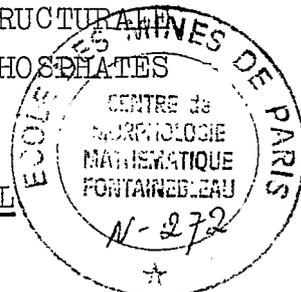


N-272

RECONNAISSANCE STRUCTURALE
DU GISEMENT DE PHOSPHATES
DU TOGO

A. JOURNEL

H. SANS



Fontainebleau

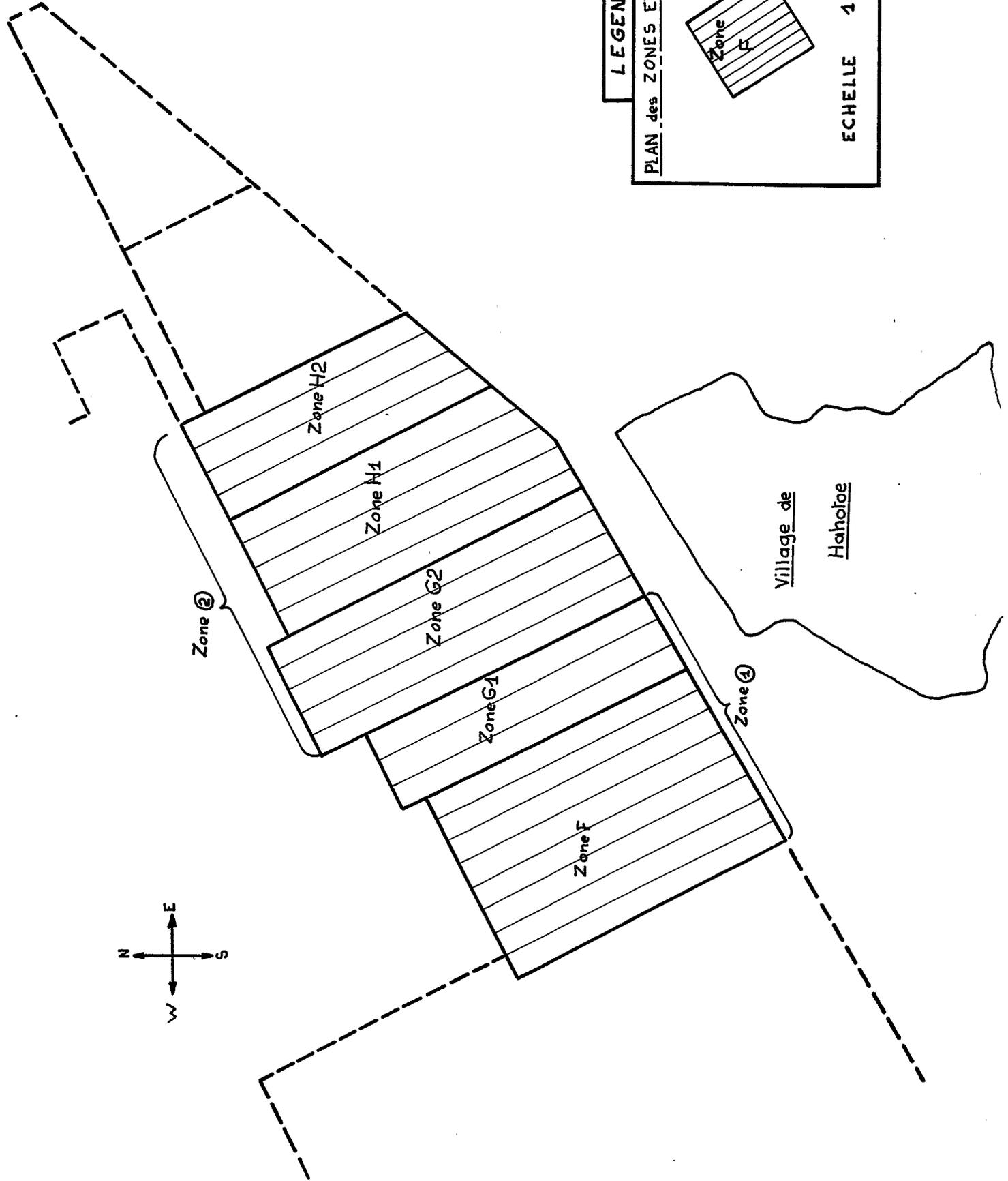
Décembre 1971

TABLE DES MATIERES

	Page
I - Définitions des régionalisations étudiées	3
II - Régionalisation verticale	4
III - Régionalisation horizontale	8
IV - En conclusion de l'étude structurale	13
V - Développement de l'étude	15

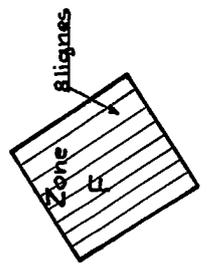
Figures 1 à 12

Annexe : Le formalisme des coupures et des relations tonnages-teneurs par G. MATHERON.



LEGENDE

PLAN des ZONES ETUDIÉES_F.G.H

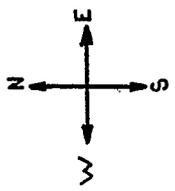


Echelle 1 / 10.000

Village de
Hahotoe

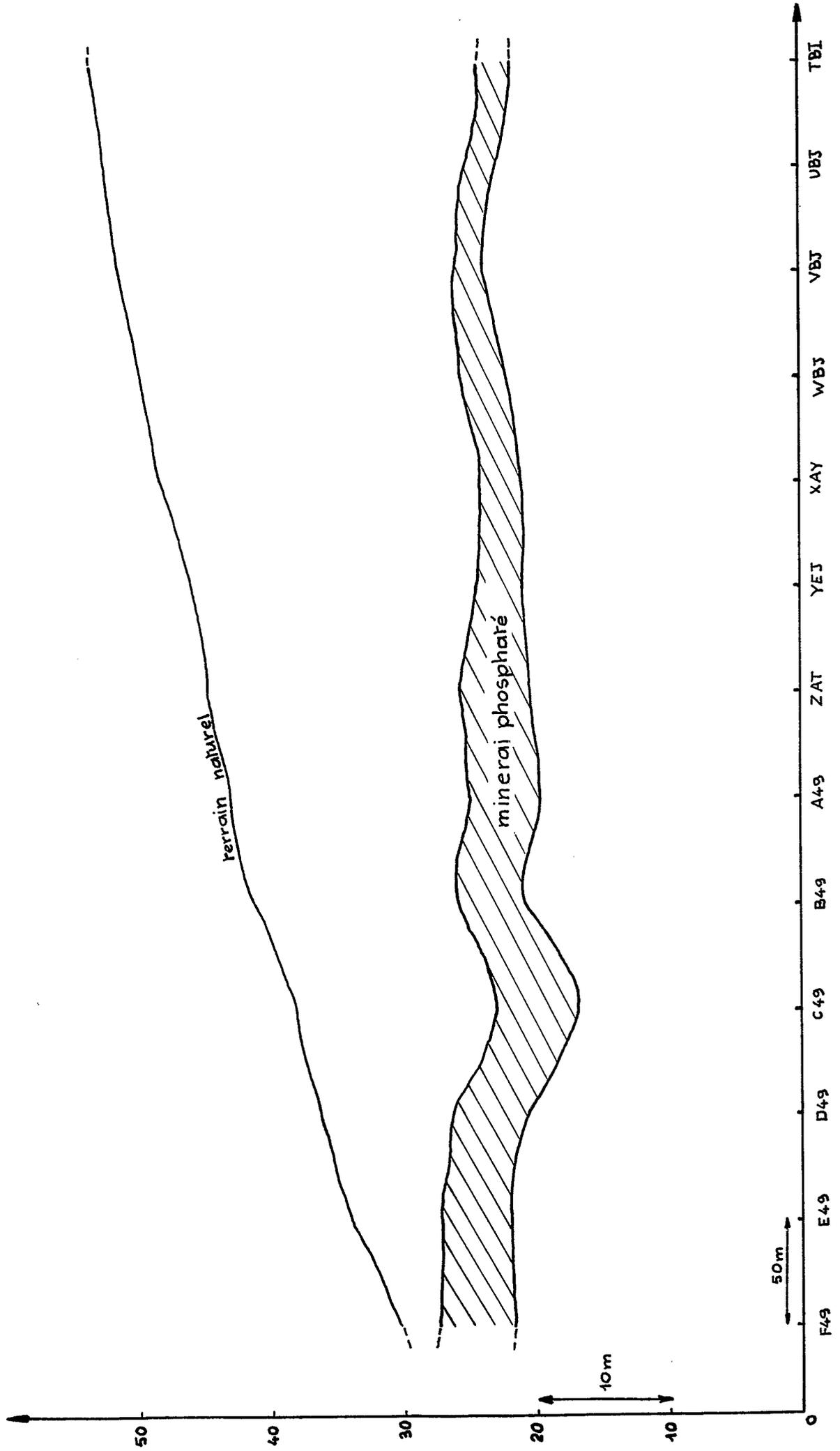
Zone ②

Zone ④



COUPE TRANSVERSALE SCHEMATIQUE DU GISEMENT

(Zone H4)



Ce rapport concis, destiné aux responsables de la COTOMIB, résume les résultats utiles de l'étude structurale faite. Tous les détails et résultats intermédiaires de l'étude sont consignés dans un rapport technique annexe. En première lecture on pourra se contenter des seuls chapitres IV (Conclusions structurales) et V (Développement de l'étude).

I - Définitions des régionalisations étudiées

Cette étude porte sur les seules 3 zones F G H indiquées sur le plan (page 1). Ces zones couvrent une surface d'environ 750.000 m², on peut les considérer représentatives du gisement au voisinage du village d'Hahotoé.

Il a été décidé, en accord avec les responsables de la mine, de ne s'intéresser qu'à la seule fraction granulométrique [43 μ - 3,33mm dite "pilote".

Les zones étudiées ont été reconnues par un ensemble de puits verticaux à maille carrée de 50 m. Chaque puits de 60 cm. de diamètre est analysé par passes constantes de 50 cm. Pour chacune de ces passes, de cote verticale z, on a reconstitué les 3 variables suivantes :

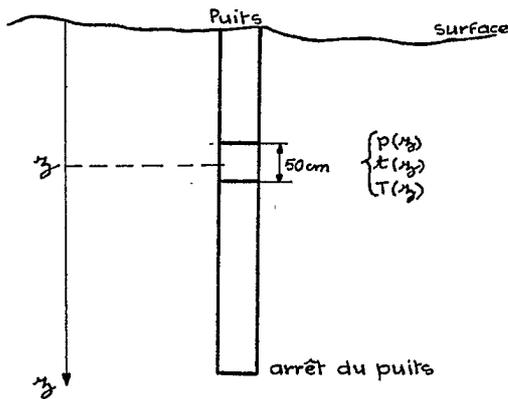
- le pourcentage p(z) de la fraction pilote, exprimé en point = 1 pour cent.

- la teneur t(z) de cette fraction pilote, ou "teneur pilote", exprimée en point = 1 pour cent.

- la teneur tout-venant $T(z) = \frac{p(z) \times t(z)}{100}$, exprimée en point = 1 pour cent.

Nous avons étudié successivement les régionalisations verticales et horizontales de ces 3 variables régionalisées.

