

3/96
République Algérienne démocratique et populaire

Ecole polytechnique d'Alger

Département Génie - Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'étude

sujet:

Détermination de la maille optimale des tranchées
du gisement aurifère filonien de Tirek
(Hoggar)

Etudié par :

Melle Filali Mira

Dirigé par :

Dr Gacem S

Promotion 95 / 96

ENP 10 Avenue Hassen Badi el Harrach - Alger -

Remerciements

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements dans ce modeste travail , toutes les personnes qui ont bien voulu m'accorder leur aide.

Egalement , je remercie mon promoteur Mr Gacem.S pour les conseils qu'il m'a prodigués tout au long de cette étude ainsi que tous les professeurs ayant contribué à ma formation , plus particulièrement les professeurs du départements Genie-Mine. Qu'ils trouvent dans ce travail l'expression de ma profonde gratitude.

- Davis Statistics and data analysis in geology .
- Smirnov V 1990 Géologie des minéraux utiles Edition mir .
- Kouadri M Etude des minéralisations aurifères du district d'In Ouzzal sur l'exemple de Tirek . Thèse d'état Paris .
- Real daigneault 1991 Déformations et cisaillements .
- Goossens P J 1994 Exploration minière - volume II : techniques appliquées et intégrées d'un programme allant de l'inconnue à la découverte d'une concentration minérale et se terminant par une étude économique de préfaisabilités . Université de Liege
- A Journel 1975 Guide pratique de géostatistique minière ENS M P - Paris
- ENOR 1991 Synthèse des travaux d'évaluation sur les gisements d'or de Tirek et d'Amesmesssa .
- Contribution à l'étude géostatistique du gisement d'Amesmesssa PFE (Z Adel 1995)
- Etude géostatistique du gisement de fer de gara djebilet . Memoir de fin d'étude ENP 1974-1975

Sommaire

	Page
Introduction	1
Chapitre 1 : Généralités	
I-1 Historique des travaux de la région	2
I-2 Situation géographique	2
I-3 Données socio-économique	4
I-4 Principale minéralisation autre que Tireك.....	5
Chapitre 2 : Cadre géologique	
II-1 Géologie régionale	6
II-1.1 Les formations archéennes d'In Ozzal	8
II-1.2 Les formations protérozoïques	9
II-2 Géologie du gisement	12
II-2.1 Le massif de gabbro	13
II- 2.2 Les dykes	13
II-2.3 Secteurs minéralisés	14
II-3 Morphologie , mode de gisement et paramètres des filons...16	
II-3.1 Corps filonien de la structure centrale	16
II-3.2 Corps filonien de structure centrale	17
II-3.3 Corps filonien de la structure occidentale	17
II-4 Composition de la minéralisation	18
II-5 Types de travaux et volume	19
II-6 Principes de la catégorisation des reserves	19
II-7 Calcul des reserves	20
Chapitre 3 : Etude statistique des données	
III-1 Introduction	22
III-2 Paramètres géologiques	22
III-3 Etude statistique des paramètres	22
III-3.1 Estimation des paramètres	23
III-3.1.1 Teneur	23
III-3.1.2 Epaisseur	29
III-3.1.3 Accumulation	29
III-3.2 Etude des distributions	29
III-3.2.1 La loi lognormale	29
III- 3.2.2 La loi normale	30

III-3.2.3 Utilisations des tests	31
III-3.3 Resultats obtenus de l'etude des distributions	33
III-4 Etude des correlations	33

Chapitre 4 : Etude de la maille

IV-1 Introduction	73
IV-2 Methode I	73
IV-2.1 Determination du nombre d'échantillons	73
IV-2.2 Calcul de la maille d'échantillonnage.....	75
IV-3 Methode II	77
Conclusion générale.....	85

INTRODUCTION

Le gisement d'or de Tirek situé dans la partie SW du Hoggar fut découvert en 1971 par la suite il fut l'objet de différents travaux qui ont permis la mise en évidence de réserves économiques.

La minéralisation aurifère est localisée dans des filons de quartz qui recoupent un massif de gabbro situé dans la zone de cisaillement .

Les filons sont regroupés dans trois champs : Ouest , Est et centre .

Le but de ce présent mémoire est la détermination de la distance optimale entre les tranchées (maille) creusées sur les filons II (champs centre) III , VI et XI (champs Est) .

Notre travail a été décomposé en trois parties principales .La première partie consiste à donner une idée générale sur la géologie de la région et du gisement de Tirek , la deuxième c'est l'étude statistique des données afin de déterminer la répartition des paramètres géologiques (teneur , puissance) et la dernière partie consiste en la détermination de la maille optimale par deux méthodes différentes avec comparaison des résultats.

L'étude statistique réalisée par deux méthodes différentes montre que cette distance est de l'ordre de 10 - 15 m .

Chapitre 1

Généralités

I.1 Historique des travaux dans la région

Les premières études géologiques menées sur le territoire du Hoggar Occidental remontent aux années 20 , leurs exécutions étaient assurées par les géologues français et concernaient le cadre géologique régional uniquement. C'est à partir des années 50 que furent réalisés les premiers travaux de prospection.

- En 1970 : l'équipe algéro-roumaine effectua des recherches sur les minéralisations radioactives et terres rares , et entre 1971 -1974 l'indice de Tirek a été étudié par des tranchées en surface et 12 forages en profondeur.
(EREM) .
- En 1976 - 1978 des travaux d'évaluation préliminaire des gisements de Tirek et Amesmessa ont été entamés . Les niveaux profonds du gisement de Tirek ont été évalués par forage(jusqu'au 150 m).En 1976 -1979 furent effectués les travaux de recherches détaillées sur l'indice d'Amesmessa.
- En 1978 - 1979 des travaux de prospection au 1:50.000 ont été réalisés sur la région du gisement de Tirek. 11 filons ont été étudiés en surface dont 5 évalués en détail.
- En 1978-1981 des travaux d'évaluation détaillée ont été effectués sur Tirek.
- 1985 - 1987 reprise de l'évaluation complémentaire en profondeur du gisement de Tirek et dont le but fut d'évaluer les niveaux profonds. Durant la même période furent repris les travaux sur Amesmessa et qui se sont terminés en 1992 avec l'évaluation détaillée de ce dernier.

I.2 Situation géographique

Le district aurifère de Tirek est situé dans l'extrême partie du sud algérien au sud - ouest du massif du Hoggar à environ 2500 km d'Alger et à 520 km au sud -ouest du chef lieu de wilaya de Tamanrasset (fig 1).

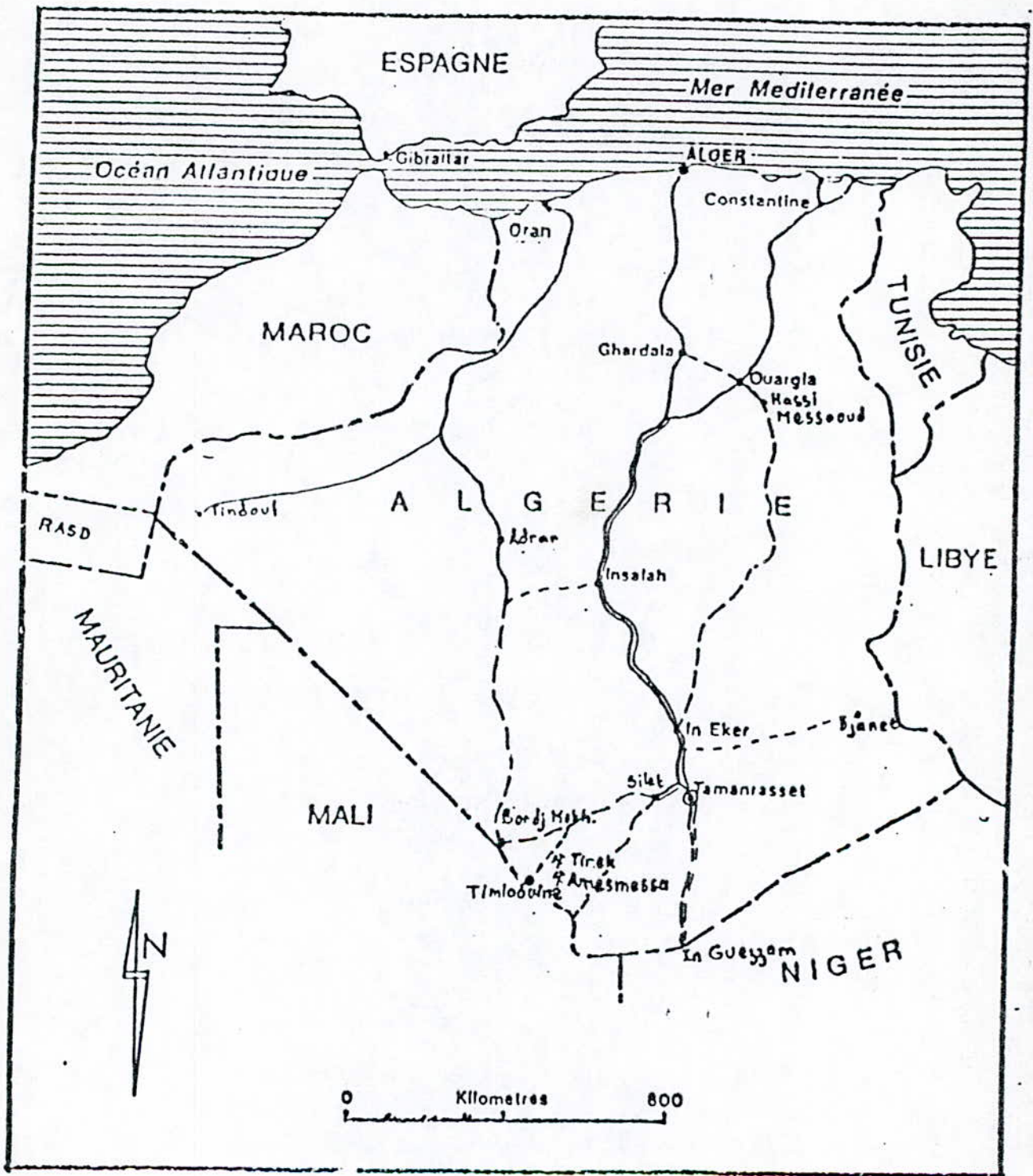


FIGURE I

LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DES GISEMENTS
D'AMESMESSA ET DE TIREK

⚡ • GISEMENT AURIFÈRE

Les coordonnées géographiques du centre du champs minier sont 21° 30' de latitude Nord et de 2° 31' de longitude Est .

La superficie du gisement atteint approximativement 2 km².

La région du gisement est constituée par un reg avec des côtes absolues de 550-600 m . Le climat est continental. du type aride avec des températures de 20°-25° en decembre-janvier et 35°-45° en juillet-aout . Il pleut en général en été et la moyenne général des précipitations ne dépasse pas 5-10mm /an . Les seuls points d'eau de la région sont les puits d'Iraldiouine à 60 km au sud-ouest du gisement . Son débit est de 3ℓ/s . Ainsi que le puits de Tirek situé à 30 km à l'est du gisement .

Les travaux de recherches hydrogéologiques effectués dans le bassin de Tanezrouft ont permis de mettre en évidence d'importantes réserves d'eau. Les cours d'eau sont constitués par les oueds dont le plus important est l'oued In Ouzzal (4000m³/j sur 20.000 ans).

La flore est rare . Elle ne s'observe que dans les oueds où poussent des tamaris et des accacias. La faune est bien adaptée aux conditions locales ; on y trouve des gazelles,hyènes,fennec,vipères,scorpions et lézards ; ainsi que certaines espèces rares en voie de disparition telsque le waran.

I.3 Données socio-économiques

Le point d'habitation le plus proche est " Bordj Mokhtar ". Il se trouve à 180 km à l'ouest du gisement ; il y est relié par une piste carrossable .

Les liaisons se font par avion jusqu'à Tamanrasset puis par piste balisée et carrossable jusqu'au gisement.

La région est dépourvue de toute infrastructure socio-économique . Les seules populations qui vivent dans la région mènent un mode de vie nomade dont la principale activité c'est l'élevage des chèvres ,de moutons et de chameaux. Elles vivent autour des points d'eau et dans les oueds où l'on rencontre de la végétation nécessaire à leur troupeau .

I.4 Principales minéralisations de la région

Parmi les gîtes et indices connus actuellement dans la région de l'étude figure ; 4 petits gisements d'or et plus de 400 indices et points de minéralisation de différents éléments utiles (EREM 1984). Parmi ces minéralisation on cite:

- TITANE : localisé dans les gabbros ,les gabbros-amphibolites et les dolorites (les diabases) d'âge varié. Les anomalies sont liées à de petits amas de titano-magnetite.
 - CUIVRE : dans le territoire d'étude on note 12 indices et 88 points minéralisés (EREM 1984).
 - La plupart sont situés parmi les formations volcano-sédimentaires du proterozoïque supérieur de la dépression de Chet Iler .Localisé à l'Est du gisement.
 - TERRES RARES ET ELEMENTS RADIOACTIFS : la prospection des terres rares et éléments radioactifs dans la région a permis de mettre en évidence 250 anomalies et zones radioactives localisées dans le mole In-Ouzzal. Les minéralisations complexes urano-thorifère et à terres rares sont liées à des metasomatites alcalines et des pegmatites à allanites et à thorium.
 - OR : les minéralisations mises en évidence sont :
 - Minéralisation aurifère de la dépression de Chet-Iler.
 - Minéralisation aurifère du domaine structural Est-Ouzzalien où sont situés les indices de Derreg, Timeg et IN Allarène sud.
 - Minéralisation aurifère du mole granulite d'In ouzzal dont l'indice le plus important est l'indice d'In Allarène-In Ouzzal représenté par une zone quartzeuse filonienne de direction NE 30°.
- * Le gisement d'Amessmessa dont la minéralisation est contenue dans des zones filoniennes constituées de quartz et de mylonites très altérés(synthèse des travaux d'évaluation sur les gisements de Tirek-Amessmessa au 01-01-1991).

Chapitre 2
Cadre géologique

II.1 Géologie régionale

Le district aurifère Tirek-Amessmessa est situé dans la partie sud-ouest du Hoggar d'âge précambrien qui est recouvert en discordance par des dépôts de paléozoïque inférieure du crétacé (fig2)(synthèse des travaux d'évaluation sur les gisement de Tirek-Amessmessa au 01-01-1991).

Le Hoggar se caractérise par son système de grande failles de direction NS marquées sur le terrain par des mylonites et qui contrôlent des granitoïdes (granites, grano-diorites ;diorites et gabbros). Du point de vue géologique ;le Hoggar fait partie de la chaîne panafricaine (850-580Ma) (Kennedy 1964) .

Pendant l'orogénèse panafricaine,une large zone mobile a été formée au Hoggar, à l'Est du craton Ouest Africain qui était resté stable au cours du proterozoïque moyen et supérieur.Vers 600Ma, il y'a eu formation d'un orogène de collision (Bertrand,Caby 1978).

Les traits essentiels du Hoggar sont des plis d'axe N-S et des grands cisaillements ayant fonctionné en surface de charriage ou en décrochements.

Trois grands domaines structuraux ont été définis au Hoggar,séparés par des failles majeures (Bertrand,Caby 1978) (Fig 2).Ce sont d'Ouest en Est:

- Le Hoggar occidental ou chaîne pharusienne.
- Le Hoggar central polycyclique.
- Le Hoggar oriental.

La chaîne pharusienne est divisée en deux rameaux par le bloc archéen de l'In Ouzzal,le rameau occidental et le rameau oriental.

. Selon Gravelle (1969),le rameau oriental est constitué de deux cycles principaux le pharusien I et le pharusien II,séparés par une discordance majeure (Bertrand et al 1966).

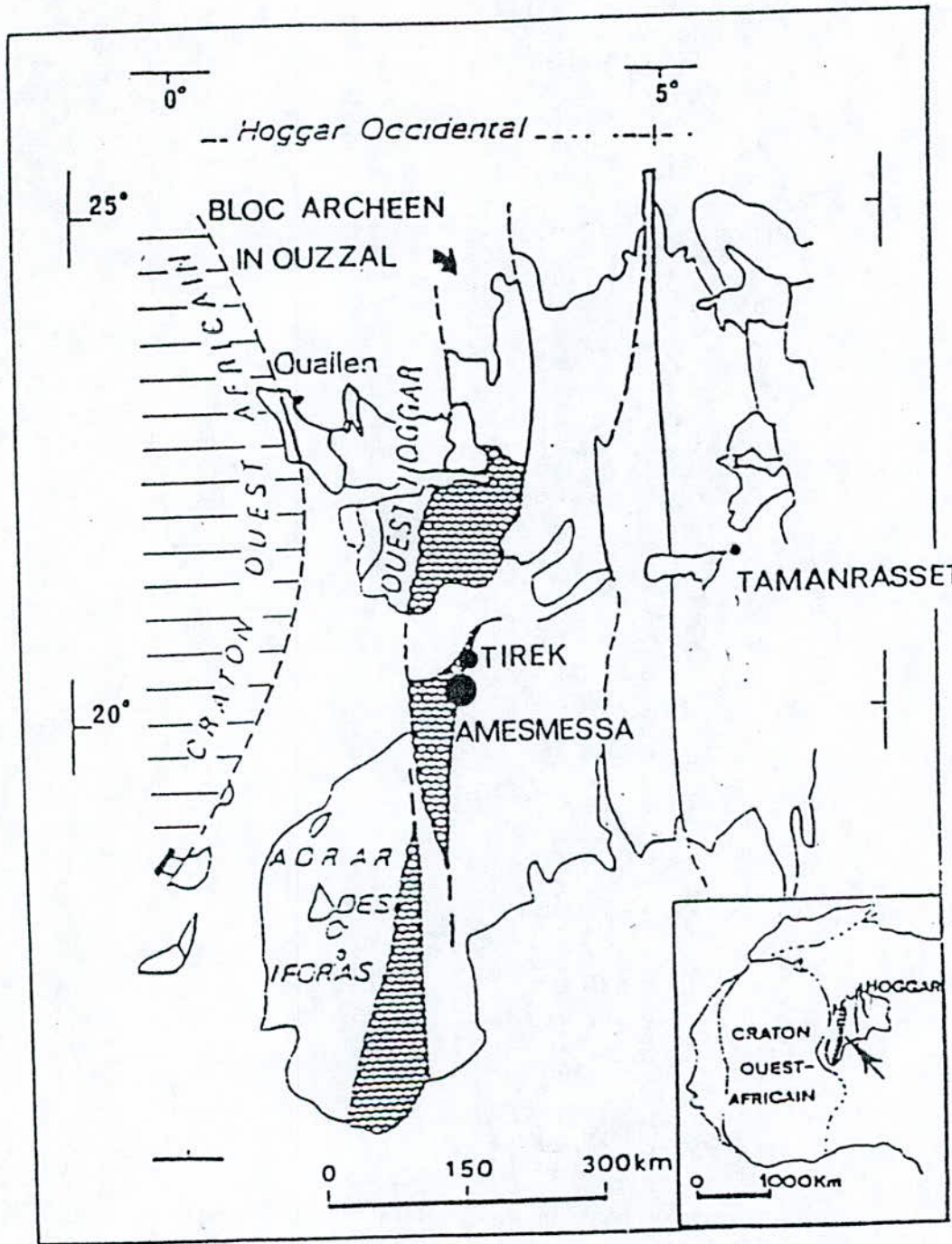


Fig: 2/3' schéma de situation du gisement aurifère d'Amesmesssa et subdivision géologique et structurale du Hoggar ouest (d'après Bertrand et Lassere, 1976 et Bertrand et Caby, 1977).

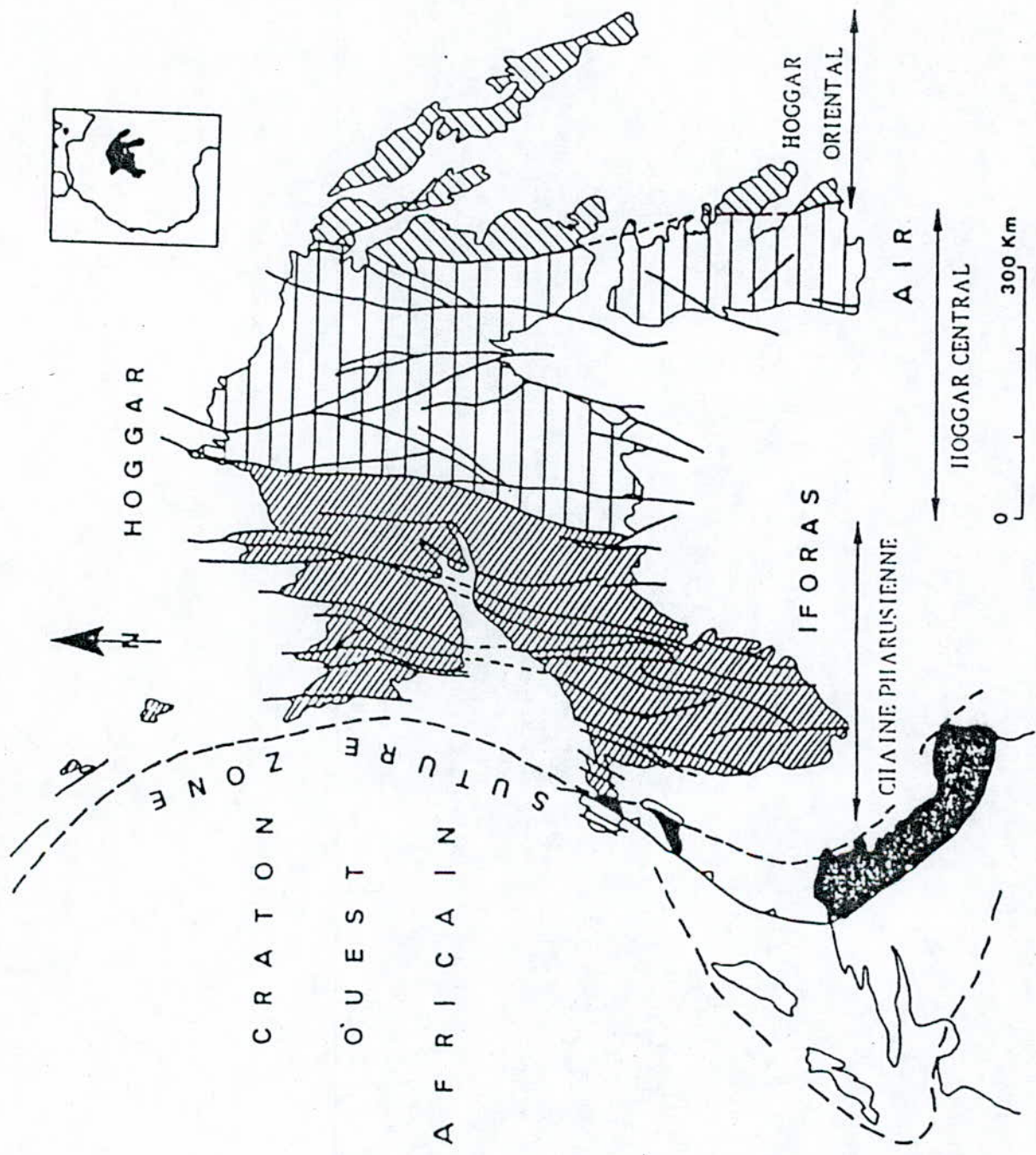


Fig. 3 CARTE DES PRINCIPAUX DOMAINES STRUCTURAUX DU BOULCIER TOUAREG
 (d'après Boullier et Bertrand, 1987 - modifiée)

Le pharusien I est constitué de metavolcanites basiques et de roches d'origine pyroclastiques intrastratifiées avec des dépôts carbonatés et pélitiques. Le pharusien I est recoupé par des intrusifs datés à 840 Ma.

Le pharusien II comprend des grès, des conglomérats et des arkoses surmontées de coulées basaltiques, associées à des sills de dolérites. Le tout est coiffées de coulées massives d'andesites. Ces formations sont recoupées par un pluton tardi orogénique qui date à 583 Ma.

La région d'étude est constituée de deux domaines structuraux :

- A l'Ouest le bloc d'In Ouzzal constitué de roches archéennes.
- A l'Est un domaine protérozoïque inférieur à moyen.

Ces deux ensembles sont séparés par une faille majeure de $2^{\circ} 30'$ constituée par des ultramytonites qui forment une bande de 2 à 3 km .

II.1.1 Les formations Archéennes d'in Ouzzal

Ces formations constituent un bloc de superficie 5500 km^2 . Les travaux de cartographie montrent qu'elles sont constituées de deux groupes de roches distinctes ; ce sont les granulites felsiques et fémiques (EREM 1984 , 1987).

1 Les granulites fémiques

Elles sont constituées de schistes cristallins à hypersthène ou à deux pyroxènes, de gabbros-norites et des roches ultrabasiques. Ce groupe se distingue par son absence de quartz et d'un passage progressif d'une variété de roches à une autre. Ainsi qu'une association avec des roches carbonatées (calciphyres) et des syénites. Contrôlé par la faille d'In Allarène-In Ouzzal de direction NE 30°

2 Les granulites felsiques et alumineuses

Elles sont constituées de gneiss leucocrates, de quartzites à grenat à biotite, cordierite et sillimanite, de quartzites ferrugineuses et schistes alumineux. Avec ces granulites sont intimement associés des alaskites qui renferment du grenat.

Avec ces deux variétés lithologiques sont associés des charnockites et des enderbites qui forment les coeurs des plis et des dômes. Le passage entre les granulites felsiques et les charnockites est progressif.

Toutes les roches archéennes sont recoupées par des granites d'âge panafricain (620-580 Ma).

II.1.2 Les formations Proterozoïques

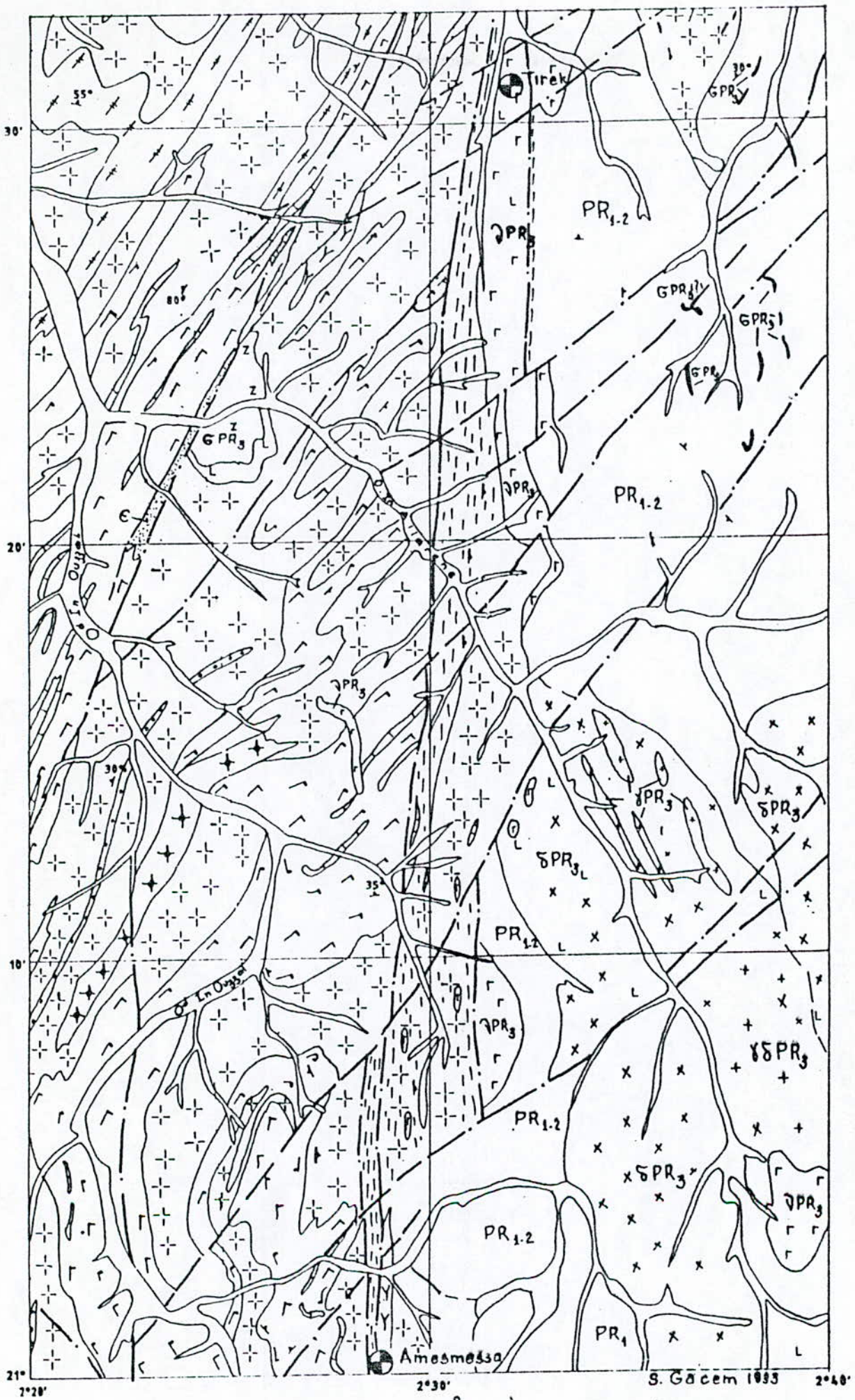
Ces roches qui forment l'ensemble du socle anté panafricain affleurent à l'Est du bloc archéen. Elles sont constituées de deux groupes de variétés lithologiques différentes. (Fig 4). Elles constituent une bande subméridienne délimitée à l'Ouest par l'accident Est-Ouzal et à l'Est par la discordance pharusienne.

1 Groupe Gneissique

Ces formations datent de 1800-2000 Ma. Elles comprennent différentes variétés de gneiss à amphibole et biotite, des granodiorites gneissiques, des amphibolites et des quartzites, ainsi que des lentilles de marbre. Ce groupe contrôle l'équivalent de la série de l'Arechoum bien étudiée au Hoggar central.

2 Groupe des Quartzites-Amphibolites


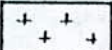
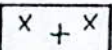
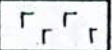
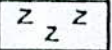
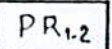
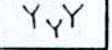
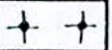
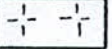
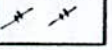
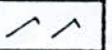


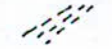



Ces formations sont localisées sur les flancs d'anticlinaux dont leur coeur est constitué par le groupe gneissique. Les quartzites d'origine fluviatile constituent les reliefs les plus importants de la région (Adrar Derreg, Adrar Soaf). Ces formations sont



(10)

Fig. 1.4. Carte géologique de la région de Tirek - Amesmessa

Légendes :

- Protérozoïque supérieur
-  Molasse éocambrienne
 -  Granite
 -  Granodiorite
 -  Gabbro, gabbro-diorite
 -  Roches ultrabasiqes
- A r c h é e n
-  protérozoïque inférieur à moyen : métasédiments
 -  Mangérites
 -  Alaskites (leptynites)
 -  Charnockites - Enderbites
 -  Granulites felsiques
 -  Granulites fémiqes
 -  Carbonatites (?)
-  Failles : a- observées, b- supposées
 -  Mylonites
 -  Pendage de la foliation
 -  Gisements
 -  Indices

identiques à celles étudiées par Caby (1970) dans l'Ahnet et à la série de l'Aleksod (Bertrand 1974)

3 La bande à Mylonite d'in Ouzzoul

Elle est large de 2-3 km. Elle sépare les roches archéennes de celle proterozoïques. Elle forme trois zones qui sont d'Ouest en Est (Attoum 1983):

- Mylonites à foliation verticale marquée par l'aplatissement du quartz. A l'intérieur de ces mylonites on rencontre des lentilles métriques des différentes granulites.
- Mylonites à microbiotite syncinématique à boudins et lentilles d'ultrabasiques.
- Ultramylonites verticales, finement rubanées à aspect de rhyolites et à linéation sub-horizontale.

