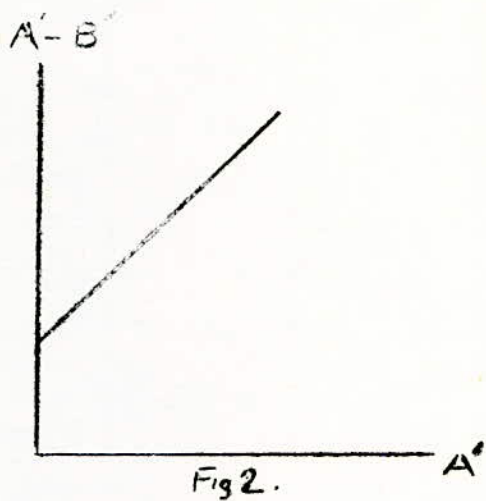
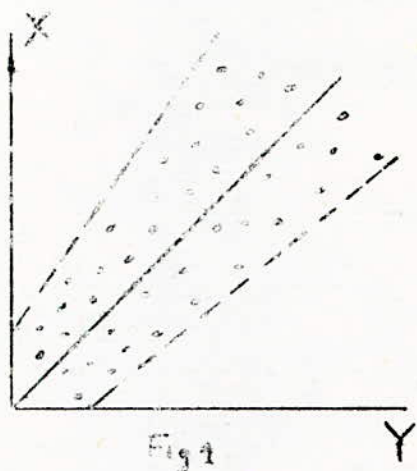
$$\log(X+C) \text{ et } \log(Y+C)$$

Ces dernières valeurs suivront une loi normale (figure 4' ) .

La nouvelle variance d'estimation sera alors :

$$\chi^2 = \frac{\sum (\log(X+C) - \log(Y+C))^2}{2(n-1)}$$

.../...





### 3.3.3. Etude de la répartition spatiale des puissances et teneurs

Dans cette partie, nous cherchons la loi de référence qui décrit les constituants aléatoires avec une bonne estimation et à dégager l'anisotropie entre les grandeurs géologiques, si elle existe.

Nous avons considéré pour cette étude que la partie orientale du gisement Centre. Nous avons également orienté nos calculs suivant deux directions préférentielles, direction SW-NE et direction NW-

#### 3.3.3.1. Puissance.

.Direction SW-NE:

Les résultats donnés par le tableau P1 sont:

$$\sum (X-Y) = 137,6$$

$$\sum (X-Y)^2 = 457,24$$

avec un nombre de points d'observation  $n=61$ .

L'écart absolu est:  $\Delta = \frac{\sum |X-Y|}{2(n-1)} = 1,62$

L'écart-type est:  $Z = \frac{\sqrt{\sum (X-Y)^2}}{2(n-1)} = 1,96$

L'utilisation du test approximatif  $\frac{\Delta}{Z}$ , nous donne la nature de la distribution des constituants aléatoires.

La distribution est normale si  $\frac{\Delta}{Z} = 0,8$ .

Pour cette direction:  $\frac{\Delta}{Z} = \frac{1,62}{1,96} = 0,82$

Nous pouvons, d'ores et déjà, dire que la distribution suivant la première direction est normale, d'écart-type  $Z = 1,96$ .

.Direction NW-SE:

D'après le tableau P2, nous avons:

.../...

Calcul de la variance d'estimation des constituants aléatoires

Puissance : Direction SW-NE

| $X_i$ | $Y_i$ | $ X_i - Y_i $ | $(X_i - Y_i)^2$ | $X_i$ | $Y_i$ | $ X_i - Y_i $ | $(X_i - Y_i)^2$ | $X_i$ | $Y_i$ | $ X_i - Y_i $ | $(X_i - Y_i)^2$ |
|-------|-------|---------------|-----------------|-------|-------|---------------|-----------------|-------|-------|---------------|-----------------|
| 10    | 7     | 3             | 9               | 8     | 10,5  | 2,5           | 6,25            | 11    | 11    | 0             | 0               |
| 7     | 6     | 1             | 1               | 10,5  | 9     | 1,5           | 2,25            | 11    | 12    | 1             | 1               |
| 10    | 12    | 2             | 4               | 9     | 9     | 0             | 0               | 12    | 10,5  | 1,5           | 2,25            |
| 12    | 9     | 3             | 9               | 8     | 14    | 6             | 36              | 10,5  | 6     | 4,5           | 20,25           |
| 8     | 10    | 2             | 4               | 14    | 13    | 1             | 1               | 6     | 8     | 2             | 4               |
| 10    | 8     | 2             | 4               | 13    | 8     | 5             | 25              | 9     | 7     | 2             | 4               |
| 9     | 10    | 1             | 1               | 8     | 13    | 5             | 25              | 7     | 10    | 3             | 9               |
| 10    | 6     | 4             | 16              | 13    | 10    | 3             | 9               | 10    | 7     | 3             | 9               |
| 6     | 9     | 3             | 9               | 10    | 9     | 1             | 1               | 7     | 10    | 3             | 9               |
| 9     | 11    | 2             | 4               | 9     | 9     | 0             | 0               | 10    | 11    | 1             | 1               |
| 11    | 8     | 3             | 9               | 9     | 13    | 4             | 16              | 11    | 10    | 1             | 1               |
| 8     | 6     | 2             | 4               | 13    | 10    | 3             | 9               | 10    | 8     | 2             | 4               |
| 6     | 12    | 6             | 36              | 10    | 6     | 4             | 16              | 3,4   | 8     | 4,6           | 21,16           |
| 12    | 10    | 2             | 4               | 5     | 4     | 1             | 1               | 8     | 11,5  | 3,5           | 12,25           |
| 4     | 5,70  | 1,70          | 2,89            | 4     | 9     | 5             | 25              | 11,5  | 13    | 1,5           | 2,25            |
| 5,70  | 7     | 1,30          | 1,69            | 9     | 13    | 4             | 16              | 13    | 10    | 3             | 9               |
| 7     | 7     | 0             | 0               | 13    | 11    | 2             | 4               | 10    | 10    | 0             | 0               |
| 14    | 10    | 4             | 16              | 11    | 12    | 1             | 1               | 10    | 10    | 0             | 0               |
| 10    | 9     | 1             | 1               | 12    | 13    | 1             | 1               | 10    | 8     | 2             | 4               |
| 9     | 8     | 1             | 1               | 13    | 11    | 2             | 4               | 8     | 8     | 0             | 0               |
|       |       |               |                 |       |       |               |                 | 8     | 5     | 3             | 9               |



Calcul de la variance d'estimation des constituants aléatoires

Puissance : Direction N.W-SE

| X   | Y   | $ X-Y $ | $(X-Y)^2$ |
|-----|-----|---------|-----------|
| 10  | 10  | 0       | 0         |
| 10  | 7   | 3       | 9         |
| 7   | 12  | 5       | 25        |
| 12  | 9   | 3       | 9         |
| 9   | 5,7 | 3,3     | 10,89     |
| 5,7 | 8   | 2,3     | 5,29      |
| 8   | 4   | 4       | 16        |
| 4   | 9   | 5       | 25        |
| 9   | 3,4 | 5,6     | 31,36     |
| 6   | 9   | 3       | 9         |
| 9   | 10  | 1       | 1         |
| 10  | 7   | 3       | 9         |
| 7   | 14  | 7       | 49        |
| 14  | 9   | 5       | 25        |
| 9   | 7   | 2       | 4         |
| 7   | 8   | 1       | 1         |
| 6   | 7   | 1       | 1         |
| 7   | 13  | 6       | 36        |
| 13  | 13  | 0       | 0         |
| 13  | 16  | 3       | 9         |

| X  | Y    | $ X-Y $ | $(X-Y)^2$ |
|----|------|---------|-----------|
| 16 | 11,5 | 4,5     | 20,25     |
| 5  | 14   | 9       | 81        |
| 14 | 8    | 6       | 36        |
| 8  | 11   | 3       | 9         |
| 11 | 7    | 4       | 16        |
| 7  | 13   | 6       | 36        |
| 11 | 10   | 1       | 1         |
| 10 | 13   | 3       | 9         |
| 13 | 12   | 1       | 1         |
| 12 | 10   | 2       | 4         |
| 10 | 10   | 0       | 0         |
| 8  | 8    | 0       | 0         |
| 8  | 3    | 5       | 25        |
| 9  | 10   | 1       | 1         |
| 10 | 13   | 3       | 9         |
| 13 | 7    | 6       | 36        |
| 7  | 10   | 3       | 9         |
| 10 | 6    | 4       | 16        |
| 6  | 8    | 2       | 4         |
| 8  | 9    | 1       | 1         |

| X    | Y    | $ X-Y $ | $(X-Y)^2$ |
|------|------|---------|-----------|
| 9    | 11   | 2       | 4         |
| 11   | 10   | 1       | 1         |
| 10   | 10   | 0       | 0         |
| 8    | 12   | 4       | 16        |
| 12   | 10,5 | 1,5     | 2,25      |
| 10,5 | 9    | 1,5     | 2,25      |
| 9    | 11   | 2       | 4         |
| 11   | 11   | 0       | 0         |
| 11   | 8    | 3       | 9         |
| 10   | 9    | 1       | 1         |
| 9    | 13   | 4       | 16        |
| 13   | 12   | 1       | 1         |
| 12   | 10   | 2       | 4         |
| 10   | 8    | 2       | 4         |
| 9    | 10   | 1       | 1         |
| 10   | 10,5 | 0,5     | 0,25      |
| 10,5 | 8    | 2,5     | 6,25      |
| 8    | 5    | 3       | 9         |
| 5    | 6    | 1       | 1         |

$$\sum |X - Y| = 151,7$$

$$\sum (X - Y)^2 = 600,79$$

$$n = 59$$

$$\text{écart absolu} : \Delta_2 = \frac{151,7}{\sqrt{2 \cdot 58}} = 1,85$$

$$\text{écart-type} : \tau_2 = \frac{\sqrt{600,79}}{\sqrt{2 \cdot 58}} = 2,28$$

$$\text{test} : \frac{\Delta_2}{\tau_2} = \frac{1,85}{2,28} = 0,81$$

La distribution suivant la deuxième direction est aussi normale, d'écart-type  $\tau_2 = 2,28$ .

