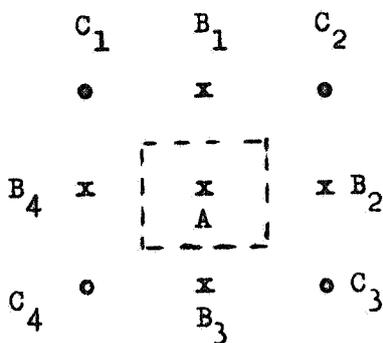


NOTE GEOSTATISTIQUE N° 35

Krigeage d'un panneau carré par les sondages environnants.



Etant donné un gisement homogène et isotrope reconnu par sondages à maille carrée a , on se propose de kriger le panneau constitué par la zone d'influence du sondage A à partir des deux auréoles les plus voisines B_1, B_2, B_3, B_4 , et C_1, C_2, C_3, C_4 , ou de quelques uns seulement des sondages de ces auréoles. Les cas de figure

étant très nombreux, force sera de se limiter. On adoptera les notations :

- a maille des sondages
- h puissance de la formation (supposée constante).

Toutes les variances et covariances se mettent sous la forme :

$$\sigma^2 = A - 3 \alpha E (\log r)$$

La constante A s'éliminant dans les formules du Krigeage, nous ferons $A = 0$, et nous poserons $3 \alpha = 1$ pour alléger l'écriture. On calculera donc des expressions de la forme :

$$\sigma^2 = - E (\log r)$$

Le prisme quadratique représentant la zone d'influence du sondage A sera assimilé au cylindre de révolution de même hauteur h et de même volume, donc de rayon :

$$R = \frac{a}{\sqrt{\pi}}$$

Enfin, on désignera par :

- u la teneur du sondage A
- $v_1 v_2 v_3 v_4$ les teneurs des sondages $B_1 B_2 B_3 B_4$
- $w_1 w_2 w_3 w_4$ celles des sondages $C_1 C_2 C_3 C_4$
- z celle de la zone d'influence de A.

Nous allons en premier lieu dresser le formulaire de toutes les variances et covariances de ces éléments entre eux. En deuxième lieu, nous traiterons un certain nombre de figures de Krigeage usuelles.

I. Formulaire des variances et covariances.

Chaque formule devra être écrite sous deux formes différentes, selon que le paramètre :

$$t = \frac{h}{a}$$

sera petit ou grand. Etudions d'abord les variances.

a/ Les variances.

Tous les sondages ont même variance, soit :

$$(1) \quad -6^2 u = -6^2 v = -6^2 w = \log h - \frac{3}{2}$$

La variance du cylindre d'influence du sondage A s'obtient en posant $R = \frac{a}{\sqrt{\pi}}$ dans les formules (VI, 18) et (VI, 19), soit numériquement :

- Pour $t < 2/\sqrt{\pi} = 1,13$:

$$(2) \quad -6^2 z = \log a - 0.8223 - 0.5236 t^2 \log t + 0.0057 t^2 + 0.3712 t^3 - 0.0822 t^4 + 0.0134 t^5 - 0.0007 t^7$$

et pour $t > 1.13$

$$(2') \quad -6^2 z = \log h - \frac{3}{2} + 1,6048 \frac{1}{t} + 0,3183 \frac{1}{t^2} \log \frac{1}{t} - 0,6066 \frac{1}{t^2} - 0,0141 \frac{1}{t^4} + 0,0019 \frac{1}{t^6}$$

b/ pour avoir les covariances de z avec les sondages A, B ou C, nous utiliserons d'une part les formules (VI, 23) ou (VI, 24), de l'autre les

formules (VIII, 9) ou (VIII, 10). Soit tout d'abord à calculer la covariance δ_{uz} du sondage A avec sa zone d'influence. On porte $R = \frac{a}{\sqrt{\pi}}$

dans (VI, 23) et (VI, 24) soit :

$$(3) \quad \begin{aligned} & - \text{Pour } t < 1 + \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0.566 \\ & - \delta_{uz} = \log a - 1,0723 - 0.5236 t^2 \log t + 0.2675 t^2 + 0.1645 t^4 \\ & \quad + 0.0923 t^6 \end{aligned}$$

et pour $t > 0.566$

$$(3') \quad \begin{aligned} - \delta_{uz} = \log h - \frac{3}{2} + 1,1816 \frac{1}{t} + 0.1592 \frac{1}{t^2} \log \frac{1}{t} - 0.36971 \frac{1}{t^2} \\ - 0.0028 \frac{1}{t^4} + 0.0001 \frac{1}{t^6} \end{aligned}$$

Passons maintenant à la covariance δ_{vz} d'un sondage de l'aurole B avec le cylindre d'influence du sondage A. Nous ferons $d = a$ et $u = \frac{R}{d} = \frac{1}{\sqrt{\pi}}$

dans (VIII, 9) et (VIII, 10). On trouve numériquement :

$$(4) \quad \begin{aligned} & - \text{Pour } t < 1 + \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0.434 \\ & - \delta_{vz} = \log a + 0.0965 t^2 - 0.0348 t^4 + 0.0273 t^6 \end{aligned}$$

Pour $t > 1 + \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 1.566$

$$(4') \quad \begin{aligned} - \delta_{vz} = \log h - \frac{3}{2} + 3.2683 \frac{1}{t} + 1.1592 \frac{1}{t^2} \log \frac{1}{t} - 1.5796 \frac{1}{t^2} \\ - 0.1395 \frac{1}{t^4} + 0.0456 \frac{1}{t^6} \end{aligned}$$

Pour avoir la covariance δ_{wz} , on fera, dans les mêmes formules, $d = a\sqrt{2}$ et $u = \frac{R}{d} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$. On trouve numériquement :

$$(5) \quad \begin{aligned} & - \text{Pour } t < \sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0.848 \\ & - \delta_{wz} = \log a + 0.3465 + 0.0294 t^2 - 0.0059 t^4 + 0.0016 t^6 \end{aligned}$$

et pour $t > \sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 1.980$

$$(5') \quad \begin{aligned} - \delta_{wz} = \log h - \frac{3}{2} + 4.5318 \frac{1}{t} + 2.1591 \frac{1}{t^2} \log \frac{1}{t} - 2.3313 \frac{1}{t^2} \\ - 0.4422 \frac{1}{t^4} + 0.2298 \frac{1}{t^6} \end{aligned}$$

On remarque qu'entre $t = 0.434$ et $t = 1.98$, il y a une zone d'ombre, dans laquelle nos formules ne nous permettront pas de kriger. Mais, en fait, on pourra toujours interpoler graphiquement dans la zone d'ombre, de manière à raccorder les courbes relatives à $t < 0.434$ et à $t > 1.98$. La précision ainsi obtenue sera très suffisante pour les besoins de la pratique.

c/ Il reste à calculer les 36 covariances des 9 sondages pris deux à deux. D'après la distance des deux sondages examinés, on classera ces 36 covariances en 5 groupes :

- Distance a.

Dans ce groupe sont les 4 covariances σ_{uv} , et 8 covariances σ_{vw} correspondant aux couples : $C_1 B_1, B_1 C_2, C_2 B_2, B_2 C_3, C_3 B_3, B_3 C_4, C_4 B_4$ et $B_4 C_1$. Elles sont données par (V, 30) et (V, 31) : soit :

Pour $t < 1$

$$(6) \quad -6 uv = \log a + \frac{1}{12} t^2 - \frac{1}{60} t^4 + 0.0060 t^6$$

et pour $t > 1$:

$$(6') \quad -6 uv = \log h - \frac{3}{2} + \pi \frac{1}{t} + \frac{1}{t^2} \log \frac{1}{t} - \frac{3}{2} \frac{1}{t^2} - \frac{1}{12} \frac{1}{t^4} + \frac{1}{60} \frac{1}{t^6}$$

- Distance a $\sqrt{2}_1 = 1,4142 a$: dans ce groupe, les 4 covariances σ_{uw} , et 4 covariances σ_{vivj} (couples $B_1 B_2, B_2 B_3, B_3 B_4$ et $B_4 B_1$). On trouve :

(7) Pour $t < \sqrt{2} = 1.41$:

$$-6 uw = \log a + 0.34657 + 0.0416 t^2 - 0.0042 t^4 + 0.0007 t^6$$

et pour $t > \sqrt{2} = 1.41$

$$(7') \quad -6 uw = \log h - \frac{3}{2} + 4,4428 \frac{1}{t} + \frac{2}{t^2} \log \frac{1}{t} - 2.3069 \frac{1}{t^2} - \frac{1}{3} \frac{1}{t^4} + \frac{2}{15} \frac{1}{t^6}$$

- Distance 2 a.