II - Régionalisation verticale



Considérons, par exemple, la variable régionalisée "pourcentage pilote" $p(z)$. La régionalisation verticale de $p(z)$ est caractérisée sur chaque puits par le variogramme :

$$2 \gamma(h) = E\{[p(z+h) - p(z)]^2\}$$

De même les régionalisations verticales des 2 autres variables, $t(z)$ et $T(z)$ sont caractérisées par leurs variogrammes respectifs : $2 \gamma_t(h)$ et $2 \gamma_T(h)$.

Par moyennes pondérées, on peut regrouper les variogrammes verticaux relatifs à un ensemble de puits : on obtient ainsi un variogramme vertical $2 \gamma_p(h)$ représentatif de l'ensemble des puits de la zone F, par exemple.

II-1 - Effet de mur

Observons quelques profils verticaux de la variable pourcentage pilote (cf. figure 1). On note sur les puits SAU et XAI une homogénéité des valeurs le long de la verticale, alors que les puits A34 et VAU révèlent une chute brutale du pourcentage en bout de puits. On peut se demander si les puits A34 et VAU n'ont pas atteint le mur de la formation phosphatée alors que les puits SAU et XAI ont dû être interrompus avant. Sous cette hypothèse, il convient dans l'étude structurale d'éliminer les dernières passes jugées en stérile. Une production contrôlée aurait aussi éliminé ces passes. Les passes restantes étant alors homogènes, leur variogramme vertical doit refléter cette homogénéité :

- Sur la zone F nous avons construit un premier variogramme vertical de la variable $p(z)$ en considérant toutes les passes analysées : figure 2. Le variogramme révèle un phénomène stationnaire jusqu'à 3 m. puis une croissance brusque pour des distances supérieures. Remarquons que des distances supérieures à 3 m. font intervenir des passes finales, et d'autant plus que la distance est plus grande.

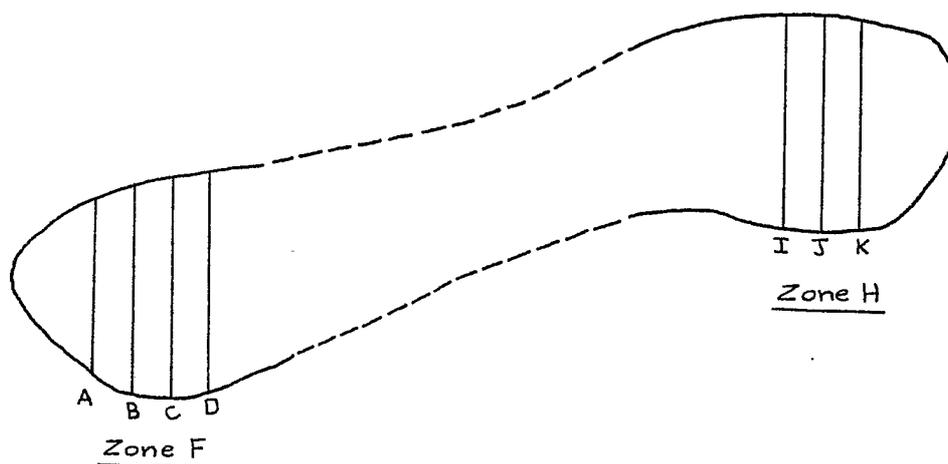
- Sur la même zone F on a construit un second variogramme vertical de $p(z)$, mais en éliminant toute dernière passe présentant un pourcentage pilote $p(z)$ inférieur à la fois au pourcentage moyen du puits considéré et au pourcentage moyen sur la zone F ($p = 66.56$ pt).

Ce second variogramme (figure 2) présente - aux petites distances le même phénomène stationnaire : même portée, palier légèrement différent dû à l'effet proportionnel - par contre la croissance brusque aux grande distances a disparu. Ce qui montre bien que la première croissance était due à un effet de mur : présence d'une dernière passe en stérile, qu'il convient d'éliminer.

Toute la suite de cette étude concerne des données ainsi sélectionnées.

II-2 - Caractérisation des régionalisations verticales

Pour étudier l'homogénéité des régionalisations verticales quand on passe de la zone F à la zone H, nous avons regroupé les puits par voisinage de 3 lignes transversales, ce voisinage glissant ensuite de la zone F à la zone H.



Ainsi à partir des 4 lignes A B C D de puits de la zone F, on définit 2 voisinages : (A B C) et (B C D), de même les 3 lignes I J K de la zone H définissent un autre voisinage. A chaque voisinage

est associé un variogramme vertical moyen pour chacune des 3 variables retenues $p(z)$, $t(z)$ et $T(z)$. L'étude de ces variogrammes a conduit à distinguer 2 zones d'homogénéité :

- une première zone ① constituée de la réunion des 8 lignes de la zone F et des 3 lignes de la zone G1 (cf. plan page 1).
- une deuxième zone ② constituée de la réunion des 5 lignes de la zone G2 et des 9 lignes de la zone H.

A l'intérieur de chacune de ces 2 zones ① et ②, les régionalisations verticales sont homogènes. On a donc construit les variogrammes verticaux moyens sur chacune de ces 2 zones (figures 3, 4, 5) :

- La variable pourcentage pilote $p(z)$, à un effet proportionnel près, présente des variogrammes de même allure dans les 2 zones ① et ② figure 3.

- tandis que la variable teneur pilote $t(z)$ présente des allures profondément différentes d'une zone à l'autre (figure 4). L'étude par voisinages glissants a montré que la frontière d'hétérogénéité est située très exactement entre la dernière ligne de G1 et la première de G2. Or un tel changement brusque de structures verticales de la teneur pilote ne semble pas pouvoir s'expliquer par la géologie ; on peut donc se demander si une erreur ou une hétérogénéité d'échantillonnage n'est pas à l'origine de ce phénomène ? En attendant un contrôle, nous sommes tenus de différencier les 2 zones ① et ②.

Tous les demi-variogrammes expérimentaux ont été raccordés à des schémas sphériques de portée 2,50 m., sauf le demi-variogramme expérimental de la teneur pilote dans la zone ① qui a été raccordé à un schéma linéaire. Les courbes théoriques ont été tracées en pointillé à côté des courbes expérimentales sur les figures 3-4-5.

On notera que ces raccords ne sont valables que pour des distances h n'excédant pas 2,5 m. Soit l'équivalent de 5 passes.

Rappelons l'expression d'un demi-variogramme sphérique :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^2}{a^2} \right] & \text{pour } 0 < h < a \\ C_0 - C & \text{pour } h \geq a \end{cases}$$

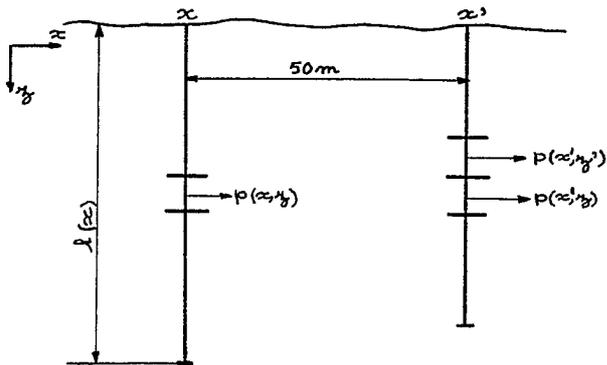
Les valeurs des paramètres, effet de pépité C_0 , palier C et portée a , des différents schémas raccordés sont consignés dans le tableau 1. Dans ce tableau figurent aussi les moyennes arithmétiques des différentes variables utilisées : ainsi le variogramme expérimental $\gamma_p(h)$ dans la zone ① a été construit sur $N = 1196$ données $p(z)$ de moyenne $m = 67,73$ point

	Pourcentage pilote p					Pourcentage pilote t					Teneur tout-venant T				
	N	m	C_0	C	a	N	m	C_0	C	a	N	m	C_0	C	a
Zone ①	1196	67.73	10	19	2,50 m	1196	79.93	4	Linéaire pente $\omega = 8.4$		1196	54.14	10	24	2,5 m
Zone ②	1377	68.92	14	22	2,50 m	1377	80.23	2.3	8.7	2,50 m	1377	55.29	10	24	

Tableau 1

Schémas sphériques ajustés
aux régionalisations verticales.

III - Régionalisation horizontale



Nos 3 variables p, t et T sont régionalisées dans l'espace à 3 dimensions ; nous devrions donc les noter, par exemple pour le pourcentage pilote $p(x, z)$

x représentant les 2 coordonnées horizontales, et z la coordonnée verticale.

L'étude précise des régionalisations horizontales conduirait à construire des variogrammes du type $E\{[p(x, z) - p(x', z)]^2\}$. Mais l'on ne dispose que de puits à maille de 50 m., la comparaison de 2 valeurs $p(x, z)$ et $p(x', z)$ perd alors tout sens*.

Considérons des variables moyennes sur toute la longueur minéralisée $l(x)$ d'un puits x, par exemple pour le pourcentage pilote :

$$p_1(x) = \frac{1}{l(x)} \int_{l(x)} p(x, z) dz$$

$p_1(x)$, valeur moyenne du pourcentage pilote sur le puits x, est par définition la variable montée sous puissance $l(x)$ de la variable initiale $p(x, z)$. On définirait de même la variable teneur pilote moyenne $t_1(x)$.

- Si tous les puits présentent la même longueur minéralisée l (banc phosphaté de puissance constante l), on calculerait à partir des $p_1(x)$ le variogramme monté :

$$2 \gamma_{p_1}(h) = E\{[p_1(x+h) - p_1(x)]^2\}$$

* L'objectif final de ces études structurales, le contrôle de production, exige une connaissance très fine des structures. Un ensemble de puits à maille resserrée ($x-x' = 5$ ou 10 m) permettrait la construction des variogrammes du type indiqué et le contrôle des hypothèses structurales que l'on sera conduit à poser.

- On définit aussi des variables accumulations, ainsi la variable accumulation-teneur pilote

$$A_t(x) = t_1(x) \times l(x)$$

et l'on construit le variogramme correspondant :

$$2 \gamma_{A_t}(h) = E\{[A_t(x+h) - A_t(x)]^2\}$$

Des études par voisinages glissants horizontaux ont été effectuées, elles n'ont pu conclure à l'existence d'hétérogénéités horizontales significatives. On regroupe donc l'ensemble des 3 zones F G H et les résultats des paragraphes suivants sont relatifs à cet ensemble indifférencié.

III-1 - Variogrammes montés sous puissance ≈ 5 m.

A défaut d'avoir des puits présentant tous des puissances minéralisées égales, nous avons éliminé tous les puits de puissance minéralisées inférieures à 4 m. Sur l'ensemble des zones F G H on conserve ainsi 211 puits dont les puissances minéralisées se répartissent autour de la moyenne $l = 5$ m avec un écart-type relatif $\frac{\sigma_l}{5} = 0,12$ suffisamment petit. Les variogrammes construits à partir de ces puits peuvent donc être considérés comme montés sous puissance sensiblement constante et égale à 5 m. Ces variogrammes ont été calculés dans 4 directions :

- les 2 directions (1 et 2) principales du réseau (maille de 50 m)
- les 2 directions diagonales (3 et 4) bissectrices des précédentes (mailles $50\sqrt{2} = 70,7$ m).