**Conclusion**

D'après les écart-types trouvés,  $\tau_1 = 1,96$  et  $\tau_2 = 2,28$ , nous pouvons dire que le gisement étudié peut se présenter sous forme de planer, c'est à dire que la variabilité suivant la première direction est plus faible que celle de la deuxième direction. En pratique, cela signifie que si l'on tente de tracer un plan en isopuissances, la direction principale sera prise suivant l'orientation SW-NE;

Pour savoir s'il est possible de tracer ce plan en isolignes, il existe deux méthodes :

- Recherche de l'intervalle entre les différents niveaux:  $m \pm 2,2$
- Utilisation du test de Fischer F: si F est significatif il est possible de tracer ce plan;

Le test de Fischer consiste à comparer les deux variances :

$$F = \frac{\tau_2^2}{\tau_1^2}$$

.../...



-Tableau T1-

Calcul de la variance d'estimation des constituants aléatoires

Teneur : Direction N.W-SE

| X     | Y     | X-Y  | (X-Y) <sup>2</sup> | X     | Y     | X-Y  | (X-Y) <sup>2</sup> | X     | Y     | X-Y  | (X-Y) <sup>2</sup> |
|-------|-------|------|--------------------|-------|-------|------|--------------------|-------|-------|------|--------------------|
| 57,6  | 56,7  | 0,9  | 0,81               | 58,16 | 57,3  | 0,86 | 0,75               | 57    | 58,2  | 1,2  | 1,44               |
| 57,4  | 55,7  | 1,7  | 2,89               | 56,9  | 57,8  | 0,9  | 0,81               | 58,2  | 58,06 | 0,14 | 0,02               |
| 55,7  | 57,5  | 1,8  | 3,24               | 57,8  | 56,08 | 1,72 | 2,96               | 58,06 | 60,2  | 2,14 | 4,58               |
| 57,5  | 55,6  | 1,9  | 3,61               | 56,08 | 57,07 | 0,99 | 0,98               | 57,8  | 58,7  | 0,9  | 0,81               |
| 55,6  | 56,42 | 0,82 | 0,67               | 57,07 | 57,42 | 0,35 | 0,12               | 58,7  | 57,5  | 1,2  | 1,44               |
| 56,42 | 57,2  | 0,78 | 0,61               | 57,42 | 56,38 | 1,04 | 1,08               | 57,5  | 59,1  | 1,6  | 2,56               |
| 57,2  | 57    | 0,2  | 0,04               | 57,9  | 58,7  | 0,8  | 0,64               | 59,1  | 58,5  | 0,6  | 0,36               |
| 57    | 58,3  | 1,3  | 1,69               | 58,7  | 56,06 | 2,64 | 6,97               | 58,5  | 58,1  | 0,4  | 0,16               |
| 58,3  | 56,85 | 1,45 | 2,2                | 56,06 | 58,1  | 2,04 | 4,16               | 58,1  | 59,48 | 1,38 | 1,90               |
| 57,6  | 59,1  | 1,5  | 2,25               | 58,1  | 56,86 | 1,24 | 1,54               | 57,4  | 58    | 0,6  | 0,36               |
| 59,1  | 56,8  | 2,3  | 5,29               | 56,86 | 57,56 | 0,7  | 0,49               | 58    | 58    | 0    | 0                  |
| 56,8  | 56,7  | 0,1  | 0,01               | 57,1  | 57,4  | 0,3  | 0,09               | 58    | 57,2  | 0,8  | 0,64               |
| 56,7  | 57,47 | 0,77 | 0,59               | 57,4  | 59    | 1,6  | 2,56               | 57,2  | 59,8  | 2,6  | 6,76               |
| 57,47 | 56,73 | 0,74 | 0,55               | 59    | 56,85 | 2,15 | 4,62               | 59,8  | 57,62 | 2,18 | 4,75               |
| 56,73 | 57,32 | 0,59 | 0,35               | 56,85 | 56,74 | 0,11 | 0,012              | 57,41 | 57,2  | 0,21 | 0,04               |
| 57,32 | 57    | 0,32 | 0,1                | 56,74 | 57,22 | 0,48 | 0,23               | 57,2  | 58,5  | 1,3  | 1,69               |
| 57,7  | 57,5  | 0,2  | 0,04               | 57,22 | 57,56 | 0,34 | 0,12               | 58,5  | 57,4  | 1,1  | 1,21               |
| 57,5  | 58,18 | 0,98 | 0,96               | 56,6  | 56,9  | 0,3  | 0,09               | 57,4  | 57,8  | 0,4  | 0,16               |
| 58,18 | 58,72 | 0,24 | 0,06               | 56,9  | 57,5  | 0,6  | 0,36               | 58,2  | 59    | 0,8  | 0,64               |
| 58,72 | 58,16 | 0,56 | 0,31               | 57,5  | 57    | 0,5  | 0,25               |       |       |      |                    |



Calcul de la variance d'estimation des Constantes aléatoires

Teneur : Direction SW-NE

| X     | Y    | $ X-Y $ | $(X-Y)^2$ | X     | Y     | $ X-Y $ | $(X-Y)^2$ | X     | Y     | $ X-Y $ | $(X-Y)^2$ |
|-------|------|---------|-----------|-------|-------|---------|-----------|-------|-------|---------|-----------|
| 57,6  | 55,7 | 1,9     | 3,61      | 57,5  | 58    | 0,5     | 0,25      | 59    | 58,5  | 0,5     | 0,25      |
| 55,7  | 57,6 | 1,9     | 3,61      | 58    | 57,4  | 0,6     | 0,36      | 58,3  | 57,32 | 0,98    | 0,96      |
| 56,7  | 57,5 | 0,8     | 0,64      | 57,2  | 57,17 | 0,27    | 0,07      | 57,21 | 56,4  | 0,81    | 0,88      |
| 57,5  | 59,4 | 1,6     | 2,56      | 57,7  | 58,45 | 1,01    | 1,02      | 58,16 | 57,92 | 0,74    | 0,55      |
| 57,1  | 56,6 | 0,5     | 0,25      | 58,18 | 57,08 | 2,4     | 5,76      | 57,42 | 56,6  | 0,82    | 0,67      |
| 56,6  | 57,3 | 1,2     | 1,44      | 58,03 | 58,05 | 0,02    | 0,0004    | 58,26 | 57,22 | 0,94    | 0,88      |
| 55,6  | 56,8 | 1,2     | 1,44      | 58,01 | 58,05 | 0,79    | 0,62      | 57,22 | 58,0  | 0,84    | 0,71      |
| 56,8  | 57,7 | 0,9     | 0,81      | 58,8  | 57    | 0,18    | 0,0324    | 58,05 | 58,1  | 0,05    | 0,0025    |
| 57,7  | 56,9 | 0,8     | 0,64      | 57    | 58,4  | 2,4     | 4,44      | 58,1  | 58,8  | 1,7     | 2,89      |
| 56,9  | 57,9 | 1       | 1         | 59,4  | 58    | 1,4     | 1,96      | 58,5  | 57,4  | 2,4     | 5,76      |
| 57,5  | 57,4 | 0,1     | 0,01      | 58    | 57,2  | 0,8     | 0,64      | 58,68 | 57    | 0,18    | 0,0324    |
| 57,4  | 56,9 | 0,5     | 0,25      | 57,2  | 58,4  | 1       | 1         | 57    | 57,3  | 0,3     | 0,09      |
| 56,9  | 58,7 | 1,8     | 3,24      | 57,3  | 57    | 0,3     | 0,09      | 57,3  | 58,35 | 0,42    | 0,18      |
| 58,7  | 57,4 | 1,3     | 1,69      | 57    | 58,75 | 0,27    | 0,0729    | 58,58 | 57,58 | 0,98    | 1,39      |
| 57,4  | 56,4 | 0,98    | 0,96      | 58,73 | 58,72 | 1,99    | 3,96      | 57,36 | 57,34 | 0       | 0         |
| 56,42 | 56,7 | 0,28    | 0,08      | 58,72 | 57,07 | 1,65    | 2,72      | 57,35 | 58,2  | 2,64    | 6,97      |
| 56,7  | 57,5 | 0,8     | 0,64      | 57,07 | 58,4  | 1,03    | 1,06      | 58,2  | 58,18 | 0,72    | 0,52      |
| 57,8  | 58,7 | 0,9     | 0,81      | 58,1  | 58,16 | 1,36    | 1,85      | 58,18 | 57,62 | 1,66    | 3,46      |
| 58,7  | 59   | 0,3     | 0,09      | 56,75 | 58,2  | 1,45    | 2,10      | 57,6  | 58,0  | 0,4     | 0,16      |
| 59    | 57,5 | 1,5     | 2,25      | 58,2  | 58,7  | 0,5     | 0,25      | 57,2  | 58,6  | 1,3     | 1,69      |
| 57,5  | 57,5 | 0       | 0         | 58,5  | 59    | 0,5     | 0,25      | 58,5  | 57,2  | 1,3     | 1,69      |



Les résultats sont :

$$\sum |x - y| = 59,37$$

$$\sum (x - y)^2 = 86,88$$

$$n=59$$

écart absolu :  $\Delta_1 = 0,725$

écart-type :  $\sigma_2 = 0,865$

test :  $\frac{\Delta_1}{\sigma_2} = \frac{0,725}{0,865} = 0,84$

D'après le test, c'est également la loi normale que l'on retrouve dans la deuxième direction .

.Conclusion

Dans le cas des teneurs, le gisement se présente aussi sous forme de placer dont la direction principale est l'orientation SW-NE .

En utilisant le même test du F, nous aurons :

$$\chi^2_1 = 0,665$$

$$\chi^2_2 = 0,745$$

degrés de liberté :  $\nu_1 = 62$

$$\nu_2 = 58$$

Le coefficient F calculé est :  $F = \frac{0,745}{0,665} = 1,12$

Pour un seuil  $\alpha = 0,05$ , la valeur de F d'après la table est:

$$F_{0,05} = 1,39$$

Nous voyons que  $F_{0,05} > F$

Le choix de l'écart-type suivant la première ou deuxième direction est indifférent au seuil  $\alpha = 0,05$

Sur la base de 500m entre deux sondages, les teneurs ne présentent aucune anisotropie ;

3.3.4. Estimation des erreurs .

3.3.4.1. Loi normale

L'utilisation du test  $\frac{\Delta}{\sigma} = 0,3$  a montré qu'il était possible d'ajuster les constituants aléatoires de la puissance et de la teneur par une loi normale.