4 Les roches intrusives

Toutes les formations précédentes sont recoupées par des roches intrusives d'âge proterozoïque supérieur (580-800 Ma). Ces roches sont (par comparaison avec les régions avoisinantes):

- Des gabbros à gabbros diorites pré-tectonique (700-800Ma)
- Des diorites -granodiorites (620-700 Ma)
- Des granites alcalins tardi-tectoniques (600-580 Ma). (510 Ma)

La tectonique est caractérisée dans la région par des failles de direction NE et NW. Les premières sont remplies par du matériel quartzéux de puissance 5-15 m ou par des dykes de composition acide. Ces failles contrôlent de petits corps de basaltes d'âge quaternaire. Les secondes de direction NW sont marquées surtout par la direction du réseau hydrographique ou des dykes basiques (dolerites).

II.2 Géologie du gisement

Le gisement de Tirek se trouve à l'intérieur d'un massif de gabbro d'âge prétectonique, situé dans la zone de cisaillement Est-ouzzalien (EREM 1984) de direction méridienne séparant les blocs archéens et proterozoïques. Le gisement est constitué par trois secteurs filoniens : Ouest, centre et Est. Le secteur Ouest est localisé dans les mylonites tandis que les secteurs centre et Est sont situés à l'intérieur d'un massif de gabbro.

II.2.1 Le massif de Gabbro

Il est allongé suivant une direction subméridienne. Il est limité dans sa partie occidentale par l'accident Est-ouzzalien, alors que la frontière orientale plonge sous les roches du proterozoïque à un angle de 45°- 50° (EREM 1982)

Les gabbros de Tirek forment une gamme de roches allant des gabbros à olivine à des monzodiorites quartzites, tandis que dans la partie centrale on rencontre des gabbros-diorites et diorites. Dans sa partie NW au niveau des filons XIV-XV, les gabbros sont recoupés par des granites.

La composition pétrographique du massif de gabbro est hétérogène ; il est constitué d'hornblende (60%), labrador (35%), biotite (5%), et de magnétite-hématite (1-2 %). On remarque parfois une intense feldspathisation de la roche qui prend l'aspect d'une syénite (ENOR)

II.2.2 Les Dykes

Le massif de gabbro est recoupé par des dykes de composition basique, moyenne et acide développés dans le flanc occidental du champ minier. Souvent ils se recoupent entre eux. Ils ont une structure à grains fins et un taux réduits des changements. L'orientation de ces dykes est diverse (synthèse des travaux d'évaluation sur les gisements de Tirek-Amessmessa).

II.2.3 Secteurs minéralisés

Ils sont constitués par des filons de quartz dont les contacts sont nets . Il remplissent les fractures de direction NS et NE.

Les filons de quartz sont repartis dans trois secteurs minéralisés (Fig 4) .(La subdivision du gisement en secteur Est arbitraire .Elle a surtout un caractère pratique)

- Secteur central
- Secteur oriental
- Secteur occidental

a Secteur Occidental: (Filons : XX , XX/1, XX/2 , II/A , II/1-A)

Les corps minéralisés sont localisés dans des mylonites formant la bordure orientale des roches archéennes . Ce secteur s'étend sur près de 6 km . Les contacts entre les roches de différentes formations sont sinueux et localisent des dykes de différentes formes et puissances .

L'épaisseur maximum atteint 2.2 m . La minéralisation dans ces corps est très irrégulière . Le coefficient de variation de l'or est de 157.5%.

b Secteur Oriental: (Filons : III, IV,X,XI,XII,XIII,XIII-I)

Les corps minéralisés de ce secteur sont constitués par des filons ramifiés des corps minéralisés du secteur centre . Ils remplissent des fentes d'extension. Leur morphologie est complexe, on note de fréquentes variations des épaisseurs en direction et en pendage. Ils sont constitués de coulisses rattachées l'une à l'autre par de minces veinules ou de zones d'altération hydrothermale .



L'épaisseur moyenne des filons atteint 0.6-0.8 m . La répartition de la minéralisation est irrégulière (coefficient de variation = 139.8%-145.5%).

Carte géologique du gisement Tirek (SONAREM 1974)


0 200 400 600 m

N


Quaternaire

-  alluvions du lit
-  terrasses et dépôts de pentes



Mésozoïque moyen

-  unité mésozonale





Archéen

-  unité granulitique d'In Ouzzal

Zone ultramylonitique

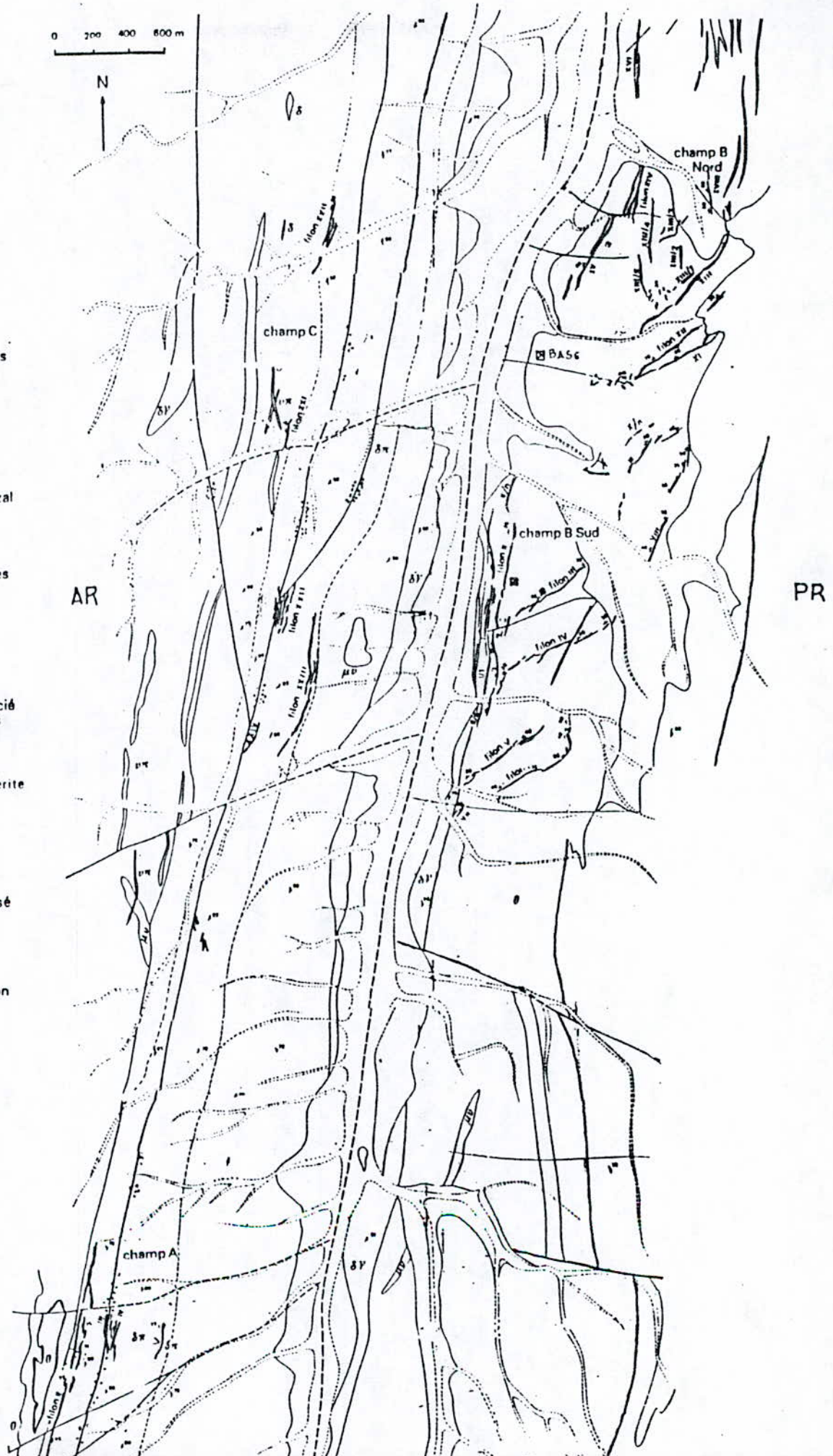
-  ultramylonites de granulites
-  phyllonites clarifiées

Roches magmatiques

-  granitoïdes
-  faciès de bordure différencié jusqu'aux granites alcalins
-  gabbro à hypersthène ou amphibole P'
-  troctolite, norite, $D\pi$ dolérite

-  filons de quartz
-  failles
-  contact tectonique supposé
-  brèche
-  éléments de gisements des filons et de la foliation
-  contacts géologiques
-  ouvrages miniers

document Sonarem 1974



de l'or est extrêmement irrégulière .

**c_ Secteur Centre: (Filons: I,II,XIV,XIV/1,XV/2,XV/1,
XV,XVI,XVI/1,XVII/2)**

Les corps minéralisés sont situés soit dans la partie centrale du massif de gabbro (filons : XIV,XV,XVI , II) , soit dans sa partie orientale (filons :XVI,XVII).

Là sont concentrées 53.5% des réserves d'or . Les corps minéralisés sont contrôlés par des failles de cisaillement de direction sub-meridienne . La minéralisation forme des colonnes qui plongent vers le nord . En général la répartition de cette minéralisation est très irrégulière (coefficient de variation =107.5%-157.5%). L'épaisseur moyenne est de 0.4-0.6 m (synthèses des travaux d'évaluation sur les gisement de Tirek-Amessmessa du 01-01-1991) .

Remarque : Il est à noter que dans cette partie du gisement les sondages (15m) ont recoupé une minéralisation aurifère au niveau -215m

II.3_ Morphologie, mode de gisement et paramètres des filons

II.3.1_ Corps filonien de la structure centrale

Les filons I et II forment en réalité une seule structure filonienne à pendage fort . Le filon I est composé de quartz gris clair souvent rosâtre avec peu de sulfure, par contre le filon II est composé de quartz à gros grains principalement gris tirant vers le noir.

La zone filonienne XIV,XV se trouve au nord des filons précédent. Le pendage est fort à l'Ouest (75°-80°). Elle est représentée par une série de bandes de gabbro altérés et sub -parallèles et peu épaisses(jusqu'à 1.0-1.5 m) .

II.3.2 Corps filonien de la structure orientale

Ils se composent des filons : III, XI, XXX, IV, VI, XI, X, XIII, XIII-1.

Le filon III se situe plus à l'Est par rapport au filon II. Il est représenté par une zone de gabbroides cataclasés, schistifié à altération hydrothermale épaisse de 5 m, renfermant des filons de quartz épais de 0.2-2 m. Le filon III se compose de quartz à gros grains, par endroit renfermant de nombreux enclaves de roches encaissantes.

Le filon XI est situé dans la partie Est du secteur centre similaire à celui III dont l'extrémité passe dans une large zone de metasomatites (roches quartzifiées et pyritisées). Sa structure est faiblement influencée par les accidents NE. Les décrochements avec de petits rejets (jusqu'à 3 m) ne sont observées que le long des accidents submeridiens.

Le filon XXX situé dans la partie orientale du champ minier d'une épaisseur relativement importante qui atteint 2.85 m en surface et 6.5 m en profondeur dans les renflements où la répartition de l'or est extrêmement irrégulière.

II.3.3 Corps filonien de la structure occidentale

Cette structure est constituée des zones filoniennes XX et II-A.

La zone filonienne XX est située dans la partie septentrionale du secteur occidental. C'est une série de filons de quartz rapprochés d'orientation NE (15° - 25°) et de pendage au NW (80° - 88°). Les filons sont encaissés dans des gneiss et des granitogneiss du complexe In Ouzal. Au mur, les roches sont mylonitisées. L'étendu de cette zone est de 300 m. Le filon est composé de quartz gris, gris clair, très fissurés suivant une direction longitudinale.

La zone filonienne II-A située dans le secteur occidental à 5 km au SW du filon II. La structure filonienne est représentée par série de filons disposés en relais dans les granito-gneiss mylonitisés du complexe In Ouzal. Les filons sont constitués de quartz

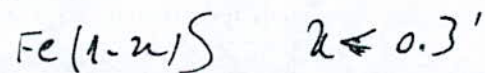
à gros grains . La direction des filons est submeridienne (10° - 15°) .Le pendage fort (75° - 80°) à l'Ouest . La répartition

II.4 Composition de la minéralisation

D'après la composition minéralogique ,les filons du gisement de Tirek sont du type pyrito-aurifère.La composition minérale est assez homogène. Le minéral filonien principal est le quartz constituant 90-95% de la masse filonienne ;d'une couleur grise tirant vers le noir, rosâtre en surface en raison de la présence d'hématite finement dispersée.

L'étude métallographique a permis de mettre en évidence les minéraux suivant :

- L'or natif dont la répartition est irrégulière. Il est fréquent dans les fissures cataclasés et mylonitisée ainsi que dans les fissures longitudinales .
- L'or se présente sous forme de paillettes , lamelles dont la taille varie de quelques microns à 2-8 mm. Il est observé dans les fissures à l'intérieur de la galène ou de la pyrothine.
- En surface, il est associé aux produits d'oxydation.
- La pyrite (FeS_2) constitue 2-4 % de la masse filonienne .On distingue la pyrite à gros grains ou cristaux (0.3-1.0 mm) et sous forme d'agrégats finement grenus,parfois à une structure spongieuse.



La pyrrothine (FeS)suit la pyrite d'après sa fréquence et se trouve en association étroite avec l'or et la chalcopryrite.Elle se présente en grains et en nids de forme irrégulières.

La chalcopryrite ($CuFeS_2$) est peu répandue,sous forme de grains (0.1-3.0 mm) . On y rencontre aussi de la galène et de la sphalerite (ZnS) riche en fer (marmatite) . Comme on trouve dans la zone d'oxydation des hydroxydes de fer,dela cerusite,chalcosine et de la malachite . *Aguite*

Les transformations hydrothermales sont très poussées. Elles sont du type listwaenite¹ * caractérisée par l'association suivante : sericite + calcite + chlorite + ankerite (jusqu'à 15%) + pyrite (5-10%). Parfois on observe de l'épidote et du mica chromifère. Ces roches sont en général stériles. Parfois elles sont faiblement aurifères (moins de 1g/t). (synthèse des travaux d'évaluation sur les gisements de Tirek-Amessmessa)

II-5 Les différents types de travaux et volume

L'évaluation du gisement de Tirek se fait en catégorie C1 et C2. Les principaux ouvrages d'évaluation sont :

-Les galeries souterraines creusées à partir des puits foncés au niveau 525m dans le but de vérifier les données de sondages.

-En surface, les corps minéralisés ont été évalués par tranchées creusées perpendiculairement à leur direction avec un pas de 10-20 m en premier stade et avec un pas de 5m plus tard pour préciser les éléments de gisement.

Les réserves de la catégorie C1 ont été étudiées par sondages à une maille de 40x40 m. Celles de catégorie C2 l'ont été à maille de 80x80 m

Tous les filons évalués par tranchées ou par galeries ont été échantillonnés par saignée perpendiculairement à leur direction. La longueur des saignées est fonction de l'épaisseur du filon de quartz ou bien des différentes variétés de quartz et des roches encaissantes.

II-6 Principe de la catégorisation des réserves

Conformément à la classification des réserves actuellement en vigueur en Algérie et qui correspond à celle de la Russie, le gisement de Tirek correspond au IIIème groupe. Dans le groupe en question, on individualise les catégories de réserves C1 (prouvés) et C2 (indiqués) sur le gisement de Tirek.

Les blocs C1 sont délimités par :

- La surface évaluée par tranchée espacées de 5-10m et le niveau de galerie souterraine -40m où existe une galerie directionnelle d'exploitation.
- Extrapolées entre la surface étudiées par tranchées espacées au maximum de 20m et le niveau -20m (1/2 étage d'exploitation).
- Extrapolées entre la surface et le niveau -40m étudiés par forages espacés de 40m.
- Extrapolées à partir de la galerie (située à -40m) et jusqu'à 2-3 étages étudiés par sondage.

Les blocs C2 sont extrapolés à partir des blocs C1. Ils sont étudiés par sondages disposés suivant une maille de 80*80 m.

II-7 Calcul des réserves

Les exigences pour le calcul des réserves ont été déterminé par analogie avec les gisement d'or dans le monde comme ceux de Canada ; Australie et Afrique du sud.

- Teneur minimum économique 10 g/t, épaisseur minimum économique 0.8m soit une accumulation de 8m.g/t.
- Teneur minimum de délimitation du bloc 5 g/t ce qui doit correspondre à une accumulation de 4m.g/t.
- Dans le cas où les roches encaissantes sont aurifères, la teneur en or ne doit pas être inférieur à 3g/t pour une épaisseur de 2m. Soit une accumulation de 6 m.g/t .
- Densité 2.7.

Le calcul des réserves a été fait par la méthode des blocs géologiques projetés sur une projection sur le plan vertical. Cette méthode a été choisie en conformité avec la puissance (insignifiante) et le pendage des filons qui est faible.

Le calcul des réserves montre que l'essentiel des réserves est concentré dans la partie centrale donc dans les filons NS: II, XVI, XVI/1, XV, III, XI et XIII et en partie

dans le secteur oriental. A eux seuls, ces filons concentrent 66% des réserves C1+C2. Les

19 filons restant sur 26 fournissent 34% des réserves C1+C2 .

En C1 Les filons II, XIV, XIV/1 et XV concentrent 79% du total.

Chapitre 3

Etude statistique des données

III-1 Introduction

Le problème fondamental qui se pose au géologue lorsqu'il a reconnu un gisement à partir d'un certain nombre de sondages et de travaux miniers; et qu'il a procédé à partir de ces données à l'évaluation des tonnages de minerai et de métal ainsi que la teneur moyenne de son gisement; c'est de savoir avec quelle précision l'estimation qu'il a faite représente la réalité. Pour cela on procède à l'étude des lois de distribution des différents paramètres dans leur contexte naturel et de leur donner une signification géologique.

III-2 Les paramètres géologiques

Il constitue des variables présentant une répartition spatiale (regionalisation) dont la valeur varie d'un lieu à un autre avec une certaine apparence de continuité (une teneur dans un gisement minier est un paramètre qui prend différentes valeurs en fonction de sa répartition dans l'espace à 3 dimensions). Le paramètre étudié constitue alors une variable régionalisée.

Mathématiquement la variable régionalisée est une fonction $f(x)$ qui prend une valeur à chaque point de l'espace.

Dans les gisements on peut déceler une allure ou une structure générale de la répartition de cette variable régionalisée, dont la valeur dépend du lieu d'observation (réalisé dans un ouvrage minier). Cette valeur a un aspect erratique aléatoire et peut être étudiée grâce à son aspect général en faisant appel à une représentation fonctionnelle (Journel 1977).

III-3 L'étude statistique des paramètres

Cette étude porte sur quatre filons minéralisés (III; VI; XI et II) situés dans la partie sud du gisement. Les paramètres étudiés sont: la teneur et l'épaisseur de la minéralisation. Ainsi que l'accumulation métal qui est le produit de la teneur par l'épaisseur au niveau de chaque ouvrage minier.

$$Acc = t_1 * p_1 \quad \text{mg/t}$$

On considère les grandeurs géologiques (teneur; épaisseur) comme des variables aléatoires; c'est à dire indépendantes dans l'espace du gisement. Ce qui permet d'établir des histogrammes ou courbes de fréquences servant à étude de la variabilité des grandeurs.

III-3.1 Estimation des paramètres

III-3.1.1 La teneur

La teneur d'une minéralisation dans une partie du gisement est estimée en faisant la moyenne arithmétique des analyses obtenues et effectuées sur les échantillons.

Si le corps minéralisé à une teneur régulière; alors la teneur moyenne des échantillons est une simple moyenne arithmétique.

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{n} \quad i=1, \dots, n$$

Si le corps minéralisés a des teneurs variables alors le paramètre moyen est obtenu par pondération. La teneur pondérée est obtenue de la manière suivante:

$$\bar{t} = \frac{\sum (\text{épaisseur} * \text{teneurs})}{\sum \text{épaisseurs}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Acc}_i}{\sum_{i=1}^n \text{épaisseurs}}$$

Acc: accumulation métal en m.g/t

Les moyennes arithmitiques de chaque filons sont regroupées dans le tableau I.

Pour les filons I; II et III la moyenne pondérée est supérieur à la moyenne arithmétique; cela est du à la présence de fortes teneurs à des épaisseurs plus fortes par rapport aux autres dans le même filon.

Suivant les résultats obtenus; on remarque une grande variabilité des teneurs le long des filons (fig1; fig2; fig3; fig4) qui se traduit par un coefficient de variation important (voir tableau I).

Tableau I : Paramètres statistiques des Filons

Filons	III		VI		XI		II	
	Teneur en or (g/t)	Epaisseur (m)	Teneur en or (g/t)	Epaisseur (m)	Teneur en or (g/t)	Epaisseur (m)	Teneur en or (g/t)	Epaisseur (m)
Moyenne arithmétique	35.97	0.79	33.37	0.49	31.53	0.66	30.52	0.52
Moyenne pondérée	43.93	-	37.1	-	37.59	-	27.29	-
Variance	5790.01	0.19	3430.3	0.04	4049.42	0.28	2610.16	0.13
Coefficient de variation (CV %)	214.23	54.88	173.05	42.99	200.48	80.3	167.37	69.23
Moyenne logarithmique	52.45		45.6		54.87		47.4	

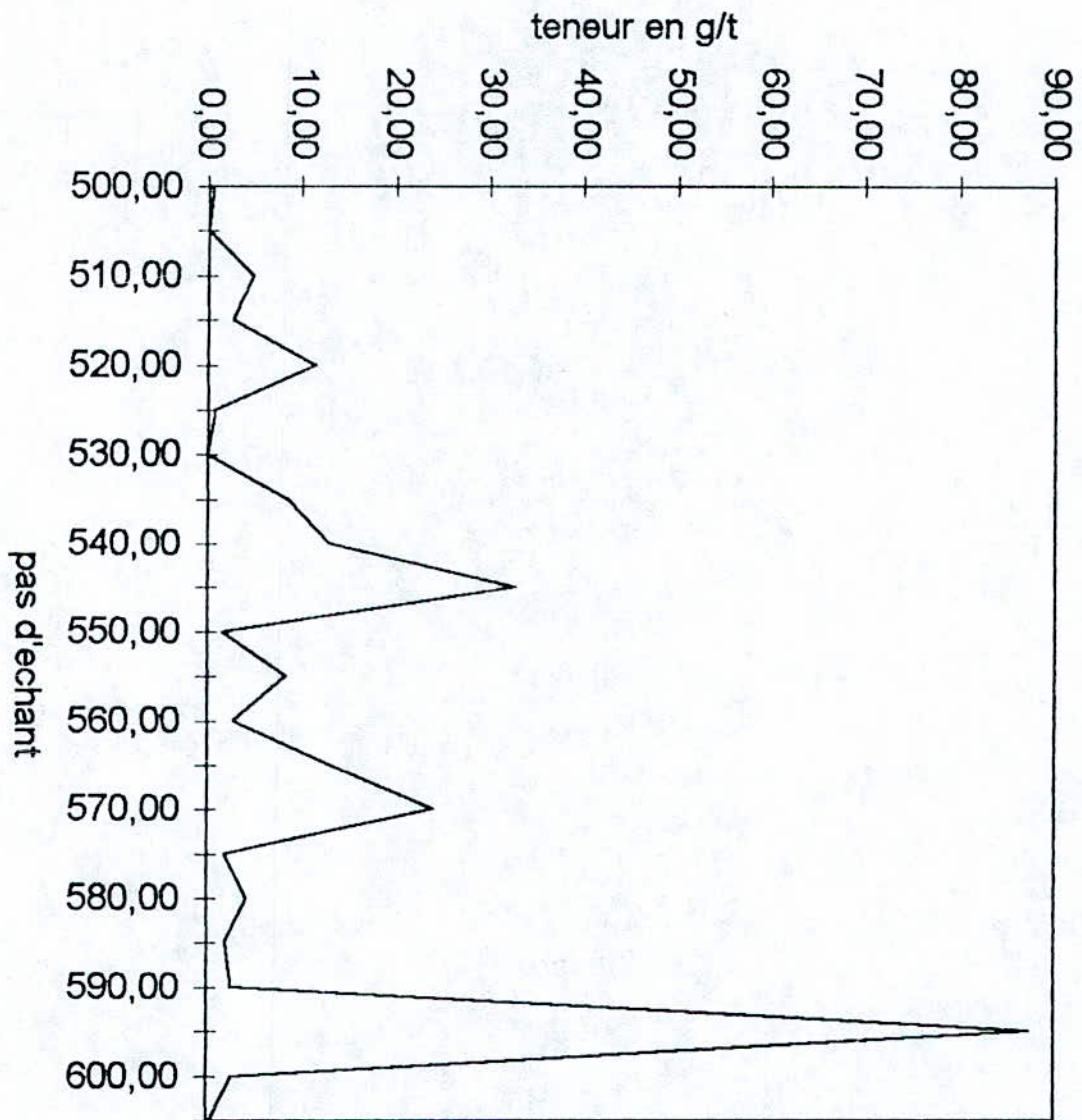


FIG 1-variation de la teneur du filon III

Coef de var : 214.23

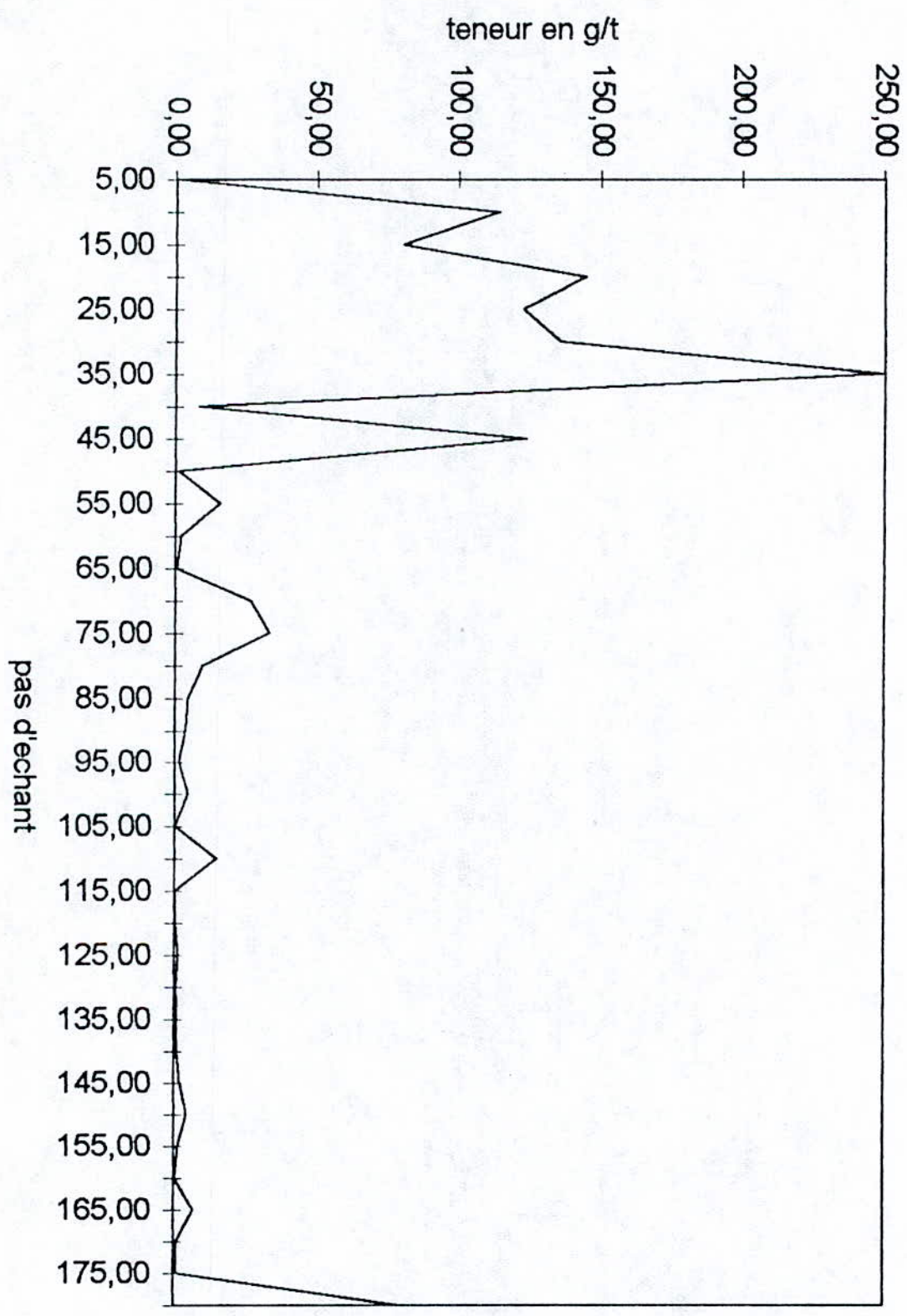


FIG 2-variation de la teneur du filon VI

C V:173.05

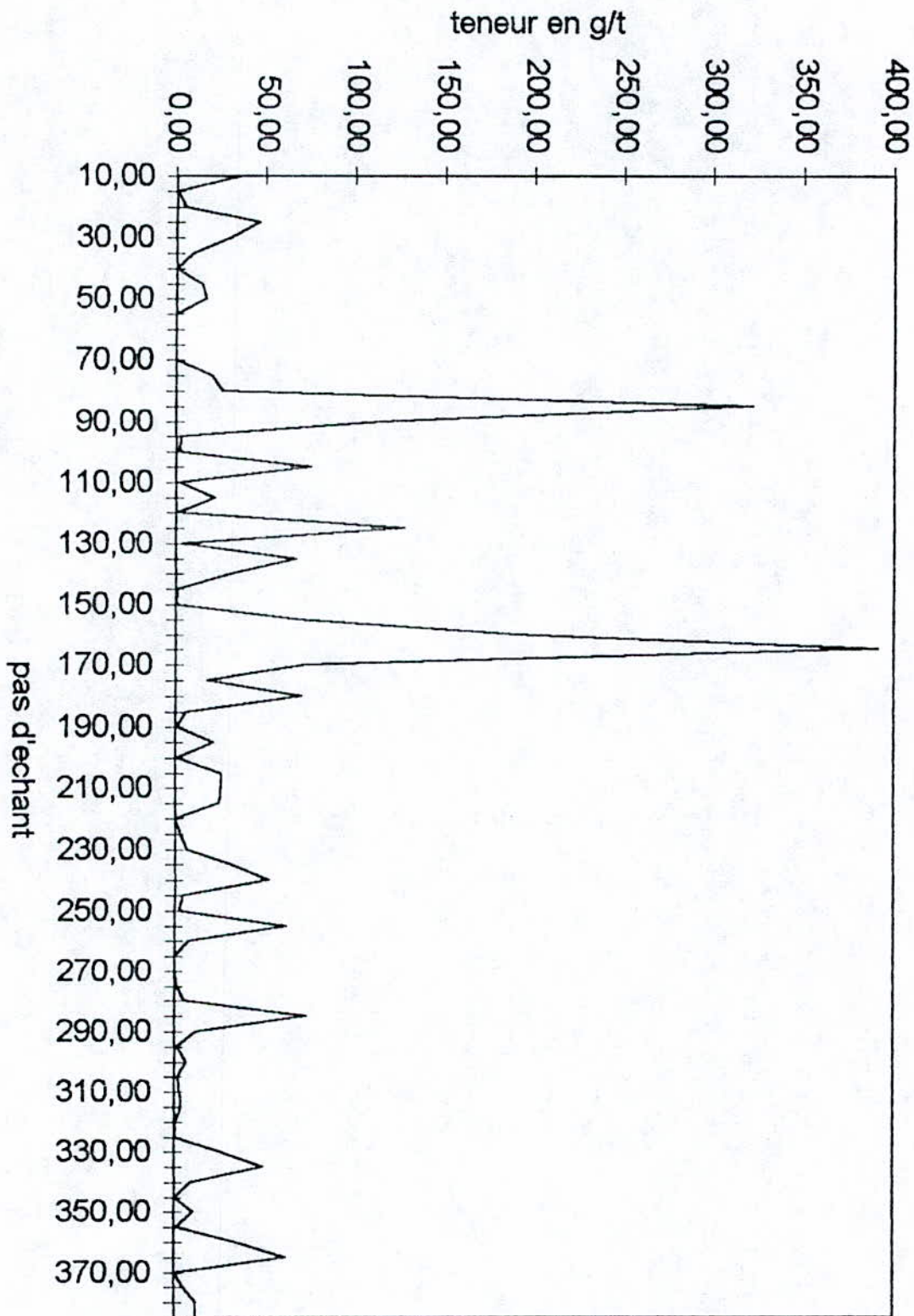
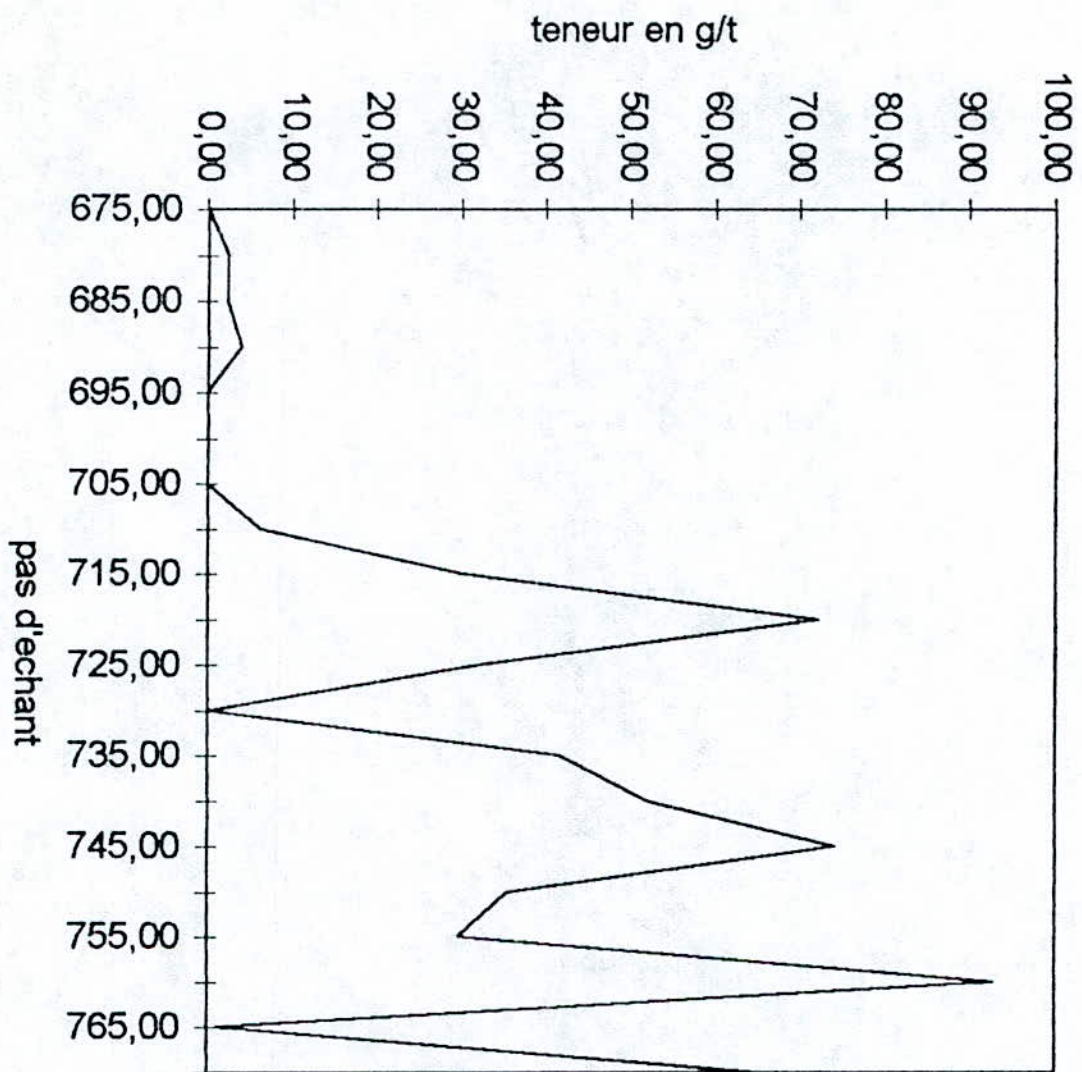