Les figures 6 - 7 - 8 donnent pour chacune des 3 variables montées $p_1(x)$, $t_1(x)$ et $T_1(x)$ les 4 demi-variogrammes directionnels expérimentaux :

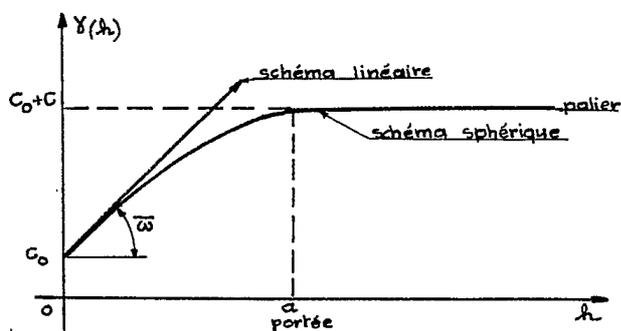
- Pour des voisinages n'excédant pas 250 m. et très suffisant pour les estimations locales à venir, tous ces variogrammes peuvent se raccorder à des schémas linéaires avec effet de pépite :

- Les anisotropies directionnelles sont équivalentes pour les 3 variables : par ordre de variance croissante on trouve toujours les directions 1 - 3 - 4 - 2. Ce même type d'anisotropie réapparaîtra dans l'étude des variogrammes accumulation (III-2), nous l'avons ajusté à un modèle d'anisotropie géométrique.

- Ces anisotropies directionnelles n'affectent pas l'effet de pépite.

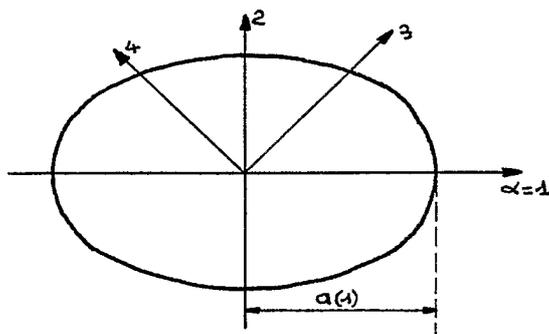
Anisotropie géométrique :

Les schémas linéaires ajustés aux courbes expérimentales des figures 6 - 7 - 8 peuvent être interprétés comme les tangentes à l'origine (linéaires) de schémas transitifs dont les portées supérieures à 250 m. ne sont pas accessibles expérimentalement.



Pente ω de la tangente à l'origine et portée a d'un schéma sphérique sont inversement proportionnels, à palier constant.

Supposons que sur les 4 directions étudiées on ait trouvé des schémas sphériques de même variance (même palier) mais de portées anisotropes : $a(\alpha)$ pour la direction α . Supposons encore que les $a(\alpha)$ se répartissent suivant une ellipse d'anisotropie, de grand axe par



exemple la direction $\alpha = 1$ et de rapport $\frac{a(1)}{a(2)}$.

Il suffit alors pour se ramener au cas isotrope d'effectuer, sur les coordonnées horizontales x des puits, une affinité géométrique d'axe $\alpha = 1$ et de rapport $\frac{a(1)}{a(2)}$; cette affinité transforme l'ellipse d'anisotropie en un cercle isotrope de rayon $a(1)$.

- Dans notre cas pratique, au lieu de tracer la rose des portées $a(\alpha)$, on trace la rose des inverses des pentes $1/\varpi(\alpha)$. Cette rose est dessinée sur la figure 9.

On voit que l'on peut approcher l'anisotropie expérimentale par un modèle d'anisotropie géométrique de grand axe la direction principale d'allongement 1 du gisement et de rapport : $\frac{\varpi(2)}{\varpi(1)} \neq 1,8$.

Il suffit donc, pour les 3 variables considérées, de raccorder les seuls variogrammes de la direction 1 à un schéma théorique, en l'occurrence un schéma linéaire avec effet de pépité pour des distances inférieures à 250 m.

$$\gamma(h) = C_0 + \varpi h \quad \forall 0 < h < 250 \text{ m.}$$

Le tableau 2 donne pour chacune des 3 variables montées, pourcentage pilote, teneur pilote et teneur tout-venant, les valeurs ajustées des paramètres C_0 (effet de pépité) et ϖ (pente).

Tableau 2

		Pourcentage pilote	Teneur pilote	Teneur tout-venant
Valeur moyenne	m	68.45	80.36	55.06
Effet de pépité	C_0	1.5	0.9	2.2
Pente	ϖ	0.03	0.01	0.03

Zones F G H

Nombre de puits : 211

Puissance minéralisée moyenne : $l = 5 \text{ m.}$

Schémas linéaires ajustés
aux variogrammes montés.

III-2 - Variogrammes accumulations

On s'intéresse maintenant aux 3 variables accumulations définies sur chaque puits x, de puissance minéralisée l(x)

- l'accumulation pilote : $A_t(x) = l(x) \times t_1(x)$

- l'accumulation tout-venant : $A_T(x) = l(x) \times \frac{t_1(x) \times T_1(x)}{100}$

Ces deux variables étant exprimées en unité : point x mètre

- le pourcentage pilote moyen $p_1(x)$, exprimé en unité point.

Cette fois l'ensemble des 300 puits des zones F G H a été utilisé pour la construction des variogrammes dans chacune des 4 directions 1, 2, 3 et 4. Les figures 10 - 11 - 12 appellent des remarques identiques à celles du paragraphe précédent :

- anisotropie directionnelle que l'on peut raccorder à une anisotropie géométrique d'axe la direction 1 et de rapport 1,8.

- cette anisotropie n'affecte pas les effets de pépité.

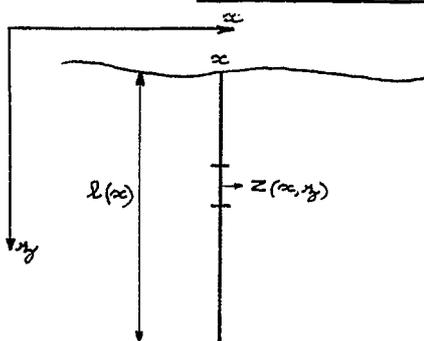
- les 1/2 variogrammes expérimentaux peuvent être raccordés à des schémas linéaires avec effet de pépité, pour des distances inférieures à 250 m. Le tableau 3, analogue au tableau 2, donne pour chacune des 3 variables accumulations précédentes les paramètres des schémas raccordés.

Tableau 3

	Pourcentage pilote	Accumulation pilote	Accumulations tout-venant	Zones F G H
Valeur moyenne m	68.09	344.3	235.7	Nombre de puits : 300 Puissance minéralisée moyenne : l = 4.30
Effet de pépité C _o	1.5	1100	300	
Pente ω	0.044	26	16	

Schémas linéaires ajustés aux variogrammes accumulation

IV - En conclusion de l'étude structurale



Considérons une passe de 50 cm, localisée en x (coordonnées horizontales du puits) et z (cote verticale le long du puits).

Soit $Z(x, z)$ la variable régionalisée qui y est définie, par exemple le pourcentage pilote.

- Soit $l(x)$ la puissance minéralisée reconnue. On peut admettre en 1° approximation que pour les distances $x-x'$ qui seront utilisées dans les estimations à venir : $l(x) \neq l(x') = 1$.

- Soit $A(x)$ l'accumulation de $Z(x, z)$ le long du puits x :

$$A(x) = \int_{l(x)} Z(x, z) dz$$

Les données actuellement disponibles nous ont permis de connaître :

- verticalement, les variogrammes du type :

$$E\{[Z(x, z+h) - Z(x, z)]^2\} \text{ pour des distances } h \leq 5 \text{ m.}$$

- horizontalement, les variogrammes du type :

$$E\{[A(x+h) - A(x)]^2\} \text{ pour des distances } 50 \text{ m} \leq h \leq 250 \text{ m.}$$

Cette connaissance nous conduit, dans un premier stade, à décomposer notre variable régionalisée $Z(x, z)$ en le produit de deux variables indépendantes :

$$Z(x, y) = \varphi(x) \cdot Y(x, z)$$

$\varphi(x)$, variable régionalisée dans l'espace horizontal.

$Y(x, z)$, variable régionalisée à 3 dimensions. Nous la supposons isotrope. De plus pour que : $E\{Z(x, y)\} = E\{\varphi(x)\}$ nous imposerons la condition : $E\{Y(x, z)\} = 1$.

Sous ces hypothèses, il est possible de déduire les variogrammes de φ et Y des variogrammes expérimentaux précédents.

Ainsi, par l'intermédiaire du facteur $\varphi(x)$ qui a le sens d'un effet proportionnel : $A(x) = \varphi(x) \int_{l(x)} Y(x,z) dz$, nous avons pu ajuster un modèle à la régionalisation tridimensionnelle de $Z(x,z)$.

Supplément de reconnaissance :

- A partir d'un réseau de rainures (par exemple) à très petite échelle < 2 m. effectué sur les parois de certains puits, ou sur un front d'exploitation, il conviendrait de vérifier l'hypothèse d'isotropie des $Y(x,z)$ et en même temps leur structure (variogramme).

- Il apparaît d'ores et déjà indispensable de préciser le variogramme des $A(x)$ - donc des $\varphi(x)$ - pour des distances $h < 50$ m. En effet, le contrôle de production fera intervenir des distances horizontales de l'ordre de 15 m. (1 passe de la roue-pelle). Ceci pourrait être obtenu à partir d'un réseau de puits classiques à maille de 5 ou 10 m. : quelques dizaines de puits implantés judicieusement dans une zone représentative de la portion de gisement sur laquelle sera effectué le contrôle de production.

V - Développement de l'étude

La collaboration entre le Centre de Morphologie Mathématique et la Cotomib porte sur la réalisation de 2 types d'objectifs :

- Calcul des réserves reconnues et en place, à mailles de 200 m puis de 100 m.
- Contrôle de production : il s'agit de définir des consignes d'extraction (marche de la roue-pelle) afin que le minerai produit respecte certaines contraintes de qualité. Ce dernier objectif, jugé prioritaire, fait l'objet de notre actuel contrat d'études.

V-1 - Calcul des réserves

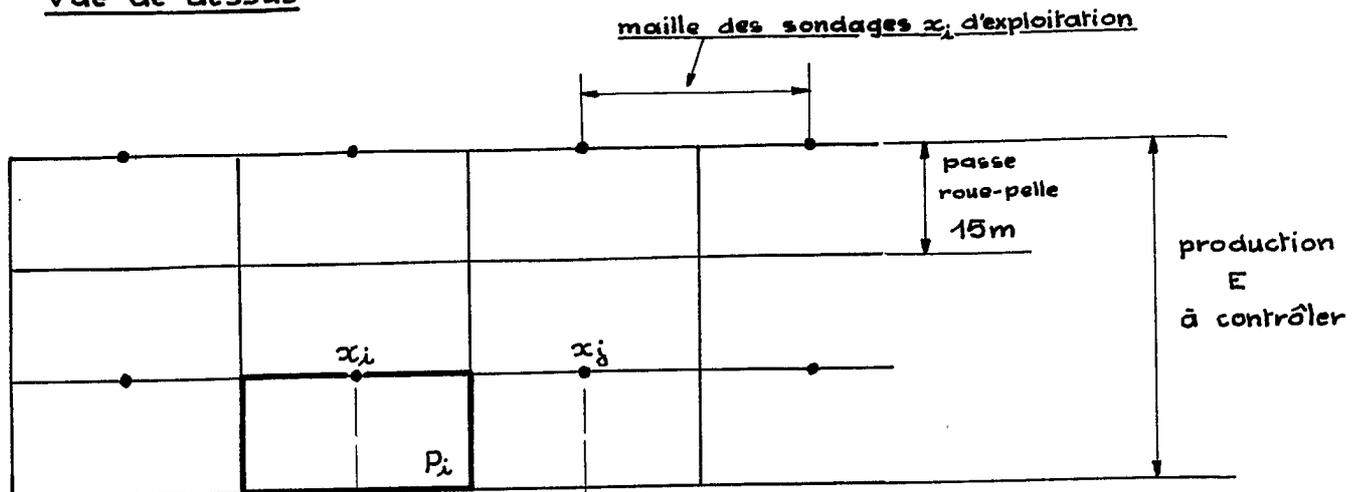
Si l'on s'intéresse aux réserves reconnues en place, caractérisées à l'aplomb de chaque puits par une variable accumulation $A(x)$, leur estimation géostatistique est d'ores et déjà possible. En effet, nous connaissons les variogrammes des $A(x)$; il resterait à préciser ces variogrammes pour des distances $h < 50$ m, à les étendre à d'autres zones que F, G, H : un plan de krigeage régulier à 2 dimensions permettrait alors d'obtenir les estimations demandées avec leurs variances d'estimation. L'étude de ces variances permettrait de déterminer la maille nécessaire (400, 200 ou 100 m.) pour atteindre une sécurité fixée à l'avance dans l'estimation de ces réserves en place.