Pour une loi normale, les erreurs commises à l'estimation des différents paramètres géologiques sont de la forme suivante:

. erreur absolue:  $M_{a\bar{X}} = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$

. erreur relative:  $M_{r\bar{X}} = \frac{M_{a\bar{X}}}{\bar{X}} \cdot 100$

t: coefficient de probabilité (t=2)

$\sigma$ : écart-type d'estimation des constituants aléatoires

$\bar{X}$ : valeur moyenne de la grandeur à étudier

n: nombre de points d'observation

3.3.4.1.1. Puissance

D'après le test du F, nous choisissons  $\sigma = 2,28$

$\bar{X} = 8,96$ : puissance moyenne (en mètre)

n = 75: nombre de sondages

t = 2: coefficient de probabilité

erreur absolue:  $\frac{2 \cdot 2,28}{\sqrt{75}} = 0,53$

erreur relative:  $\frac{0,53}{8,96} \cdot 100 = 5,88\%$

3.3.4.1.2. Teneur

$\sigma = 0,865$ : écart-type

t = 2: coefficient de probabilité

$\bar{X} = 57,57$ : teneur moyenne (en %  $F_e$ )

n = 75: nombre de sondages



$$\text{erreur absolue : } M_{a\bar{x}} = \frac{2 \cdot 0,865}{\sqrt{75}} = 0,20$$

$$\text{erreur relative : } M_{r\bar{x}} = \frac{0,20}{57,57} \cdot 100 = 0,35\%$$

3.3.4.1.3. Réserves

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta m}{m} = M_{rm} \dots \dots \dots \Delta Q_r = M_{rm}$$

$$\text{erreur absolue : } M_{a\bar{Q}} = \frac{M_{rm} \cdot \bar{Q}}{100} = \frac{5,88 \cdot 380}{100} = 22,344$$

3.3.4.1.4. Conclusion

En comparant les résultats trouvés dans l'étude statistique à ceux de l'étude géostatistique, nous remarquons qu'il existe des différences quant aux erreurs commises à l'estimation des grandeurs géologiques .

Ces différences résultent du fait que dans un cas les grandeurs géologiques étaient supposées indépendantes les unes des autres c'est à dire considérées comme variables aléatoires, et dans un autre cas elles étaient liées dans l'espace du gisement, c'est à dire prises comme variables régionalisées; .

Nous pouvons donc dire qu'il existe toujours des différences entre les grandeurs géologiques lorsqu'on tient, ou non , compte de leur répartition spatiale.

Ces différences trouvées ne sont pas importantes.

Nous pouvons conclure que, sur la base de la maille de prospection considérée ( distance entre deux sondages égale à 500 mètres ), il est impossible de dégager une continuité dans la répartition spatiale des paramètres étudiés: .

### 3.3.4.2. Loi à trois dimensions

Les résultats précédents ayant montré que les constituants aléatoires des puissances et des toneurs se distribuent suivant une loi normale. Dans cette partie, nous essayons de voir, si effectivement, ces grandeurs évoluent normalement dans l'espace considéré.

#### 3.3.4.2.1. Puissance

Nous avons établi, dans deux directions différentes, des nuages de corrélation ( planches G1 et G2 ).

Nous remarquons que ces nuages se présentent sous la même forme que dans le premier cas vu en introduction.

Ceci veut dire que les constituants aléatoires des puissances se distribuent suivant une loi normale. La planche G3 peut justifier ce résultat, car la différence (A' - B') est indépendante de A'.

Dans ce cas, les erreurs commises à l'estimation des constituants aléatoires sont de la même forme que précédemment, c'est à dire:

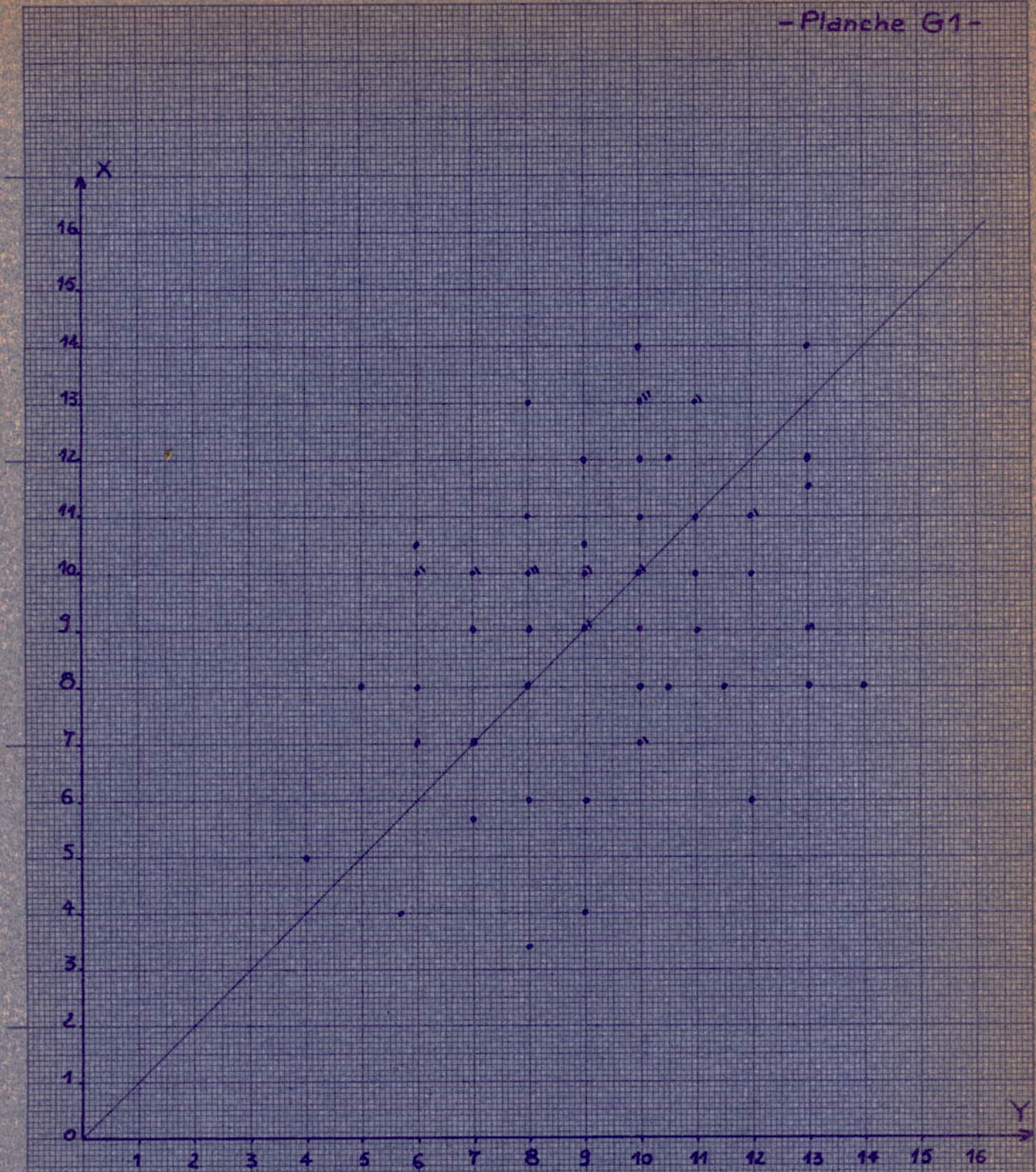
$$\text{erreur absolue: } M_a = \frac{t \cdot \bar{Z}}{\sqrt{N}}$$

$$\text{erreur relative } M_r = \frac{M_a}{\bar{X}} \cdot 100$$

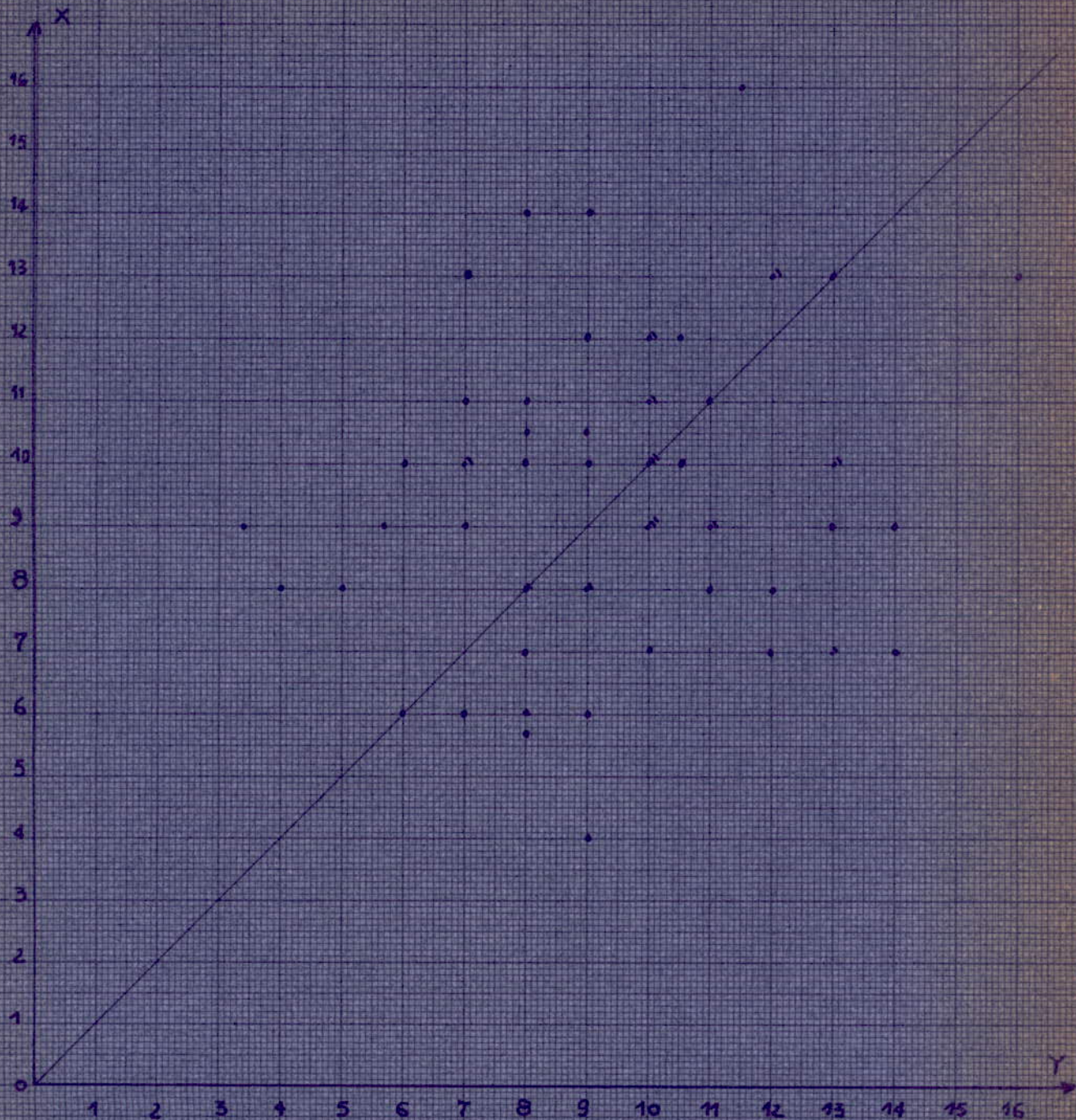
Le résultat de la loi normale étant confirmé dans les deux cas, nous essayons de tracer un plan en isopuissances. Pour cela nous cherchons l'intervalle entre les différentes lignes avec la méthode (X + 2.Z),