FIG 3-variation de la teneur du filon XI

C V:200.48



Coef de var : 167.37

FIG 4-variation de la teneur du filon II

III-3.1.2 L'épaisseur

On a déterminé une simple moyenne arithmétique pour la grandeur "épaisseur". D'après le coefficient de variation (CV) on déduit que la variabilité de l'épaisseur n'est pas importante (voir tableau I).

III-3.2 Etude des distributions

Chaque filon représente une population dont nous regroupons les données en classes pour déterminer les fréquences afin de rendre possible leur étude sous forme d'histogrammes. Ce qui permet de voir au mieux les diverses caractéristiques de la population.

Pour cela on propose certaines expressions mathématiques pour représenter la distribution idéale à laquelle il conviendrait de rapprocher les histogrammes expérimentaux des grandeurs géologiques. Les plus simples d'entre elles sont: la loi normale ou de gauss et la loi lognormale.

III-3.2.1 La loi lognormale

Une variable aléatoire X est distribuée selon une loi de lognormale si son logarithme népérien suit la loi normale.

La fonction f(x) définissant la fonction de fréquences de la loi lognormale est la dérivée de la fonction cumulative

$$f(x) = \frac{d[F(x)]}{dx} \quad \text{où} \quad F(x) = \Pi \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)$$

$$\text{et} \quad \mu = \frac{\sum \ln x_i}{n}$$

D'une façon générale
et étalée vers la droite.

la distribution lognormale est dissymétrique

$$f(x) = \frac{d[F(x)]}{dx} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - m}{\sigma} \right)^2 \right]$$

III-3.2.2 La loi normale

La variable X suit la loi normale s'il existe deux nombre a et b Tel que:

$$X = a + b \cdot u$$

u suit la loi normale réduite²

$$u = \frac{x - m}{\sigma}$$

m: moyenne de x

σ : écart-type de x

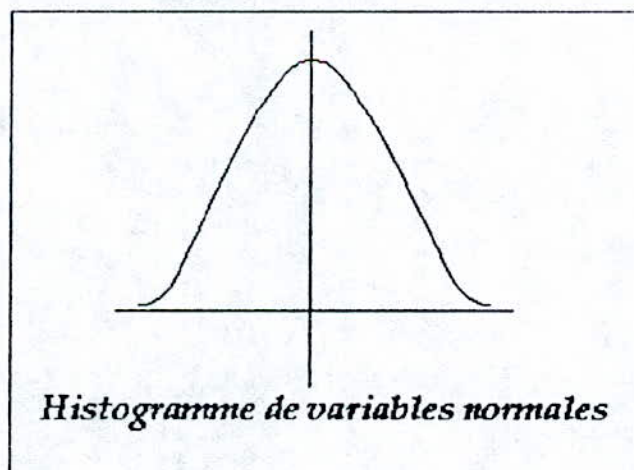
Par conséquent; la proportion des unités statistiques dont le caractère est inférieur à x est égale à:

$$F(x) = \Pi \left(\frac{x - m}{\sigma} \right)$$

D'ou la densité f(x):

$$f(x) = \frac{d[F(x)]}{dx} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - m}{\sigma} \right)^2 \right]$$

L'histogramme est ainsi symétrique par rapport à m.



² On appelle variable réduite, la variable statistique continue définie sur l'intervalle $[-\infty, +\infty]$ par la densité:

$$y(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2}}$$

III-3.2.3 Utilisation des tests

Il existe différents tests pour déterminer la distribution normale. Parmi eux on cite: le test de Student; de Fisher; de chi-deux et de Rodionov.

Dans notre étude on a utilisé les tests de chi-deux et de Rodionov.

1 Test de chi-deux

Les observations ayant été regroupés en classes d'effectifs observés (f_{obs}); on calcule les effectifs théoriques correspondant ($f_{théo}$) Tel que:

$$f_{théo} = n \cdot (\text{air de la classe})$$

n : nombre d'observations

L'air de la classe est déterminé à partir de l'air de la courbe normale comprise entre 0 et z .

Et on effectue:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_t - f_0)^2}{f_t}$$

On calcule en outre grâce à une table de χ^2 la valeur χ_{α}^2 correspondant à un seuil de signification de α et à un nombre de degré de liberté égale à:

$$v = k - 1 - m$$

m : étant le nombre de paramètres de la loi théorique calculée.

L'intervalle d'acceptation étant $[0; \chi_{\alpha}^2]$

2 Test de Rodionov

On calcule:

$$Q_1 = \left| \frac{\text{Skewnen}}{\beta_1} \right|$$

$$Q_2 = \left| \frac{\text{Kurtosis}}{\beta_2} \right|$$

Si Q_1 ; Q_2 sont respectivement inférieur à 3. La distribution observée des grandeurs est normale.

β_1 : erreur sur le coefficient d'asymétrie (Skewnen).

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{6}{n}}$$

β_2 : erreur sur le coefficient de Kurtosis.

$$\beta_2 = \sqrt{\frac{24}{n}}$$

n le nombre d'observation.

Si Q_1 et Q_2 sont respectivement inférieur à 3 la distribution observée des grandeurs est normale.

III-3.3 Résultats obtenus de l'étude des distributions

A La teneur

Selon les histogrammes (Fig.5, 6, 7, 8) la grandeur géologique « **Teneur** » suit une loi dissymétrique. Par contre le logarithme de la teneur suit une loi normal (symétrique) selon les histogrammes (9a, 10a, 11a, 12a) ainsi que les courbes de fréquences (9b, 10b, 11b, et 12b) et ce qui a été confirmé par le test de chi-deux (voir Annexe II pour le calcul de Chi-deux et de Rodionov (voir tableau II).

Remarque : Les fluctuations apparaissant sur les histogrammes représentent des populations échantillons distinctes dans le même filon. Ceci est dû à la répartition irrégulière de l'or dans les filons ainsi qu'à la présence de valeur exceptionnelles (cf. CV dans le tableau I).

Conclusion : La grandeur géologique « **Teneur** » suit une loi de distribution lognormale.

B L'épaisseur

La distribution du paramètre « **Epaisseur** » suit une loi normale d'après les figures (13 (a, b); 14 (a, b)) pour les filons III et VI. Par contre pour les filons XI et II, l'épaisseur suit une loi dissymétrique (Fig.15, Fig. 16) et le logarithme de leur épaisseur suit une loi normale (Fig. 17 (a, b); 18 (a, b)).

Remarque : Pour les tests de chi-deux et de Rodionov voir tableau II.

Conclusion : L'épaisseur pour les filons XI et II suit une loi normale.

C L'accumulation

L'accumulation suit une loi dissymétrique (Fig. 19, 20, 21, 22) par contre le logarithme de l'accumulation suit pour les quatre filons la loi normale (Fig. : 23 (a, b), 24 (a, b), 25 (a, b), 26 (a, b)) ce qui est confirmé par les tests de chi-deux et Rodionov (voir tableau II).

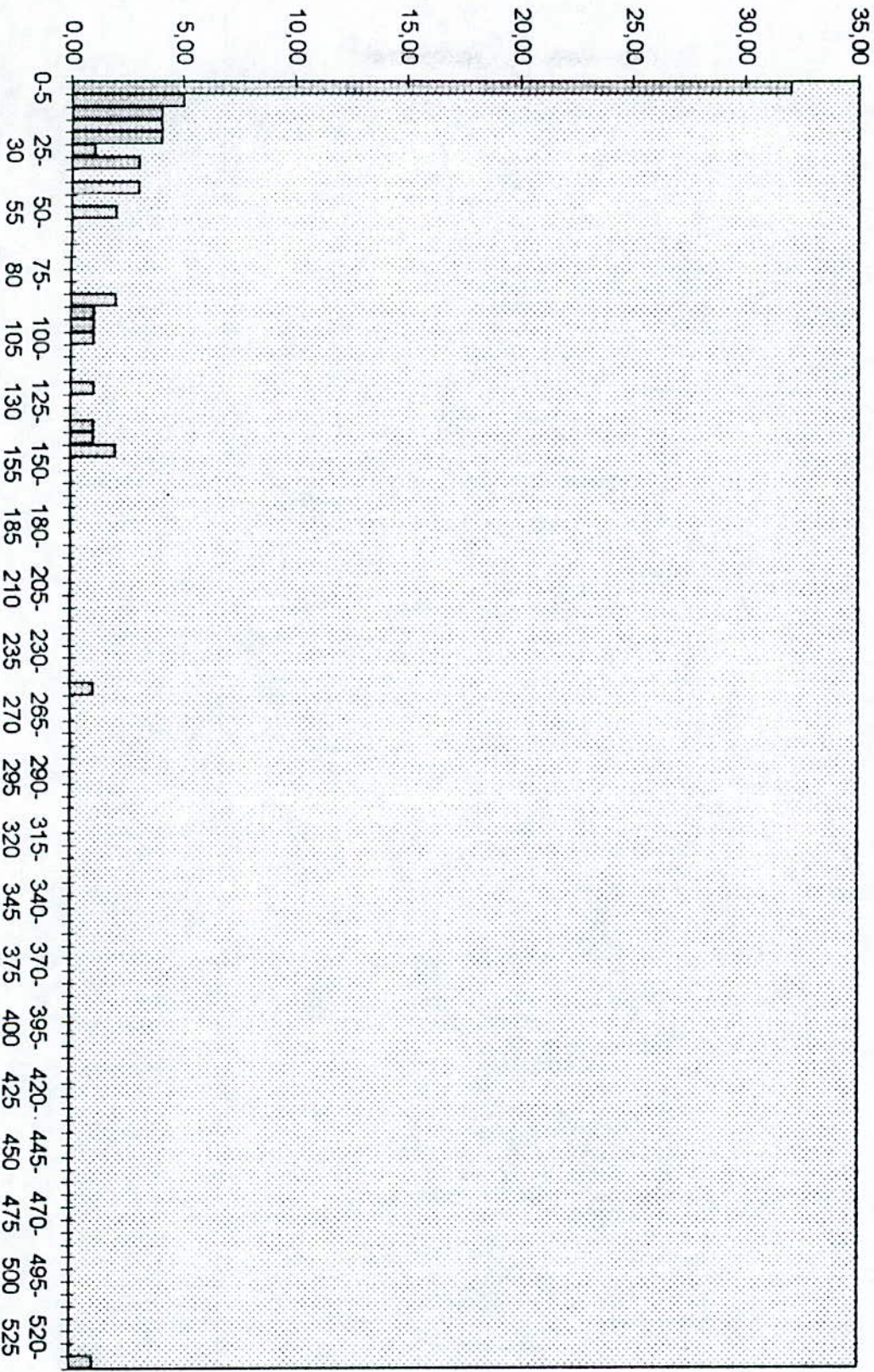
Tableau II

Filons	III			VI			XI			II		
	Teneur	Epaisseur	Accumul ation	Teneur	Epaisseur	Accumul ation	Teneur	Epaisseur	Accumul ation	Teneur	Epaisseur	Accumul ation
Q1 < 3	0.1	3	0.7	1.3	2.5	1.6	1.06	0.1	0.93	0.1	0.31	0.2
Q2 < 3	1.93	2.3	1.03	1.9	1.7	1.5	1.1	0.93	1.17	1.9	0.8	1.9
v	11	11	13	10	7	11	11	4	14	10	4	9
$\chi^2 \in [0, \chi^2_{0.95}]$	5.95	19.21	11.87	18.99	7.6	12.19	12.72	5.21	36.19	9.73	17.25	16.59

v : le degré de liberté³

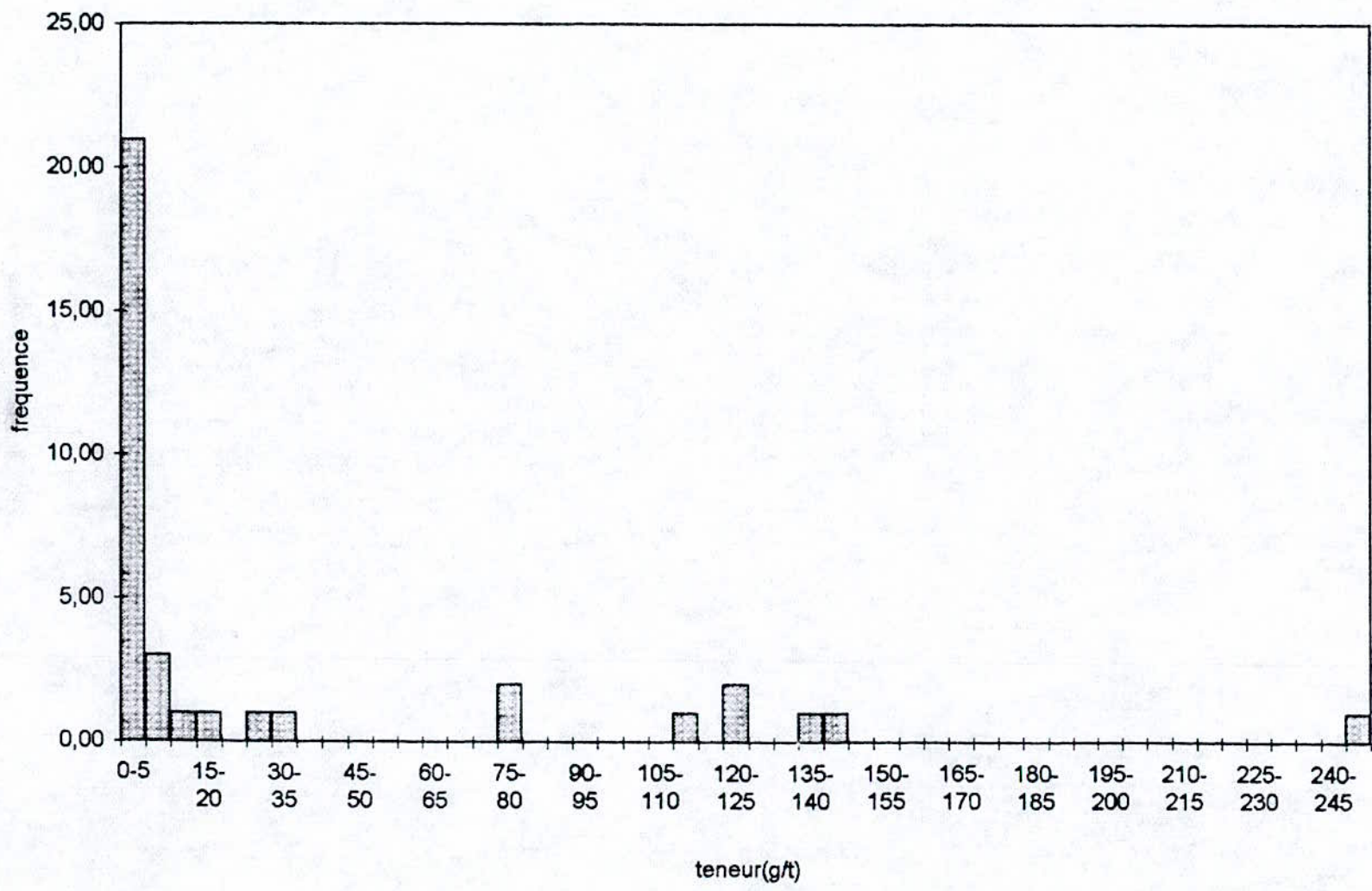
³ le nombre de degré de liberté d'un ensemble d'éléments est le nombre des éléments pour lesquels on pourrait admettre une valeur quelconque (prise dans l'ensemble des valeurs possibles) de la variable considérée.

FIG 5-Filion III:la teneur



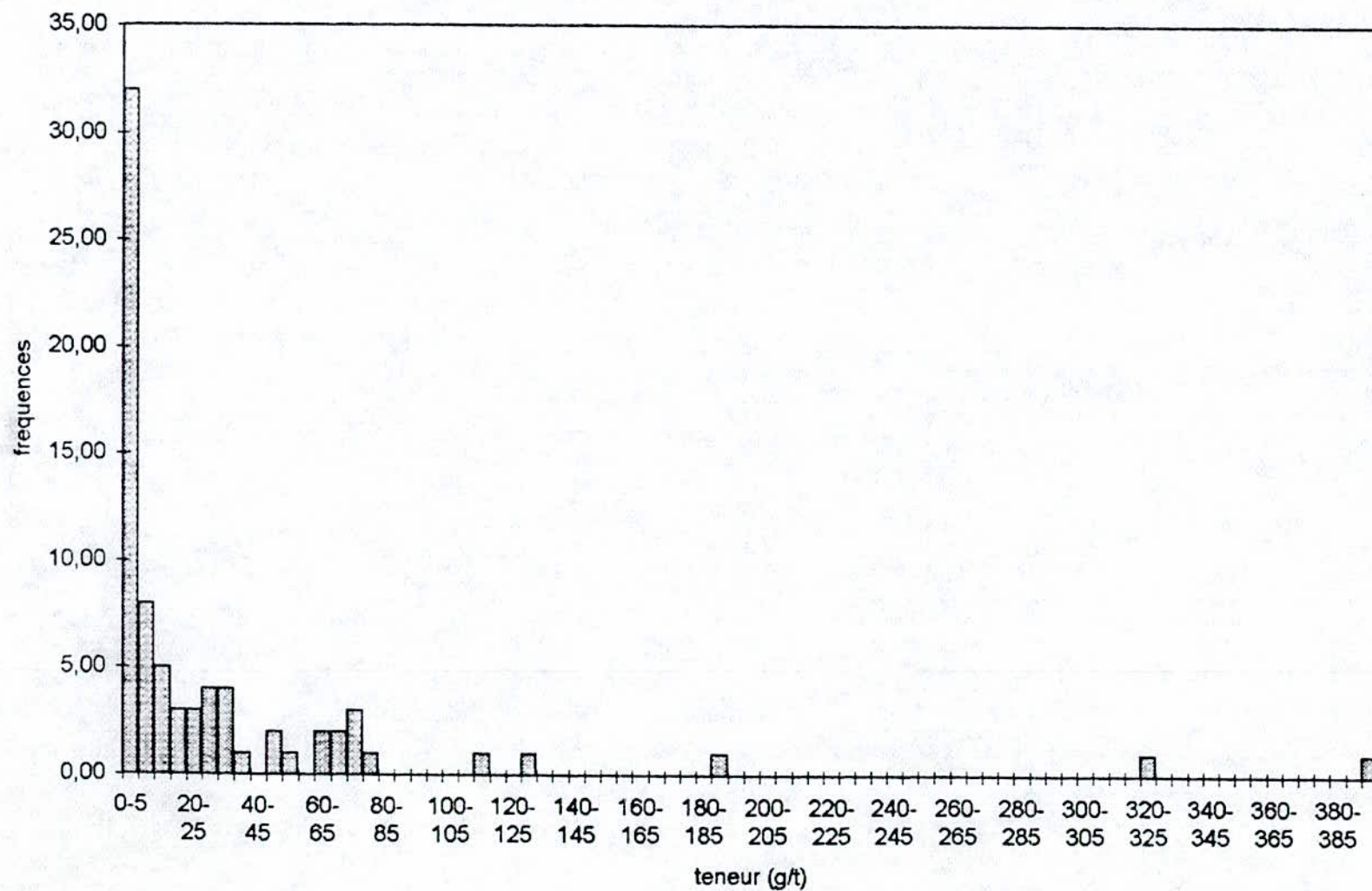
n: 70
moyenne: 35.97
variance: 5790.01
kurtosis: 26.29
skewness: 4.58
C.V: 214.23

FIG 6-FilonVI:la teneur



n:36
moyenne: 33.37
variance: 3430.3
kurtosis: 4.31
skewness: 2.11
c.v: 173.05

FIG 7-Filon XI:la teneur(g/t)



n: 76

moyenne: 31,53

variance: 4049,42

kurtosis: 18,59

skewness: 4,03

c.v: 200,48

FIG 8-Filon II:la teneur

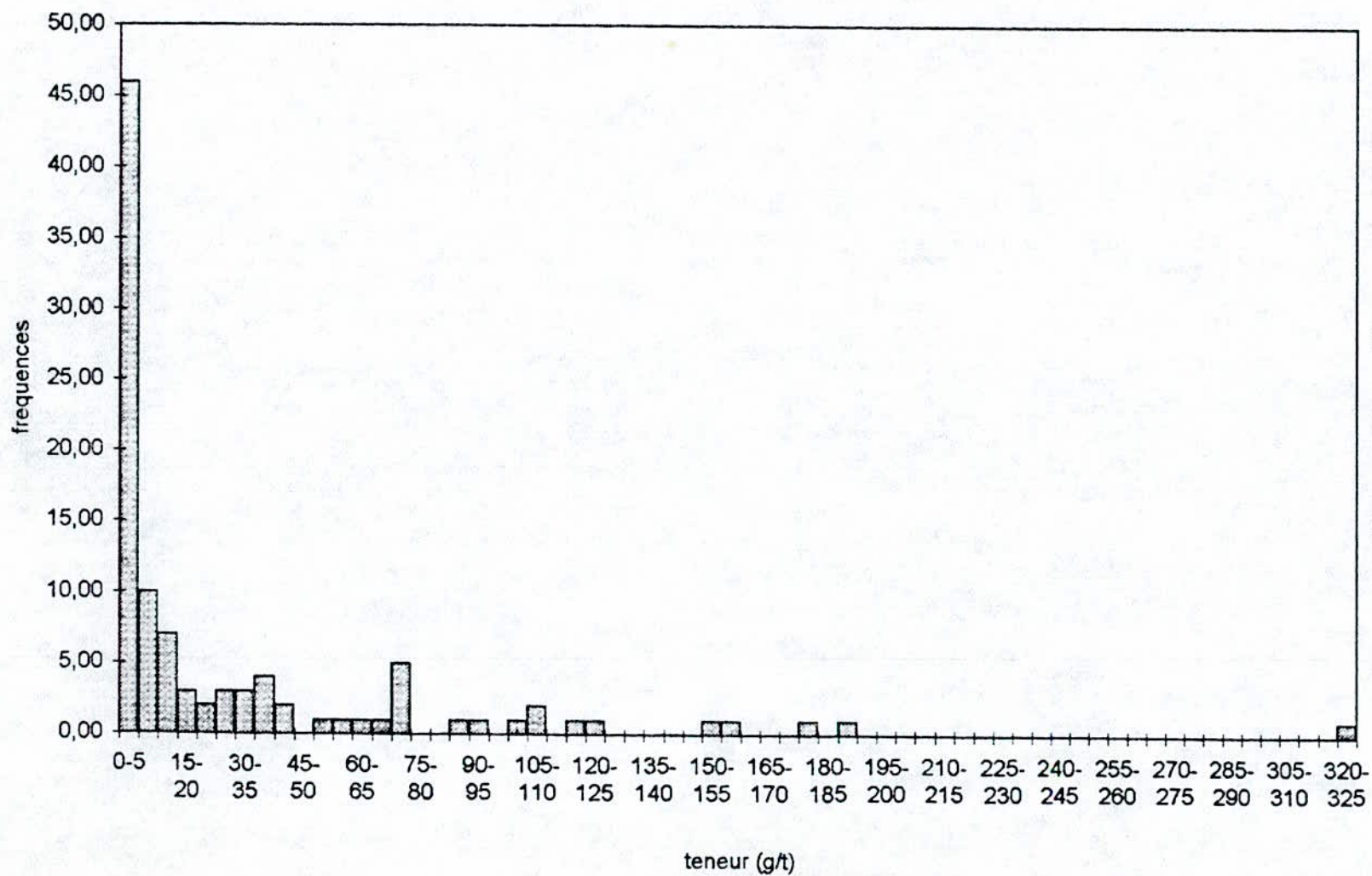
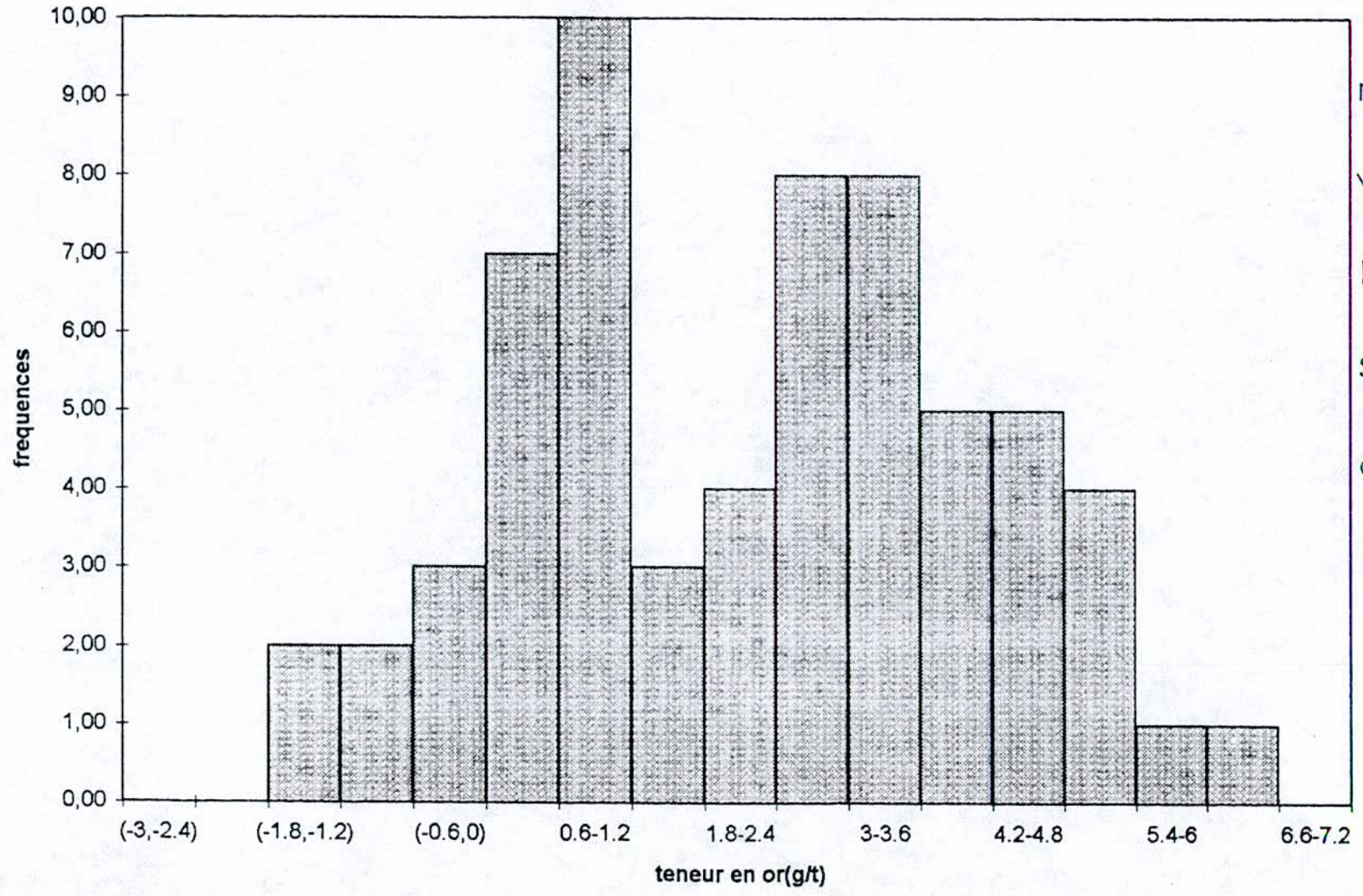