Insistons sur le fait qu'une telle estimation "en place" ne tiendra aucun compte de la récupération effective de la production future. En particulier l'estimation en place ne définit aucun toit ni mur : toute la puissance minéralisée reconnue est estimée en bloc.

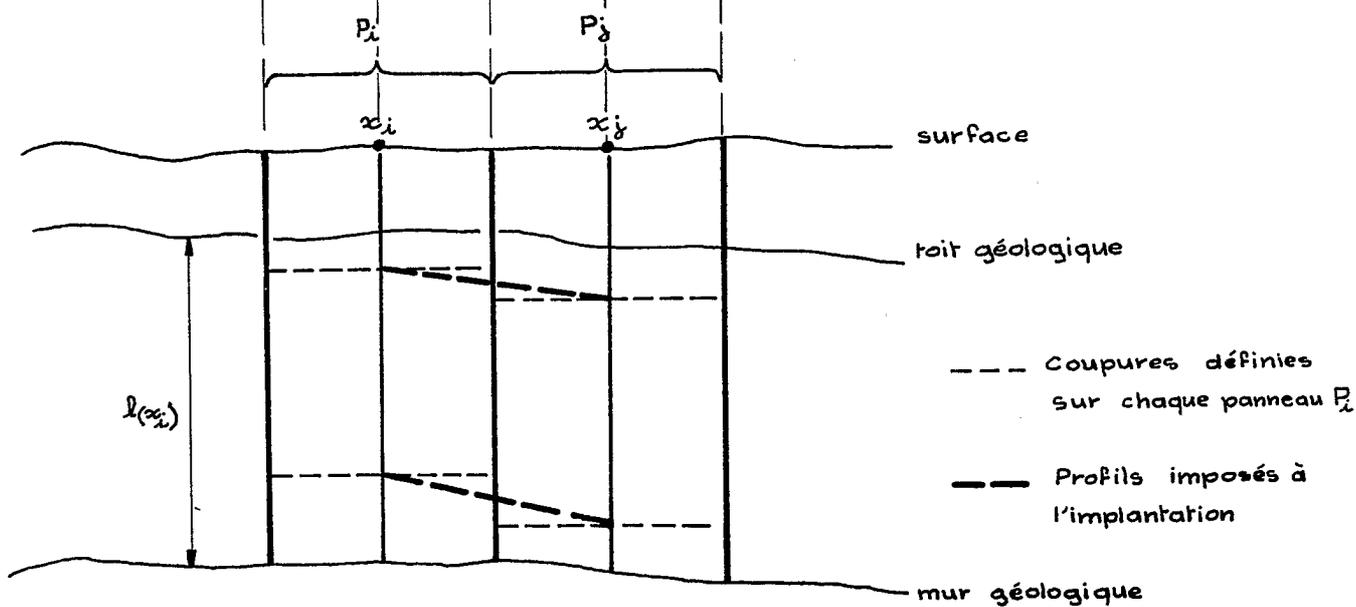
V-2 - Contrôle de production

L'objectif exige cette fois autrement plus de finesse. On ne peut plus intégrer la régionalisation verticale en ne considérant que l'accumulation $A(x)$; il s'agit précisément de détailler la régionalisation verticale afin de déterminer en chaque point x un toit et un mur optimal d'extraction. Optimum dans le sens où l'on doit récupérer un maximum de minerai vérifiant certaines contraintes de qualité, compte tenu des impératifs techniques de marche de la roue-pelle.

Vue de dessus



Coupe transversale



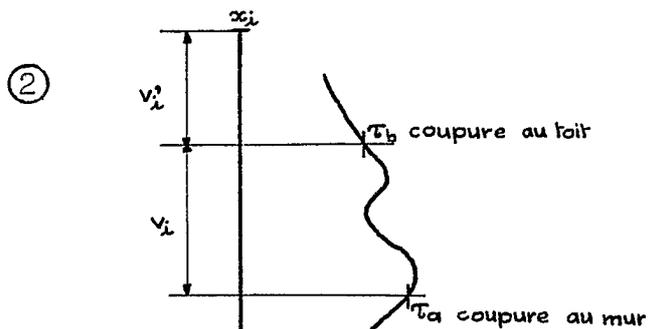
PLAN D'EXPLOITATION

Sur la figure de la page 16, nous avons dessiné en vue de dessus une portion E du gisement sur laquelle il faut contrôler la production. Sur cette figure, à titre d'exemple, E est constitué de 3 passes de roue-pelle sur toute la largeur du gisement. On définit sur E un pavage de panneaux élémentaires P_i , $i \in I$. Au moment de la production, à chaque panneau P_i correspondra un sondage x_i . Il s'agit de trouver une règle qui nous permette de fixer les consignes d'exploitation (toit-mur) de chaque panneau $P_i \in E$, de telle sorte que la production cumulée sur la zone E vérifie une contrainte de qualité (teneur en tricalcique supérieure à x %). On voit bien que c'est un problème d'optimum : il existe une probabilité $P(x)$ pour que le produit extrait de E soit de teneur moyenne supérieure à x : si l'on se contente de faire tendre $P(x)$ vers 1, on sera inmanquablement conduit à imposer des coupures (toit-mur) très sévères sur chaque panneau élémentaire P_i ce qui revient à écrémer le gisement et donc à diminuer notre espérance de bénéfice qui, elle, est proportionnelle au volume de minerai utile produit. Il faut donc réaliser un équilibre entre un risque de ruine (lié à un produit de teneur inférieure à x) et une perte due à l'écrémage. Le problème théorique de cette optimisation a été résolu (cf. note géostatistique n° 265 de G. MATHERON - Décembre 1971).

Détaillons un peu les étapes probables de l'étude pratique à venir :

- ① - Préciser les structures à petite échelle des facteurs $\varphi(x)$ et $Y(x,z)$ de la variable régionalisée $Z(x,z) = \varphi(x).Y(x,z)$, à partir d'un complément de sondages et rainurages judicieusement implantés.
- Observer très précisément le déroulement effectif de l'extraction pour savoir dans quelles limites le mineur peut suivre sur le terrain les consignes imposées. Tout écart par rapport à l'optimum est par définition un biais défavorable ; il convient donc éventuellement d'en tenir compte dans le calcul théorique des coupures (toit-mur). De plus, la définition de la dimension horizontale du panneau élémentaire P_i et par conséquent la définition de la maille de production (x_i) sont limitées par des contraintes techniques (marche de la roue-pelle - potentiel de forage : ouvriers

- analyses - délais - coût*). La définition des ensembles E sur lesquels s'appliqueront le contrôle de production est plutôt du ressort de la Direction générale.



A chaque couple de paramètres de coupure (τ_a, τ_b) correspond pour chaque panneau de sélection P_i un certain volume v_i' de découverture et un volume v_i de minerai.

Les caractéristiques (pourcentage - teneur) de v_i sont estimées par krigeage à partir des données du sondage x_i et des accumulations observées sur les sondages voisins $x_j, j \neq i$. Pour les panneaux P_i non encore informés actuellement par un sondage x_i , mais qui le seront au moment de la production, on opérera d'une façon sensiblement différente : Krigeage de variables utiles.

③ Pour chaque couple de paramètre (τ_a, τ_b) le cumul des estimations précédentes sur chacun des panneaux P_i composant l'ensemble E permet de connaître les caractéristiques résultantes ($V = \sum_i v_i, V' = \sum_i v_i', Q = \sum_i Q_i, \text{etc...}$) de la coupure (τ_a, τ_b) . Un calcul d'optimisation permet de choisir parmi toutes les hypothèses (τ_a, τ_b) , la coupure optimale (t_a, t_b) . C'est cette coupure optimale (t_a, t_b) qui sera imposée au mineur.

④ On refait toutes les estimations de l'étape ② pour la coupure optimale (t_a, t_b) . Ce qui permet de construire les relations tonnage - teneur proprement dites sur l'ensemble E : histogrammes des valeurs $v_i, v_i', Q_i \text{ etc...}$). Ces estimations ne sont plus cette fois des estimations "en place" mais des estimations de produits effectivement récupérés.