Partant d'une valeur minimale de la puissance (3,4 m) avec l'écart-type de la première direction  $\bar{Z} = 1,96$ , nous aurons :

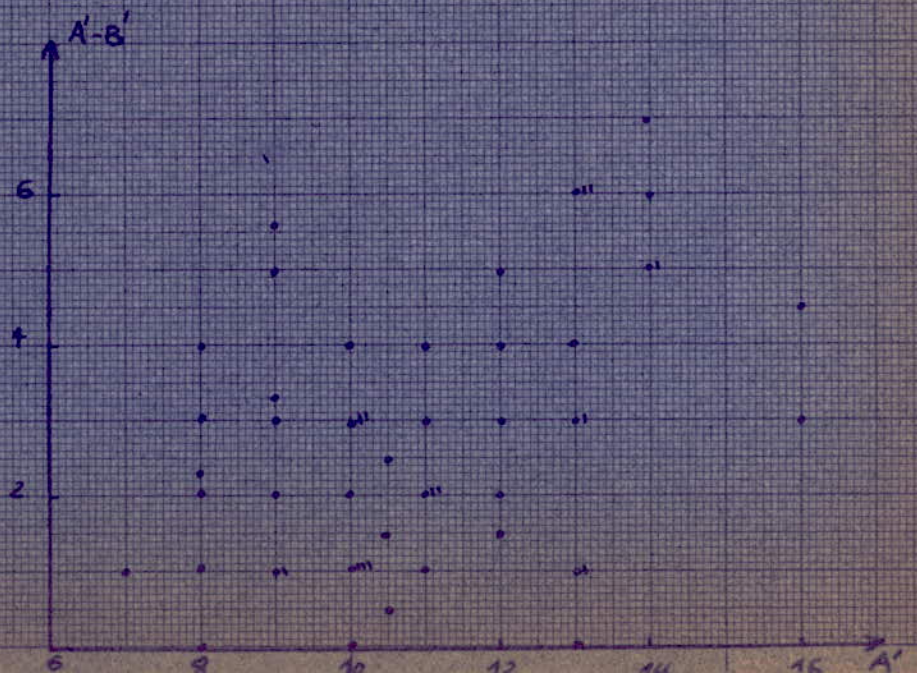
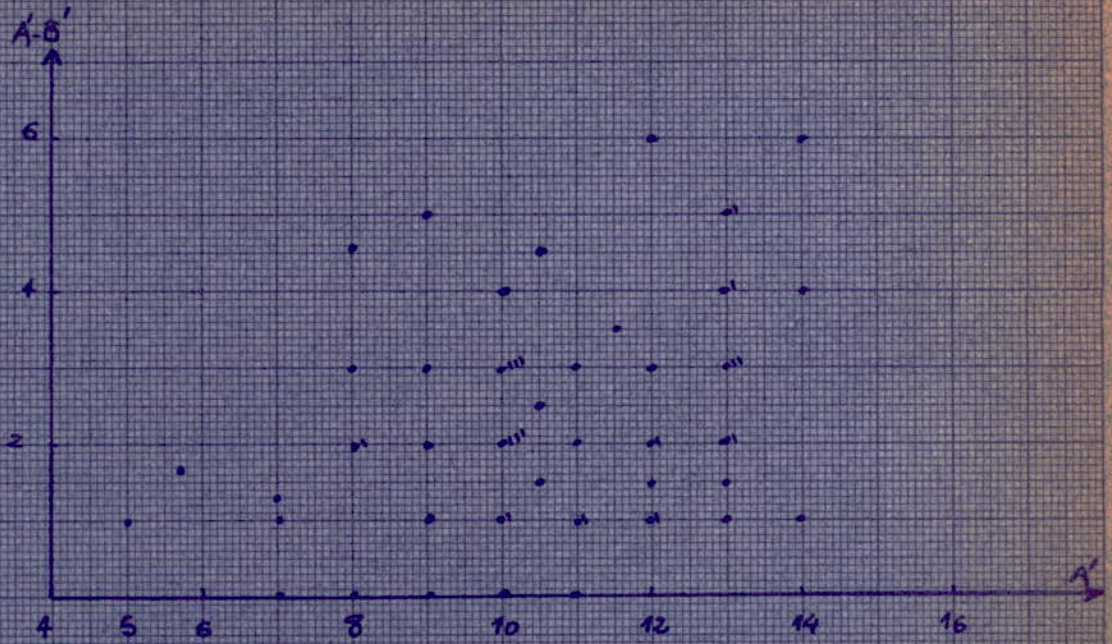














$$3,4 + 2 \cdot 1,96 = 7,32$$

$$7,32 + 2 \cdot 1,96 = 11,24$$

$$11,24 + 2 \cdot 1,96 = 15,16$$

$$15,16 + 2 \cdot 1,96 = 19,08$$

{ 3,4; 16 } est l'intervalle d'évolution des différentes puissances. Les bornes servent à choisir un intervalle optimal entre les isolignes sur un plan horizontal.

L'intervalle optimal est  $t \cdot \bar{z} = 2 \cdot 1,96 = 3,92$ . D'après ces résultats, nous avons tracé un plan en isopuissances approximatif avec les niveaux : 3 ; 7 ; 11 ; 15 . (planche II).

#### 3.3.4.2.2. Teneur .

D'après les nuages de corrélation et les fonctions  $A' - B' = f(A')$  (planches G4 à G6), nous remarquons qu'il est possible d'attribuer aux constituants aléatoires des teneurs , suivant les deux directions une loi à trois dimensions.

Dans ce cas, les erreurs d'estimation des constituants aléatoires seront de la forme (J. OUSSIKOV) :

$$\text{erreur absolue :} \quad M_a = (\bar{X} + C) \left( 10 \frac{t \cdot \bar{z}}{\sqrt{n}} - 1 \right)$$

$$\text{erreur relative:} \quad M_r = \frac{M_a}{\bar{X}} \cdot 100$$

Dans ces formules, nous avons deux inconnues C et  $\bar{z}$  . Pour les déterminer, nous adoptons le modèle mathématique suivant (Y. OUSSIKOV)

.../...



| X                   | Y                   | A                   | B                   | A'                   | B'                   | A'-B'                   | Y'                   | X'                   | X' <sup>2</sup>                   | X'.Y'                                 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| I                   | 2                   | 3                   | 4                   | 5                    | 6                    | 7                       | 8                    | 9                    | 10                                | 11                                    |
| X <sub>i</sub><br>⋮ | Y <sub>i</sub><br>⋮ | A <sub>i</sub><br>⋮ | B <sub>i</sub><br>⋮ | A' <sub>i</sub><br>⋮ | B' <sub>i</sub><br>⋮ | A'-B' <sub>i</sub><br>⋮ | Y' <sub>i</sub><br>⋮ | X' <sub>i</sub><br>⋮ | X' <sub>i</sub> <sup>2</sup><br>⋮ | X' <sub>i</sub> .Y' <sub>i</sub><br>⋮ |
| Σ                   |                     |                     |                     |                      |                      |                         | Σ Y' <sub>i</sub>    | Σ X' <sub>i</sub>    | Σ X' <sub>i</sub> <sup>2</sup>    | Σ X' <sub>i</sub> .Y' <sub>i</sub>    |

X et Y sont les données de la prospection; elles sont arrangées en A si  $X - Y > 0$  et en B si  $X - Y < 0$ .

A' et B' sont les arrangements de A et B dans le sens décroissant; la différence (A' - B') est utilisée pour l'établissement des courbes  $A' - B' = f(A')$ . Ces courbes nous donnent une idée quant à la distribution des grandeurs X et Y.

Le calcul de  $Y' = \frac{A'}{B'} - I$ ,  $X' = \frac{I}{A'}$ ,  $X'^2$  et  $X'.Y'$  nous permet de trouver un système d'équations pour la recherche de la constante C

$$\begin{cases} Y' = n.a + b \sum X' \\ \sum X'.Y' = a \sum X' + b \sum X'^2 \end{cases}$$

Remarque:

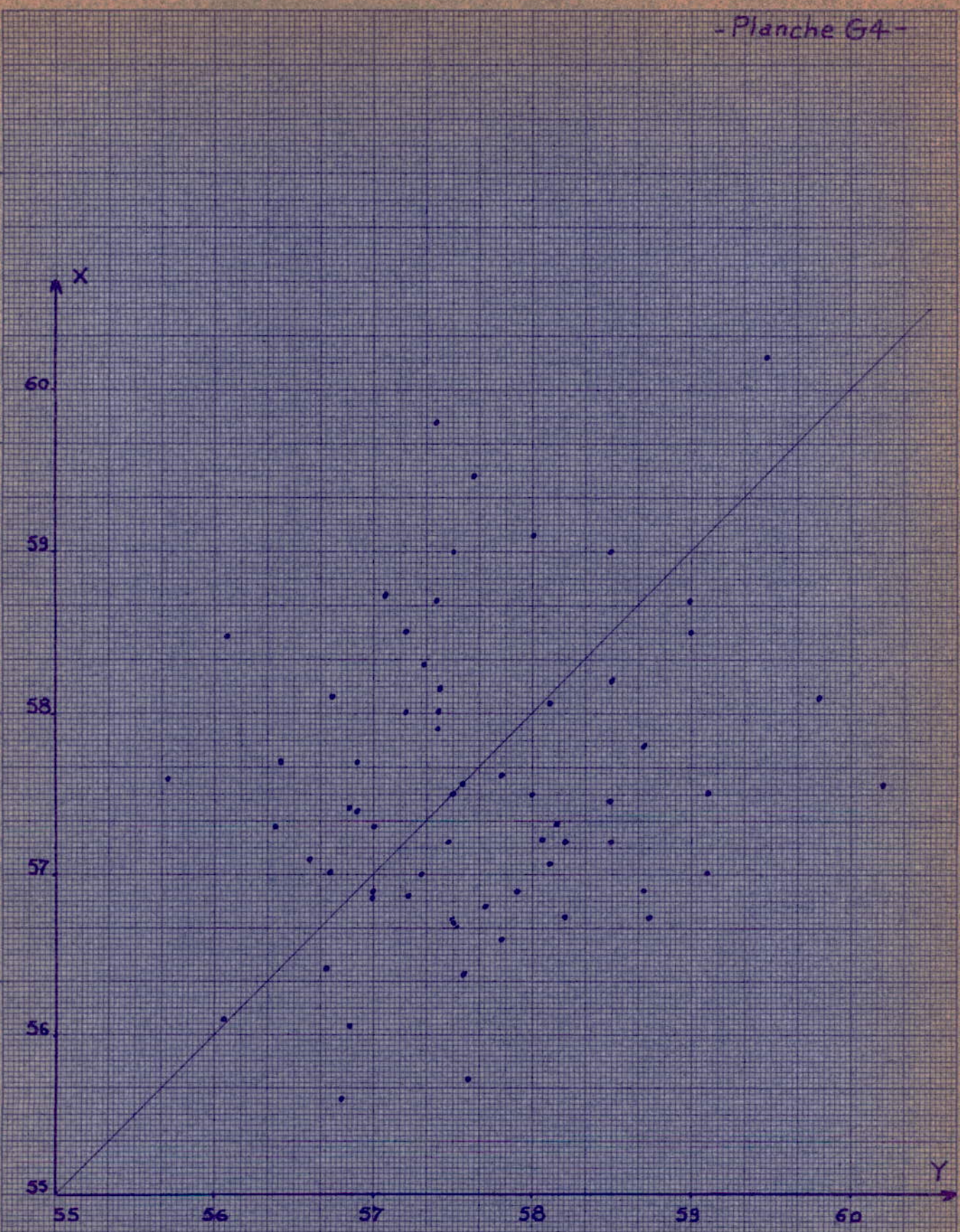
Dans notre cas, la valeur de C est négative car la fonction  $Y'=f(X')$  se présente sous la forme  $Y' = a + b.X'$  avec  $a > 0$  et  $b < 0$  :  $C = \frac{b}{a}$ .