FIG 9a-FilonIII:Logarithme de la teneur



moyenne: 2.18

variance: 3.42

kurtosis: 0.83

skewness: 0.03

c.v: 82.13

Fig: 9b Filon III

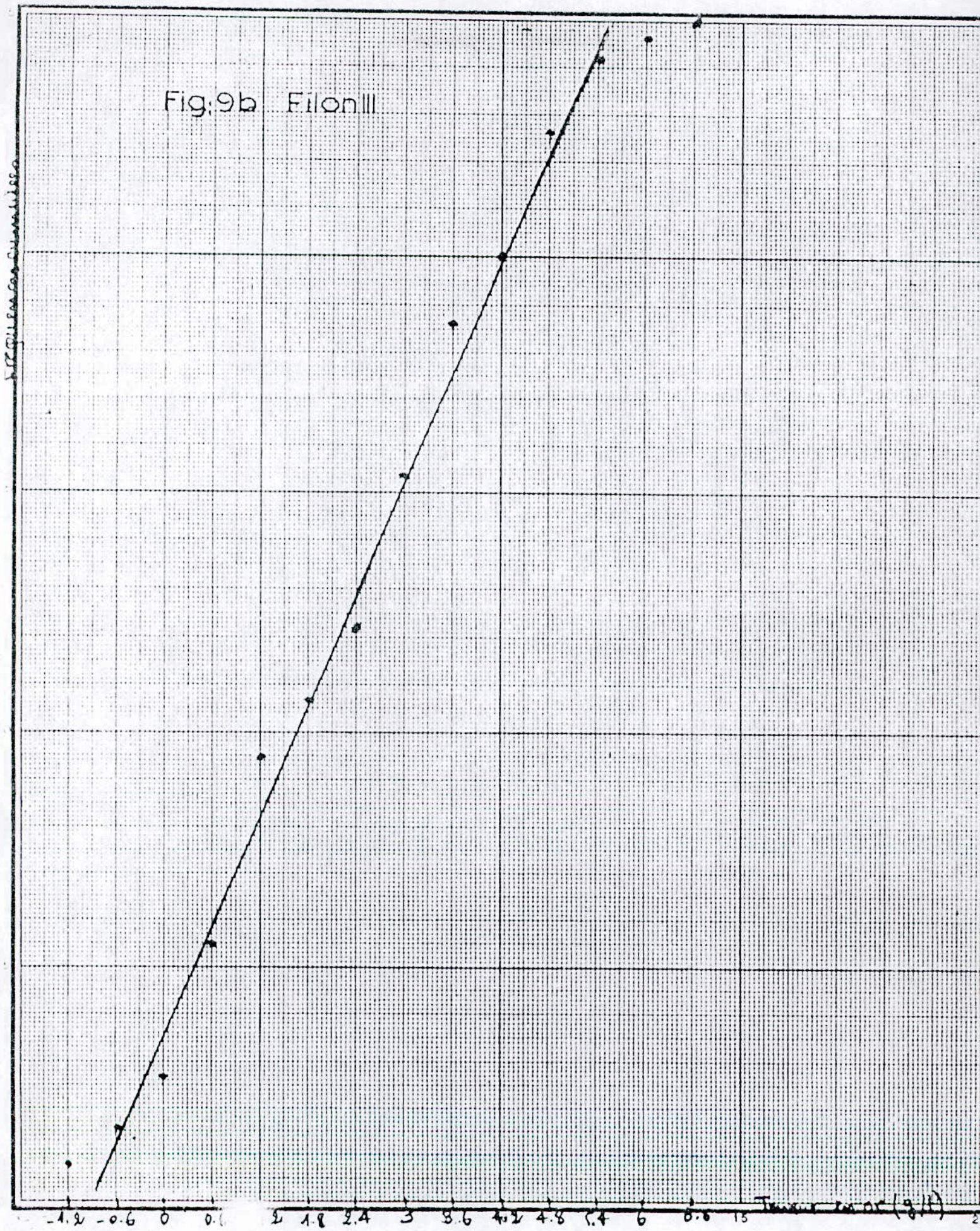
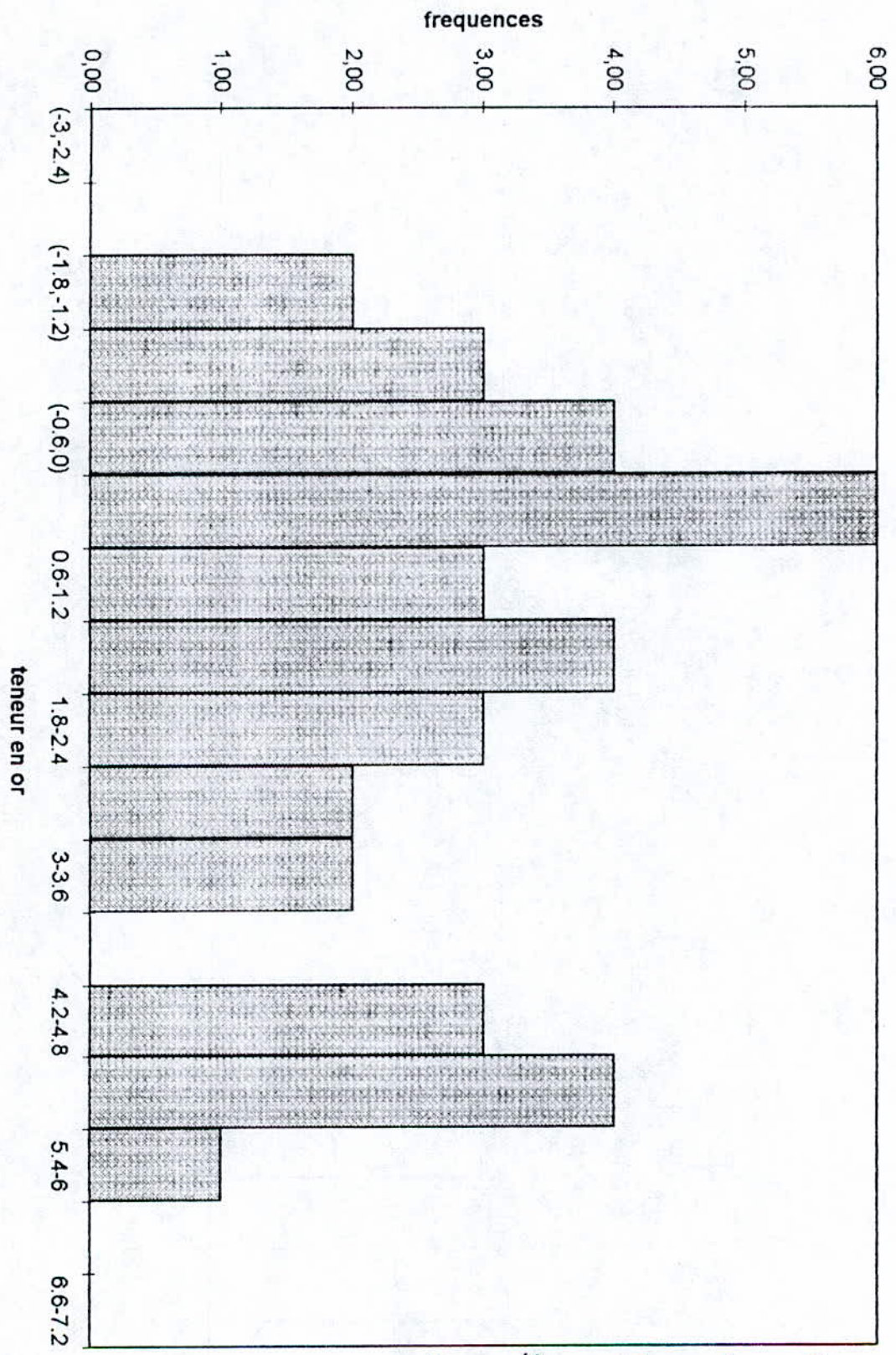


FIG 10a-FilionVI: Logarithme de la teneur



moyenne:1.67
variance:4.3
kurtosis:0.67
skewness:0.38
c.v.:123.86

Fig 10 b Filon VI

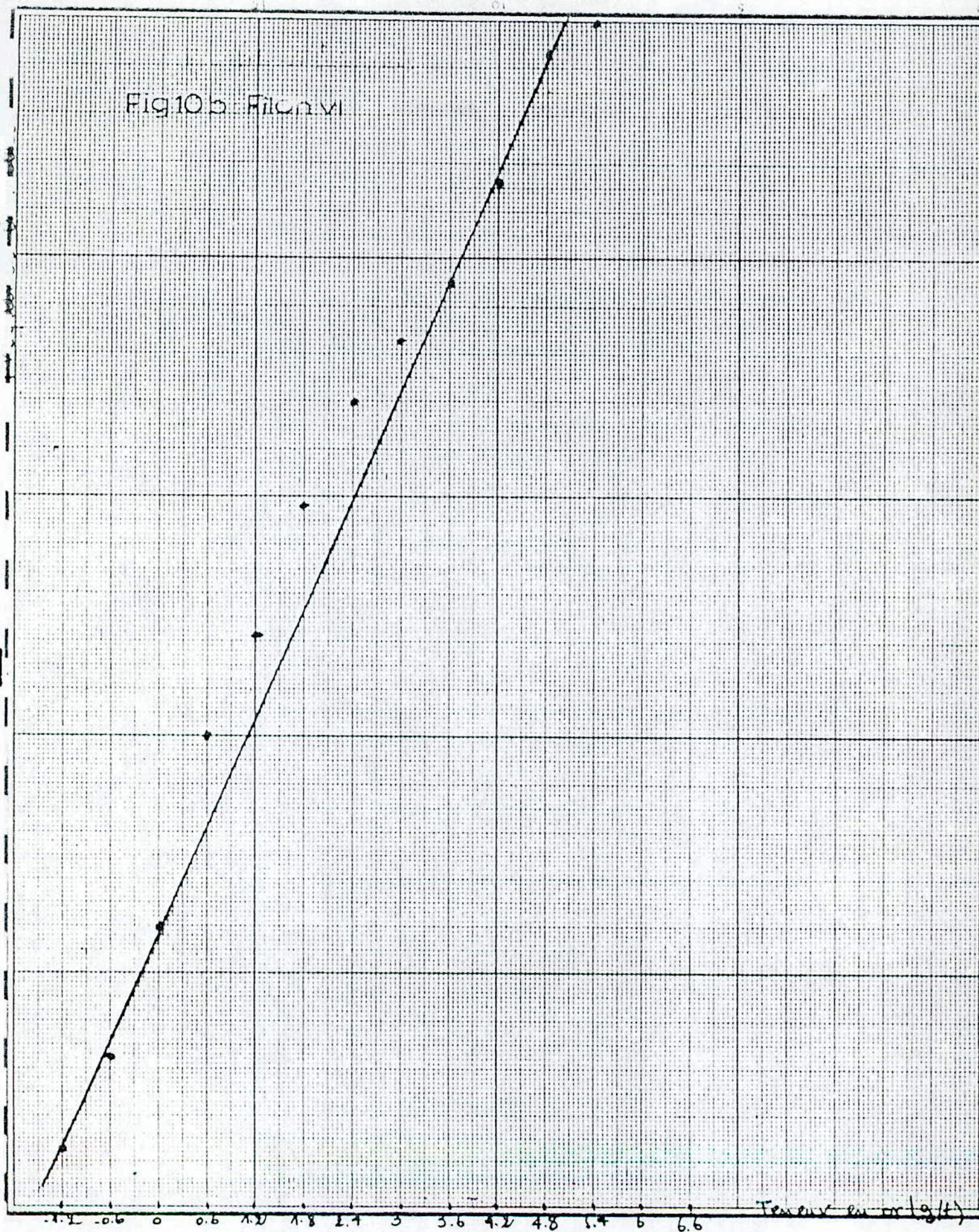
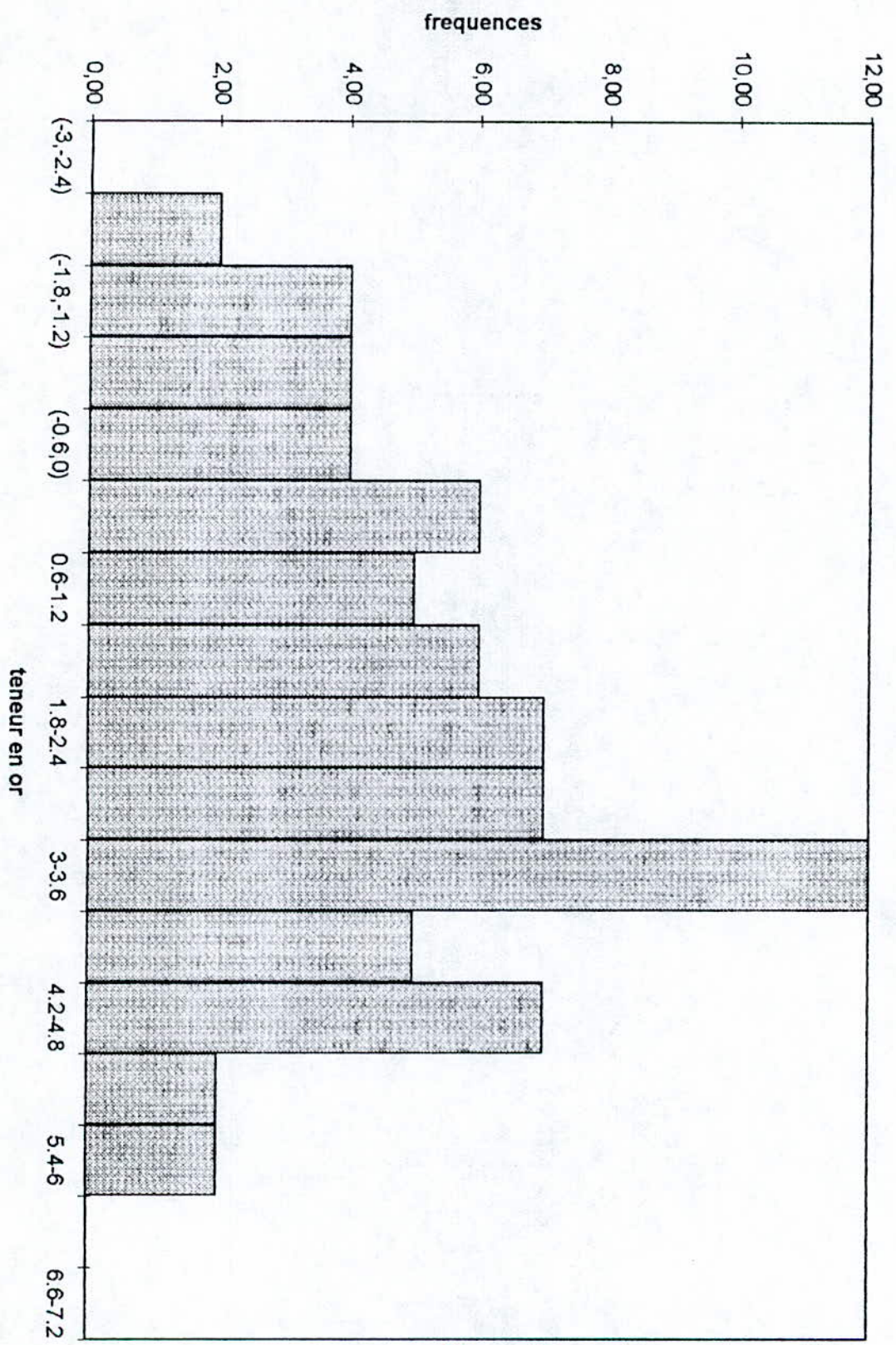


FIG 11a-FilonXi:Logarithme de la teneur



moyenne:2.02
variance:3.97
kurtosis:0.64
skewness:0.36
C.V: 98.53

Fig 11 b: Filon xi

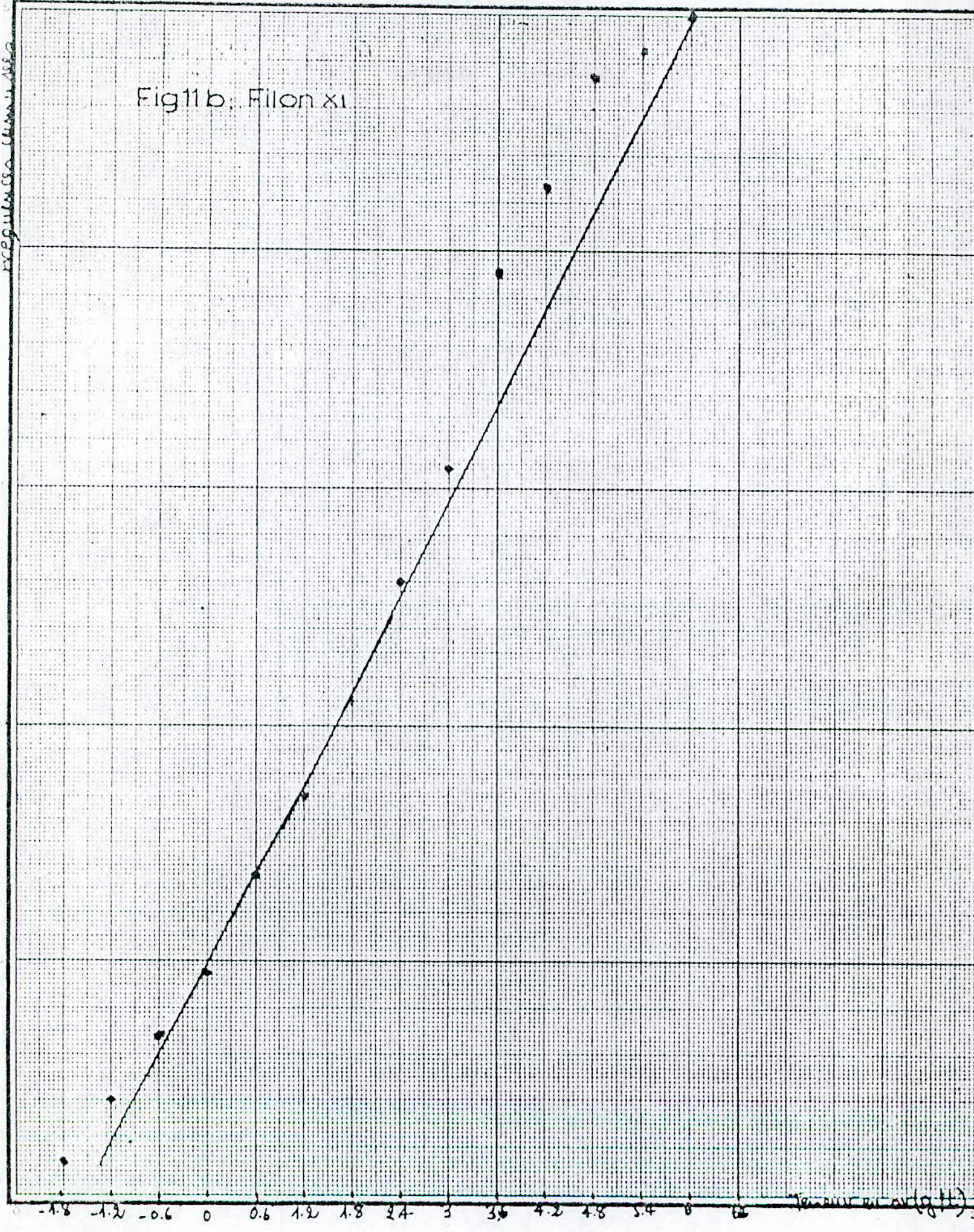
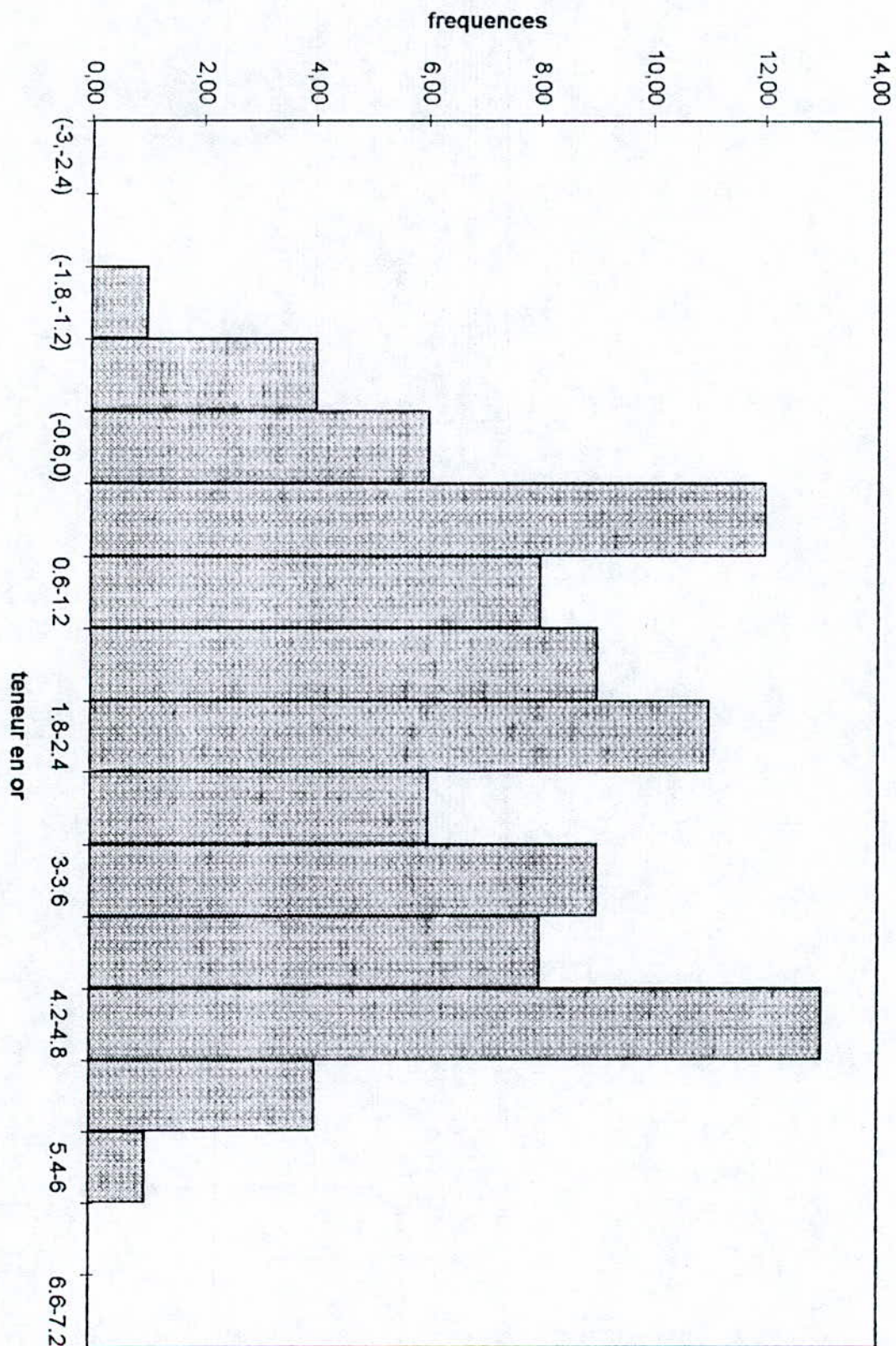


FIG 12a-Filonil: Logarithme de la teneur



moyme n: 2.21
variance: 3.30
kurtosis: 1.13
skewness: 0.032
c.v: 82.4

Fig12b: Filant

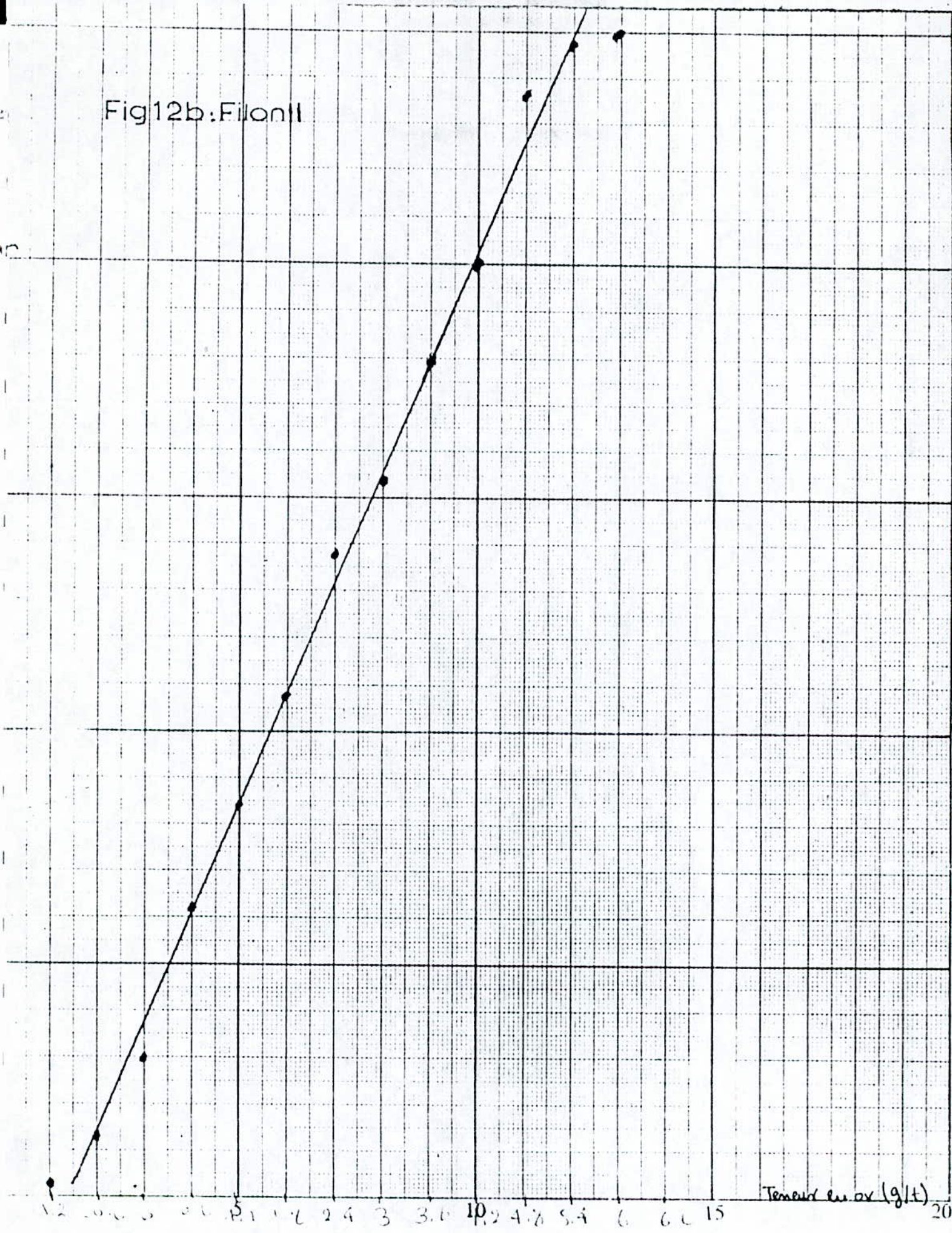
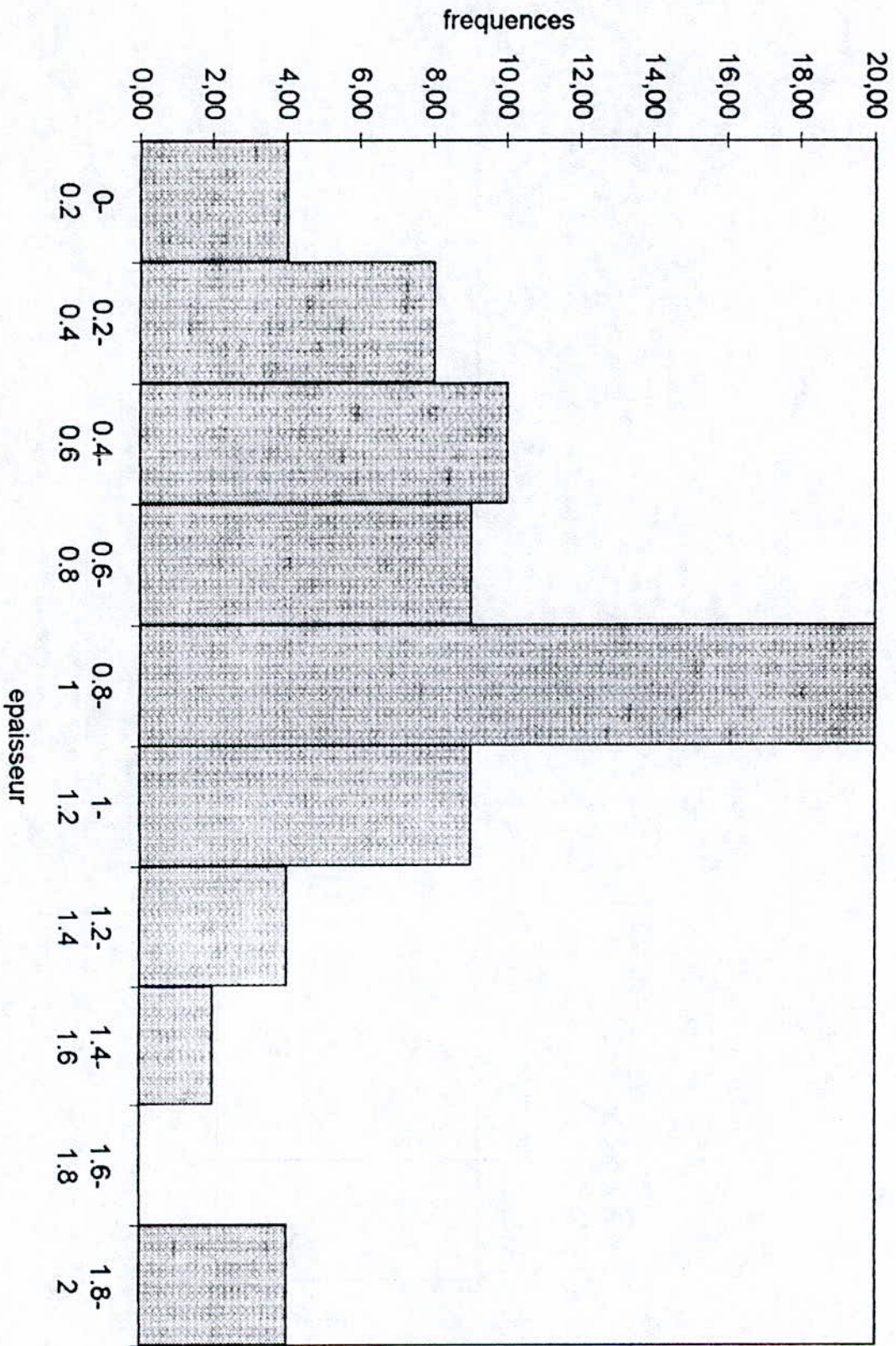