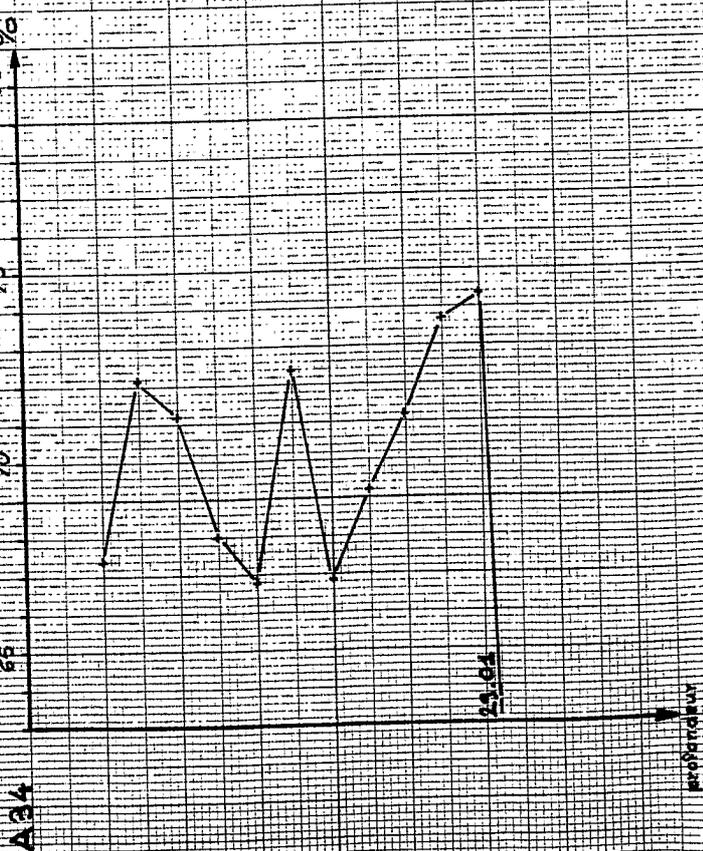
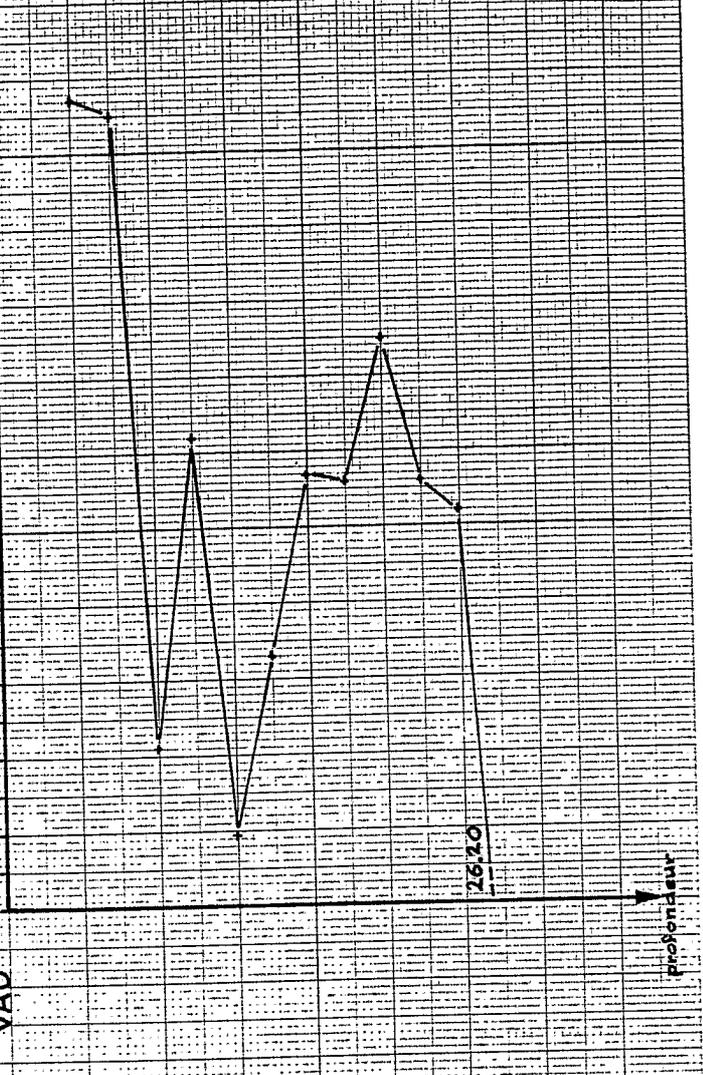
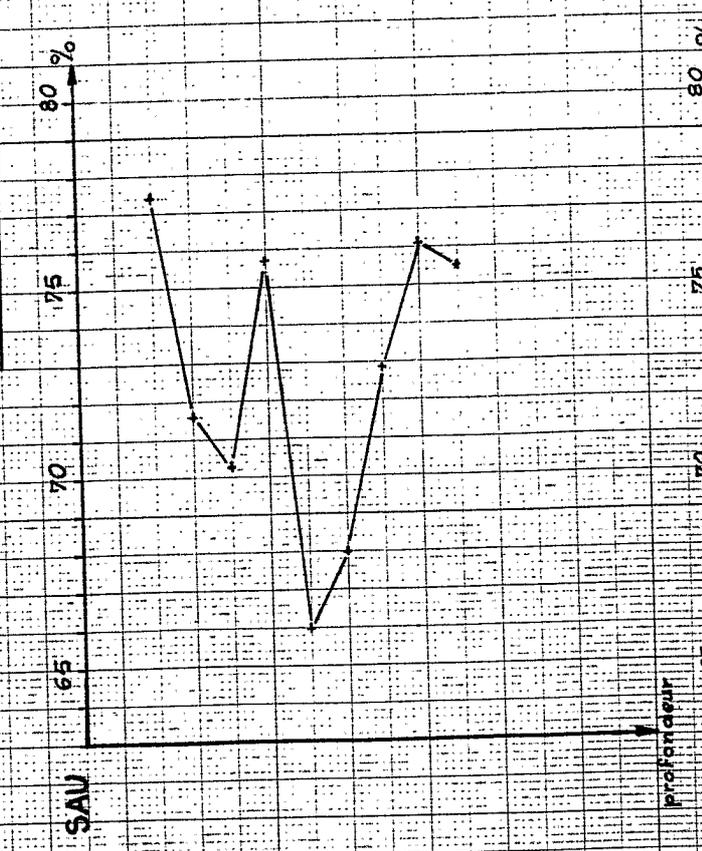
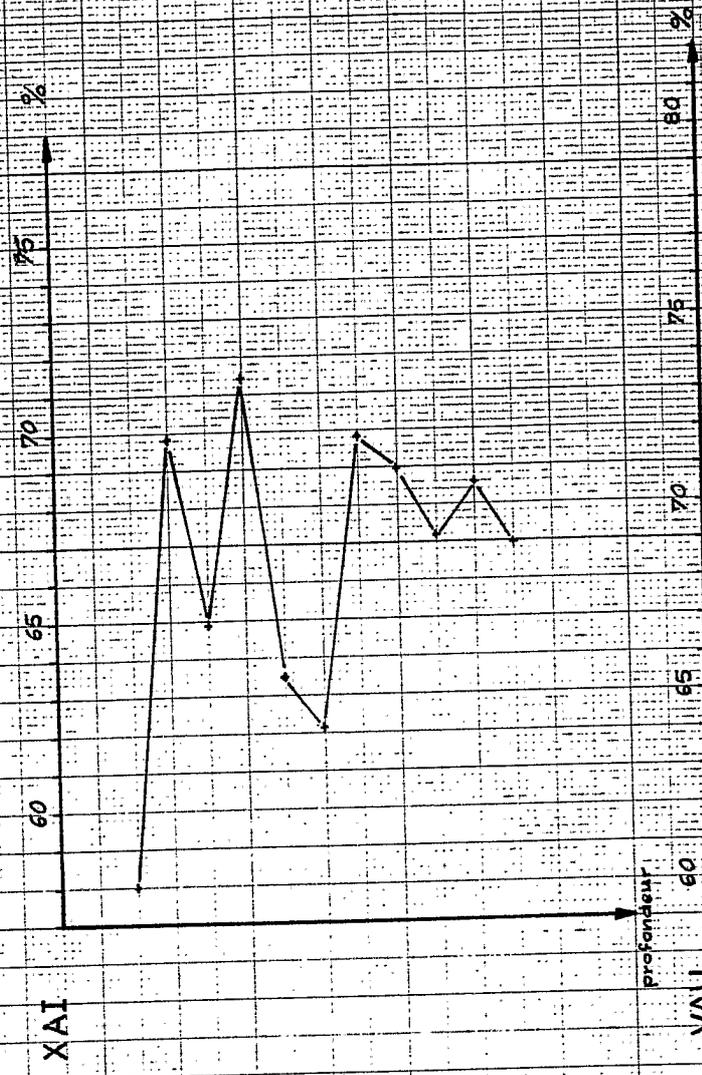
⑤ On peut recommencer tous le processus pour différents ensembles E à contrôler, ensembles correspondant au stock d'homogénéisation, à la production mensuelle - semestrielle etc...

* Nous serons peut être conduits à résoudre parallèlement un autre problème d'optimum, qui mettrait en balance le coût d'une maille de reconnaissance très serrée avec la perte qu'occasionnerait une mauvaise définition des coupures (toit-mur) optimales.

Les étapes ② - ③ - ④ devraient pouvoir être automatisées (programmables) ; le contrôle de production ainsi défini pourrait alors s'étendre à d'autres zones du gisement, sous réserve que ces zones soient structurellement reconnues (variogrammes).