Pour la résolution de ce système, nous avons choisi la méthode des moindres carrés.

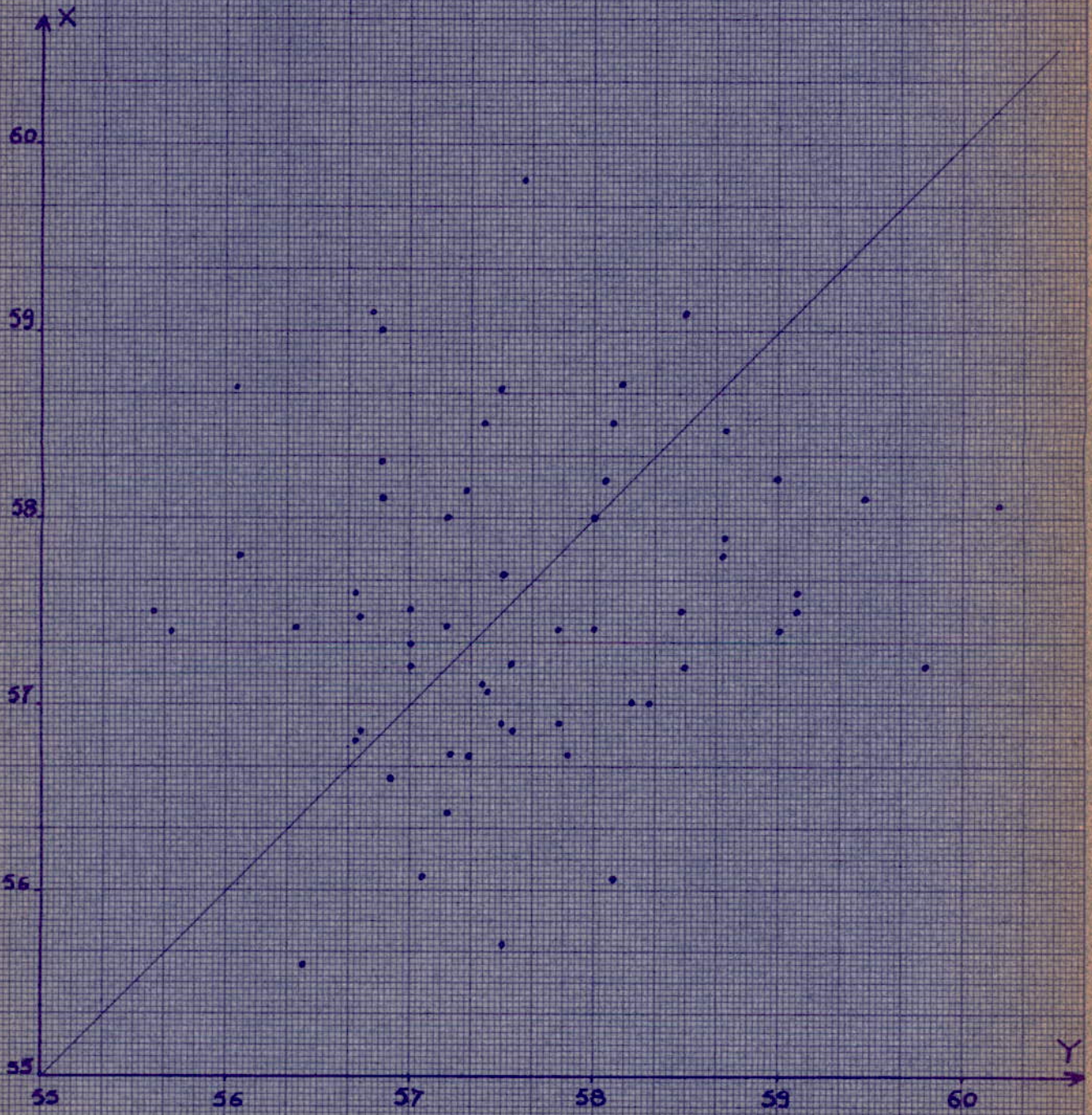
Vu le nombre de données, nous avons utilisé des séries classées (tableaux M1 à M4).

La valeur de C considérée dans les calculs a été prise égale à la moyenne des quatre valeurs trouvées par les séries classées; nous aboutissons à une valeur finale  $C = -50$ .

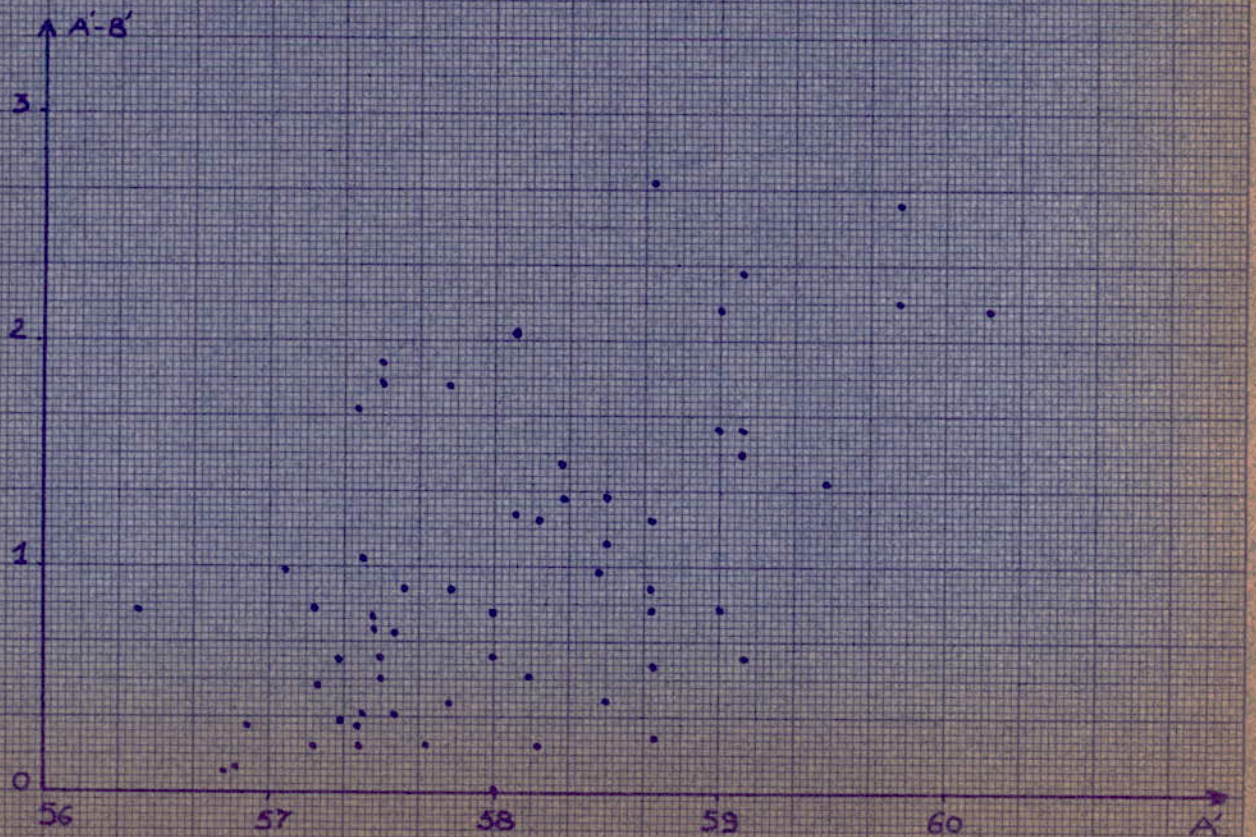
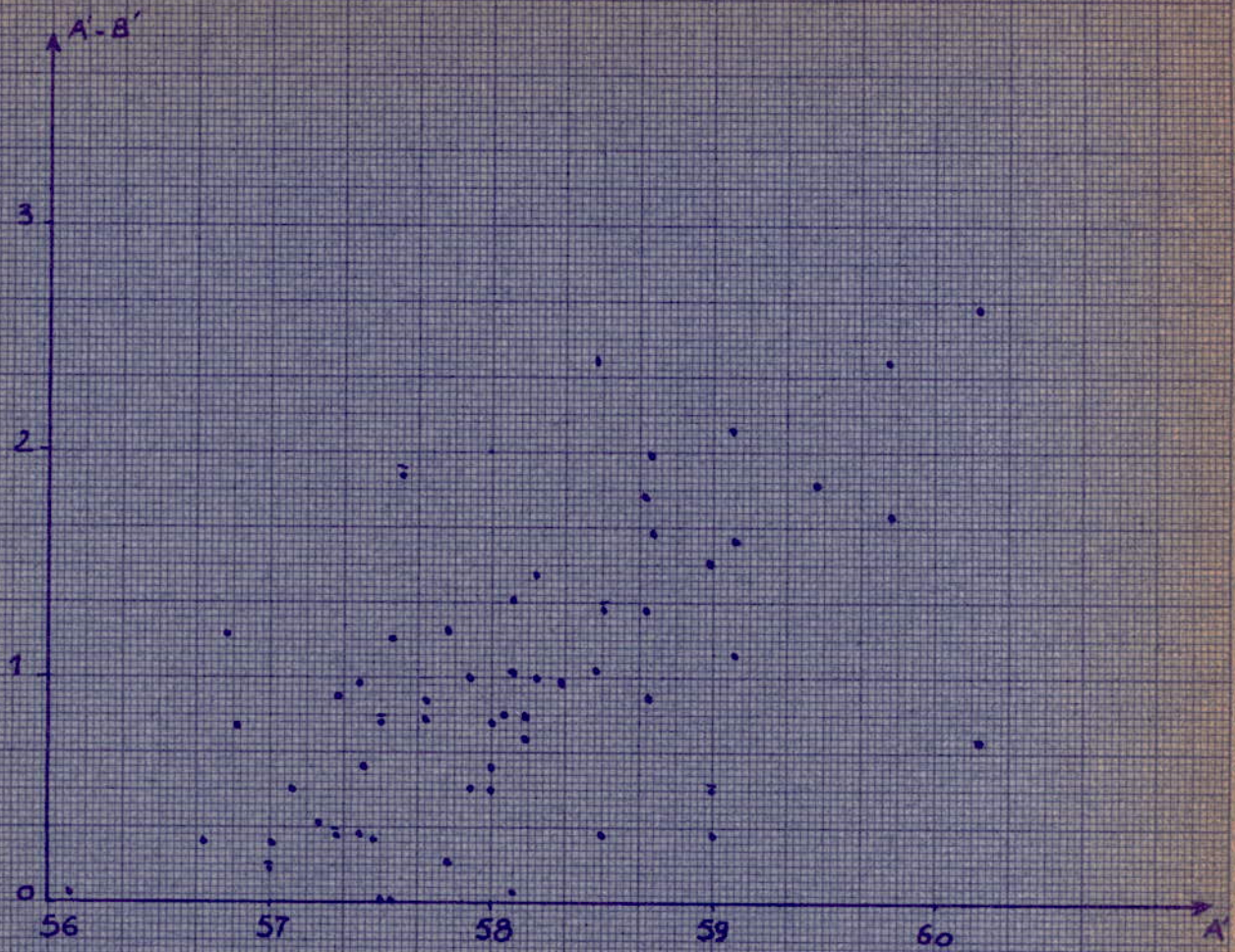