FIG 13a-Filonill:epaisseur



moyenne: 0.79

variance: 0.19

kurtosis: 1.38

skewness: 1.01

c.v : 54.88

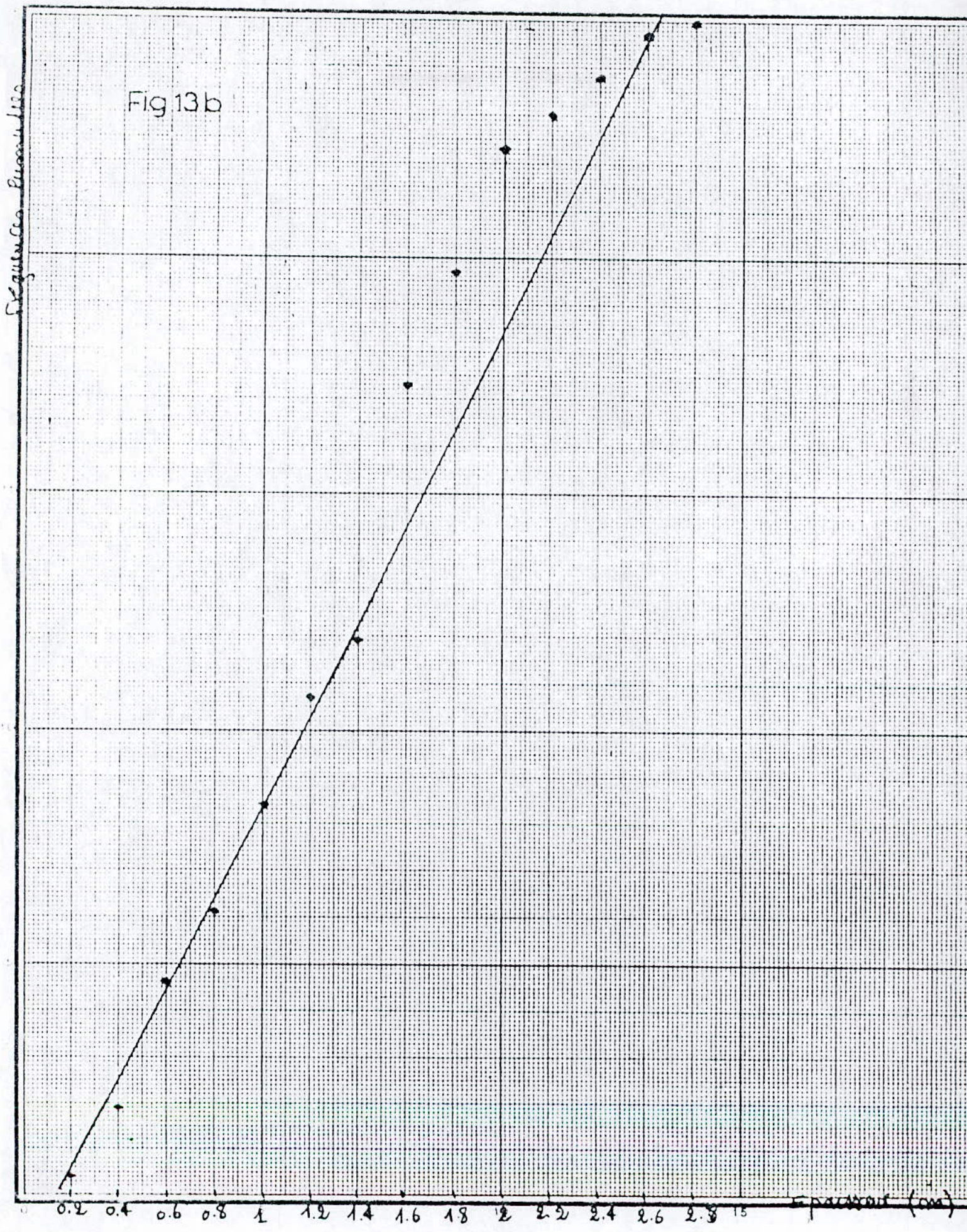
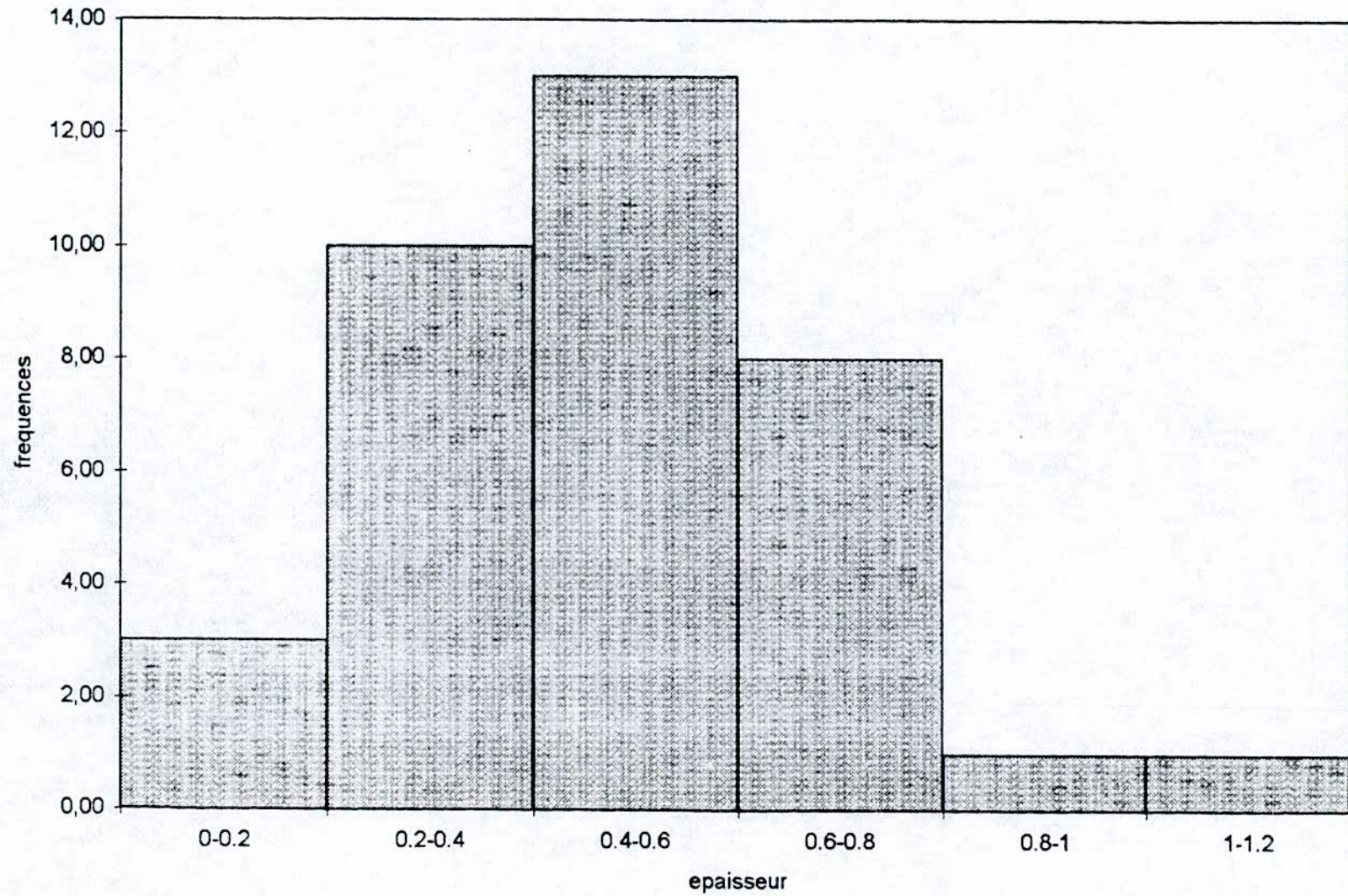


FIG 14a-FilonVI:Epaisseur



moyenne : 0.49

variance : 0.04

kurtosis : 1.00

skewness : 1.02

c.v : 42.99

Fig14b

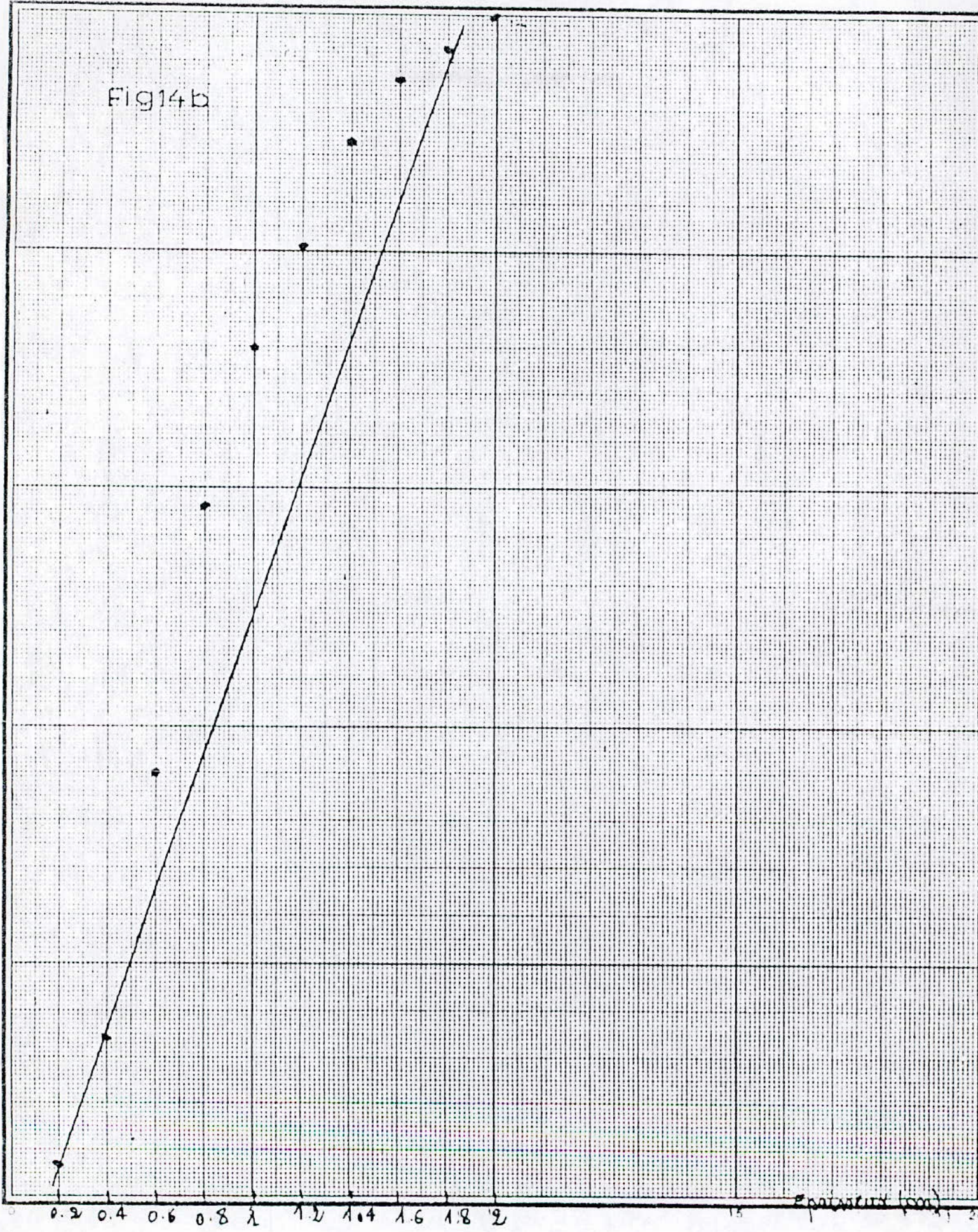
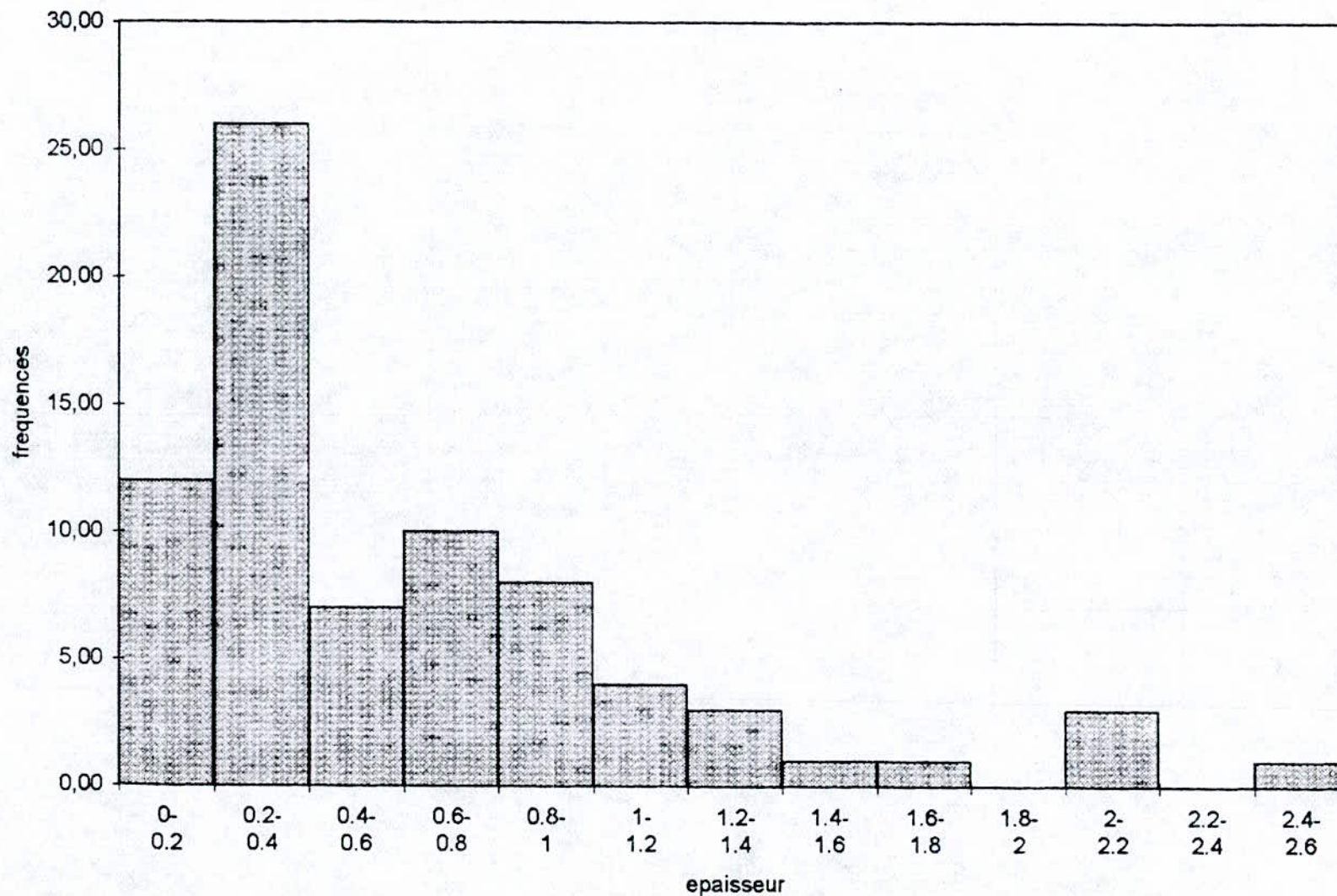


FIG 15-FilonXI:epaisseur

n: 76

moyenne: 0.66

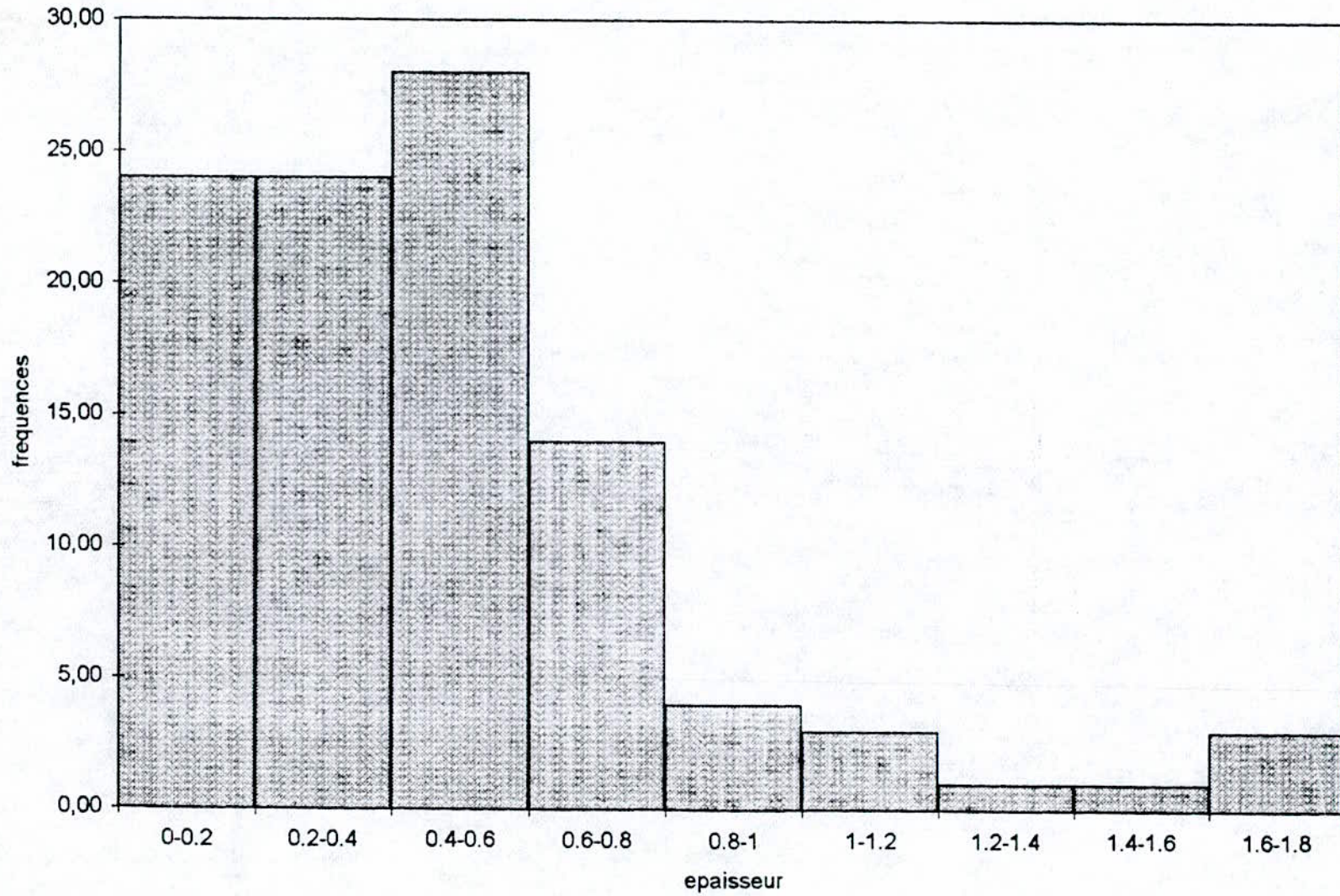
variance: 0.28

kurtosis: 2.72

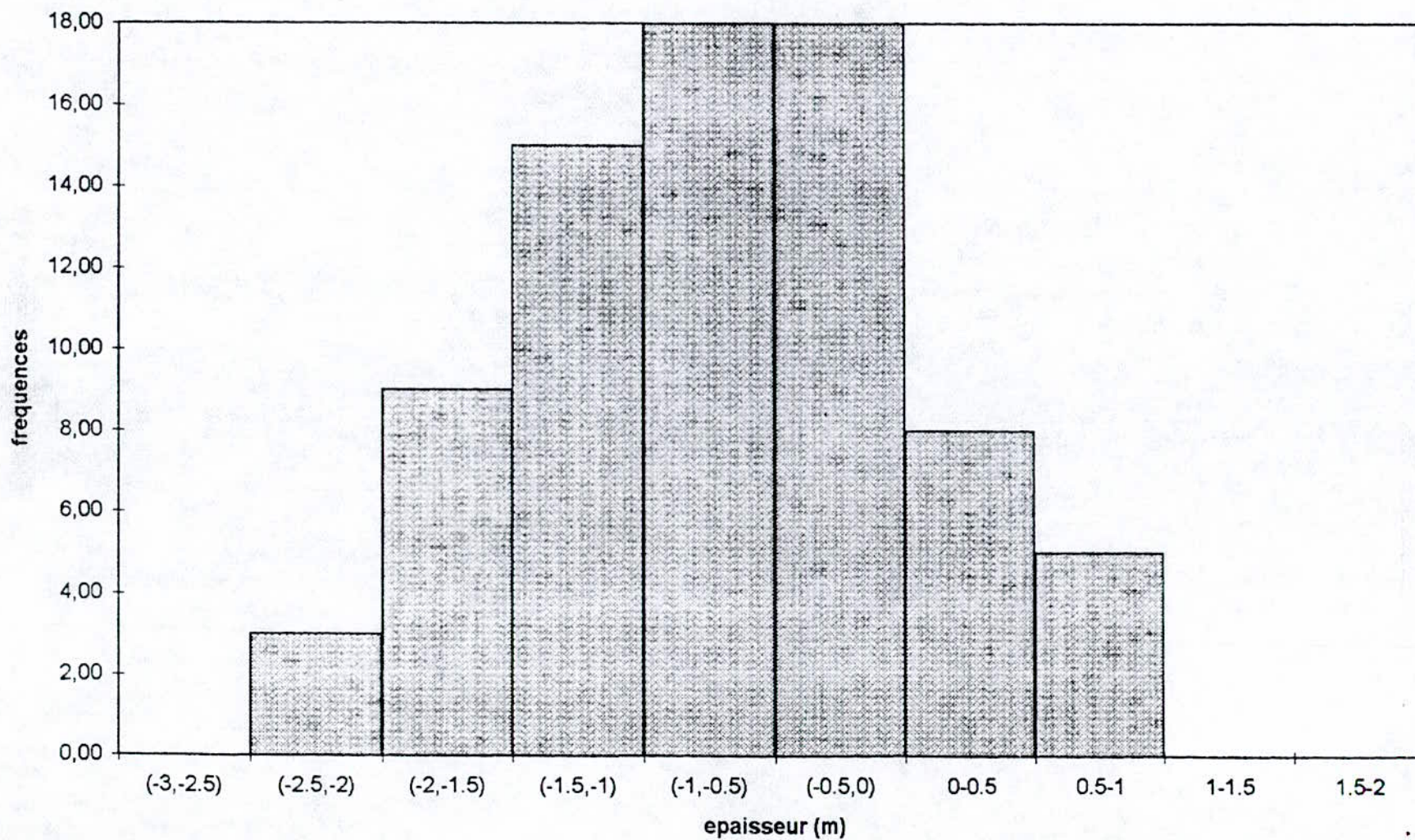
skewness: 1.59

c.v: 80.3

FIG 16-FilonII:Epaisseur



n:102
moyenne:0.52
variance: 0.13
kurtosis:3.32
skewness:1.72
c.v : 69.23

FIG 17a-FilonXI:Logarithme de l'epaisseur

moyenne: 0.7

variance: 0.59

kurtosis: 0.5

skewness: 0.0

c.v.: 109.13

Fig 17b

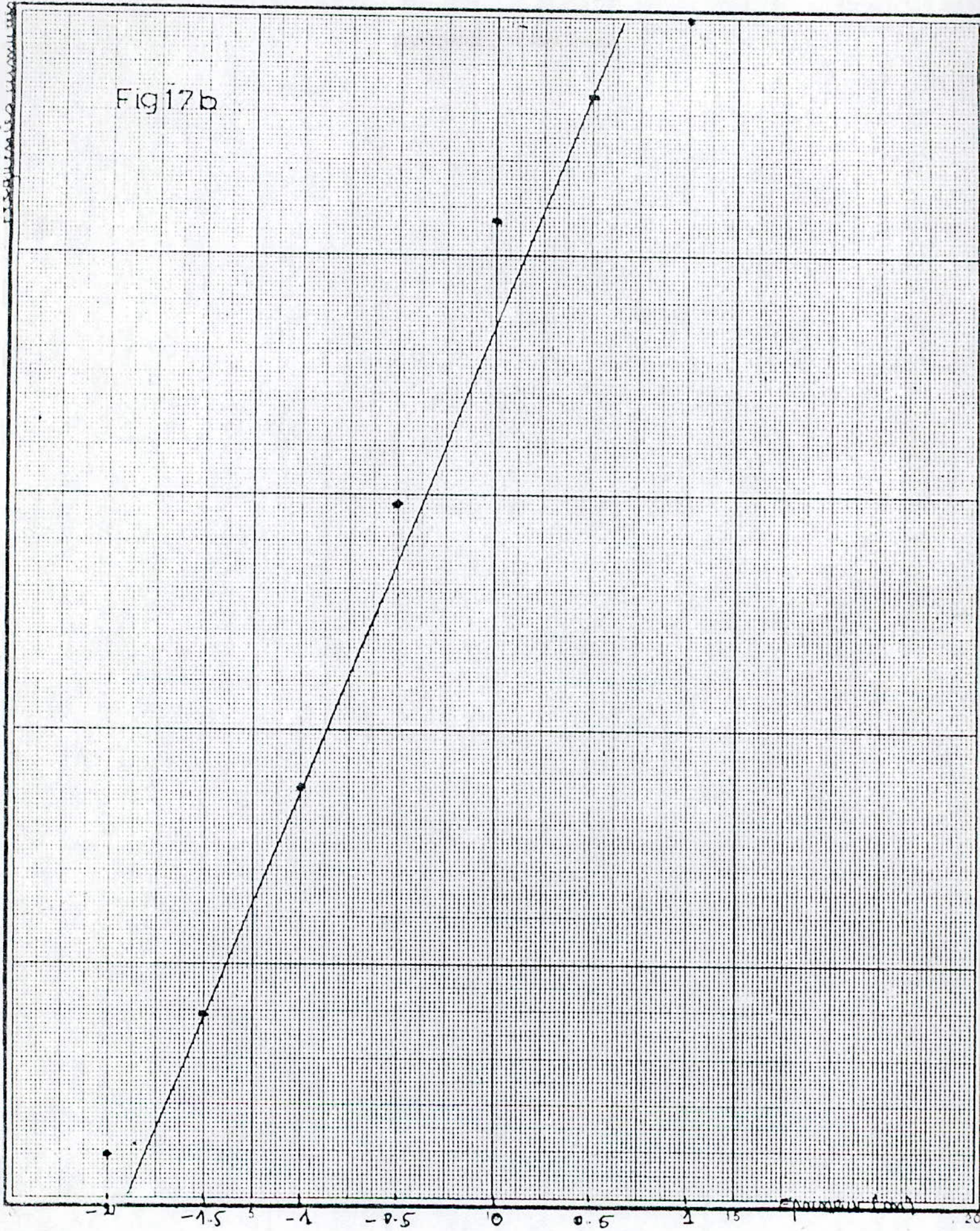
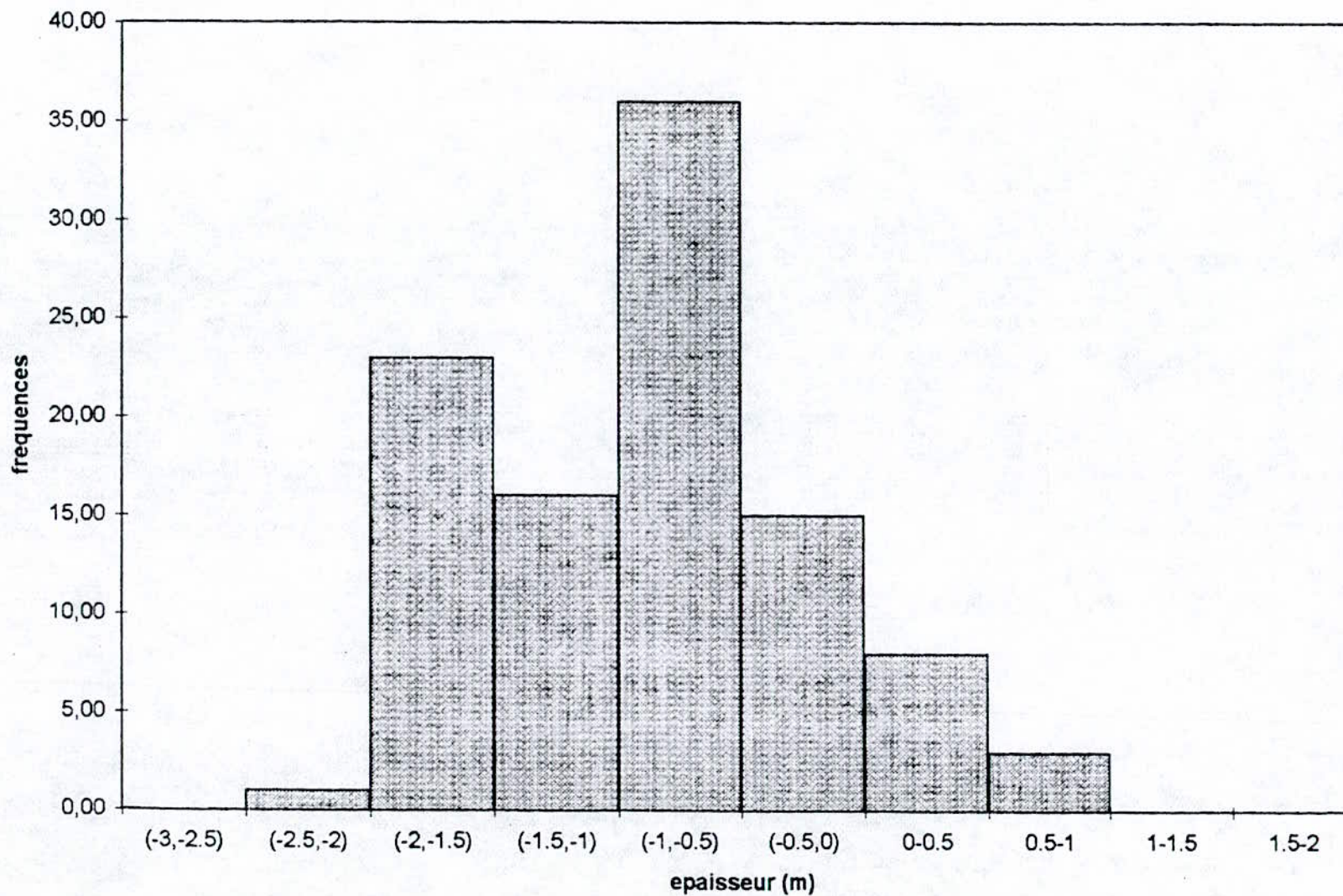