Figure: 1

PROFILS VERTICAUX DU POURCENTAGE DE LA FRACTION PILOTE



REGIONALISATION VERTICALE

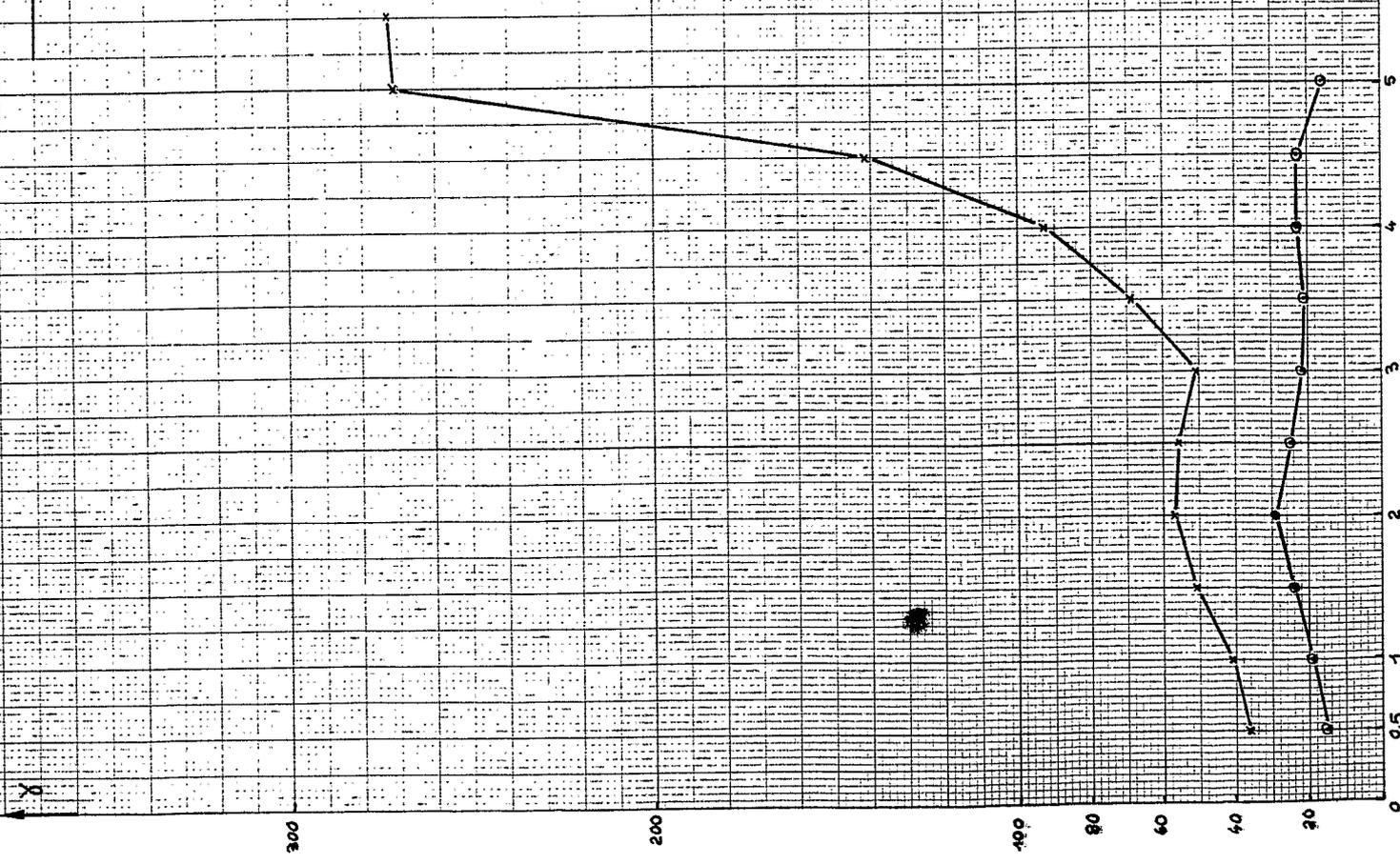
Figure 2

Pourcentage

Zone F

données disponibles
 pourcentage moyen = 66.56

données sélectionnées
 pourcentage moyen = 67.57

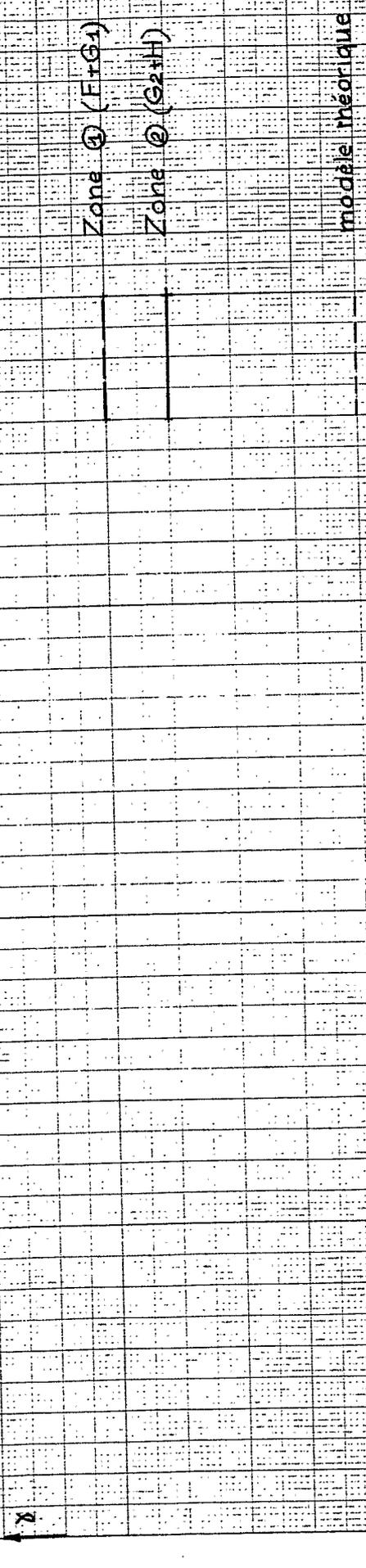


pas = 0.5 m

Figure 3

REGIONALISATION VERTICALE

Pourcentage



pas = 0,5 m

FIGURE 4

REGIONALISATION VERTICALE

Teneur pilote

Zone ① (F+G1)

Zone ② (G2+H)

modèle théorique

R

30

20

10

5

4

3

2

1

0

P₀₀=0.5m

6

5

4

3

2

1

0

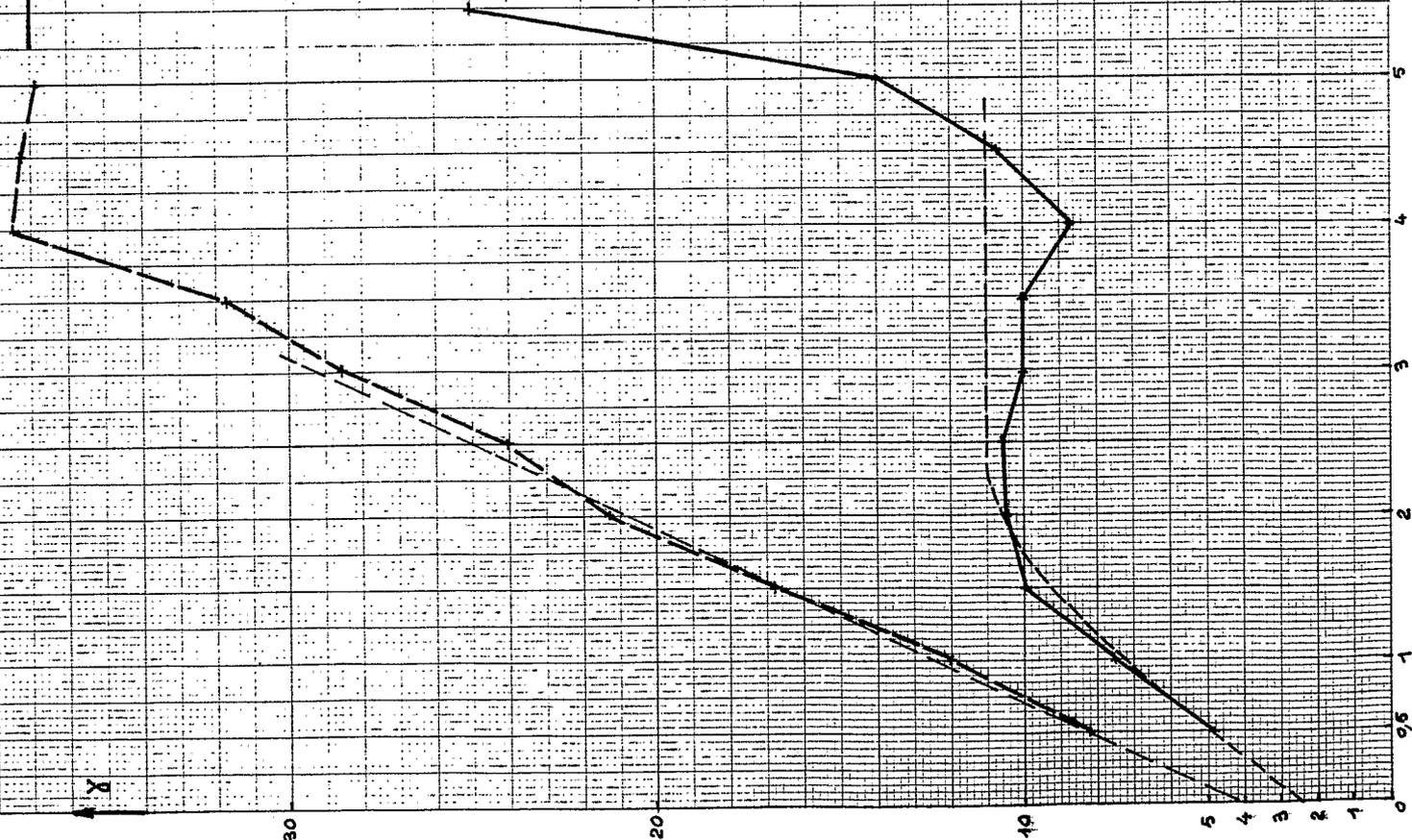
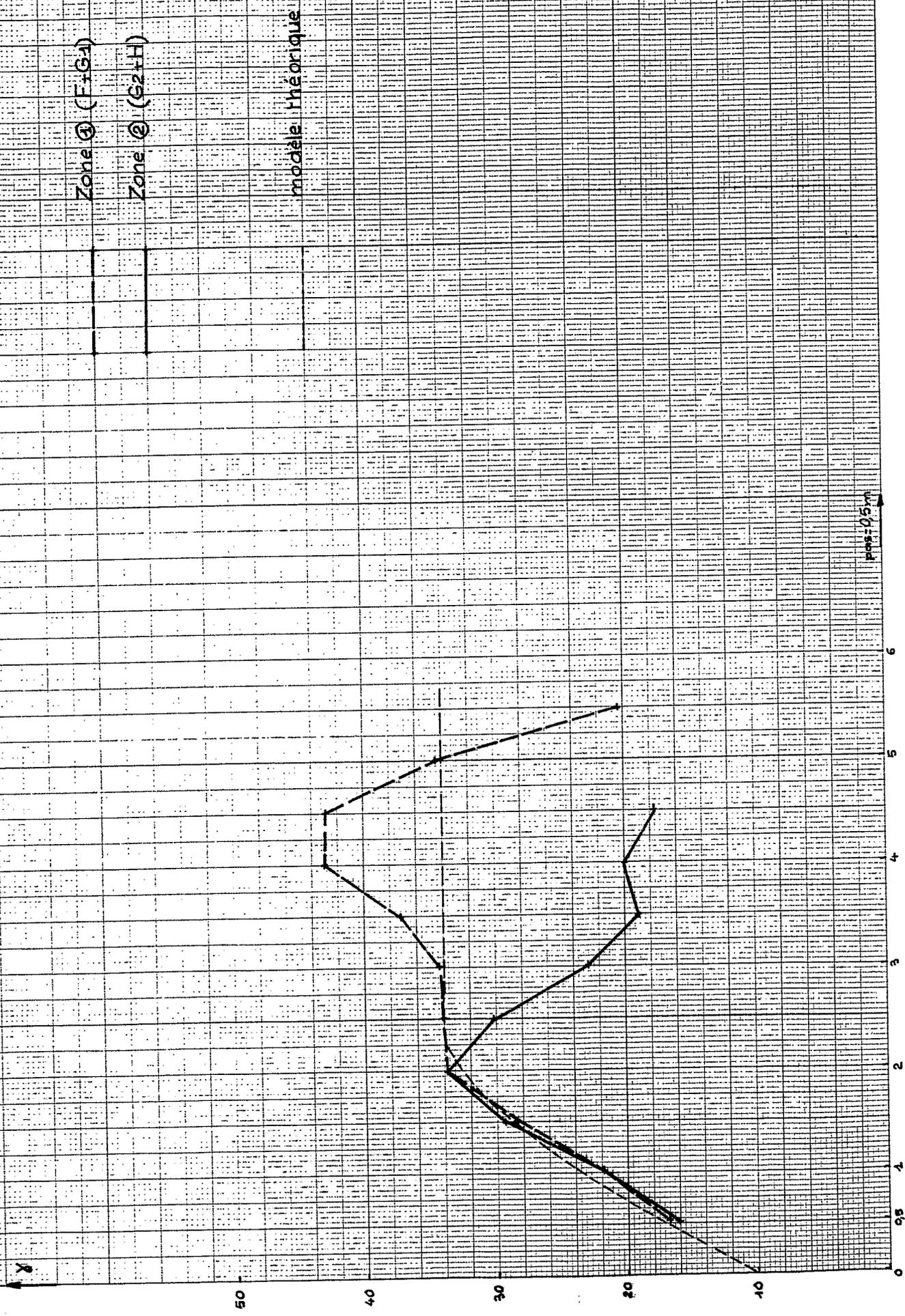