Séries Classées Pour Teneur Suivant La Direction SW-NE  
1<sup>er</sup> Cas

| A'       | B'    | A'-B' | $Y' = \frac{A'}{B'} - 1$ | $X' = \frac{1}{B'}$ | $X'^2$  | $X' \cdot Y'$ | $Y'' = \frac{B'+C}{B'}$ | $Y' - Y''$ | $A'+C$<br>(=A) | $B'+C$<br>(=B) | $\log \alpha$ | $\log \beta$ | $\log \alpha - \log \beta$ | $(\log \alpha - \log \beta)^2$ |
|----------|-------|-------|--------------------------|---------------------|---------|---------------|-------------------------|------------|----------------|----------------|---------------|--------------|----------------------------|--------------------------------|
| 56,39    | 56,24 | 0,15  | 0,00267                  | 0,01778             | 0,00032 | 0,00005       | 0,01630                 | -0,0136    | 6,39           | 6,24           | 0,806         | 0,795        | 0,011                      | 0,00012                        |
| 57,14    | 56,60 | 0,54  | 0,00954                  | 0,01767             | 0,00031 | 0,00017       | 0,01641                 | -0,0069    | 7,14           | 6,60           | 0,854         | 0,820        | 0,034                      | 0,00116                        |
| 57,77    | 57,01 | 0,76  | 0,01333                  | 0,01754             | 0,00031 | 0,00023       | 0,01654                 | -0,0032    | 7,77           | 7,04           | 0,890         | 0,846        | 0,044                      | 0,00194                        |
| 58,47    | 57,20 | 1,27  | 0,02220                  | 0,01748             | 0,00031 | 0,00039       | 0,01659                 | +0,0056    | 8,47           | 7,20           | 0,928         | 0,851        | 0,071                      | 0,00504                        |
| 59,10    | 57,92 | 1,18  | 0,02037                  | 0,01727             | 0,0003  | 0,00035       | 0,01680                 | +0,0036    | 9,10           | 7,92           | 0,959         | 0,899        | 0,060                      | 0,0036                         |
| 60       | 58,16 | 1,84  | 0,03164                  | 0,01719             | 0,0003  | 0,00054       | 0,01687                 | 0,0148     | 10             | 8,16           | 1             | 0,912        | 0,088                      | 0,00774                        |
| $\Sigma$ |       |       | 0,09975                  | 0,10493             | 0,00185 | 0,00173       |                         |            |                |                |               |              | 0,308                      | 0,0196                         |

Séries Classées Pour Teneur Suivant La Direction SW-NE  
2<sup>ème</sup> Cas

| A'       | B'    | A'-B' | $Y' = \frac{B'}{A'} - 1$ | $X' = \frac{1}{A'}$ | $X'^2$  | $X' \cdot Y'$ | $Y' = \frac{A'+C}{A'}$ | $Y' - Y''$ | A'+C<br>(α) | B'+C<br>(β) | log α | log β | log α - log β | $[\log \alpha - \log \beta]^2$ |
|----------|-------|-------|--------------------------|---------------------|---------|---------------|------------------------|------------|-------------|-------------|-------|-------|---------------|--------------------------------|
| 56,39    | 56,24 | 0,15  | -0,00266                 | 0,01773             | 0,00031 | -0,00005      | -0,01496               | +0,01230   | 6,35        | 6,24        | 0,806 | 0,795 | 0,011         | 0,00012                        |
| 57,14    | 56,60 | 0,54  | -0,00945                 | 0,01750             | 0,00031 | -0,00047      | -0,01552               | +0,00607   | 7,14        | 6,60        | 0,854 | 0,820 | 0,034         | 0,00116                        |
| 57,77    | 57,01 | 0,76  | -0,01315                 | 0,01731             | 0,00030 | -0,00023      | -0,01538               | +0,00283   | 7,77        | 7,01        | 0,890 | 0,846 | 0,044         | 0,00194                        |
| 58,47    | 57,20 | 1,27  | -0,02172                 | 0,01710             | 0,00029 | -0,00037      | -0,01649               | -0,00523   | 8,47        | 7,20        | 0,928 | 0,857 | 0,071         | 0,00504                        |
| 59,10    | 57,92 | 1,78  | -0,01937                 | 0,01692             | 0,00029 | -0,00034      | -0,01693               | -0,00244   | 9,10        | 7,92        | 0,959 | 0,899 | 0,060         | 0,00360                        |
| 60       | 58,16 | 1,84  | -0,03067                 | 0,01667             | 0,00028 | -0,00051      | -0,01755               | -0,01312   | 10          | 8,16        | 1     | 0,912 | 0,088         | 0,00774                        |
| $\Sigma$ |       |       | -0,09762                 | 0,10325             | 0,00178 | -0,00167      |                        |            |             |             |       |       | 0,308         | 0,0196                         |



Séries Classées Pour Teneur Suivant la Direction NW-SE

1<sup>er</sup> Cas

| A'       | B'    | A' - B' | $Y' = \frac{A'}{B'} - 1$ | $X' = \frac{1}{B'}$ | $X'^2$  | $X' \cdot Y'$ | $Y' = \frac{B+C}{B} \cdot a$ | $Y' - Y^*$ | A+C<br>(a) | B+C<br>(B) | $\lg a$ | $\lg B$ | $\lg a - \lg B$ | $(\lg a - \lg B)^2$ |
|----------|-------|---------|--------------------------|---------------------|---------|---------------|------------------------------|------------|------------|------------|---------|---------|-----------------|---------------------|
| 56,81    | 56,34 | 0,47    | 0,00854                  | 0,01775             | 0,00032 | 0,00015       | 0,01625                      | -0,00791   | 6,81       | 6,34       | 0,833   | 0,802   | 0,031           | 0,00096             |
| 57,48    | 56,72 | 0,76    | 0,01340                  | 0,01763             | 0,00031 | 0,00024       | 0,01869                      | -0,00529   | 7,48       | 6,72       | 0,874   | 0,827   | 0,047           | 0,00221             |
| 58,24    | 57,28 | 0,96    | 0,01676                  | 0,01746             | 0,0003  | 0,00029       | 0,02222                      | -0,00546   | 8,24       | 7,28       | 0,916   | 0,862   | 0,054           | 0,00292             |
| 58,90    | 57,60 | 1,30    | 0,02257                  | 0,01736             | 0,0003  | 0,00039       | 0,02421                      | -0,00164   | 8,90       | 7,60       | 0,949   | 0,881   | 0,068           | 0,00462             |
| 59,69    | 57,64 | 2,05    | 0,03557                  | 0,01735             | 0,0003  | 0,00062       | 0,02446                      | +0,0111    | 9,69       | 7,64       | 0,986   | 0,883   | 0,103           | 0,01061             |
| 60,20    | 58,06 | 2,14    | 0,03686                  | 0,01722             | 0,0003  | 0,00063       | 0,02703                      | +0,00983   | 10,20      | 8,06       | 1,009   | 0,906   | 0,103           | 0,01061             |
| $\Sigma$ |       |         | 0,1335                   | 0,10477             | 0,00183 | 0,00232       |                              |            |            |            |         |         | 0,406           | 0,03193             |