Dans ce groupe, 2 covariances σ_{vivj} (couples $B_1 B_3$ et $B_2 B_4$) et 4 covariances σ_{wiwj} (couples $C_1 C_2, C_2 C_3, C_3 C_4, C_4 C_1$).

On trouve :

Pour $t < 2$

$$(8) \quad -6_{vivj} = \log a + 0,6931 + 0,0208 t^2 - 0,0010 t^4 + 0,0001 t^6$$

et pour $t > 2$

$$(8') \quad -6_{vivj} = \log h - \frac{3}{2} + 2\pi \frac{1}{t} + \frac{4}{t^2} \log \frac{1}{t} - 3,2274 \frac{1}{t^2} - \frac{4}{3} \frac{1}{t^4} + \frac{16}{15} \frac{1}{t^6}$$

Distance a $\sqrt{5} = 2,24$ a.

Dans ce groupe, 8 covariances 6_{viwj} correspondant aux couples $C_1 B_2, B_1 C_3, C_2 B_3, B_2 C_4, C_4 B_1, B_4 C_2, C_3 B_4, B_3 C_1$. On trouve :

Pour $t < 2,24$

$$(9) \quad -6_{viwj} = \log a + 0,8047 + \frac{1}{60} t^2 - \frac{1}{1500} t^4 + 0,00005 t^6$$

et pour $t > 2,24$

$$(9') \quad -6_{viwj} = \log h - \frac{3}{2} + 7,0237 \frac{1}{t} + \frac{5}{t^2} \log \frac{1}{t} - 3,4764 \frac{1}{t^2} - \frac{25}{12} \frac{1}{t^4} + \frac{25}{12} \frac{1}{t^6}$$

Distance 2 a $\sqrt{2} = 2,82$ a.

Dans ce dernier groupe, les deux covariances 6_{wiwj} correspondant aux couples $C_1 C_3$ et $C_3 C_4$. On trouve :

Pour $t < 2\sqrt{2} = 2,82$.

$$(10) \quad -6_{wiwj} = \log a + 1,0397 + \frac{1}{96} t^2 - 0,00026 t^4 + 0,00001 t^6$$

Pour $t > 2\sqrt{2} = 2,82$

$$(10') \quad -6_{wiwj} = \log h - \frac{3}{2} + 8,8856 \frac{1}{t} + \frac{8}{t^2} \log \frac{1}{t} - 3,6822 \frac{1}{t^2} - \frac{16}{3} \frac{1}{t^4} + \frac{128}{15} \frac{1}{t^6}$$

Pour $t < 0,434$, on pourra utiliser toutes les formules sous la première forme, c'est-à-dire les formules en t . De $0,434$ à $1,98$, on sera dans la zone d'ombre, aucune formule ne pourra être établie. De $1,98$ à $2,82$, on devra se servir de certaines expressions en t et d'autres en $1/t$. Enfin, au delà de $2,82$, toutes les formules à employer seront en $1/t$. Dans ces conditions, il semble plus commode de tabuler les expressions (1) à (10), et de ne plus raisonner ensuite que sur des valeurs numériques. Nous ne ferons exception que pour les formules asymptotiques, correspondant à t très grand ou très petit, qui seront données sous forme explicite. Nous poserons $a = 1$, soit $h = t$, et nous tabulerons ces 10 fonctions pour $t = 0,1, 0.2, 0.3, 0.4 \dots\dots\dots 2, 3, 4, 5, 7$ et 10 . Les valeurs numériques sont représentées sur le tableau I.

II - Exemples de Krigeage à 1 et 2 auréoles.

Nous allons traiter quelques figures particulières de Krigeage, choisies parmi les plus usuelles. Nous désignerons toujours par :

$$\left\{ \begin{array}{l} u \text{ la teneur du sondage central A} \\ v \text{ la " moyenne des sondages B de première auréole (au nombre} \\ \text{de 0, 1, 2, 3 ou 4)} \\ w \text{ la " moyenne des sondages C de deuxième auréole (au nombre} \\ \text{de 0, 1, 2, 3 ou 4)} \end{array} \right.$$

Nous prendrons, pour évaluer la teneur z inconnue du panneau, l'estimateur :

$$(11) \quad z^* = (1 - \lambda - \mu) u + \lambda v + \mu w$$

de sorte que λ représentera toujours le poids des sondages B, μ celui des sondages C et $(1 - \lambda - \mu)$ celui du sondage central A.

Les formules générales du Krigeage à deux auréoles ont été écrites dans la Note n° 3I (formules (1), (2) et (3)). Si l'on pose :

$$(12) \quad \left\{ \begin{array}{l} D_1 = \sigma^2 v + \sigma^2 u - 2 \sigma v u \quad D_2 = \sigma^2 w + \sigma^2 u - 2 \sigma w u \\ N_1 = \sigma^2 u + \sigma v z - \sigma v u - \sigma u z \quad N_2 = \sigma^2 u + \sigma w z - \sigma w u - \sigma u z \\ R = \sigma^2 u + \sigma v w - \sigma v u - \sigma u w \end{array} \right.$$

Les paramètres λ et μ sont les solutions du système linéaire :

$$(13) \quad \begin{array}{l} D_1 \lambda + R \mu = N_1 \\ R \lambda + D_2 \mu = N_2 \end{array}$$

on trouve immédiatement :

$$(14) \quad \lambda = \frac{N_1 D_2 - N_2 R}{D_1 D_2 - R^2} \quad \mu = \frac{N_2 D_1 - N_1 R}{D_1 D_2 - R^2}$$

La variance de Krigeage σ_K^2 est alors donnée par la formule (15) de la note 3I, qui peut s'écrire :

$$(15) \quad \sigma_K^2 = \sigma^2 z - 2 \sigma v u z + \sigma^2 u - \lambda N_1 - \mu N_2 = \sigma^2 E - \lambda N_1 - \mu N_2$$

λ et μ ayant les valeurs (14). Le terme $6^2 E$ n'est autre que la variance d'extension du sondage A dans sa zone d'influence.

Si le Krigeage est à une seule auréole, par exemple une auréole de sondage B on prendra $\mu = 0$, et le système (13) se réduira à :

$$(16) \quad \lambda = \frac{N_1}{D_1}$$

Il est bien entendu que, v et w représentant la moyenne des teneurs de plusieurs sondages B ou plusieurs sondages C, leurs variances et covariances doivent être calculées dans chaque cas de figure, par composition des variances et covariances des v_i et w_j (teneurs d'un seul sondage) données dans le formulaire précédent.

Parmi le très grand nombre des cas de figure possibles, nous choisirons les suivants :

1°/ Krigeage du panneau par le sondage central seul.



Ce n'est pas à proprement parler un Krigeage, puisque l'on fait $\lambda = \mu = 0$ et $1 - \lambda - \mu = 1$. La variance de Krigeage se réduit alors à la variance d'extension $6^2 E$, directement calculable à partir du formulaire général. Ce problème ayant déjà été traité, nous donnons simplement ici les valeurs numériques de $6^2 E$ pour 10 valeurs de t (voir fig.1).