Figure 5

REGIONALISATION VERTICALE

Teneur tour-venant



pas = 0.5m

Figure: 6

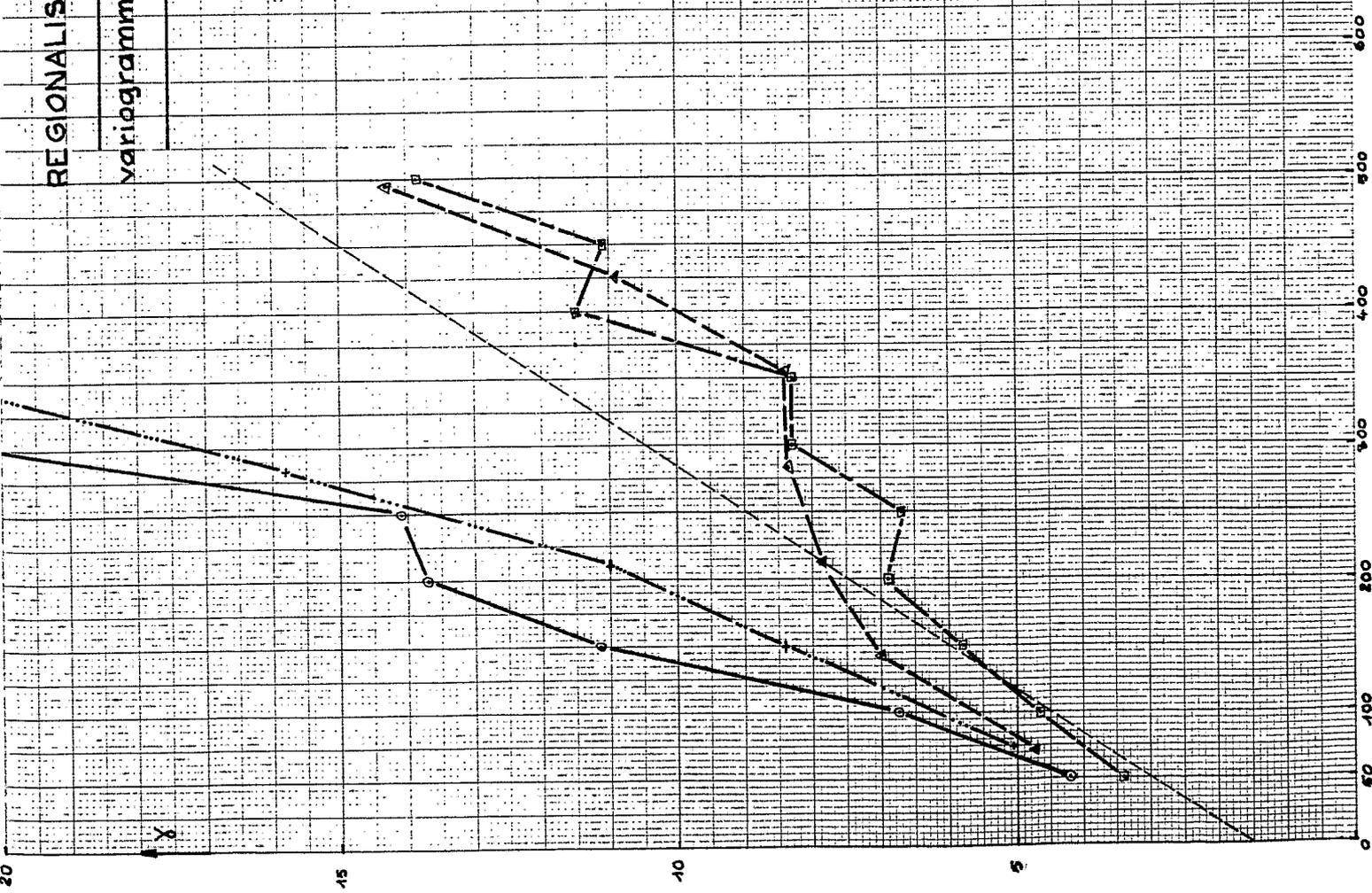
REGIONALISATION HORIZONTALE

variogramme monté sous puissance 5m

Zone EGH.

Pourcentage pilote

Direction 1
Direction 2
Diagonale 3
Diagonale 4
modèle théorique



pas = 50m

Figure 7

REGIONALISATION HORIZONTALE

variogramme monté sous puissance 5m

Zone F.GH

teneur pilote

- Direction 1
- Direction 2
- Diagonale 3
- Diagonale 4
- modèle théorique

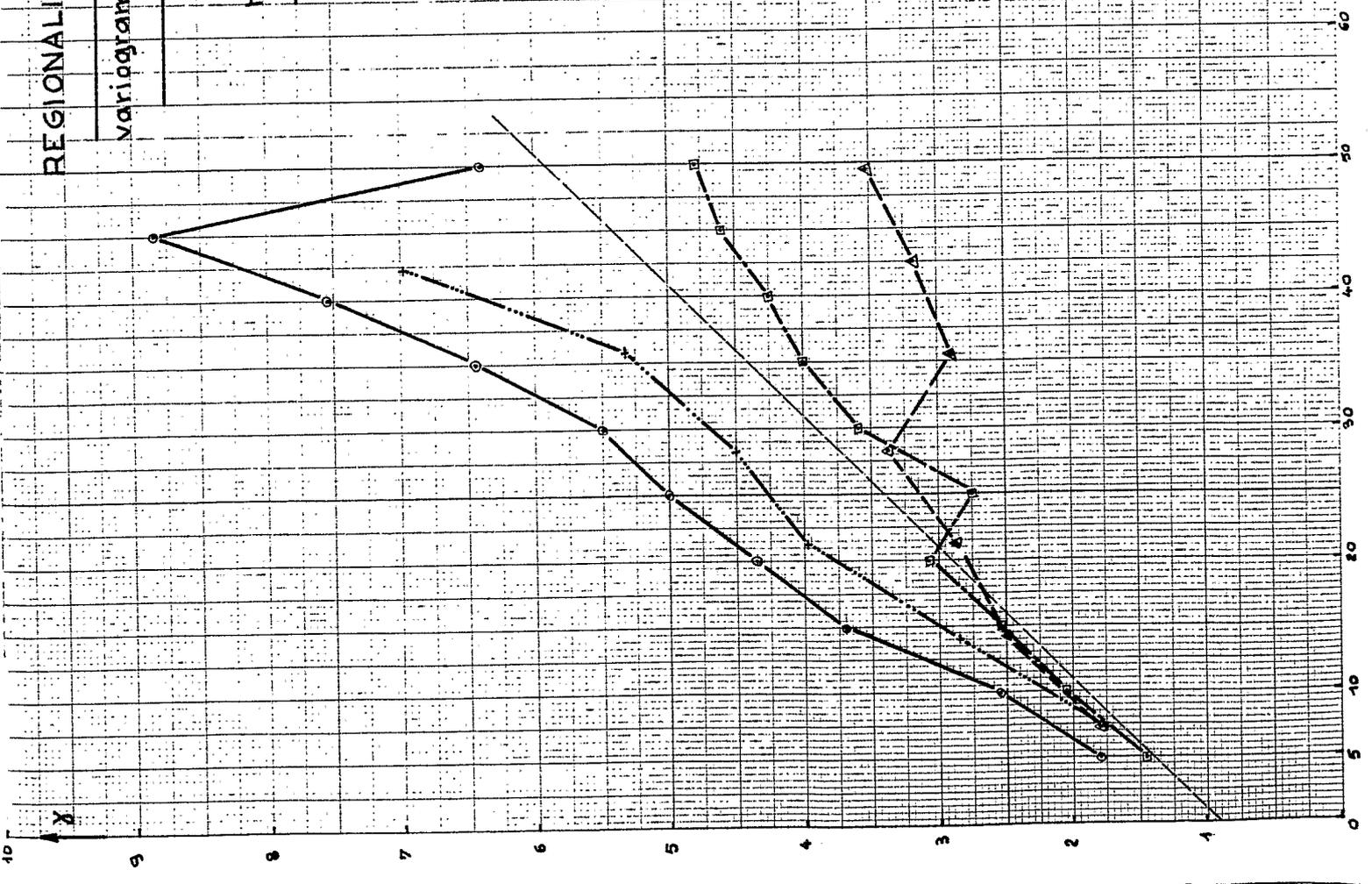


Figure 8

REGIONALISATION HORIZONTALE

variogramme monté sous puissance $\approx 5m$

Zone F.G.H.