Séries Classées Pour Teneur Suivant La Direction NW-SE  
2<sup>ème</sup> Cas

| A'    | B'    | A'-B' | $Y' = \frac{B'}{A'} - 1$ | $X' = \frac{1}{A'}$ | X' <sup>2</sup> | X'.Y'    | $Y' = \frac{A'+C}{A'}$ | Y'-Y''  | A'+C<br>(α) | B'+C<br>(β) | log α | log β | log α - log β | (log α - log β) <sup>2</sup> |
|-------|-------|-------|--------------------------|---------------------|-----------------|----------|------------------------|---------|-------------|-------------|-------|-------|---------------|------------------------------|
| 56,81 | 56,34 | 0,47  | -0,00827                 | 0,01760             | 0,00031         | -0,00045 | -0,0230                | +0,0205 | 6,81        | 6,34        | 0,833 | 0,802 | 0,031         | 0,00096                      |
| 57,48 | 56,72 | 0,76  | -0,01322                 | 0,01740             | 0,00030         | -0,00023 | -0,0259                | +0,0127 | 7,48        | 6,72        | 0,874 | 0,827 | 0,047         | 0,00227                      |
| 58,24 | 57,28 | 0,96  | -0,01618                 | 0,01747             | 0,00029         | -0,00028 | -0,0227                | +0,0062 | 8,24        | 7,28        | 0,916 | 0,862 | 0,054         | 0,00292                      |
| 58,90 | 57,60 | 1,30  | -0,02207                 | 0,01698             | 0,00029         | -0,00037 | -0,0200                | -0,0021 | 8,90        | 7,60        | 0,949 | 0,881 | 0,068         | 0,00462                      |
| 59,69 | 57,64 | 2,05  | -0,03433                 | 0,01675             | 0,00028         | -0,00058 | -0,0168                | -0,0175 | 9,69        | 7,64        | 0,986 | 0,883 | 0,103         | 0,01061                      |
| 60,20 | 58,06 | 2,14  | -0,03555                 | 0,01661             | 0,00028         | -0,00059 | -0,0143                | -0,0207 | 10,20       | 8,06        | 1,009 | 0,906 | 0,103         | 0,01061                      |
| Σ     |       |       | -0,12992                 | 0,10259             | 0,00175         | -0,00220 |                        |         |             |             |       |       | 0,406         | 0,03193                      |



Une fois cette valeur de C trouvée, nous cherchons l'écart-type de la distribution transformée. Pour cela la suite du modèle est:

| $Y' = \frac{B+C}{B'}$ | $Y' - Y''$         | $X+C$<br>( $\alpha$ ) | $Y+C$<br>( $\beta$ ) | $\log \alpha$ | $\log \beta$ | $ \log \alpha - \log \beta $        | $[\log \alpha - \log \beta]^2$        |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 12                    | 13                 | 14                    | 15                   | 16            | 17           | 18                                  | 19                                    |
| $Y''$                 | -                  | -                     | -                    | -             | -            | -                                   | -                                     |
| $\Sigma$              | $\Sigma[Y' - Y'']$ |                       |                      |               |              | $\Sigma  \log \alpha - \log \beta $ | $\Sigma [\log \alpha - \log \beta]^2$ |

$Y''$  est cherché pour savoir si les calculs ont été bien effectués. Si cela est, nous devons avoir une somme algébrique  $\Sigma(Y'_i - Y''_i) = 0$ . La valeur de C est utilisée pour la correction de X et Y, d'où:  $(X + C)$  et  $(Y + C)$ .

Les valeurs  $\log(X+C)$  et  $\log(Y+C)$  vont se distribuer suivant une loi normale. Pour savoir si c'est une loi normale, nous utilisons le test  $\frac{\Delta}{\bar{z}} = 0,8$

l'écart absolu est  $\Delta = \frac{\Sigma |\log(X+C) - \log(Y+C)|}{\sqrt{2(n-1)}}$

l'écart-type est :  $\bar{z} = \sqrt{\frac{\Sigma (\log(X+C) - \log(Y+C))^2}{2(n-1)}}$

a. Direction SW-NE :

les résultats sont, d'après le tableau MTM, :

$$\Sigma |\log(X+C) - \log(Y+C)| = 3,39829$$

$$\Sigma (\log(X+C) - \log(Y+C))^2 = 0,26495$$

$$n = 63$$

écart absolu :  $\Delta_1 = 0,0388$

écart-type :  $\bar{z}_1 = 0,0462$

test :  $\frac{\Delta_1}{\bar{z}_1} = 0,84$

D'après ce test, la correction est convenable car les nouvelles valeurs se distribuent selon une loi normale.

b. Direction NW-SE :

nous avons :

$$\sum |\log(X+C) - \log(Y+C)| = 3,17763$$

$$\sum (\log(X+C) - \log(Y+C))^2 = 0,27649$$

$$n = 50$$

$$\Delta_x = 0,0387$$

$$\bar{z}_x = 0,0488$$

$$\frac{\Delta_x}{\bar{z}_x} = \frac{0,0387}{0,0488} = 0,794$$

Remarque :

la loi de distribution des nouveaux constituants est normale suivant les deux directions .

Pour le calcul des erreurs , nous utiliserons les résultats suivants:

$$\bar{X} = 57,57$$

$$C = 50$$

$$t = 2$$

$$\bar{z} = 0,0488$$

$$n = 75$$

$$M_{a+} = + 0,20$$

$$M_{a-} = - 0,19$$

$$M_{r+} = 0,35\%$$

$$M_{r-} = -0,34\%$$



Pour savoir s'il est possible de déterminer une continuité dans l'espace sur la base de 500 mètres, nous faisons le calcul suivant pour une valeur minimale de la teneur ( $X_I$ ), l'erreur absolue est:

$$M_{aI} = (X_I + C)(10^{-t} \cdot Z - 1)$$

ainsi si  $X_I = 55,6$  ;  $C = -50$  ;  $t = 2$  ;  $Z = 0,0462$  , nous aurons :

$$M_{aI} = 1,36$$

l'intervalle entre les deux premières lignes est de 1,36 ; la nouvelle valeur sera :  $X_2 = X_I + M_{aI} = 55,6 + 1,36 = 56,96$  nous faisons de la même manière pour le troisième niveau :

$$M_{a2} = 1,65$$

la nouvelle valeur est :  $X_3 = X_2 + M_{a2} = 58,61$

$$M_{a3} = 2,04$$

$$X_4 = X_3 + M_{a3} = 60,65$$

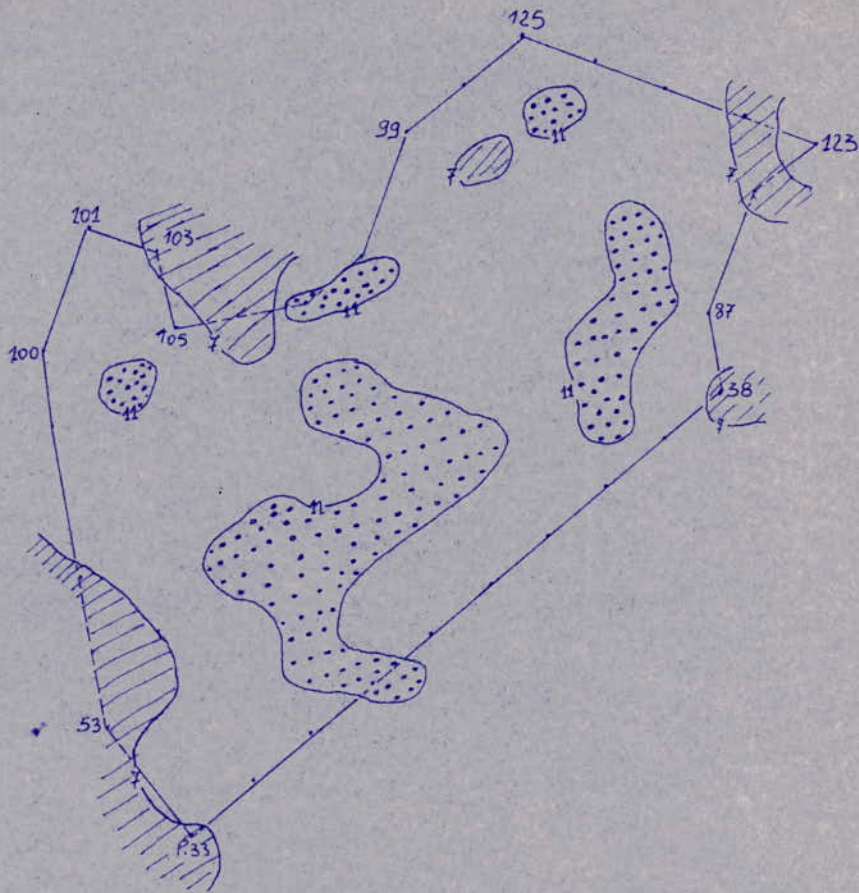
Nous remarquons que dans ce cas , la valeur maximale dans le gisement  $X = 60,20$  est inférieure à  $X_4 = 60,65$  .

Nous concluons en disant qu'il est impossible de tracer avec précision un plan en isoteneurs sur la base de 500 mètres (planche I2).

### 3.3.4.3. Conclusion ;

L'étude des grandeurs géologiques par le nouveau modèle mathématique est plus précis que la méthode de la statistique classique. Dans notre cas , la différence n'est pas très nette car nous avons vu que le gisement était régulier.

Nous remarquons que l'estimation des erreurs a été faite surtout pour établir des plans en isolignes. IL faut noter qu'avec la méthode statistique (test de Fischer) il n'était pas possible de dégager cette continuité dans l'espace car les paramètres , dans l'ensemble du gisement , étaient isotropes .



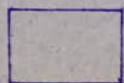
### PLAN EN ISOPUISSANCES



limite du gisement étudié



Epaisseur de la couche  $< 7m$



Epaisseur de la couche = 7 à 11m



Epaisseur de la couche  $> 11m$



### 3.4. ANALYSE DE LA MAILLE DE PROSPECTION.

#### 341. Détermination du Nombre de sondages.

Dans cette étude, nous essayons de trouver le réseau de la maille de prospection efficace ainsi que le nombre de sondage optimum pour la connaissance des réserves d'un gisement futur. Pour cela, il faudrait rappeler quelques définitions.

La densité de la maille de prospection  $S_0$  est la surface du corps minéralisé par rapport à un chantier de prospection traversant le minerai :

$$S_0 = \frac{S}{n}$$

S : Surface du corps minéralisé.

n : nombre de chantier traversant le minéral utile.

La densité du réseau d'étude joue un rôle important au cours de la prospection. Une densité insuffisante peut être la cause d'erreurs importantes de la prospection.

Une densité superflue mènerait à des frais injustifiés.

Pour calculer les réserves de minerai ou de métal avec une grande précision, il faut augmenter le nombre de points d'observation.

Mais selon le principe économie maximale des moyens et du temps, il faut limiter ce nombre d'observation.

Afin d'avoir l'équilibre entre ces deux principes, il nous faut choisir la maille nécessaire et suffisante pour calculer les réserves avec la précision souhaitée tout en tenant des erreurs admissibles.