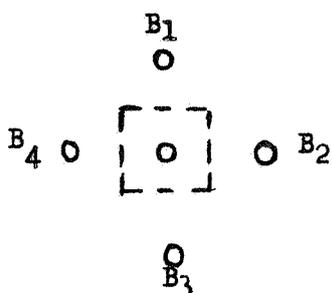
t	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 E$	t	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 E$
0.1	2.49731	3	0.23815
0.2	1.83970	4	0.18133
0.3	1.47933	5	0.14640
0.4	1.24283	7	0.10562
2.0	0.34648	10	0.07452

Les valeurs asymptotiques de $6^2 E$ sont :

$$(17) \quad \begin{cases} \frac{1}{3\alpha} 6^2 E = 0.1777 - \log t & \text{pour } t \text{ petit} \\ \frac{1}{3\alpha} 6^2 E = 0.7584 \frac{1}{t} & \text{pour } t \text{ grand} \end{cases}$$

2°/ Krigeages par quatre sondages de première auréole.

Il s'agit d'un sondage à une auréole. On prend $\mu = 0$, et λ est donné par (16). Mais il convient, auparavant, de calculer $6^2 v$, par :



$$6^2 v = \frac{6^2 v_1}{4} + \frac{6v_1 v_2}{2} + \frac{6v_1 v_3}{4}$$

$6v_1 v_2$ est donné en (7), et $6v_1 v_3$ en (8). En partant dans les formules générales, on trouve les valeurs numériques présentées sur le tableau III, et graphiquement sur la figure 2.

Tableau III					
Krigeage par 4 sondages de première auréole.					
t	λ	$\frac{1}{5\pi} 6^2 K$	t	λ	$\frac{1}{5\pi} 6^2 K$
0.1	0.62270	0.78805	3	0.44557	0.09550
0.2	0.58698	0.61801	4	0.44147	0.07256
0.3	0.56233	0.51619	5	0.43635	0.05936
0.4	0.54400	0.44511	7	0.43268	0.04295
2.0	0.45700	0.13727	10	0.42979	0.03043

Enfin, pour t petit ou grand, on trouve les expressions asymptotiques suivantes : pour t petit :

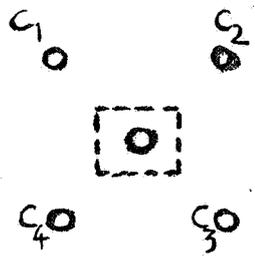
$$(18) \quad \begin{cases} \lambda = \frac{0.4277 - \log t}{1.5284 - \frac{5}{4} \log t} \\ 6^2 K = 0.1777 - \log t - \lambda(0.4277 - \log t) \end{cases}$$

et pour t grand :

$$(19) \quad \begin{cases} \lambda = \frac{1.0549}{2.4910} = 0.424 \\ 6^2 K = 0.7584 \frac{1}{t} - \lambda 1.0549 \frac{1}{t} = 0.312 \frac{1}{t} \end{cases}$$

3°/ Krigeage par quatre sondages de deuxième auréole.

Il s'agit d'un Krigeage à une seule auréole. On prend $\lambda = 0$, et on a $\mu = \frac{N_2}{D_2}$, mais il convient de calculer auparavant



la variance de la teneur moyenne w des quatre sondages C :

$$\sigma^2 w = \frac{1}{4} \sigma^2 w_1 + \frac{1}{2} \sigma w_1 w_2 + \frac{1}{4} \sigma w_1 w_3$$

$\sigma w_1 w_2$ est donné en (8) et $\sigma w_1 w_3$ en (10). En partant dans les formules générales, on obtient les valeurs numériques représentées sur le tableau IV et la figure 3.

TABLEAU IV Krigage par 4 sondages de deuxième auréole					
t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K$	t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K$
0.1	0.56710	0.94051	3	0.34258	0.12612
0.2	0.52367	0.74926	4	0.33359	0.09728
0.3	0.49379	0.63251	5	0.32868	0.07906
0.4	0.47146	0.54972	7	0.32309	0.05744
2.0	0.35747	0.18015	10	0.31911	0.04073

Les valeurs asymptotiques, enfin, ont pour expression lorsque t est petit :

$$(20) \quad \begin{cases} \mu = \frac{0.4277 - \log t}{1.9616 - \frac{1}{2} \log t} \\ \frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K = 0.1777 - \log t - \lambda (0.4277 - \log t) \end{cases}$$

et pour $t = \frac{h}{a}$ grand :

$$(21) \quad \begin{cases} \mu = \frac{1.0926}{3.5226} = 0.31 \\ \frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K = 0.7584 \frac{1}{t} - \lambda \times 1.0926 \frac{1}{t} = 0.418 \frac{1}{t} \end{cases}$$

4°/ Krigage par quatre sondages de première et quatre sondages de deuxième auréole.

Il s'agit cette fois d'un krigage à deux auréoles complètes v et w . Il convient de calculer les variances et covariances de v et w .

$$\begin{array}{ccc}
 C_1^0 & B_1^0 & C_2^0 \\
 & \boxed{0} & \\
 B_4^0 & & B_2^0 \\
 C_4^0 & B_3^0 & C_3^0
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l}
 6^2 v = \frac{1}{4} 6^2 v_1 + \frac{1}{2} 6v_1 v_2 + \frac{1}{4} 6v_1 v_3 \\
 6^2 w = \frac{1}{4} 6^2 w_1 + \frac{1}{2} 6w_1 w_2 + \frac{1}{4} 6w_1 w_3 \\
 6_{vw} = \frac{1}{2} (6v_1 w_1 + 6v_1 w_3)
 \end{array} \right.$$

En portant dans les équations générales, on obtient les valeurs numériques représentées tableau V et figure 4.

TABLEAU V Krigage par deux auréoles complètes							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\kappa} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\kappa} 6^2 K$
0.1	0.41124	0.24872	0.68570	3	0.38555	0.06212	0.09441
0.2	0.40183	0.21478	0.55613	4	0.38660	0.05438	0.072393
0.3	0.39534	0.19158	0.47366	5	0.38746	0.04981	0.058910
0.4	0.39060	0.17431	0.41379	7	0.38829	0.04477	0.04280
2	0.38603	0.07640	0.13497	10	0.38879	0.04126	0.030264

Enfin, on obtient les expressions asymptotiques suivantes :
pour t petit :

$$(22) \left\{ \begin{array}{l}
 \lambda = \frac{(0.4277 - \log t) (0.5173 - \frac{1}{4} \log t)}{0.9121 - 1.4739 \log t + \frac{9}{16} \log^2 t} \\
 \mu = \frac{(0.4277 - \log t) (0.0841 - \frac{1}{4} \log t)}{0.9121 - 1.4739 \log t + \frac{9}{16} \log^2 t} \\
 6^2 K = 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0.4277 - \log t)
 \end{array} \right.$$

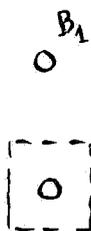
et pour t grand =

$$(23) \left\{ \begin{array}{l}
 \lambda = 0.407 \\
 6^2 K = 0.311 \frac{1}{t} \\
 \mu = 0.017
 \end{array} \right.$$

Il est remarquable que, pour $t = \frac{h}{a}$ grand, μ soit presque nul. En comparant aux formules (19), on voit que le fait de tenir compte de la deuxième auréole ne modifie pratiquement pas la variance de krigeage : pour les grandes puissances, la première auréole fait effet d'écran, et il est inutile de tenir compte d'une deuxième auréole. Mais il n'en est pas de même lorsque la puissance est petite. A la limite, pour t très petit, on a en effet $\lambda = \mu = \frac{4}{9}$. Mais cette limite est atteinte très lentement.

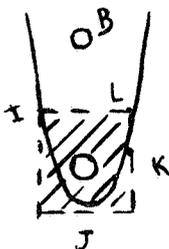
5°/ Krigeage par un sondage de première auréole.

Cette figure, de même que celle que nous examinerons ensuite, pourra se rencontrer, en pratique, dans deux cas différents :



- la maille de sondage n'a pas été complètement réalisée, de sorte que le réseau de reconnaissance présente des lacunes qui ne correspondent nullement à une interruption de la minéralisation : l'existence et la continuité géométrique du gisement sont garanties à l'intérieur du panneau à estimer. Les méthodes de Krigeage sont applicables en toute rigueur.