FIG 18a-FilonII:Logarithme de l'epaisseur

moyenne: 0.87

variance: 0.42

kurtosis: 0.05

skewness: 0.09

c.v: 74.55

Esquema curvilinear

Fig18 b

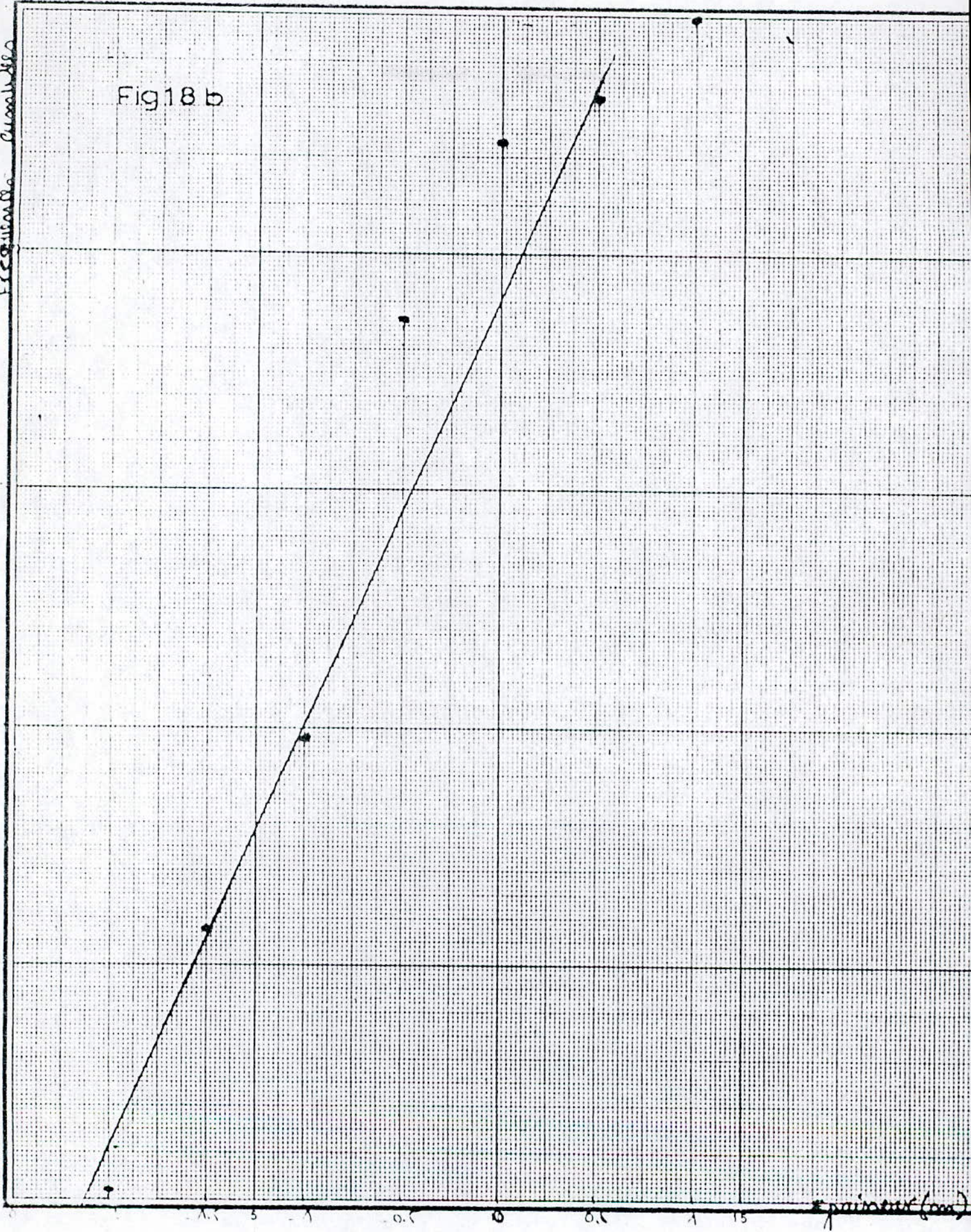
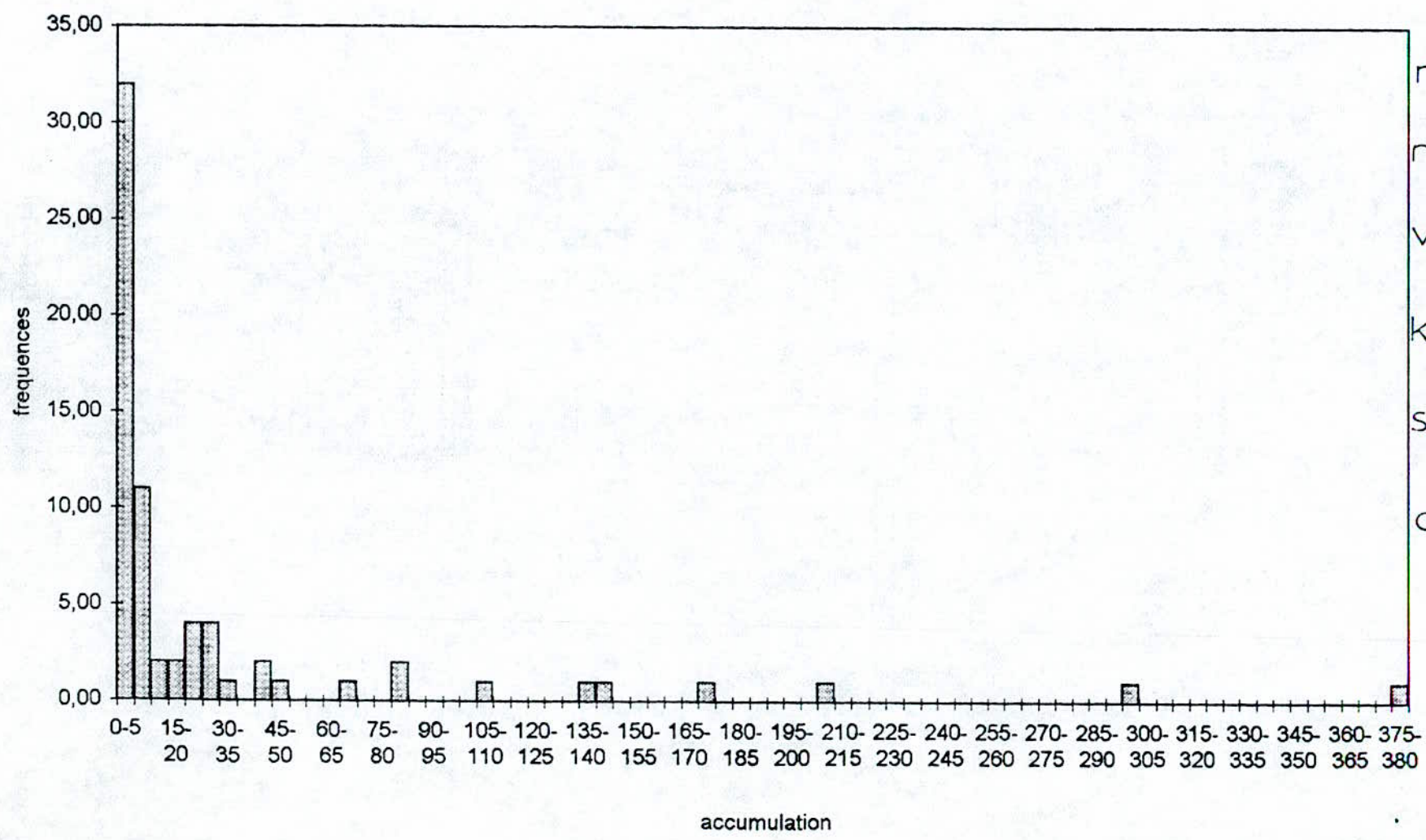


FIG 19-FilonIII:Accumulation



n: 70
moyenne: 32.2
variance: 458
kurtosis: 12.55
skewness: 3.32
c. v: 210.05

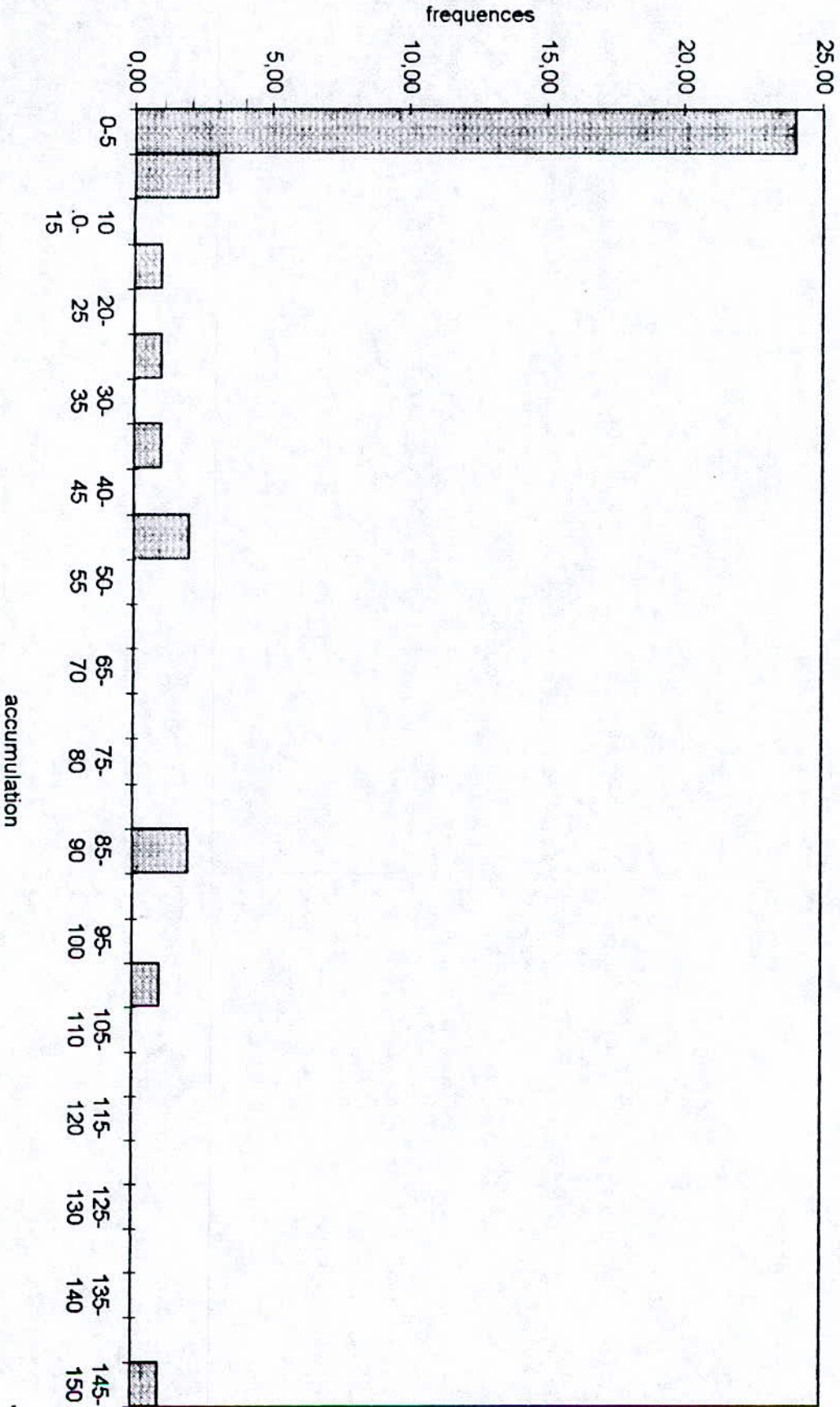
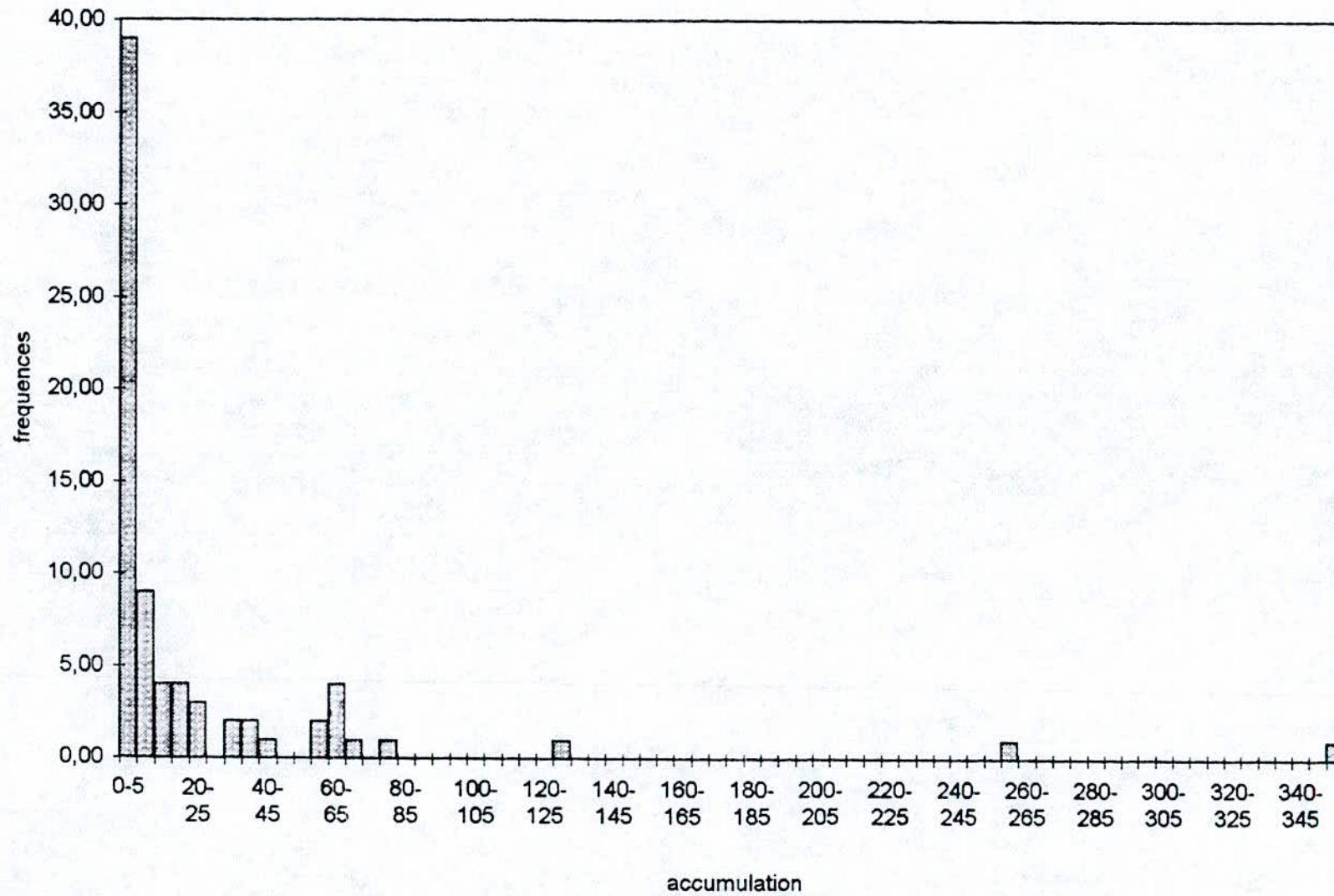


FIG 20-Filon VI: Accumulation

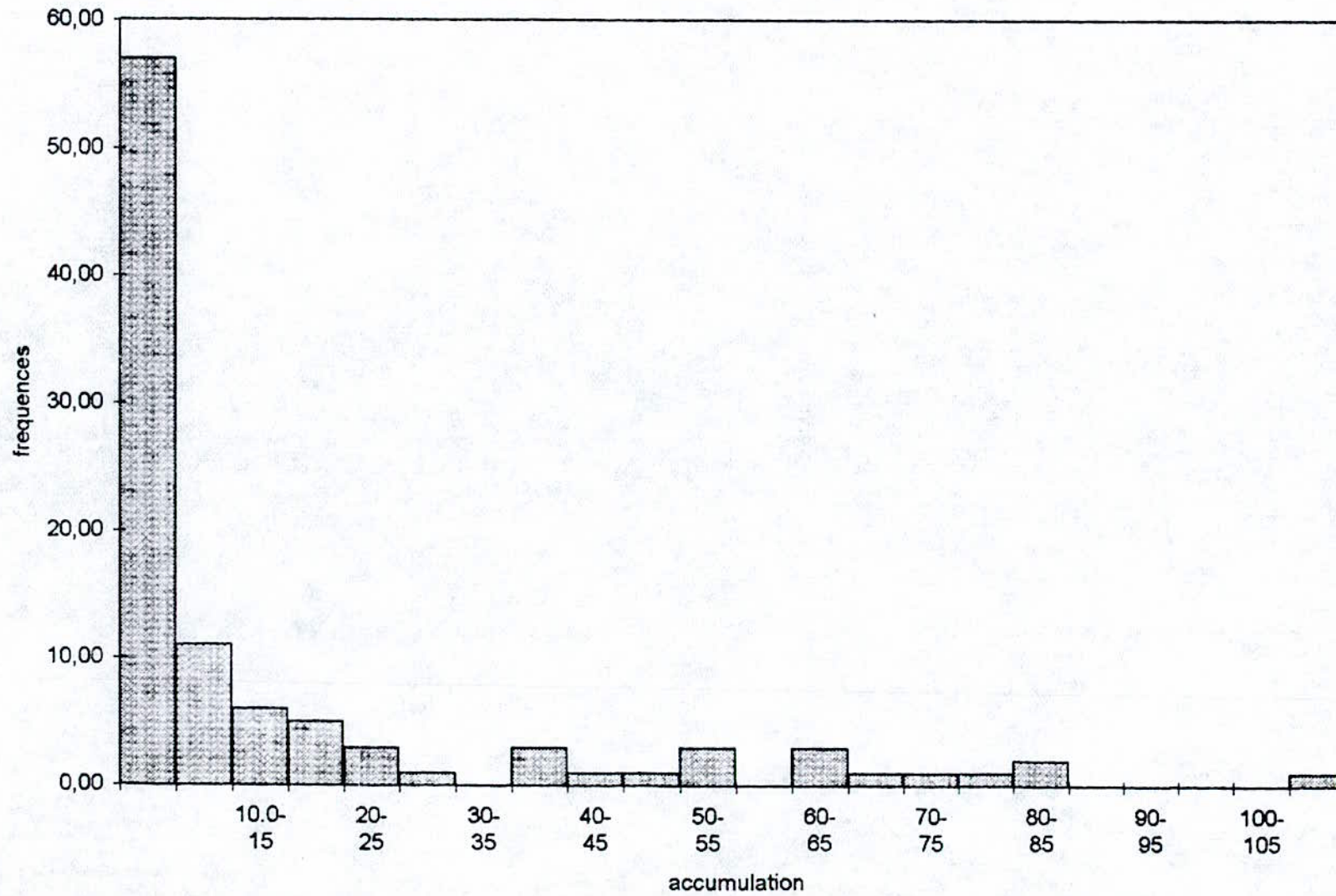
n: 36
 moyenne: 18.14
 variance: 1204
 kurtosis: 5.41
 skewness: 2.26
 c.v: 191.32

FIG 21-FilonXI:Accumulation



n: 76
moyenne: 24.8
variance :3053.
kurtosis: 19.52
skewness: 4.12
c .v: 222.61

FIG 22-Filonil:accumulation



n:102

moyenne:14.25

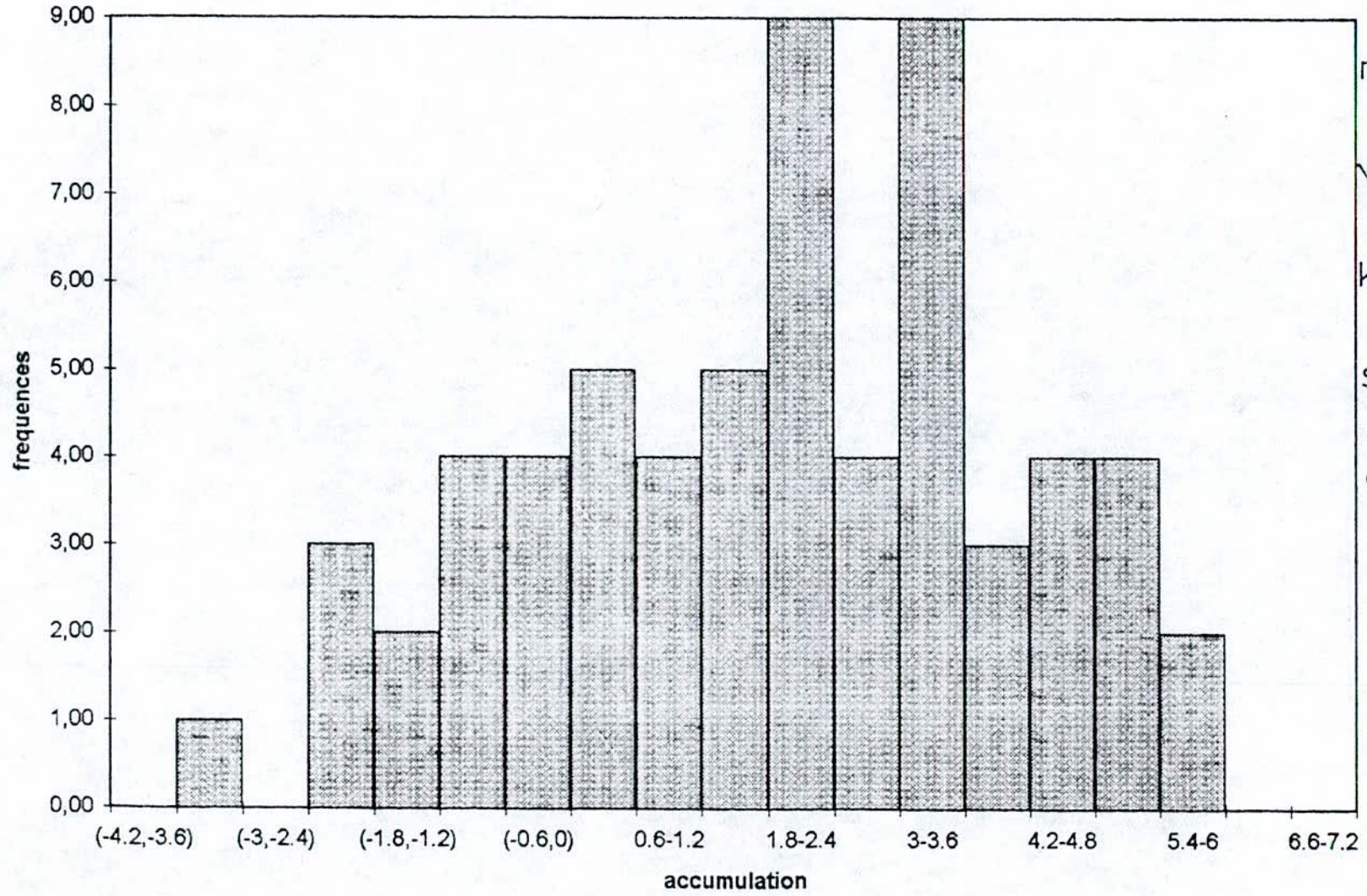
variance:536.5

kurtosis: 3.55

skewness: 2.06

c.v:162.50

FIG 23a-FilonIII:Logarithme de l'accumulation



moyenne:1.85

variance:4.58

kurtosis:.0.6

skweness:.008

c.v :115.9

Fig 23b

Fig 23b

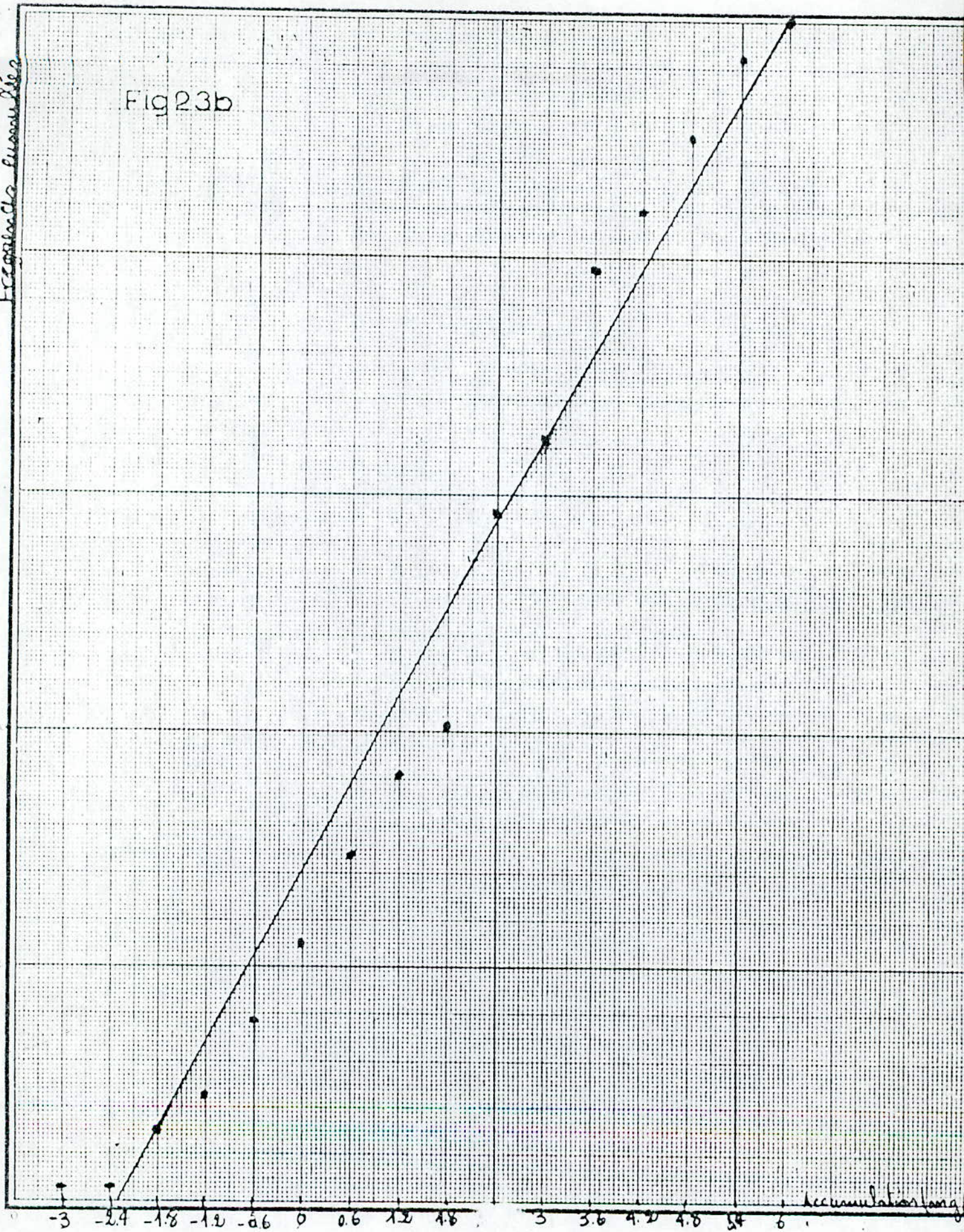
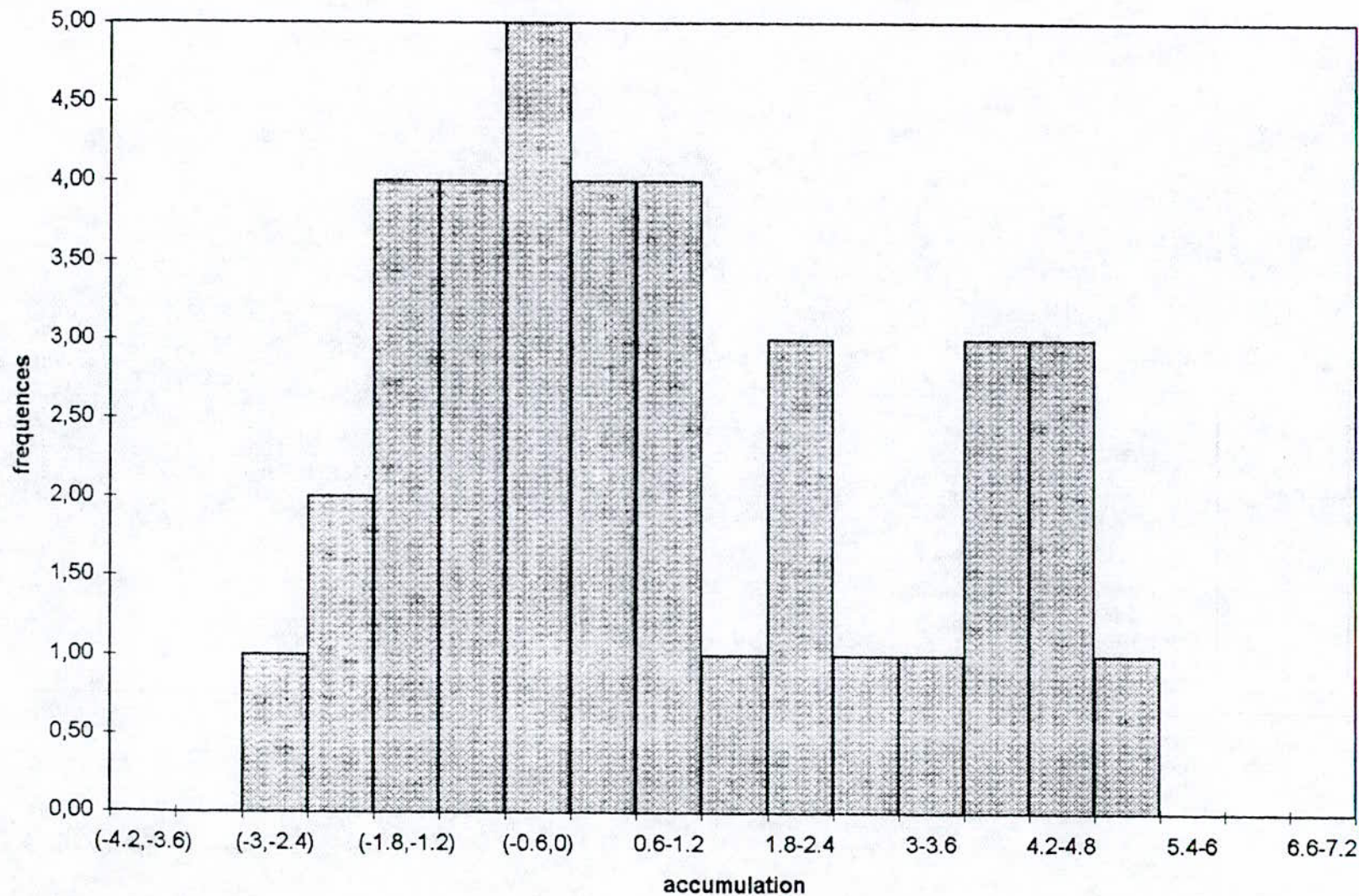