Pour déterminer les erreurs admissibles, on a été amené à partager les réserves d'un gisement en un certain nombre de catégories, compte tenu du degré de certitude de leur existence. Pour cela il existe plusieurs

classifications telles que :

1) Classification Française

| <u>Réserves</u>                  | <u>Erreurs tolérées</u>       |
|----------------------------------|-------------------------------|
| A : Absolument certaines.....    | ± 5 %                         |
| A <sub>2</sub> : Certaines ..... | ± 20 %                        |
| B : Probables .....              | + 40 %                        |
| C1: Possibles (annoncées).....   | + 60 %                        |
| C2: Possibles (présunées).....   | + 80, + 200, +1000, -90, -95% |

2) Classification Soviétique .

| <u>Réserves</u>                             | <u>Erreurs tolérées</u> |
|---------------------------------------------|-------------------------|
| A : Certaines.....                          | 15 + 20 %               |
| B : Problables.....                         | 20 - 30 %               |
| C, : Possibles (annoncées).....             | 30 - 60 %               |
| C <sub>2</sub> : Possibles (présunées)..... | 95 %.                   |

Au préalable, nous avons trouvé que sur la condition essentiel de l'absence du réseau spatial de corrélation entre deux échantillons X et Y voisins d'une distance  $r$  , il était possible de considérer les variables régionalisées comme aléatoires. Dans ce cas la meilleure estimation de la variabilité des grandeurs géologiques sera la forme mathématique de la loi normale, on peut déterminer le nombre de points d'observation nécessaire d'après la formule :

$$M \% = \frac{V \cdot t}{\sqrt{n}} \qquad n = \left[ \frac{t \cdot V}{M \%} \right]^2$$

M % : erreur relative calculée ou admissible.

V : Coefficient de variation caractérisant la variabilité des propriétés du gisement :  $V = \frac{\sigma}{X} \times 100.$



t = Coefficient de probabilité

n = Nombre d'essais exécutés ou nécessaires

Pour calculer le nombre de points d'observation, nous avons utilisé la classification soviétique.

Pour les réserves certaines, c'est le cas de la partie du gisement que nous avons étudié, les erreurs admissibles sont comprises entre 15 et 20 %.

Nous cherchons n suivant deux cas :

1) La méthode par la statistique classique nous a donné pour les puissance:

$$\tau = 2,48 \text{ (m)}$$

$$\bar{X} = 8,96 \text{ (m)}$$

$$\text{La variabilité est } V = \frac{\tau}{\bar{X}} \times 100 = 27,45 \%$$

$$\text{si } M \% = 15 \text{ , nous aurons : } n = \left( \frac{3 \times 27,45}{15} \right)^2 = 30$$

$$\text{si } M \% = 20 \text{ , nous aurons : } n = \left( \frac{3 \times 27,45}{20} \right)^2 = 17$$

Ainsi pour des erreurs admissibles  $M \% = 15$  à  $20$  , et pour une probabilité de 99 % ( t = 3 ) , le nombre de sondages nécessaire à la connaissance du gisement est compris entre 17 et 30.

2) La méthode géostatistique a donné, pour la direction où l'écart-type est

$\tau = 2,28$  , une variabilité des puissances de :

$$V = \frac{\tau \times 100}{\bar{X}} = \frac{2,28}{8,96} \times 100 = 25,45 \%$$

Pour une probabilité de 99 % ; le nombre de sondages est :

$$M \% = 15 \quad n = \left[ \frac{3 \times 25,45}{15} \right]^2 = 26$$

$$M \% = 20 \quad n = \left[ \frac{3 \times 25,45}{20} \right]^2 = 15$$

$$n = 15 \div 26 \text{ pour } t = 3 \text{ et } \tau = 2,28$$

.../...

Nous remarquons que le nombre de sondages varie suivant la valeur de la variance d'estimation. Ainsi un bon calcul de cette variance nous fournira un nombre précis de sondages à effectuer.

#### 342. Réseau de la Prospection.

Afin de connaître les différentes composantes du gisement, à savoir la quantité de corps des minéraux utiles, leur morphologie, la composition des roches et des minerais formant ce gisement, il est nécessaire d'implanter les forages d'après certains profils ou maille de prospection. On peut rencontrer deux principales techniques :

- 1) -- Méthode des profils : elle est utilisée lorsque les corps de minerai se trouvent sous forme lenticulaire, tubulaire, filonienne avec un fort pendage.
- 2) -- Maille de Prospection: elle est employée dans le cas où les formes des corps de minerai sont isométriques ou en forme de plaques sub-horizontales.

On distingue les mailles carrée, rectangulaire, triangulaire et rhombique (losange). D'après les différentes analyses que nous avons faites, il ressort que si un gisement futur se présente sous la même forme que celui de GARA-DJEBILET, les forages seront implantés suivant un réseau losangique. Cette forme est plus économique que la maille carrée car à des distances égales entre les chantiers, elle demande moins de chantiers par unité de surface.



CONCLUSION

Comme nous l'avons espéré, cette étude nous a donné des résultats appréciables sur l'ensemble des problèmes rencontrés. La détermination de la loi de référence des paramètres géologiques (puissance, teneur) nous a permis de calculer avec une bonne précision, les erreurs que l'on pouvait commettre dans le calcul des réserves. Malgré certaines suppositions (inexistence des erreurs systématiques par exemple), nous pensons que le calcul des réserves qui a été fait, est correct. Nous remarquons d'ailleurs que les erreurs calculées sont dans des limites acceptables.

Les deux méthodes, statistique classique et géostatistique, faites en parallèle, ont abouti aux mêmes résultats. Pour s'en convaincre, nous avons établi un tableau récapitulatif résumant presque tous nos résultats.

| Paramètres | ETUDE STATISTIQUE |               |         |      | ETUDE GEOSTATISTIQUE |                  |       |      | 2° cas (teneur)  |                  |
|------------|-------------------|---------------|---------|------|----------------------|------------------|-------|------|------------------|------------------|
|            | loi de référence  | Variabilité % | Erreurs |      | Premier cas          |                  |       |      |                  |                  |
|            |                   |               | Ma      | Mr   | Z <sub>1I</sub>      | Z <sub>1II</sub> | Ma    | Mr   | Z <sub>2I</sub>  | Z <sub>2II</sub> |
| Teneur     | Normale           | 1,43          | 0,25    | 0,45 | 0,815                | 0,865            | 0,2   | 0,35 | Z <sub>2I</sub>  | 0,0462           |
|            |                   |               |         |      |                      |                  |       |      | Z <sub>2II</sub> | 0,0488           |
|            |                   |               |         |      |                      |                  |       |      | Ma+              | 0,20             |
| Puissance  | Normale           | 27,45         | 0,58    | 6,4  | 1,96                 | 2,28             | 0,53  | 5,88 | Ma-              | -0,19            |
|            |                   |               |         |      |                      |                  |       |      | Mr+              | 0,35%            |
| Réserves   | -                 | -             | 24,32   | 6,4  | -                    | -                | 22,34 | 5,88 | Mr-              | -0,34%           |

L'application de la statistique classique nous a permis d'étudier, en plus des lois de référence et des erreurs, la corrélation entre les paramètres géologiques que nous avons jugé intéressants.

Il ressort de cette étude que :

- 1) L'utilisation de la teneur prise comme moyenne arithmétique est tout à fait justifiable car on n'a pas remarqué de corrélation entre la puissance de la couche et la teneur du minerai.
- 2) La corrélation entre la densité mesurée au laboratoire et la teneur en fer, nous a permis de tracer une droite de régression entre la densité apparente du minerai et sa teneur. Nous pensons que cette corrélation est fort utile pour une bonne exploitation
- 3) Eventuellement les corrélations entre phosphore - teneur et silice - teneur en fer, peuvent servir aussi pour l'exploitation future du gisement de gara-Djebilet.

En faisant l'estimation des erreurs par le nouveau modèle mathématique, notre objectif était d'établir des plans en isolignes ( pour la puissance et la teneur) susceptibles d'être utilisés pour une bonne exploitation du gisement.

Dans notre cas, d'après certains tests, il n'existent pas d'anisotropie visible dans la répartition spatiale des grandeurs étudiées. Nous pouvons alors parler d'ores et déjà de la forme de la maille de prospection au cours de l'étude du gisement. Il semble que les mailles les plus utilisables sont les mailles triangulaires ou carrées. Mais toujours est-il que dans la répartition spatiale des puissances, d'après le modèle adopté, nous avons pu dégager une certaine continuité ( voir planche I1). En ce qui concerne le plan en isoteneurs, nous remarquons que la dispersion des teneurs, est telle que ce plan ne présente pas beaucoup d'intérêt pratique sur la base du réseau de projection donné ( 500 m ) ( planche I2 ). .../..



- 7 -

Cette étude nous a montré qu'il était possible, pour une étude détaillée du gisement, de diminuer le nombre de points d'observation de 75 à 30. Dans ce cas, l'estimation des erreurs sur la puissance, teneur et réserve seront dans les limites admissibles. Pour une étude préliminaire, il suffit de 8 à 17 sondages seulement..

Nous espérons que ce résultat sera intéressant pour l'étude et la connaissance des réserves du nouveau gisement du même type génétique et industriel que le gisement de Gara-Djebilet.

Pour l'étude du gisement de Gara-Djebilet, nous remarquons que l'utilisation de la statistique classique est aussi valable que la méthode géostatistique car le gisement est régulier et que la variabilité des grandeurs géologique est très faible.

Dans le cas général, nous pouvons dire que dans l'évaluation des réserves, la statistique classique ne donne qu'une idée approximative de l'erreur d'estimation car elle ne tient compte que du nombre de sondages et non de leur disposition. Par contre, la géostatistique nous permet de résoudre le problème de la répartition des différents paramètres géologiques entre les différents points d'observation. Elle nous permet aussi de calculer avec une certaine précision les erreurs d'estimation qui dépendent de la continuité spatiale des paramètres et de décider de l'implantation des sondages nécessaires dans le gisement .

## BIBLIOGRAPHIE

- G. MATHERON: traité de géostatistique appliquée -tome I-  
Mémoire du Bureau de Recherche, Editions techniques.  
-Paris 1962-
- R. MURARD: Probabilités et statistiques.  
Revue de l'industrie miniérale, Numéro spécial  
15 Octobre 1960
- Y. OUSSIKOV: Etude et évaluation des gisements des minéraux utiles  
Conférences données au département Mines et Métallurgie  
ENPA
- Documents DMG et Service de la Carte Géologique:
- Rapport géologique sur le gisement de Gara-Djebilet  
-J.Y.THEBAULT- 1954
  - Etude d'un avant projet d'exploitation du gisement  
de fer de Gara-Djebilet-4 parties- BIA
  - Coupes des sondages de Gara-Djebilet  
Campagnes 1957-1958 ET 1958-1959
  - Rapport d'ensemble du gisement  
SERMI 1963
  - Fiche du gisement de Gara-Djebilet  
SONAREM 1967



Dr. Jayson  
Mastrolia

511009111

osmasmistawg

2 APTTKE