- le réseau de sondage, au contraire, est complet, mais le panneau à estimer est en bordure du gisement, de sorte qu'un certain nombre de sondages des deux auréoles sont négatifs (sensu stricto), c'est-à-dire tombent en dehors de la formation. L'existence et la continuité de la minéralisation ne sont plus alors garanties à l'intérieur du panneau à estimer. On est dans le cas où les variances d'extension risquent de porter sur le vide... Au problème de Krigeage se superpose - inextricablement lié à lui - un problème géométrique : l'estimation de l'aire réellement minéralisée à l'intérieur de la zone d'influence carrée.



En réalité, on doit en pareil cas (par interpolation graphique, guidée par l'intuition géologique) tracer en premier lieu le contour de la minéralisation, et déterminer ainsi la zone d'influence réelle I J K L du sondage A. Ensuite, il convient de Kriger cette zone IJKL par le sondage A et les sondages environnants positifs disponibles. Mais, comme IJKL ne correspondra en général qu'à une portion du carré

a2 centré sur le sondage A, les coefficients de ce krigeage ne peuvent pas, théoriquement, être calculés par les méthodes exposées ici. Il conviendrait, en principe, de faire un calcul particulier pour chaque aire IJKL. En fait, celà serait beaucoup trop compliqué. On aura le choix entre deux méthodes d'approximation, aussi imparfaites l'une que l'autre.

- La première méthode consiste à admettre que les coefficients de krigeage relatifs à l'aire "réelle" IJKL ont même valeur que les coefficients relatifs au carré a2 complet. Celà revient à attribuer, conventionnellement, à ces coefficients les valeurs calculées d'après les méthodes exposées ici. On voit facilement que, dans le cas de la figure ci-jointe, cette méthode conduit à sous-estimer le poids du sondage B. L'estimateur z^* formé avec ces valeurs des paramètres de krigeage doit être considéré comme un estimateur de la teneur de l'aire IJKL. Autrement dit - si, par exemple, la méthode d'exploitation adoptée conduit à enlever la totalité du panneau carré - la teneur ainsi obtenue doit être salie, par le mélange de l'aire IJKL avec la surface stérile restante du carré, c'est-à-dire que cette teneur doit être multipliée par le facteur : $\frac{\text{Aire IJKL}}{a^2}$

- La deuxième méthode consiste à admettre que l'auréole est complète, et à attribuer la teneur zéro aux sondages négatifs de cette auréole. On krigera alors avec les formules relatives aux auréoles complètes. Il n'est plus nécessaire de procéder à un salissage, puisque le salissage est effectué implicitement en attribuant un poids non nul aux sondages stériles. Il est certain que cette méthode repose sur un sophisme. Les sondages stériles, en effet, sont en dehors du champ géométrique et ne s'intègrent nullement au réseau de corrélation régnant à l'intérieur du gisement. Le Krigeage effectué n'a aucune justification théorique. Il implique une confusion volontaire entre le problème purement géométrique du tracé du contour de la minéralisation et la loi de dispersion intrinsèque de la teneur. On voit, en particulier, que cette méthode conduirait, inversement, à attribuer une teneur non nulle à la zone d'influence d'un sondage stérile, pourvu que l'auréole de celui-ci contienne au moins un sondage positif. Cependant, cette méthode est très commode d'emploi et conduit, en général, à des estimations plutôt prudentes. Si l'on ajoute à celà que la première méthode n'est pas non plus rigoureusement justifiée, et qu'il est d'ailleurs souvent difficile, en pratique, d'avoir une estimation sûre de l'aire minéralisée IJKL, on voit qu'il n'est pas absurde d'utiliser, en pratique,

la deuxième méthode, à condition de ne lui attribuer qu'une signification purement conventionnelle.

Dans le cas où l'on utilise la deuxième méthode, toutes les auréoles sont - par définition - considérées comme complètes, de sorte que les résultats des paragraphes 2°/ et 4°/ permettent de résoudre complètement le problème. Les figures comportant des auréoles incomplètes, que nous allons examiner dans ce paragraphe et dans les suivants, correspondront donc soit au cas d'un réseau de sondages présentant des lacunes fortuites, soit au cas d'un panneau situé en bordure pour lequel on a décidé d'utiliser la première des deux méthodes exposées ci-dessus.

Examinons d'abord le cas où l'on ne dispose que d'un seul sondage de première auréole B. La covariance σ_{uv} étant donnée par (6), on appliquera les formules générales avec $\mu = 0$. Les résultats numériques sont représentés sur le tableau VI et la figure 5.

B
o
[-]
[o]
[A]

TABLEAU VI					
krigeage par un sondage de première auréole					
t	λ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.36085	1.50682	3	0.21133	0.17049
0.2	0.33432	1.14387	4	0.20324	0.13137
0.3	0.31585	0.93835	5	0.19796	0.10691
0.4	0.30183	0.80023	7	0.19138	0.07790
2.0	0.22495	0.24358	10	0.18577	0.05546

Asymptotiquement, on aura pour t petit :

$$(24) \quad \begin{cases} \lambda = \frac{0.4277 - \log t}{3 - 2 \log t} \\ \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.1777 - \log t - \lambda(0.4277 - \log t) \end{cases}$$

Et, pour t grand :

$$(25) \quad \lambda = 0.168 \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.581 \frac{1}{t}$$

6°/ Krigeage par un seul sondage de deuxième auréole.

On fera $\lambda = 0$ dans les équations générales, et on calculera μ par la formule (7). Les résultats numériques sont donnés sur le tableau VII et figure 6.

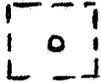


TABLEAU VII					
Krigeage par un seul sondage de deuxième auréole					
t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K$	t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K$
0.1	0.33077	1.58928	3	0.16743	0.18340
0.2	0.30111	1.21270	4	0.15907	0.14125
0.3	0.28074	0.99787	5	0.15358	0.11494
0.4	0.26542	0.85263	7	0.14671	0.08375
2.0	0.18176	0.26194	10	0.141124	0.05958

Asymptotiquement, on aura, pour t petit :

$$(26) \quad \begin{cases} \lambda = \frac{0.4277 - \log t}{3.3466 - 2 \log t} \\ \frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K = 0.1777 - \log t - \lambda (0.4277 - \log t) \end{cases}$$

et pour t grand :

$$(27) \quad \lambda = 0.123 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K = 0.624 \frac{1}{t}$$

7/ Un sondage de première auréole et un sondage de deuxième en position Ortho

On a cette fois une figure de krigeage à 2 auréoles. Les covariances σ_{uv1} , σ_{uw1} et σ_{v1w1} sont données par (6) (7) et (6) respectivement.

En portant dans les équations générales, on obtient les valeurs numériques représentées sur le tableau VIII et la figure 7.

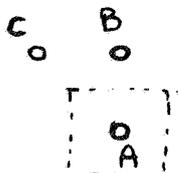


TABLEAU VIII							
Un sondage de première auréole et un sondage de deuxième en position para							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.24806	0.20674	1.24887	3	0.15258	0.09111	0.15950
0.2	0.23132	0.18545	0.97209	4	0.14731	0.08541	0.12360
0.3	0.21955	0.17096	0.81011	5	0.14394	0.08160	0.10097
0.4	0.21053	0.16015	0.69867	7	0.13984	0.07678	0.07392
2.0	0.16142	0.10105	0.22558	10	0.13615	0.07305	0.05282

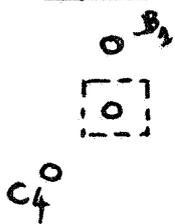
Asymptotiquement, on trouvera pour t petit :

$$(28) \quad \left\{ \begin{aligned} \lambda &= \frac{0.4277 - \log t}{4.3267 - 3 \log t} \\ \mu &= \frac{(0.4277 - \log t) (1.3267 - \log t)}{(1.6733 - \log t) (4.3267 - 3 \log t)} \\ \frac{1}{3\alpha} 6^2 K &= 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0.4277 - \log t) \end{aligned} \right.$$

et pour t très grand :

$$(29) \quad \begin{aligned} \lambda &= 0.117 & \mu &= 0.057 \\ 6^2 K &= 0.572 \frac{1}{t} \end{aligned}$$

8°/ Un sondage de première auréole et un sondage de deuxième en position Para.