FIG 24a-FiloVI:Logarithme de l'accumulation



moyenne : 0.87

variance : 4.56

kurtosis : 0.92

skeness : 0.45

c.v : 245.52

Fig 24b

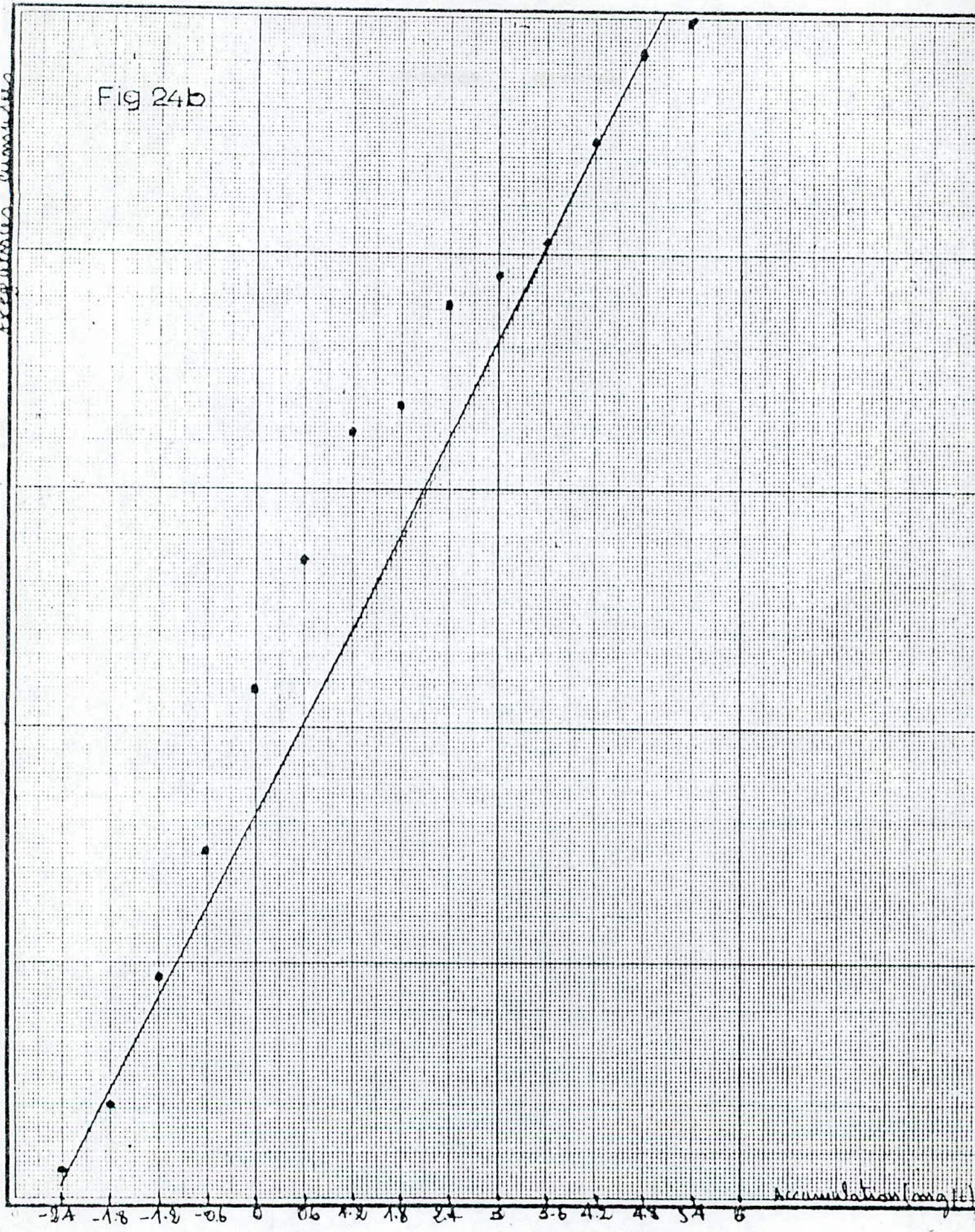


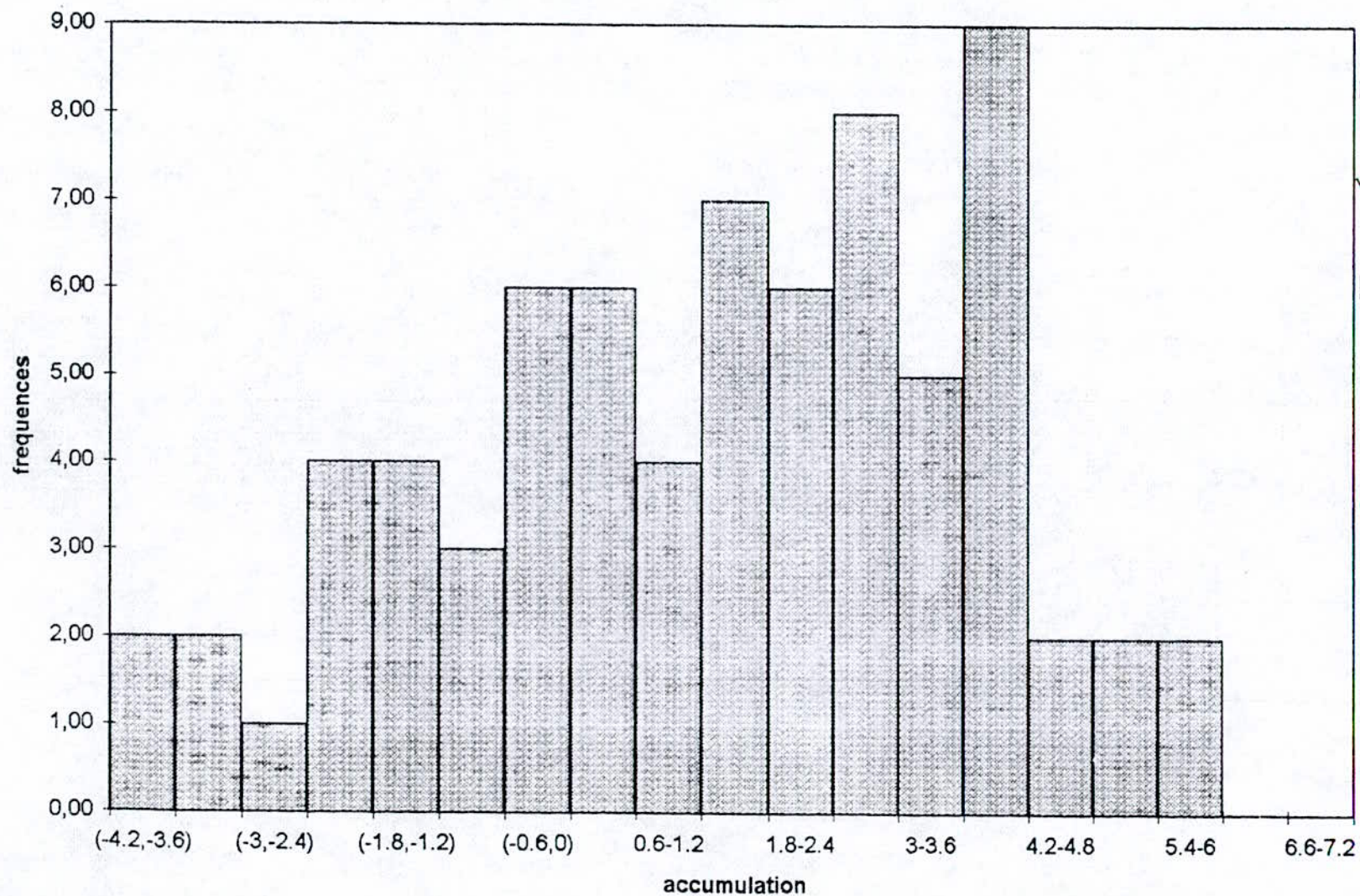
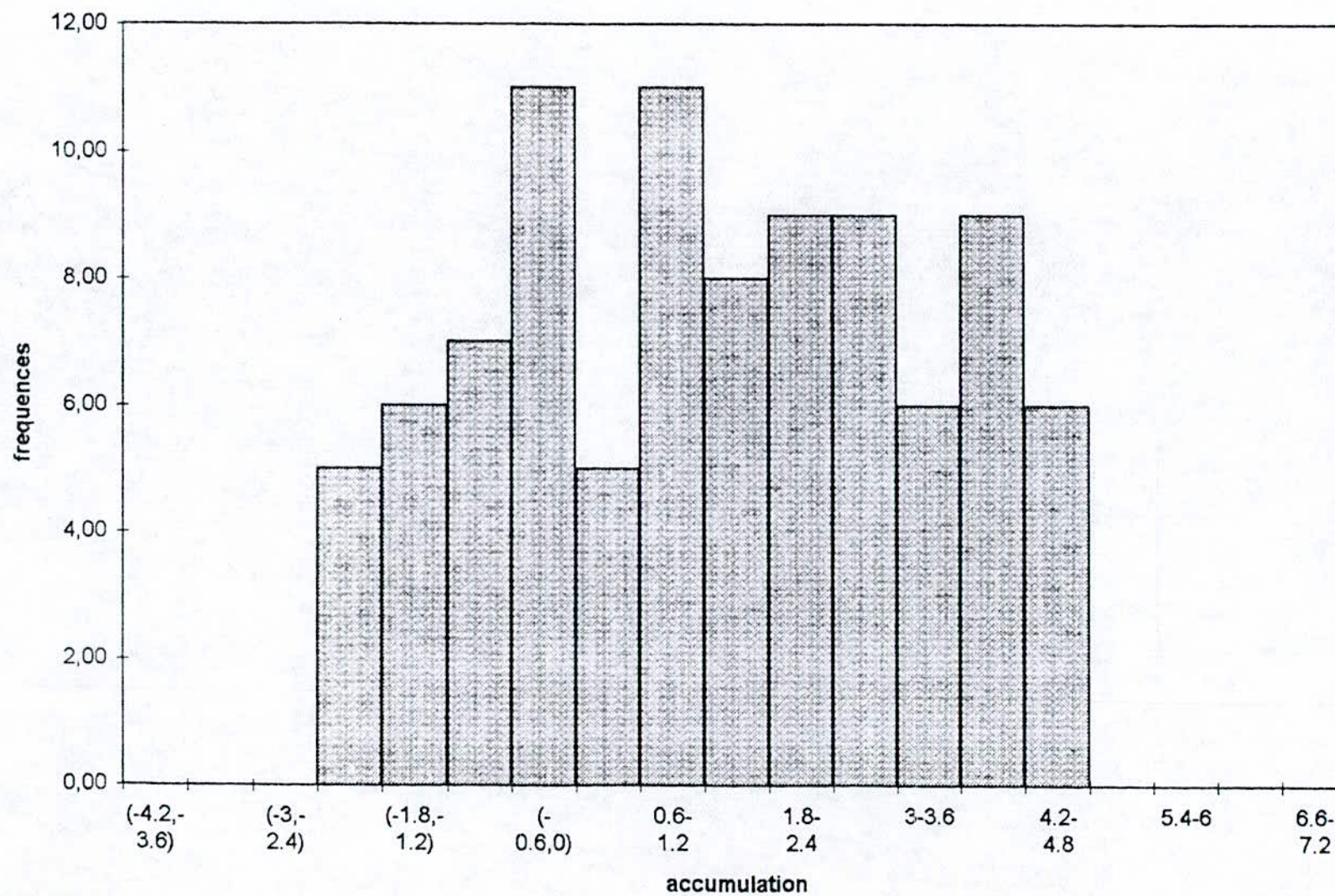
FIG 25a-FilonXI:Logarithme de l'accumulation

FIG 26a-Filon II: Logarithme de l'accumulation

moyenne : 1.32

variance : 3.75

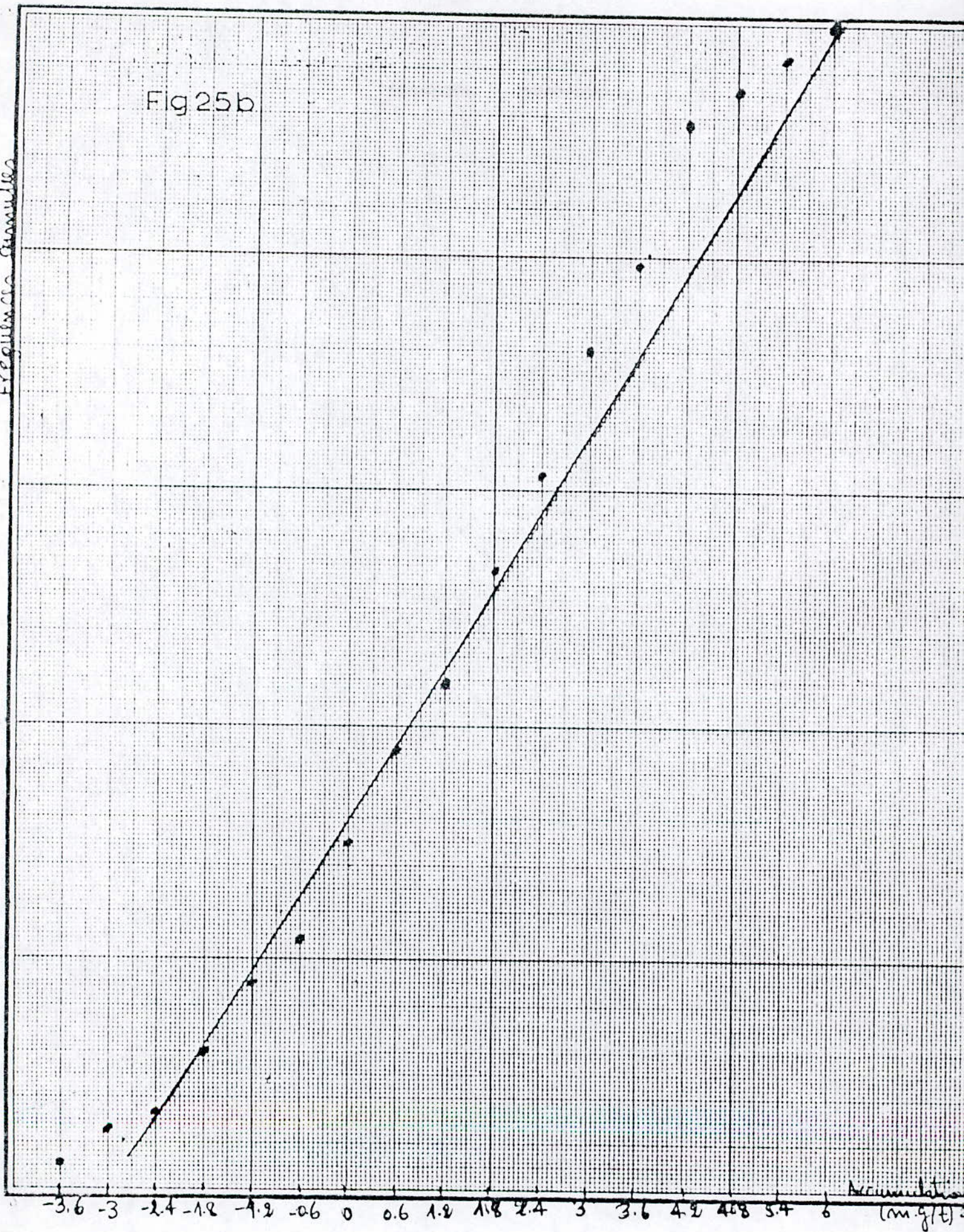
kurtosis : .113

skeness : .0063

c.v : 146.74

Fig 25b

Frequencia acumulada



Conclusion

Les paramètres étudiés pour les filons III, VI, XI et II suivent tous une loi de répartition lognormale sauf la grandeur « épaisseur » dans les filons III et VI qui suit une loi de répartition normale.

III_4 Etude des corrélations

La théorie des corrélations s'occupe du problème d'explication des relations existants entre les phénomènes observés ensemble, ainsi le coefficient de corrélation traduit le degré de dépendance entre deux paramètres.

Le coefficient de corrélation est estimé à partir de la formule suivante :

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

$\text{cov}(x, y)$: covariance de x et y.

σ_x, σ_y : écart-type de x et y respectivement.

Le coefficient de corrélation est compris entre (+1) et (-1). $\rho_{x,y} = 0$ signifie que les valeurs considérées sont indépendantes l'une de l'autre. Les valeurs externes (+1) et (-1) correspondent à une relation fonctionnelle entre x et y.

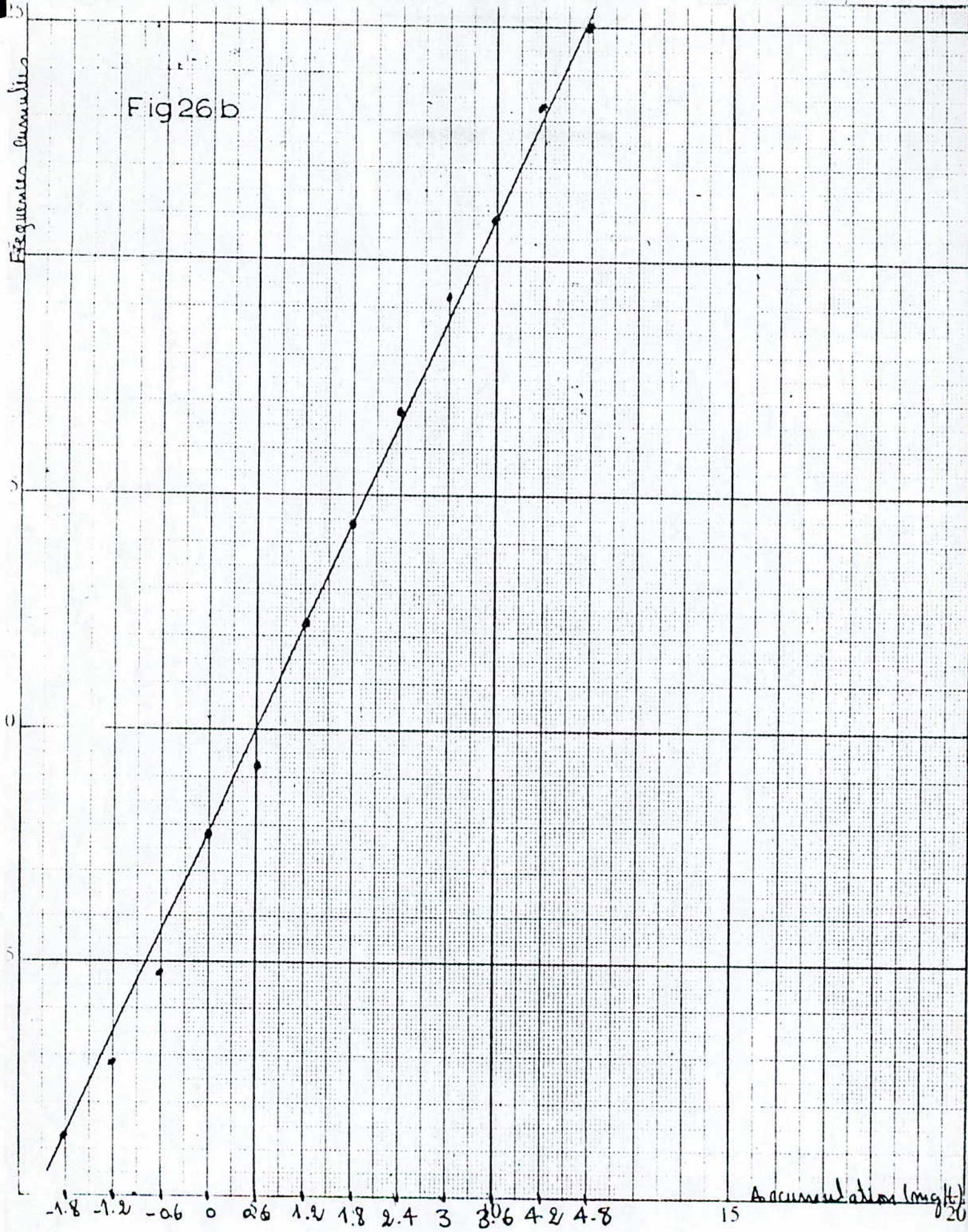
Tableau III : Coefficient de corrélation entre épaisseur et la teneur.

Filons	III	VI	XI	II
$\rho_{t,e}$	0.11	0.15	0.12	-0.08

D'après ce tableau on remarque qu'il n'existe pas une relation entre la variable « Teneur » et la variable « Epaisseur » ce qui est confirmé par les graphes de nuages de corrélation donnés par le logiciel « Geoeas ». (Fig. 27, 28, 29, 30).

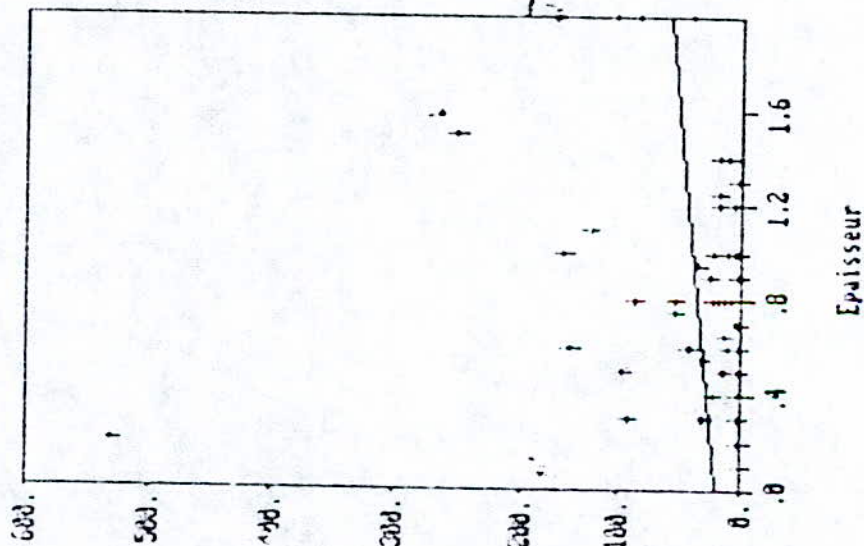
Frequencia acumulada

Fig 26 b



Acumulation length 20

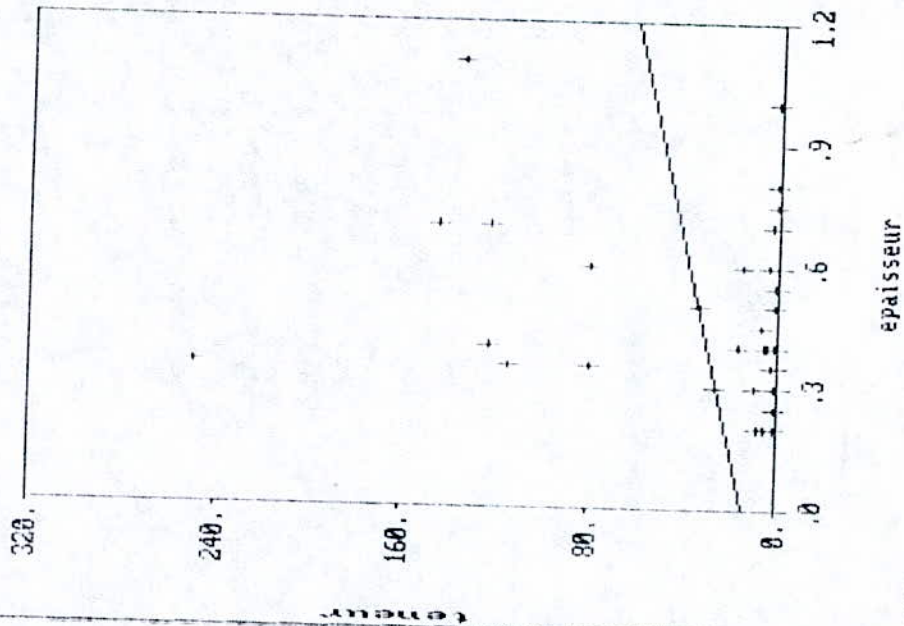
Fig 27 : Scatter plot from data file : Filon III .dat



Regression Results:

Pairs : 70
 Slope : 19.256
 Intercept : 28.184
 Correl. coeff.: .111

Fig 28 : Scatter plot from data file : Filon VI .dat



Regression Results:

Pairs : 36
 Slope : 41.230
 Intercept : 13.215
 Correl. coeff.: .150

Conclusion :

Les différentes variables⁴ sont indépendantes les unes des autres. Elles peuvent donc être étudiées séparément les unes des autres.

Chapitre 4

Etude de la maille

IV.1 Introduction

Un des problèmes qu'on doit résoudre lors de l'étude d'un gisement est la maille d'observation qui doit être régulière et définie de manière à minimiser l'erreur qui peut être commise.

La maille de l'échantillonnage tout comme la maille de sondage; dépend de la méthode d'échantillonnage, de l'accès, de la situation géologique, des objectifs du projet et des contraintes requises par l'analyse statistique.

IV.2 Détermination de la maille optimale

Pour calculer la teneur moyenne et les réserves de minerai ou de métal avec une grande précision, il faut augmenter le nombre de points d'observation ou procéder à un échantillonnage continu (par grattage), mais cela ne peut se faire au delà des contraintes économiques. C'est pourquoi il nous faut choisir la maille nécessaire et suffisante pour calculer les réserves avec la précision souhaitée .

Pour cela on adopte deux méthodes de calcul de la maille dont on comparera les résultats.

IV.2.1 Méthode I

L'étude de la variabilité des données de l'échantillonnage permet d'estimer le nombre d'échantillons et par conséquent la distance qui les sépare en adoptant une marge d'erreur.

IV.2.1.1 Détermination du nombre d'échantillons

Le nombre d'échantillon se définit selon la formule suivante:

$$n = V^2 \cdot t^2 / \delta_{rel}^2 \quad (\text{Pogrebitsky 1978})$$

n : nombre d'échantillons.

V : coefficient de variation./

t : coefficient de probabilité. Pour une répartition normale $t = 2$.

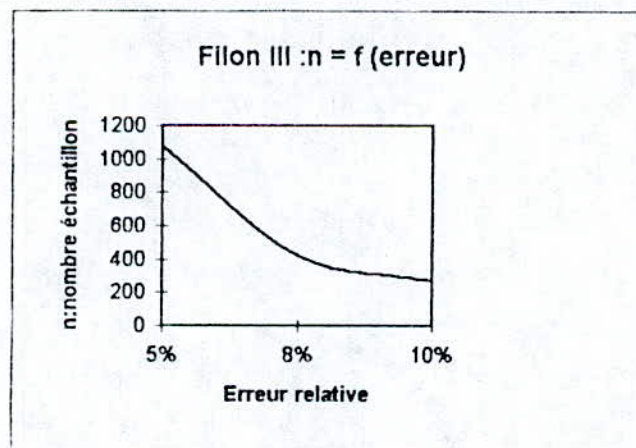
δ_{rel} : erreur relative admise de la teneur.

Remarque : En pratique on admet une erreur (δ_{rel}) comprise entre 5% et 10% .

Les resultats obtenues pour chaque filon en admettant des erreurs différentes sont présentés dans le tableaux suivant :

Filon \ Erreur	Erreur		
	5%	8%	10%
III	1079	421	270
VI	2454	958	613
XI	1553	607	388
II	1086	424	271

D'après ce tableau nous remarquons que le nombre d'échantillon diminue en augmentant l'erreur commise .



IV.2.1.2_ Calcul de la maille d'échantillonnage

Le choix de la maille depend surtout de la regularité de la repartition de la mineralisation dans un corps de minerai ou dans un gisement.

Dans les gisement quand la répartition est régulière la distance entre les echantillons est plus lache que pour un gisement où la repartition est très irregulière.

La distance entre les echantillons peut etre determiner en tenant compte de l'irregularité de la repartition de la mineralisation en utilisant les données statistiques.

$$n = \frac{L}{l} \text{-----I}$$

n: nombre d'echantillons.

L: longueur du corps mineralisé.

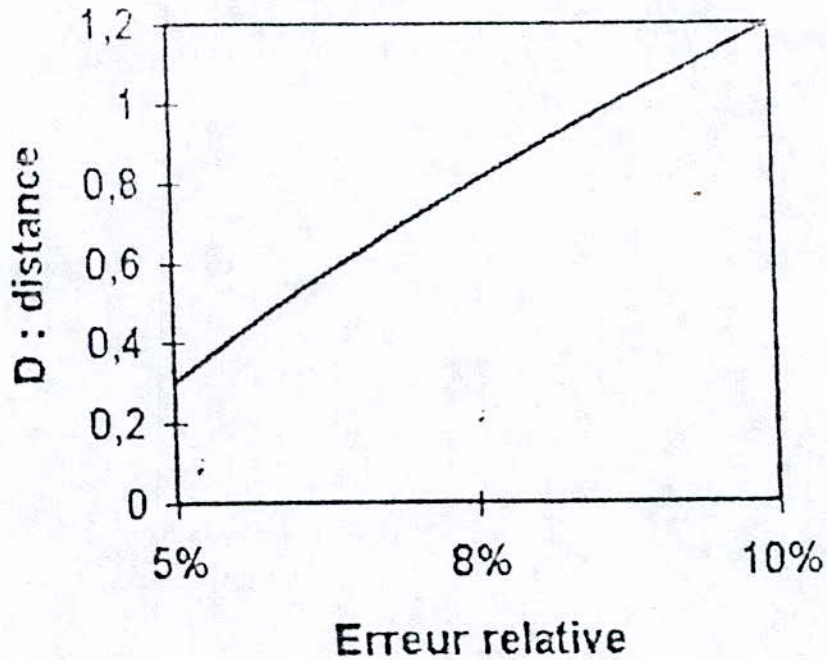
l: distance entre les echantillons.

Les resultats obtenus à partir de la formule I suivant les erreurs admises et donnant la distances entre les echantillons; sont representés dans le tableau suivant. Sachant que les longueurs des filons III, VI, XI, II sont respectivement 345m, 175m, 375m,et 505m.

Erreur Filon	5%	8%	10%
III	0.3 (m)	0.8 (m)	1.2 (m)
VI	0.07 (m)	0.1 (m)	0.3 (m)
XI	0.25 (m)	0.6 (m)	1 (m)
II	0.5 (m)	1.2 (m)	2 (m)

Contrairement au nombre d'echantillons , la distance augmente avec l'erreur admise. Mais elle reste toujours petite pour être appliquée sur terrain.

Filon III : $D = f(\text{erreur})$



Conclusion

Nous remarquons que le nombre d'échantillons varie suivant la valeur du coefficient de variation. Ainsi un bon calcul de ce dernier nous fournira un nombre précis d'échantillons à partir duquel, on détermine la distance. Mais en pratique cette méthode n'est pas applicable pour des gisement présentant une grande irrégularité; comme dans le cas de notre gisement car elle donne des nombres d'échantillons élevés pour les appliquer sur terrain vu certaines contraintes économiques qu'il faut respecter. Car prélever un si grand nombre d'échantillons reviendrait trop cher.

IV.2.2 Methode II

Cette methode consiste à utiliser les coefficients de correlations pour controler le nombre d'echantillons ,la maille et la distance sur un grand gisement; de telle sorte que quand deux echantillons voisins presentent une forte correlation, L'echantillonnage est adequat et une zone d'influence peut etre mieux delimitée.

Pour cela on procede de la maniere suivante:

Calcul de la covariance en fonction du pas d'echantillonnage: la covariance entre deux parametres donne t_i et p_i implantés aux points x_1 et x_2 , se definit comme étant la liaison qui existe entre eux. On note cette dernière par:

$$\text{Cov}(t_i, p_i) = E\{[t_i - E(t_i)][p_i - E(p_i)]\}$$

$E(t_i)$ et $E(p_i)$ étant les esperances mathematique de ces deux parametres.

La covariance depend uniquement des points d'implantation x_1 et x_2 (qui est le lieu de prelevement dans notre cas des echantillons) des parametres étudiés.