teneur tout-venant

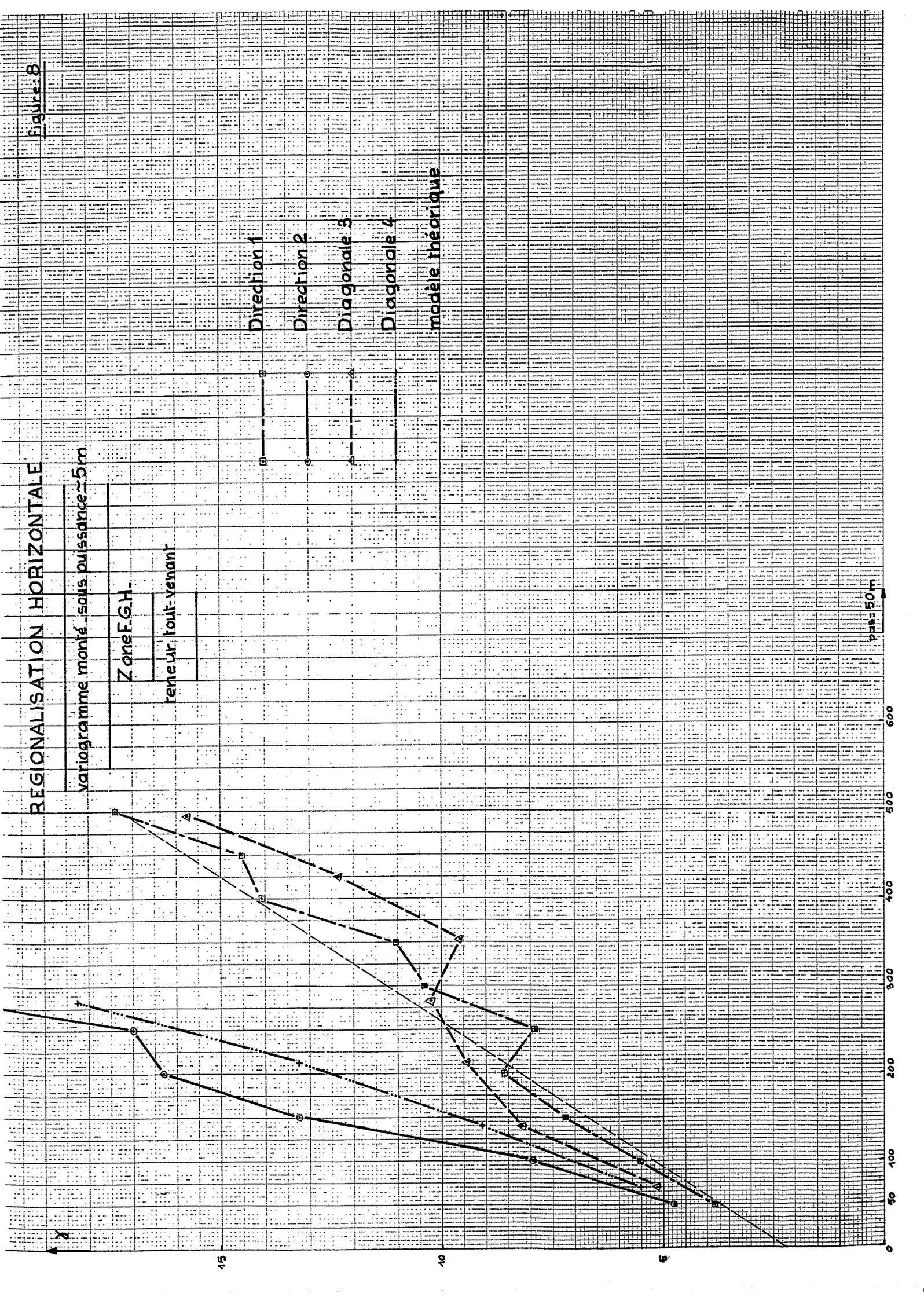
Direction 1

Direction 2

Diagonale 3

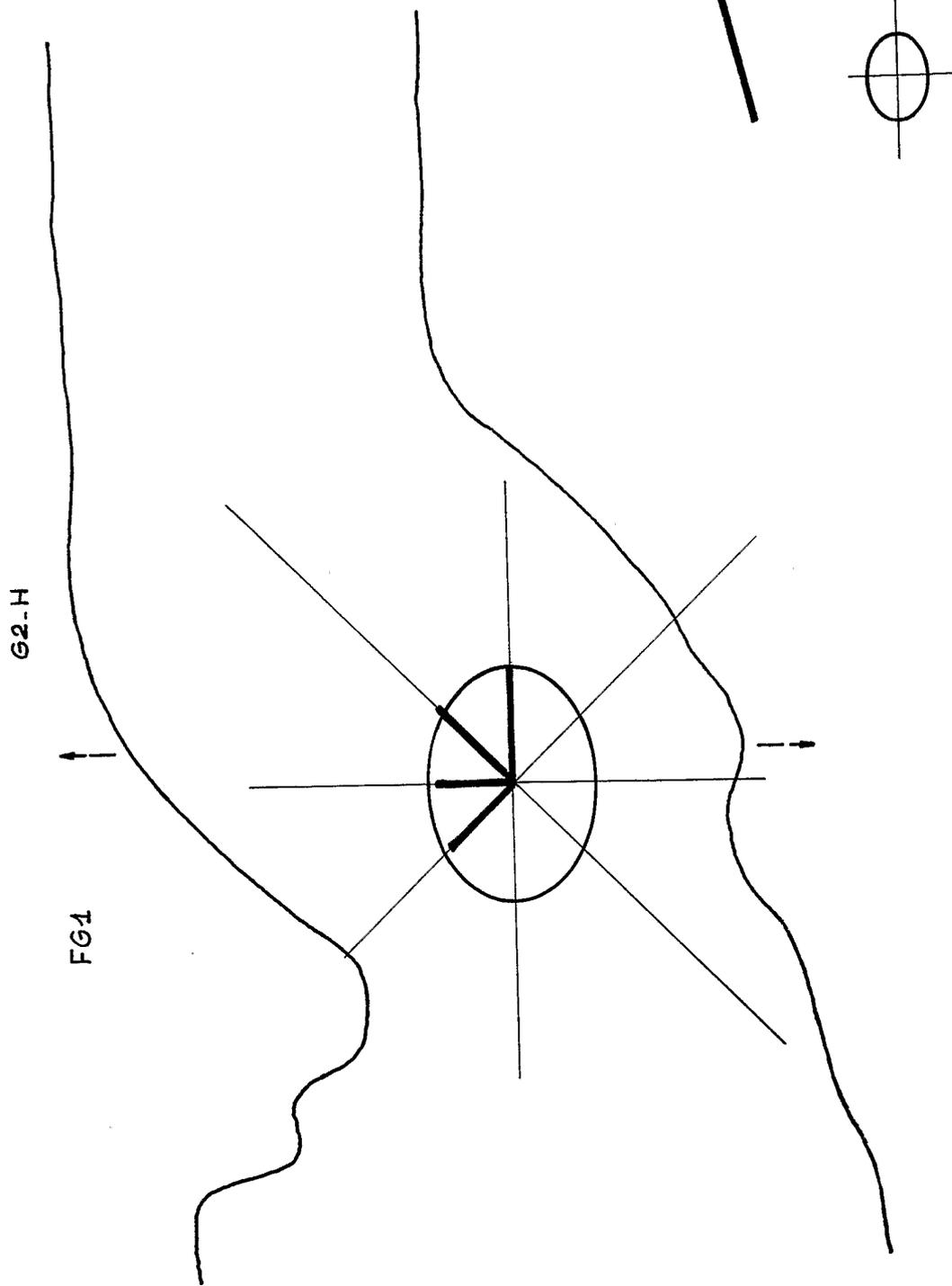
Diagonale 4

modèle théorique



pas = 50 m

Figure: 9



ELLIPSE D'ANISOTROPIE

Figure: 10

REGIONALISATION HORIZONTALE

Pourcentage

Zone F.G.H.

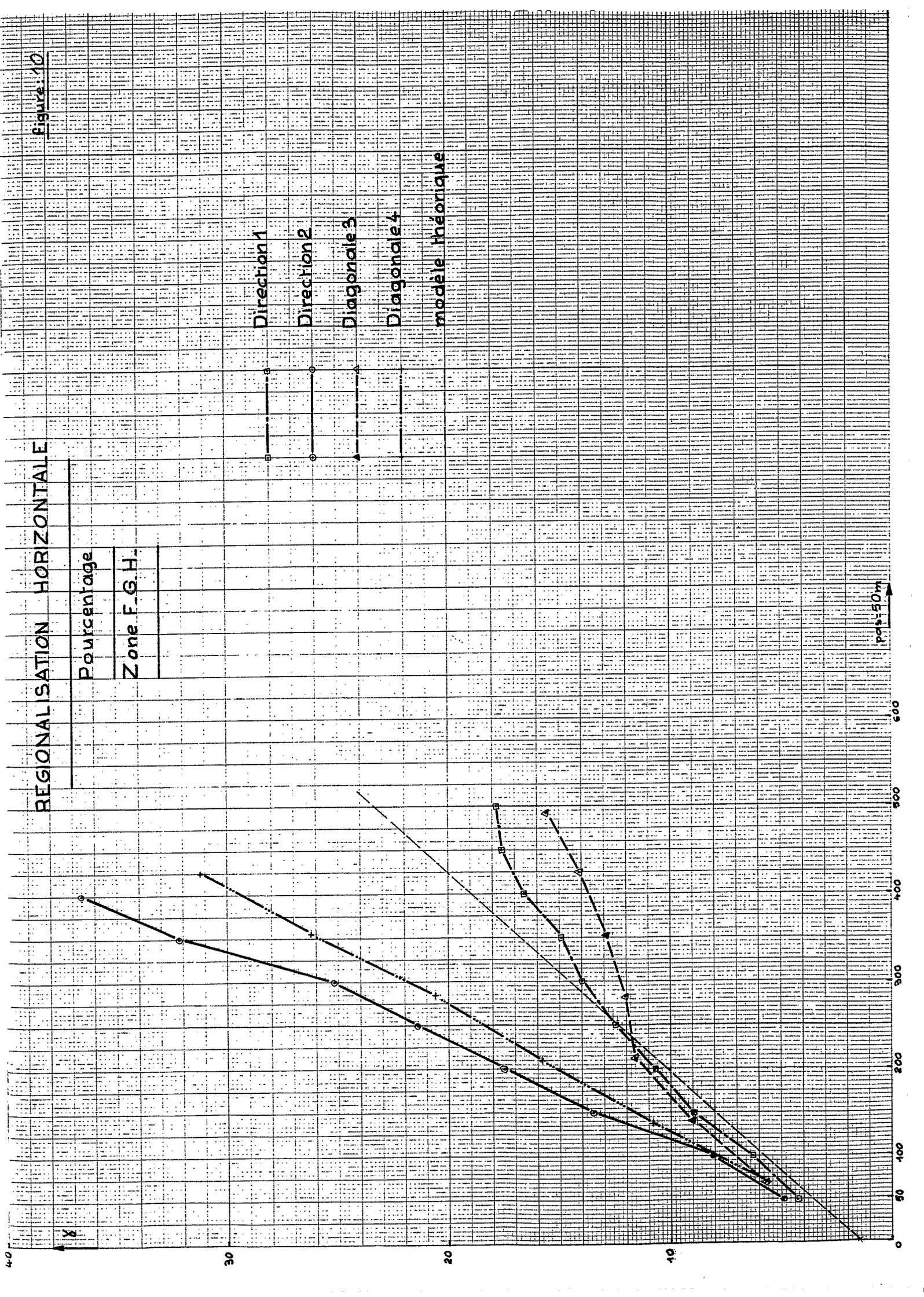
Direction 1

Direction 2

Diagonale 3

Diagonale 4

modèle théorique



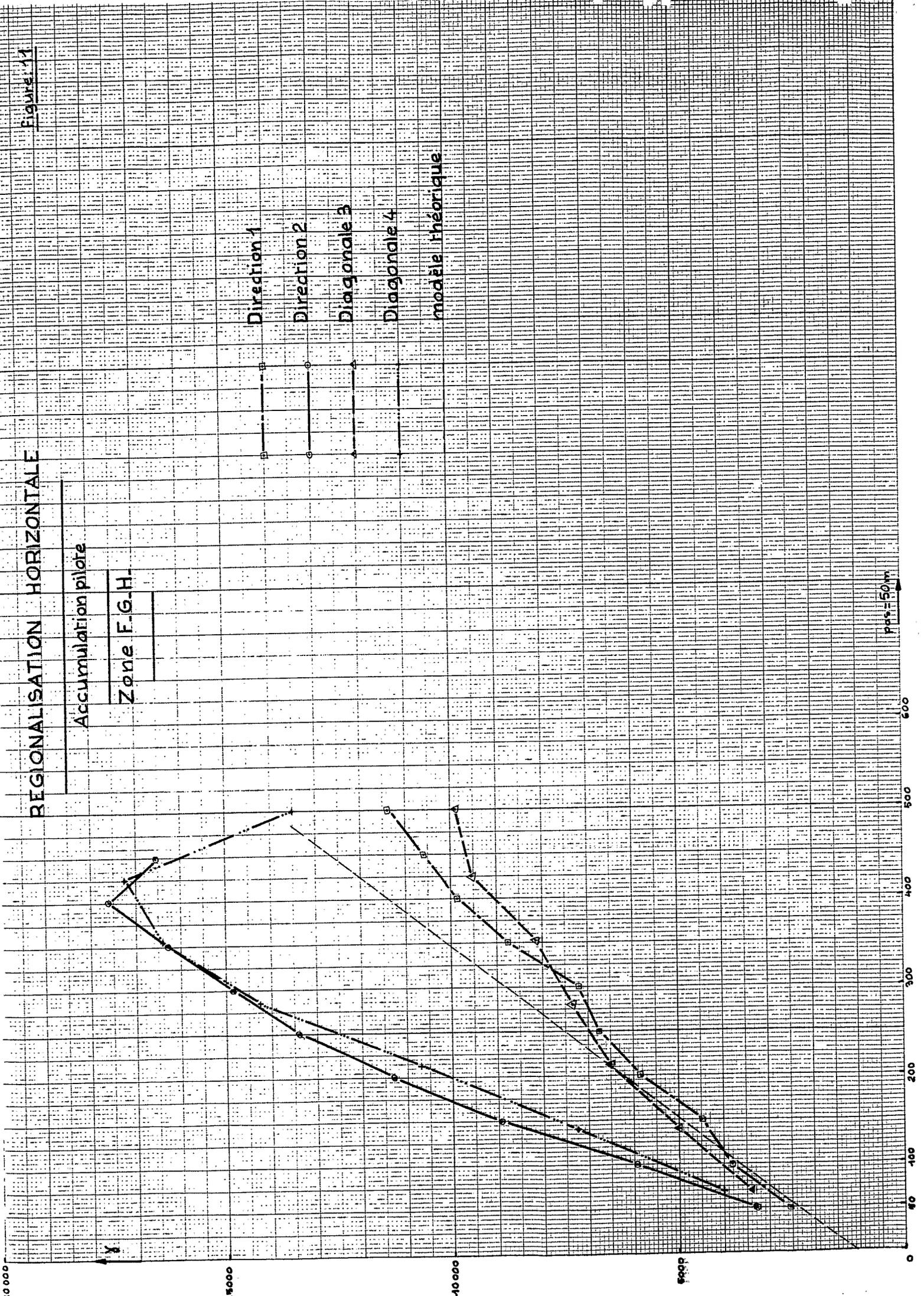
pas = 50m

Figure 11

REGIONALISATION HORIZONTALE

Accumulation pilote

Zone F.G.H.



REGIONALISATION HORIZONTALE

Accumulation four-venant

Zone E.G.H.

X

15000

10000

5000

0

50

100

150

200

250

300

350

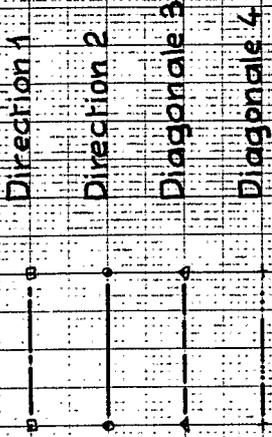
375

400

450

500

550



modèle théorique

pas = 50 m