Les covariances $6 uv_1$, $6 uw_4$ et $6 v_1 w_4$ sont données en -6-, (7) et (9). En portant dans les équations générales, on obtient les valeurs numériques présentées sur le tableau IX et la figure 8.

TABLEAU IX							
Un sondage de première auréole et un sondage de deuxième en position ortho							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.26178	0.22524	1.16041	3	0.17587	0.13031	0.13923
0.2	0.24482	0.20540	0.90245	4	0.17263	0.12651	0.10689
0.3	0.23520	0.19390	0.74396	5	0.16956	0.12431	0.08711
0.4	0.22680	0.18455	0.63894	7	0.16667	0.12155	0.06337
2.0	0.18279	0.13703	0.19907	10	0.16439	0.11935	0.04527

Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$(30) \quad \left\{ \begin{aligned} \lambda &= \frac{(0.4277 - \log t)(2.3047 - \log t)}{(3 - 2 \log t)(3.3466 - 2 \log t) - (1.0419 - \log t)^2} \\ \mu &= \frac{(0.4277 - \log t)(1.9581 - \log t)}{(3 - 2 \log t)(3.3466 - 2 \log t) - (1.0419 - \log t)^2} \\ \frac{1}{3\alpha} 6^2 K &= \frac{1}{3\alpha} 6^2 E - (\lambda + \mu)(0.4277 - \log t) \end{aligned} \right.$$

Et, pour t grand :

$$(31) \quad \lambda = 0.159 \quad \mu = 0.111 \quad 6^2 K = 0.468 \frac{1}{t}$$

9°/ Deux sondages de première auréole en équerre.

$\circ B_1$ C'est un Krigeage à une seule auréole. Il faudra tout d'abord calculer la variance de $\frac{v_1 + v_4}{2} = v$, soit

$B_{40} \quad \begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array}$ $6^2 v = \frac{1}{2} 6^2 v_1 + \frac{1}{2} 6 v_1 v_4$

En reportant dans les équations générales, on obtient les valeurs numériques du tableau X et de la figure 9.

TABLEAU X					
Deux sondages de première auréole en équerre					
t	λ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.49618	1.13533	3	0.31186	0.13832
0.2	0.46286	0.87634	4	0.30316	0.10657
0.3	0.43967	0.72628	5	0.29590	0.08738
0.4	0.42214	0.62380	7	0.28795	0.063925
2.0	0.32807	0.19629	10	0.28132	0.04566

Asymptotiquement, on trouvera pour t petit :

$$(32) \quad \lambda = \frac{0.4277 - \log t}{2.0767 - \frac{3}{2} \log t} \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.1777 - \log t - \lambda(0.4277 - \log t)$$

et, pour t grand :

$$(33) \quad \lambda = \frac{1.0549}{4.0618} = 0.26 \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.484 \frac{1}{t}$$

On notera que cette figure de Krigeage est moins bonne que celle du 8°, mais meilleure que celle du 7°/.

10°/ Deux sondages de première auréole en équerre, et un sondage de deuxième auréole en position intérieure.

Les paramètres N_1 et D_1 ont mêmes valeurs qu'en 9°/, N_2 et D_2

C_1 B_1 qu'en 6°/ et R qu'en 7°/.

En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XI et la figure 10.

B_4 \square

TABLEAU XI							
Deux sondages B en équerre et un sondage C en position Intra							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.39694	0.13230	1.04454	3	0.29096	0.02194	0.13782
0.2	0.37581	0.11320	0.82179	4	0.28893	0.01461	0.10640
0.3	0.36113	0.10018	0.68900	5	0.28488	0.01114	0.08729
0.4	0.35009	0.09037	0.59661	7	0.28258	0.005414	0.06388
2.0	0.29806	0.03274	0.19481	10	0.28050	0.00079	0.04566

Asymptotiquement, on obtient pour t petit :

$$(34) \quad \left\{ \begin{aligned} \lambda &= \frac{0.4277 - \log t}{2.4801 - 2 \log t} \\ \mu &= \frac{(0.4277 - \log t) (0.4034 - \frac{1}{2} \log t)}{(1.6733 - \log t) (2.4801 - 2 \log t)} \\ \frac{1}{3\alpha} 6^2 K &= 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0.4277 - \log t) \end{aligned} \right.$$

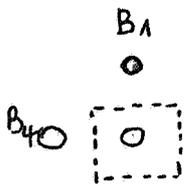
Et, pour t grand :

$$(35) \quad \lambda = 0.276 \quad \mu = -0.015 \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.484 \frac{1}{t}$$

En comparant (33) et (35), on remarquera que le sondage C n'apporte aucune amélioration sensible: les deux sondages B en équerre font écran au sondage C en position intérieure, au moins lorsque la puissance est grande, exactement comme dans le cas des auréoles complètes du 4°/.

II°/ Deux sondages de première auréole en équerre et un sondage de deuxième auréole en position diamétrale.

Les paramètres N_1 , D_1 , N_2 et D_2 ont mêmes valeurs qu'au I°/ et R a même valeur qu'en 8°. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XII et la figure 11.



○ C₃

TABLEAU XII							
Deux sondages B en équerre et un sondage C diamétral							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.39161	0.17291	0.94772	3	0.26728	0.11101	0.11618
0.2	0.36863	0.15955	0.74023	4	0.26294	0.10946	0.08891
0.3	0.35248	0.15060	0.61735	5	0.25870	0.10893	0.07248
0.4	0.34021	0.14411	0.53209	7	0.25493	0.10822	0.05257
2.0	0.27692	0.11400	0.16669	10	0.25207	0.10779	0.03726

Asymptotiquement, on obtient, pour t petit :

$$\lambda = \frac{(0.4277 - \log t)(2.3047 - \log t)}{(2.0767 - \frac{3}{2} \log t)(3.3466 - 2 \log t) - (1.6733 - \log t)^2}$$

$$\mu = \frac{(0.4277 - \log t)(1.0348 - \frac{1}{2} \log t)}{(2.0767 - \frac{3}{2} \log t)(3.3466 - 2 \log t) - (1.6733 - \log t)^2}$$

(36)

$$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu)(0.4277 - \log t)$$

et pour t grand :

$$(37) \quad \lambda = 0.246 \quad \mu = 0.108 \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.380 \frac{1}{t}$$

I2°/ Deux sondages de première auréole en opposition.

Pour résoudre ce krigeage à une auréole, on calculera d'abord la variance de $v = \frac{1}{2}(v_1 + v_3)$

$$6^2 v = \frac{1}{2} 6^2 v_1 + \frac{1}{2} 6v_1 v_3$$

La covariance $6v_1 v_3$ est donnée en (8). En portant dans les équations générales on obtient les résultats numériques qui figurent sur le tableau XIII et la figure 12.



t	λ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K$	t	λ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K$
0.1	0.51222	1.09132	3	0.35626	0.12410
0.2	0.48136	0.83784	4	0.35197	0.09453
0.3	0.46001	0.69144	5	0.34773	0.07704
0.4	0.44407	0.59165	7	0.34417	0.055784
2.0	0.36693	0.17850	10	0.34158	0.03948

Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$(38) \quad \lambda = \frac{0.4277 - \log t}{1.9034 - \frac{3}{2} \log t} \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K = 0.1777 - \log t - \lambda(0.4277 - \log t)$$

et, pour t grand :

$$(39) \quad \lambda = \frac{1.0549}{3.1416} = 0.336 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K = 0.404 \frac{1}{t}$$

I3°/ Deux sondages de deuxième auréole en quadrature.