Pratiquement elle est égale à :

$$\text{cov}(h) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{h+0} - \bar{X}_{h+0})(X_{h+i} - \bar{X}_{h+i})}{n}$$

- Calcul du coefficient d'autocorrelation entre deux valeurs d'un même parametre espacées d'une certaine distance « h ». On l'appelle aussi la covariance normée.

$$\text{cov}(N) = \frac{\text{cov}(h)}{\sqrt{\text{var}(X_{h+0})} \sqrt{\text{var}(X_{h+i})}}$$

Var (x) : variance

La variance se definit comme étant l'esperance mathematique du carré de la difference entre la valeur du parametre étudié et son esperance.

$$\text{Var} (t_i) = E\{[t_i - E\{t_i\}]^2\} = E\{t_i^2\} - E\{t_i\}^2$$

Si les paramètres sont disposés en classes. Dans ce cas:

$$\text{Var} (t_i) = \sum f_i t_i^2 - (\sum f_i t_i)^2$$

Les résultats obtenus pour chaque filon sont représentés dans les tableaux suivants :

Filon III :

Pas	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
cov (h)	0.19	-0.07	1.83	0.28	0.26	0.74	-0.02
cov (N)	0.065	-0.022	0.49	0.1	0.078	0.21	-0.009
var (X _{h+0})	3.31	3.2	4.07	3.07	3.29	3.73	2.73
var (X _{h+1})	3.43	3.18	4.1	3	3.35	3.04	1.65

Filon VI :

Pas	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m
var (X _{h+0})	4.21	4.59	4.13	4.82	4.14	5.11	1.9	3.84	0.12
var (X _{h+1})	4.26	4.56	4.02	4.46	4.79	4.74	1.5	2.53	0.03
cov (h)	1.7	2.37	0.4	0.05	0.3	-2.5	-0.38	-1.72	0
cov (N)	0.4	0.51	0.1	0.01	0.067	-0.5	-0.22	-0.5	0

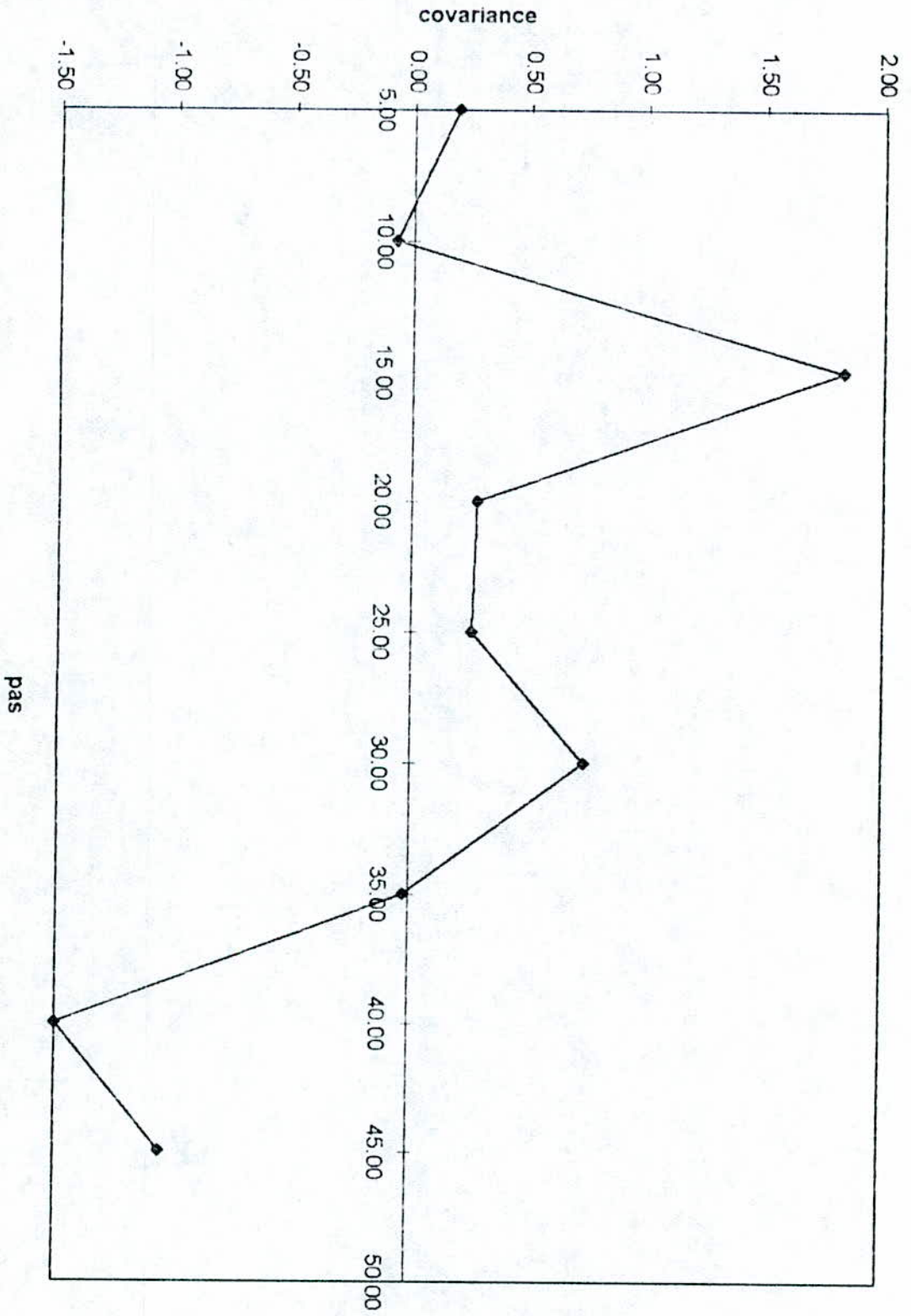
Filon XI :

Pas	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
var (X_{h+0})	3.98	4.1	5.63	3.9	3.31	4.15	4.99
var (X_{h+1})	3.95	4.02	5.46	3.96	3.29	3.7	4.89
cov (h)	0.43	-0.44	-1.07	-1.83	-1.62	-0.1	-1.9
cov (N)	0.1	-0.1	-0.19	-0.46	-0.99	-0.025	-0.28

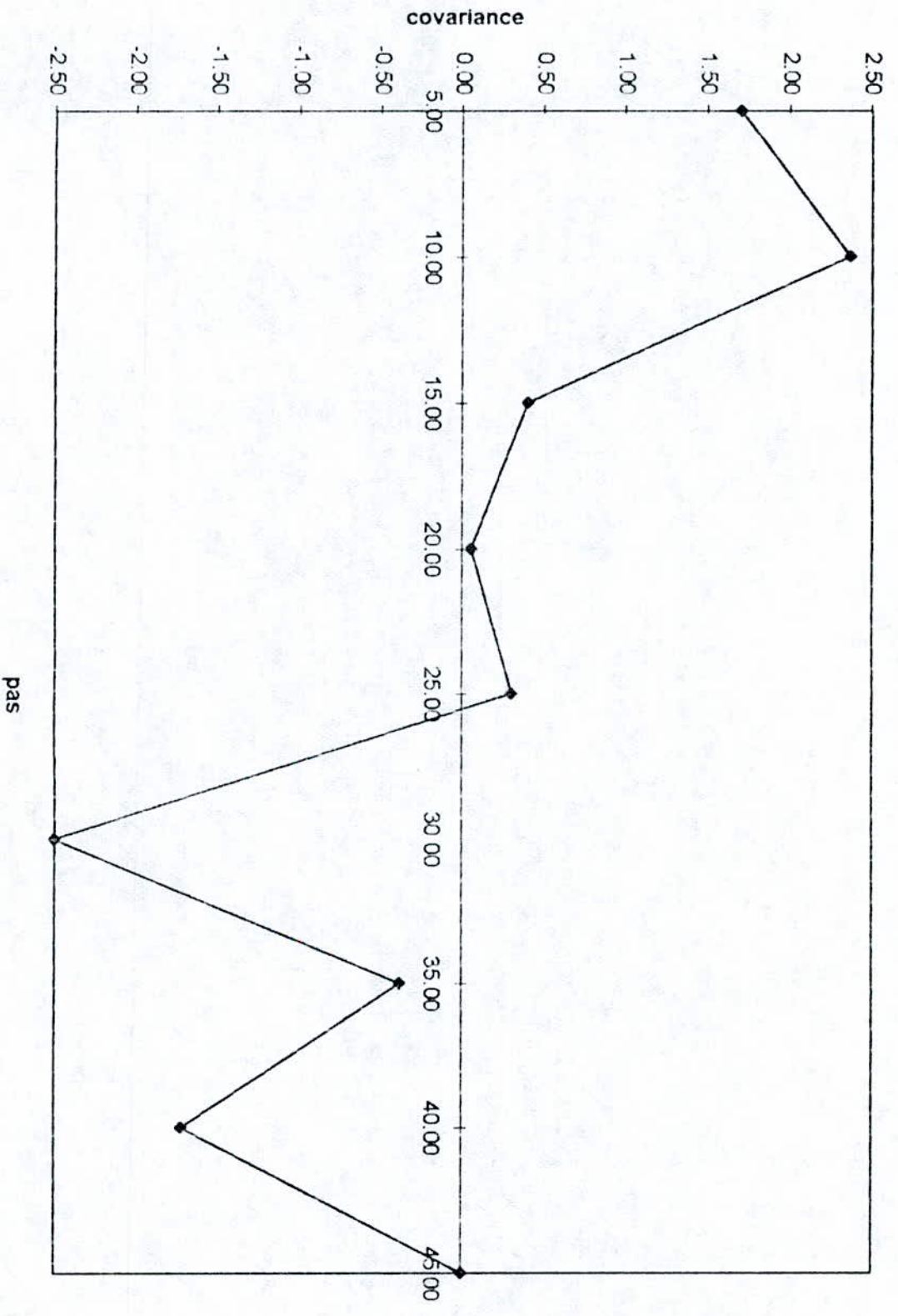
Filon II :

Pas	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
var (X_{h+0})	3.3	3.57	3.27	4.44	3.42	2.88	2.49
var (X_{h+1})	3.32	3.61	3.24	4.49	3.63	3.06	2.47
cov (h)	0.67	0.61	0.65	-0.45	-0.58	-0.86	-1.57
cov (N)	0.2	0.16	0.19	-0.1	-0.16	-0.28	-0.63

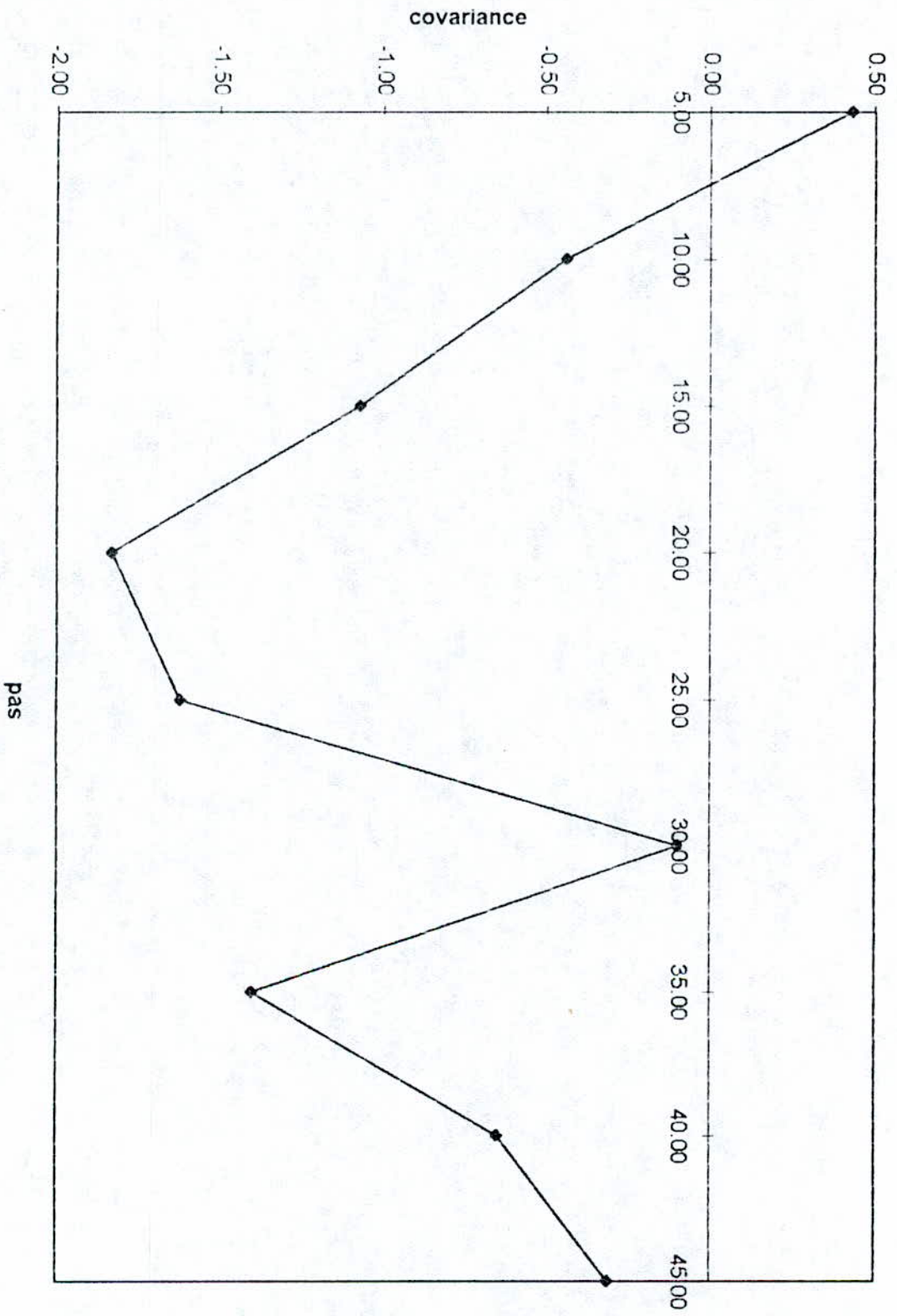
Covariogramme I: Filon III



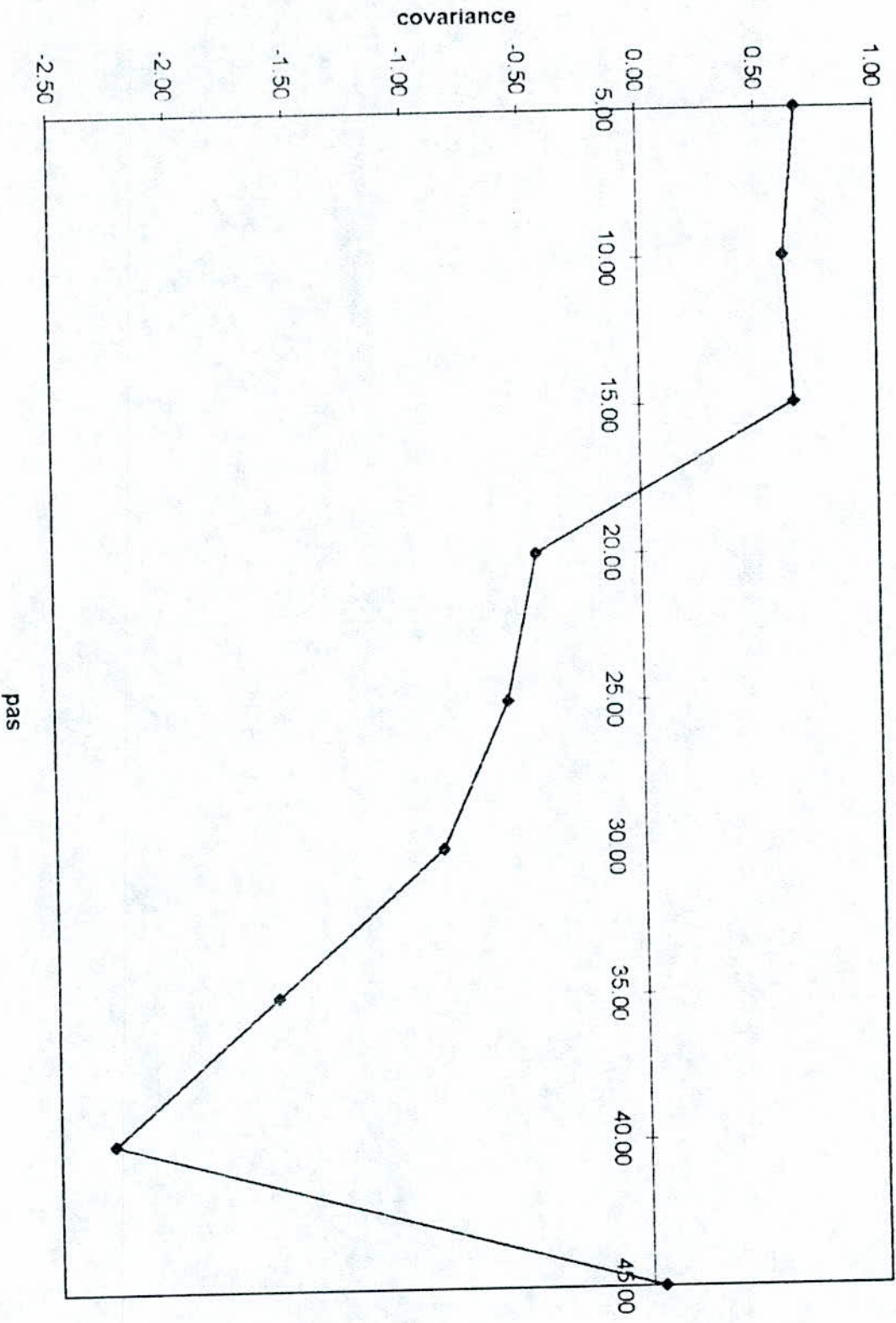
Covariogramme 2: Filon VI



Covariogram 3: Filon XI



Covariogram 4: Filon II



La maille optimale est déterminée de telle sorte à minimiser la variance et par conséquent avoir un coefficient d'autocorrelation minimum. D'où, en examinant les résultats obtenus pour chaque filon, on déduit que :

-Pour le filon III : le covariogramme atteint son minimum deux fois, à 10 m et 35 m et c'est à cette dernière qu'on a la plus petite variance mais pour des raisons pratiques et en se basant sur l'expérience des géologues dans le domaine : la maille optimale est à 10 m.

-Pour le filon VI : Le covariogramme atteint son minimum à 30 m. La maille est comprise entre 15 m et 20 m. C'est à 15 m qu'on a la plus petite variance. La maille optimale est à 15 m.

-Pour le filon XI : la covariance atteint son minimum à 20 m. La maille optimale est comprise entre 10 m et 20 m. A 10 m le coefficient d'autocorrelation diminue ainsi que la variance qui est plus petite que celle à 15 m. La maille optimale est à 10 m.

-Pour le filon II : la covariance diminue brusquement à partir de 15 m pour atteindre son minimum à 40 m. On a un coefficient d'autocorrelation minimum à 10 m et 25 m. Pour des raisons pratiques on prend comme maille optimale celle à 10 m.

Conclusion

Cette étude nous a permis de déduire qu'il est possible de réduire le nombre d'observations pour chaque filon, par exemple pour le filon III avec un pas optimal de 10 m, le nombre d'échantillons passera de 70 à 34. Ce qui permet un gain de temps et d'argent.

Conclusion générale

Le gisement aurifère de Tirek est de type filonien. Il est contrôlé par une faille majeure qui a permis une circulation des solutions hydrothermales riches en or dont le moteur fût le magmatisme panafricain.

Ce gisement a été reconnu par des sondages en souterrain et en surface par des tranchées .

Après l'analyse des données on constate :

- La présence des teneurs nulles qui s'explique par la disposition en échelonnement des filons (discontinuité dans les filons).

L'étude statistique des données montre que la minéralisation est caractérisé par une répartition très irrégulière (coefficient de variation élevé) et qu'elle suit une loi de répartition log-normale.

- La teneur moyenne de l'or dans les filons est une moyenne logarithmique. Elle est de 52.4 g/t , 45.6 g/t , 54.87 g/t , 47.4 g/t pour les filons III , VI , XI et II respectivement.

L'étude de la maille a été fait par deux méthodes différentes. Du point de vue théorique la méthode I (utilisant les coefficients de variation) permet mieux le contrôle de l'erreur commise car plus on augmente le nombre de points d'observations plus l'erreur diminue . Mais cette méthode n'est pas applicable sur terrain car elle est très coûteuse . Par contre la deuxième méthode (utilisant les covariances et coefficients d'autocorrelation) permet de diminuer le nombre d'échantillons tout en gardant une corrélation limite entre les échantillons .

La maille optimale est comprise entre 10 m et 15 m . En pratique ; vu que les filons appartiennent au même gisement on conseille de prendre la maille de 10 m .

Les annexes

Filon III

Annexe I : maille .dat

	N° d'echant	intervale	epaisseur	teneur en or	M*C
	92	260	0.75	54.90	41.18
		265	0.81	0.00	0.00
	93	270	0.95	35.60	33.82
	1825	275	1.10	123.40	135.74
	94	280	1.50	252.20	378.30
	1826-1827	285	2.00	150.00	300.00
	95	290	0.90	1.40	1.26
		295	0.81	0.00	0.00
	96	300	0.30	3.20	0.96
0	1828	305	0.10	0.40	0.44
1	97	310	1.00	144.20	144.20
2		315	0.81	0.00	0.00
3	98	320	0.70	2.00	1.40
4	1829	325	0.80	22.80	18.24
5	99	330	0.60	10.10	6.06
6	100	335	0.80	0.20	0.16
7	1830-1831	340	1.40	8.70	12.28
8	101	345	0.80	18.30	14.64
9		350	0.81	0.00	0.00
0	102	355	0.60	139.40	83.64
1	1832	360	0.50	14.00	7.00
2	1833	365	0.40	3.00	1.20
3	1834	370	0.20	531.00	106.20
4	1835	375	1.00	1.60	1.60
5	1836	380	0.80	0.30	0.24
6	1837	385	0.60	1.60	0.96
7	1838	390	0.70	5.30	3.71
8	108	395	0.30	1.10	0.33
9	1839	400	0.55	32.60	17.93
0	109	405	1.30	2.80	3.64
1	1840-1841	410	1.20	18.15	21.78
2	110-111	415	1.25	17.47	21.83
3	1842	420	0.50	97.60	48.75
4	112-113	425	2.00	103.15	206.30
5	1843-1844	430	2.00	41.15	82.30
6	114	435	1.40	17.90	25.06
7	1845-1846	440	1.00	24.07	24.07
8	115-116	445	2.00	86.10	172.20
9	1847	450	0.20	0.90	0.18
0	117	455	0.30	30.00	9.00
1	1849	460	0.80	53.10	42.48
2	118	465	0.30	1.40	0.42
3	1850	470	0.30	92.30	27.69
4	119	475	0.90	25.30	22.77
5	1851	480	0.60	42.20	25.32
6	121	485	0.60	43.90	26.34
7	1852	490	0.30	2.20	0.66
8	122	495	0.40	T	-
9	1853	500	0.20	0.60	0.12
0		505	0.81	0.00	0.00
1	123	510	1.00	4.80	4.80
2	1854	515	0.90	2.60	2.34
3	124	520	0.80	11.50	9.20
	1855	525	0.50	0.80	0.40
5		530	0.81	0.00	0.00
6	1856	535	1.00	8.60	8.60
7	126	540	0.50	12.90	6.45
8	1857	545	0.30	32.80	9.84
9	127	550	0.90	1.60	1.44
0	1858	555	0.80	8.40	6.72
1	128	560	0.90	2.70	2.43
2	1859	565	0.65	13.00	8.45

63	129	570	0.40	24.00	9.60
64	1860	575	0.20	1.80	0.36
65	131	580	1.20	4.20	5.04
66	1861	585	0.50	2.00	1.00
67	132	590	1.00	2.60	2.60
68	1862	595	0.80	87.40	69.92
69	133	600	1.00	2.70	2.70
70	1863	605	0.4	0.4	9.84

Filon IV

1	229	5	0.20	0.70	0.14
2	1906	10	0.35	114.20	39.97
3	230	15	0.60	80.00	48.00
4	1907	20	0.70	144.80	101.36
5	231	25	0.70	122.70	86.89
6	1908	30	1.10	135.80	149.38
7	232	35	0.35	249.00	87.15
8	1909	40	0.20	8.20	1.64
9	233	45	0.40	123.60	49.44
10	1910	50	0.75	1.20	0.90
11	234	55	0.40	16.00	6.40
12	1911	60	0.35	2.10	0.74
13	235	65	0.50	0.50	0.25
14	1912	70	0.30	26.60	7.98
15	236	75	0.50	33.30	16.65
16	1913	80	0.30	10.00	3.00
17	237	85	0.40	4.70	1.88
18	1914	90	0.60	3.70	2.22
19	238	95	0.80	1.60	1.28
20	1915	100	0.20	4.80	0.96
21	239	105	0.70	0.30	0.21
22	1916	110	0.60	15.00	9.00
23	240	115	0.55	0.40	0.22
24	1917	120	0.40	0.20	0.08
25	241	125	0.25	1.70	0.43
26	1918	130	0.40	0.60	0.24
27	242	135	0.55	1.40	0.77
28	1919	140	0.50	1.10	0.55
29	243	145	0.70	2.20	1.54
30	1920	150	0.40	4.40	1.76
31	244	155	0.30	1.60	0.43
32	1921	160	0.35	0.40	0.14
33	245	165	0.45	7.10	3.20
34	1922	170	0.40	1.00	0.40
35	246	175	1.00	0.80	0.80
36	1923	180	0.35	79.70	27.90

Filon XI

	1312-14	10	2.10	35.9	75.46
	259-260	15	2.60	0.4	1.04
	1315-16	20	1.40	5.3	7.42
	261.262	25	1.50	46.4	69.57
	1317-19	30	2.10	30.6	64.19
	263-264	35	1.80	9.6	17.19
		40	0.66	0.00	0.00
	265-266	45	2.20	14.00	30.80
	1322	50	0.30	16.8	5.04
0	267	55	0.30	0.5	0.15
1	1323-24	60	1.20	0.2	0.24
2		65	0.66	0.00	0.00
3	1325	70	0.15	0.1	0.01
4	268	75	0.40	20.00	8.00
5	1326	80	0.80	26.1	20.88
6	269	85	0.80	321.5	257.20
7	1327-28	90	1.10	114.00	125.36
8	270	95	0.80	3.2	2.56
9	1329	100	0.60	1.7	1.02

20	271	105	0.30	75.4	22.62
21	1330	110	0.30	2.2	0.66
22	272	115	0.70	21.9	15.33
23	1331	120	0.30	0.8	0.24
24	273	125	0.50	127.4	63.70
25	1332	130	0.40	3.6	1.44
26	274	135	0.85	67.4	57.29
27	1333	140	0.40	31.6	12.64
28	275	145	0.40	1.7	0.68
29	1334	150	0.25	0.1	0.03
30	276	155	0.50	69.4	34.70
31	1335-36	160	0.90	190.0	171.0
32	277	165	0.90	391.4	352.26
33	1337	170	0.85	72.8	61.88
34	278	175	0.90	17.6	15.84
35	1338	180	0.90	70.2	63.18
36	279	185	0.60	6.1	3.66
37	139-40	190	1.30	0.9	1.17
38	280	195	0.40	21.2	8.48
39	1341	200	0.20	0.8	0.16
40	281	205	0.20	25.2	5.04
41	1342	210	0.30	25.4	7.62
42	282	215	0.90	24.2	21.78
43	1343	220	0.40	0.2	0.08
44	283-84	225	1.40	2.8	3.93
45	1344-45	230	1.20	6.6	7.86
46	285	235	1.20	30.8	39.96
47	1346	240	0.80	52.6	42.08
48	286	245	0.80	4.6	3.68
49	1347	250	0.30	2.6	0.78
50	287	255	0.20	62.2	12.44
51	1348	260	0.30	8.3	2.49
52	288	265	0.20	0.2	0.04
53	-	270	0.66	0.00	0.00
54	289	275	0.40	1.7	0.68
55	1349	280	0.30	5.6	1.68
56	290	285	0.80	73.2	58.56
57	1350	290	0.90	12.4	11.16
58	291	295	0.30	1.3	0.39
59	1351	300	0.10	6.5	0.65
60	292	305	0.15	1.8	0.27
61	1352	310	0.10	3.2	0.32
62	293	315	0.10	3.9	0.39
63	1353	320	0.15	0.3	0.04
64	294	325	0.40	0.4	0.16
65	1354	330	0.20	25.4	5.08
66	295	335	0.40	49.2	19.68
67	1355	340	0.25	9.00	2.25
68	296	345	0.30	0.5	0.15
69	1356	350	0.20	10.7	2.14
70	297	355	0.45	1.6	0.72
71	1357	360	0.40	34.0	13.60
72	298	365	0.60	62.0	37.2
73	1358	370	0.25	0.7	0.18
74	299	375	0.25	5.0	1.25
75	1359	380	0.40	12.2	4.88
76	300	385	0.60	11.7	7.02

Filon II

1	8	265	0.25	34.2	8.55
2	1734	270	0.60	0.4	0.24
3	9	275	0.40	153.7	61.48
4	1735	280	0.40	42.00	16.80
5	10	285	0.60	0.6	0.36
6	1736	290	0.30	19.4	5.82
7	11	295	0.20	1.1	0.22

8	1737	300	0.15	2.6	0.39
9	12	305	0.65	1.1	0.72
10	1738	310	0.50	4.5	2.25
11	13	315	0.30	10.8	3.24
12	1739	320	0.45	2.8	1.26
13	14	325	0.40	120.2	48.08
14	1740	330	0.20	30.00	6.00
15	15	335	0.25	323.7	80.93
16	1741	340	0.40	189.6	75.84
17	16	345	0.45	39.8	17.91
18	1742	350	0.50	20.7	10.35
19	17	355	0.35	72.4	25.34
20	1743	360	0.30	2.4	0.72
21	18	365	0.25	0.6	0.15
22	1744	370	0.15	2.6	0.39
23	19	375	0.50	2.7	1.35
24	1745	380	0.50	1.6	0.80
25	20-21	385	0.65	1.11	0.72
26	1746	390	0.20	69.3	13.86
27	22	395	0.20	1.4	0.28
28	23	400	0.20	15.00	3.00
29	1747	405	0.20	119.0	23.80
30	24	410	0.30	7.6	2.28
31	1748	415	0.15	10.2	1.53
32	25	420	0.70	155.9	109.13
33	1749	425	0.50	5.7	2.85
34	26	430	0.20	105.4	21.8
35	1749a	435	0.52	0.00	0.00
36	27	440	0.15	11.6	1.74
37	1749b	445	0.52	0.00	0.00
38	28	450	0.60	0.6	0.36
39	1750	455	0.80	0.9	0.72
40	29	460	0.50	9.5	4.75
41	1751	465	0.35	175.2	61.32
42	30	470	0.70	14.8	10.36
43	1752	475	0.15	4.2	0.63
44	31	480	0.35	0.3	0.11
45	1753	485	1.00	0.4	0.40
46	32-33	490	1.80	1.1	1.98
47	1754-55	495	1.60	22.4	35.84
48	34	500	0.20	4.00	0.80
49	1756	505	0.15	1.00	0.15
50	34a	510	0.52	0.00	0.00
51	35	515	0.20	0.8	0.16
52	1757	520	0.20	38.8	7.76
53	36	525	0.60	87.6	52.56
54	1758	530	0.80	102.2	81.76
55	37	535	0.80	6.7	5.36
56	1759	540	0.50	72.4	36.20
57	38	545	0.35	11.0	3.85
58	1760	550	0.20	30.5	6.10
59	39	555	0.25	8.5	2.13
60	1761	560	0.20	1.6	0.32
61	40	565	0.50	108.4	54.20
62	1762	570	0.15	4.3	0.65
63	41	575	1.20	10.8	12.96
64	1763-64	580	0.80	55.6	44.48
65	42	585	1.40	1.6	2.24
66	1765	590	0.40	5.3	2.12
67	43	595	0.10	1.1	0.11
68	1766	600	0.35	19.1	6.69
69	44	605	1.00	5.2	5.20
70	1767	610	0.80	0.4	0.32
71	45	615	1.00	19.0	19.00
72	1768	620	1.00	72.9	42.90

3	46-47	625	1.80	37.7	67.83
4	1769-70	630	1.10	6.23	6.86
5	48	635	0.75	8.00	6.00
6	1771-1772	640	1.20	2.5	3.00
7	49	645	0.50	1.3	0.65
8	1772a	650	0.52	0.00	0.00
9	50	655	0.40	4.2	1.68
0	1773	660	0.20	1.4	0.28
1	51	665	0.60	0.4	0.24
2	1774	670	0.25	†	0.00
3	51a	675	0.52	0.0	0.00
4	1775	680	0.40	2.4	0.96
5	52-53	685	1.70	2.24	3.80
6	1776	690	0.20	4.00	0.80
7	53a	695	0.52	0.00	0.00
8	1776a	700	0.52	0.00	0.00
9	53b	705	0.53	0.00	0.00
0	1777	710	0.50	6.2	3.10
1	54	715	0.65	30.0	19.5
2	1778	720	0.70	72.2	50.54
3	55	725	0.40	32.00	12.80
4	1778a	730	0.52	0.0	0.00
5	56	735	0.45	41.6	18.72
6	1779	740	0.25	52.00	13.00
7	57	745	0.50	74.2	37.10
8	1780	750	0.70	35.5	24.85
9	58	755	0.30	29.7	8.91
00	1781	760	0.70	92.8	64.96
01	59	765	0.15	1.1	0.16
02	1782	770	0.15	65.0	9.75

Bibliographie

- Attoum A 1983 Etude géologique et structurale des mylonites panafricain et des minéralisations aurifères associées dans le secteur de Tirek (Hoggar)
Thèse de 3 ème cycle Montpellier 98 p .
- Bertrand J . M . L ; Caby R 1978 Géodynamien evolution of panafricain orogenic belt : a new interpretation of the Hoggar shield (Algerian sahara) *Ged Runds*ch . 67, 2, 357 , 388 .
- Bertrand J . M . L , Boissonnas J , Lellubre M 1966 Existence d'une discordance dans l'antecambrien du "fossé pharusien" au Hoggar *C R Acad Paris D* 262 , 2197 , 22000 .
- Caby R 1970 La chaine pharusienne dans le NW du Hoggar . Thèse d'état Montpellier .
- Gravelle M 1969 Recherche sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar cent-occidental dans la région de Silet Tibehouine . Thèse d'état Paris 298 p .
- EREM 1984 Rapport sur les recherches systematiques sur les feuilles de Tirek , In Ozzal , Ilferh , Tesselit . *Qlger* (inedit) .
- Pogrebysky E 1978 Prospection et évaluation des gisements Ed Nedra Liningrad (en russe) .
- George Matheron 1963 *Traité de géostatistique appliquée* .
- Micheal E H 1988 *Geostatistics and petrolum geology* .
- Gerad Calot *Cours de statistique descriptive* .
- *Technique de l'ingenieur* 1996 *Erreurs de mesures* .
- B de Jekhowsky *Elements de statistique à l'usage du géologue* .
- Speigel *Cours de probabilités et de statistiques serie schaum* .