C'est un krigeage à une auréole. On calculera la variance de $w = \frac{1}{2} (w_1 + w_2)$

$$\sigma^2_w = \frac{1}{2} \sigma^2_{w_1} + \frac{1}{2} \sigma_{w_1 w_2}$$

et on portera dans les équations générales, d'où le tableau XIV et la figure I3.

t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K$	t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K$
0.1	0.45365	1.25196	3	0.24461	0.15816
0.2	0.41532	0.97488	4	0.23435	0.12218
0.3	0.38895	0.81230	5	0.22763	0.09977
0.4	0.36913	0.70016	7	0.21924	0.07294
2.0	0.26226	0.22451	10	0.21216	0.05202

C_1
o

C_2
o



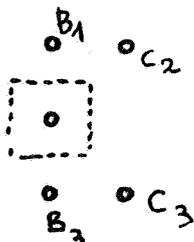
Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$(40) \quad \mu = \frac{0.4277 - \log t}{2.5966 - \frac{3}{2} \log t} \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K = 0.1777 - \log t - \mu (0.4277 - \log t)$$

et, pour t grand :

$$(41) \quad \mu = \frac{1.0926}{5.7440} = 0.191 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K = 0.550 \frac{1}{t}$$

I4°/ Deux sondages B et deux sondages C en positions parallèles.



Dans ce krigeage à deux auréoles, on aura N_1 et D_1 comme au I2°/ - puisque B_1 et B_3 sont en opposition, et N_2 et D_2 comme au N° I3°/, puisque C_2 et C_3 sont en quadrature. Il reste à calculer le terme rectangle R. On peut remarquer que la covariance 6_{vw} prend la valeur $\frac{1}{2} (6_{v_1w_2} + \frac{1}{2} 6_{v_3w_2})$, et par suite que R prend une valeur égale à la moyenne des valeurs relatives au 7°/ et au 8°/. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau I5 et la figure I4.

t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K$
0.1	0.34391	0.24062	0.89275	0.3	0.27937	0.09949	0.11618
0.2	0.32997	0.21415	0.70700	4	0.27830	0.093172	0.08945
0.3	0.32012	0.19620	0.59458	5	0.27813	0.088999	0.07269
0.4	0.31269	0.18288	0.51544	7	0.27822	0.08389	0.05283
2.0	0.28260	0.11043	0.16575	10	0.278440	0.07998	0.03749

Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$(42) \quad \lambda = \frac{(0.4277 - \log t) (1.2390 - \frac{1}{2} \log t)}{(1.9034 - \frac{3}{2} \log t) (2.5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1.3576 - \log t)^2}$$

$$\mu = \frac{(0.4277 - \log t) (0.5458 - \frac{1}{2} \log t)}{(1.9034 - \frac{3}{2} \log t) (2.5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1.3576 - \log t)^2}$$

$$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K = 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0.4277 - \log t)$$

et, pour t grand :

$$(43) \quad \lambda = 0.282 \quad \mu = 0.068 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2_K = 0.387 \frac{1}{t}$$

On notera, en comparant (43) avec (39), que les deux sondages de deuxième auréole

n'apportent, lorsque la puissance est grande, qu'une amélioration très faible (5% de la variance) relativement aux deux sondages de première auréole. Il y a un effet d'écran presque total.

15°/ Deux sondages de deuxième auréole en opposition.

Pour ce krigeage à une seule auréole, on calculera d'abord la variance de $w = \frac{w_1 + w_3}{2}$, soit:

$$\sigma^2 w = \frac{1}{2} \sigma^2 w_1 + \frac{1}{2} \sigma w_1 w_2$$

On porte dans les formules générales, et on obtient le tableau XVI et la figure I5.

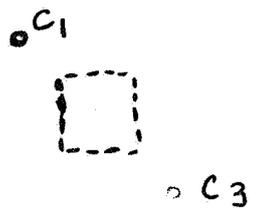


TABLEAU XVI					
Deux sondages de deuxième auréole en opposition					
t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K$	t	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K$
0.1	0.46702	1.21526	3	0.27514	0.14818
0.2	0.43017	0.94376	4	0.26684	0.11409
0.3	0.40482	0.78509	5	0.26246	0.09263
0.4	0.38585	0.67558	7	0.25750	0.06724
2.0	0.28762	0.21271	10	0.25406	0.04762

Asymptotiquement, on obtient pour t petit :

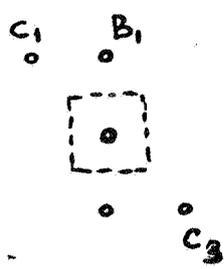
$$(44) \quad \mu = \frac{0.4277 - \log t}{2.4233 - \frac{3}{2} \log t} \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K = 0.777 - \log t - \lambda (0.4277 - \log t)$$

et pour t grand :

$$(45) \quad \mu = \frac{1.0926}{4.4428} = 0.246 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma^2 K = 0.488 \frac{1}{t}$$

16°/ Deux sondages B et deux sondages C en position antiparallèle.

N_1 et D_1 ont mêmes valeurs qu'au 12°/, N_2 et D_2 mêmes valeurs qu'au 15°/ et R a même valeur qu'au 14°/. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XVII et la figure XVI.



.../...

TABLEAU XVII

Deux sondages B et deux sondages C en position antiparallèle

t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.33496	0.25345	0.88210	3	0.26188	0.12214	0.11437
0.2	0.32019	0.22798	0.69855	4	0.26004	0.11664	0.08802
0.3	0.30980	0.21067	0.58743	5	0.25879	0.11373	0.07148
0.4	0.30192	0.19787	0.50920	7	0.25733	0.11047	0.05189
2.0	0.26777	0.12985	0.16350	10	0.25597	0.10846	0.03678

Asymptotiquement, on obtient pour t petit :

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{(0.4277 - \log t) (1.0657 - \frac{1}{2} \log t)}{(1.0934 - \frac{3}{2} \log t) (2.4233 - \frac{3}{2} \log t) - (1.3576 - \log t)^2} \\
 \mu &= \frac{(0.4277 - \log t) (0.5458 - \frac{1}{2} \log t)}{(1.0934 - \frac{3}{2} \log t) (2.4233 - \frac{3}{2} \log t) - (1.3576 - \log t)^2} \\
 \frac{1}{3\alpha} 6^2 K &= 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0.4277 - \log t)
 \end{aligned}
 \tag{46}$$

et pour t grand :

$$\lambda = 0.254 \quad \mu = 0.103 \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.378 \frac{1}{t}
 \tag{47}$$

En comparant avec (43), on notera que la variance est à peine meilleure : aux grandes puissances, le schéma antiparallèle est à peine supérieur au schéma parallèle, mais le coefficient u ayant une valeur notable, il n'y a pas d'effet d'écran.

17°/ Quatre sondages B et deux sondages C en opposition.

Par raison de symétrie, nous avons encore là une figure de krigeage à deux auréoles seulement. N_1 et D_1 auront mêmes valeurs qu'au 2°, N_2 et D_2 même valeur qu'au 15° et le terme rectangle R même valeur qu'en 16°. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XVIII et la figure 17.

.../...

TABLEAU XVIII							
Quatre sondages B et deux sondages C en opposition							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} 6^2 K$
0.1	0.49273	0.15288	0.72514	3	0.41269	0.03402	0.09490
0.2	0.47437	0.13061	0.58041	4	0.41095	0.02947	0.07289
0.3	0.46165	0.11551	0.49055	5	0.41006	0.02680	0.05911
0.4	0.45221	0.10426	0.42643	7	0.40899	0.02383	0.04285
2.0	0.41778	0.04146	0.13594	10	0.40791	0.02197	0.03035

Asymptotiquement, on trouvera pour t petit :

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{(0.4277 - \log t) (1.0657 - \frac{1}{2} \log t)}{(1.5284 - \frac{5}{4} \log t) (2.4233 - \frac{3}{2} \log t) - (1.3576 - \log t)} \\
 \mu &= \frac{(0.4277 - \log t) (0.1708 - \frac{1}{4} \log t)}{(1.5284 - \frac{5}{4} \log t) (2.4233 - \frac{3}{2} \log t) - (1.3576 - \log t)} \\
 \frac{1}{3\alpha} 6^2 K &= 0.1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0.4277 - \log t)
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

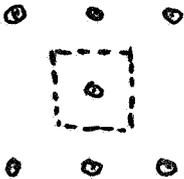
et pour t grand :

$$\lambda = 0.410 \quad \mu = 0.017 \quad \frac{1}{3\alpha} 6^2 K = 0.310 \frac{1}{t}
 \tag{49}$$

On voit, par comparaison avec (19), que l'effet d'écran est total.

18°/ Deux sondages B en opposition et quatre sondages C.

On donnera à N_1 et D_1 les valeurs de 12°/, à N_2 et D_2 celles de 3°/ et à R celles de 14°/. En portant dans les équations générales, on obtiendra le tableau XIX et la figure 18.



.../...

TABLEAU XIX							
Deux sondages B en opposition et quatre sondages C							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$
0.1	0.25213	0.37191	0.78428	3	0.20905	0.19050	0.10893
0.2	0.24346	0.33652	0.63224	4	0.20815	0.18328	0.08399
0.3	0.23722	0.31245	0.53719	5	0.20746	0.17937	0.06827
0.4	0.23237	0.29468	0.46886	7	0.20653	0.17509	0.04961
2.0	0.21296	0.20161	0.15522	10	0.20552	0.17192	0.03523

Asymptotiquement, on trouve pour t petit:

(50)
$$\lambda = \frac{(0,4277 - \log t) (0,6040 - \frac{1}{4} \log t)}{(1,9034 - \frac{3}{2} \log t) (1,9616 - \frac{5}{4} \log t) - (1,3576 - \log t)^2}$$

$$\mu = \frac{(0,4277 - \log t)(0,5458 - \frac{1}{2} \log t)}{(1,9034 - \frac{3}{2} \log t) (1,9616 - \frac{5}{4} \log t) - (1,3576 - \log t)^2}$$

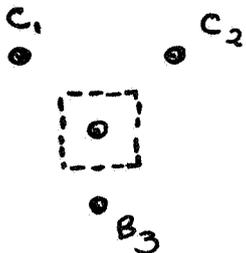
$$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,1777 - \log t - (\lambda - \mu) (0,4277 - \log t)$$

Et pour t grand :

(51) $\lambda = 0,204 \quad \mu = 0,144 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,386 \frac{1}{t}$

On peut voir par comparaison avec (39) qu'aux grandes puissances les quatre sondages C n'apportent qu'une amélioration assez faible. Mais la valeur de μ est notable, et il n'y a pas du tout effet d'écran.

19°/ Deux sondages C en quadrature et un sondage B opposé



N_1 et D_1 prendront les valeurs du 5°, N_2 et D_2 celles du 13° et R celle du 8°. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XX et la figure 19.

.../.

TABLEAU XX							
Deux sondages C en quadrature et un sondage B opposé.							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$
0.1	0.23116	0.33580	0.99037	3	0.15803	0.19588	0.12350
0.2	0.20303	0.30778	0.77624	4	0.15605	0.19098	0.09485
0.3	0.19572	0.28883	0.64878	5	0.15501	0.18798	0.07657
0.4	0.19009	0.27487	0.55968	7	0.15390	0.18453	0.05583
2	0.16184	0.20512	0.17699	10	0.15311	0.18204	0.03953

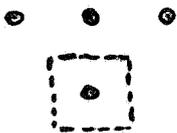
Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$\begin{aligned}
 (52) \quad \lambda &= \frac{(0,4277 - \log t) (1,5547 - \frac{1}{2} \log t)}{(3 - 2 \log t) (2,5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1,0419 - \log t)^2} \\
 \mu &= \frac{(0,4277 - \log t) (1,9581 - \log t)}{(3 - 2 \log t) (2,5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1,0419 - \log t)^2} \\
 \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 &= 0,1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0,4277 - \log t)
 \end{aligned}$$

Et pour t grand :

$$\lambda = 0,152 \quad \mu = 0,175 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,406 \frac{1}{t}$$

20°/ Deux sondages C en quadrature et un sondage B intercalaire



N_1 et D_1 , N_2 et D_2 prennent même valeur qu'en 19°. Le terme rectangle R prend la valeur du 7°. En portant dans les formules générales, on obtient le tableau XXI et la figure 20.

.../.

TABLEAU XXI							
Trois sondages C B C en ligne.							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$
0.1	0.18113	0.32944	1.09574	3	0.10140	0.17054	0.14992
0.2	0.16800	0.29936	0.86668	4	0.09616	0.16352	0.11649
0.3	0.15869	0.27902	0.72902	5	0.09281	0.15885	0.09534
0.4	0.15143	0.26383	0.63290	7	0.08854	0.15311	0.06997
2	0.10994	0.18294	0.21100	10	0.08482	0.14861	0.05008

Asymptotiquement, on trouvera pour t petit :

$$\begin{aligned}
 (54) \quad \left\{ \begin{aligned}
 \lambda &= \frac{(0,4277 - \log t) (0,9233 - \frac{1}{2} \log t)}{(3 - 2 \log t) (2,5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1,6733 - \log t)^2} \\
 \mu &= \frac{(0,4277 - \log t) (1,3267 - \log t)}{(3 - 2 \log t) (2,5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1,6733 - \log t)^2} \\
 \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 &= 0,1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0,4277 - \log t)
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Et pour t grand :

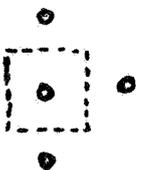
$$(55) \quad \lambda = 0,073 \quad \mu = 0,133 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,536 \frac{1}{t}$$

21°/ Trois sondages B

Bien que les trois sondages B appartiennent à la "première auréole", au sens géographique, ils ne jouent pas ici des rôles symétriques, et il s'agit en fait d'un krigeage à deux auréoles. On désignera par :

$$v = \frac{v_1 + v_3}{2} \quad \text{et} \quad v' = v_2$$

.../.



les teneurs de ces deux auréoles, et on leur attribuera les poids λ et λ' :

$$z = (1 - \lambda - \lambda') u + \lambda v + \lambda' v'$$

Cette notation exceptionnelle (λ' au lieu de μ) étant destinée à rappeler que le sondage B_2 appartient à la première auréole géographique, et non à la deuxième. N et D prennent les valeurs de N_1 et D_1 au 12°/, N' et D' celles de N_1 et D_1 au 5°/, et R doit être calculé à part :

$$R = \sigma_u^2 + \sigma_{v_1}^2 v_2 - 2 \sigma_{uv}$$

En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XXII et la figure 21.

TABLEAU XXII							
Trois sondages B, considérés comme figure de krigeage à deux auréoles							
t	λ	λ'	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$	t	λ	λ'	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$
0.1	0.39533	0.18112	0.91500	3	0.29178	0.10764	0.11028
0.2	0.37371	0.16817	0.71074	4	0.28922	0.10342	0.08482
0.3	0.35878	0.15915	0.59222	5	0.28799	0.10061	0.06888
0.4	0.34771	0.15232	0.50959	7	0.28679	0.097027	0.05004
2	0.29761	0.11443	0.15785	10	0.28615	0.09399	0.03552

Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$(56) \left\{ \begin{aligned} \lambda &= \frac{(0,4277 - \log t) (1,8466 - \log t)}{(3 - 2 \log t) (1,9034 - \frac{3}{2} \log t) - (1,1534 - \log t)^2} \\ \lambda' &= \frac{(0,4277 - \log t) (0,7500 - \log t)}{(3 - 2 \log t) (1,9034 - \frac{3}{2} \log t) - (1,1534 - \log t)^2} \\ \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 &= 0,1777 - \log t - (\lambda + \lambda') (0,4277 - \log t) \end{aligned} \right.$$

Et pour t grand :

$$\lambda = 0,286 \quad \lambda' = 0,084 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,367 \frac{1}{t}$$

On voit qu'aux grandes puissances le poids 0,143, accordé à chacun des sondages B_1 et B_3 , est notablement plus grand que le poids 0,084 attribué à B_2 . La raison en est que B_1 et B_3 , outre leur influence propre, héritent de celle du sondage manquant B_4 . On appréciera, en comparant (57) avec (39), le gain relativement faible qu'apporte le sondage B_2 .

On aurait pu cependant - pour des raisons de commodités - décider à priori d'accorder le même poids aux trois sondages B_1, B_2, B_3 , c'est-à-dire prendre la moyenne arithmétique $v = \frac{1}{3} (v_1 + v_2 + v_3)$, et faire une pondération du type :

$$z = (1 - \lambda) u + \lambda v$$

c'est-à-dire un krigeage à une seule auréole. On doit s'attendre, de cette façon, à perdre de l'information. On doit calculer spécialement la variance :

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{3} \sigma_{v_1}^2 + \frac{4}{9} \sigma_{v_1 v_2} + \frac{2}{9} \sigma_{v_1 v_3}$$

et porter dans les équations générales. On obtient ainsi les valeurs numériques représentées sur le tableau XXII bis et la figure 21 bis.

TABLEAU XXII bis					
Trois sondages B considérés comme figure de krigeage à une seule auréole.					
t	λ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$	t	λ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$
0.1	0.57624	0.91558	3	0.39671	0.11114
0.2	0.54151	0.71265	4	0.38936	0.08562
0.3	0.51746	0.59304	5	0.38486	0.06963
0.4	0.49947	0.510412	7	0.37937	0.05068
2	0.41002	0.15877	10	0,375	0.03605

Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

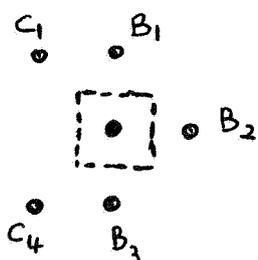
$$(58) \quad \lambda = \frac{0,4277 - \log t}{1,6919 - \frac{4}{3} \log t} \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,1777 - \log t - \lambda(0,4277 - \log t)$$

Et pour t grand :

$$(59) \quad \lambda = \frac{1,0549}{2,9124} = 0,353 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,386 \frac{1}{t}$$

En comparant (57) et (59), on peut voir que la perte d'information, imputable au groupement des trois sondages dans une auréole unique, est sensible (0,386 au lieu de 0,367 pour les variances aux grandes puissances), mais non catastrophique.

22°/ Trois sondages B et deux sondages C complémentaires



Par le mot complémentaire, nous indiquons que les deux sondages C_1 C_2 ne sont pas soumis à un effet d'écran par B_1 B_2 et B_3 , et apportent un véritable complément d'information. En principe, c'est là une figure de krigeage à trois auréoles. Pour nous ramener à deux auréoles seulement, nous grouperons en un seul terme v les trois sondages B appartenant à la "première auréole" géographique. Cette approximation est certainement mieux justifiée ici qu'au paragraphe précédent, puisque les deux sondages C_1 et C_4 , remplaçant dans une certaine mesure le sondage manquant B_4 , vont réduire l'influence excédentaire de B_1 et B_3 , et par la suite réaliser une symétrie approximative entre B_1 B_2 et B_3 .

Les paramètres N_1 et D_1 ont même valeur qu'en 21°/ (B_1 B_2 et B_3 étant considérés comme constituant une même auréole), N_2 et D_2 ont même valeur qu'en 14°/. Le terme rectangle B s'obtient en pondérant par $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$ respectivement les valeurs de R en 7°/ et 8°/. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XXIII et la figure 22.

.../.

TABLEAU XXIII									
Trois sondages B et deux sondages C complémentaires.									
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha}$	$\frac{2}{\sigma_K}$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha}$	$\frac{2}{\sigma_K}$
0.1	0.42432	0.20027	0.78238		3	0.32247	0.09980	0.10228	
0.2	0.40540	0.17897	0.62325		4	0.31790	0.09739	0.07865	
0.3	0.39190	0.16481	0.52546		5	0.31526	0.09599	0.06385	
0.4	0.38157	0.15454	0.45609		7	0.31208	0.09455	0.04643	
2	0.33006	0.10579	0.14607		10	0.30950	0.09378	0.03384	

Asymptotiquement, on obtient pour t petit :

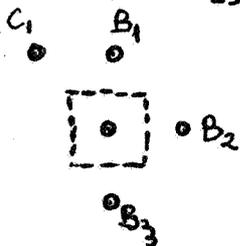
$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{(0,4277 - \log t) (1,3442 - \frac{1}{2} \log t)}{(1,6919 - \frac{4}{3} \log t) (2,5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1,2524 - \log t)^2} \\
 \mu &= \frac{(0,4277 - \log t) (0,4395 - \frac{1}{3} \log t)}{(1,6919 - \frac{4}{3} \log t) (2,5966 - \frac{3}{2} \log t) - (1,2524 - \log t)^2} \\
 \frac{1}{3\alpha} \frac{2}{\sigma_K} &= 0,1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0,4277 - \log t)
 \end{aligned}
 \tag{60}$$

Et pour t grand :

$$\lambda = 0,304 \quad \mu = 0,092 \quad \frac{1}{3\alpha} \frac{2}{\sigma_K} = 0,337 \frac{1}{t}
 \tag{61}$$

En comparant (61) avec (19), on voit que la configuration 22°/ n'est que légèrement moins bonne qu'une auréole B complète. On notera aussi les valeurs asymptotiques (61), qui reviennent en gros à attribuer le poids $\frac{1}{10}$ à chacun des trois sondages B et le poids $\frac{1}{10}$ également aux deux sondages C pris ensemble, et qui peuvent être considérés comme remplaçant à eux deux le sondage B₄ manquant.

23°/ Trois sondages B et un sondage C complémentaire



Cette figure est complètement dissymétrique, et relève en principe d'un krigeage à quatre auréoles. Nous grouperons B₁ B₂ et B₃ dans un même terme v, de manière à nous ramener à deux auréoles seulement. L'approximation est faite ici .../.

dans de moins bonnes conditions qu'au paragraphe précédent, et doit probablement entraîner une perte d'information plus importante. N_1 , D_1 et R ont mêmes valeurs qu'en 22°, N_2 et D_2 prennent les valeurs du 6°. En portant dans les équations générales, on obtient le tableau XXIV et la figure 23.

TABLEAU XXIV							
Trois sondages B et un sondage C complémentaire.							
t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$	t	λ	μ	$\frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2$
0.1	0.48576	0.11917	0.83652	3	0.35284	0.05897	0.10591
0.2	0.46056	0.10644	0.65948	4	0.34713	0.05756	0.08150
0.3	0.44286	0.09792	0.55289	5	0.34371	0.05674	0.06621
0.4	0.42947	0.09100	0.47317	7	0.33958	0.05592	0.048114
2	0.36275	0.06254	0.15126	10	0.33625	0.05548	0.034150

Asymptotiquement, on trouve pour t petit :

$$(62) \begin{cases} \lambda = \frac{(0,4277 - \log t) (2,0942 - \log t)}{(1,6919 - \frac{4}{3} \log t) (3,3466 - 2 \log t) - (1,2524 - \log t)^2} \\ \mu = \frac{(0,4277 - \log t) (0,4395 - \frac{1}{3} \log t)}{(1,6919 - \frac{4}{3} \log t) (3,3466 - 2 \log t) - (1,2524 - \log t)^2} \\ \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,1777 - \log t - (\lambda + \mu) (0,4277 - \log t) \end{cases}$$

Et pour t grand :

$$(63) \quad \lambda = 0,324 \quad \mu = 0,053 \quad \frac{1}{3\alpha} \sigma_K^2 = 0,359 \frac{1}{t}$$

On notera cette observation intéressante : en comparant (63) et (57), on voit que le sondage complémentaire C, n'apporte qu'un très faible complément d'information vis-à-vis des trois sondages B considérés comme constituant deux auréoles. Par contre, ce complément devient appréciable si l'on se borne à grouper les trois sondages B dans une auréole unique, comme on le voit en se reportant à (59).

.../.

III.- REPertoire des CONFIGURATIONS de KRIGEAGE -

Les 23 configurations étudiées ne représentent qu'un peu moins de la moitié de l'ensemble des configurations possibles, au nombre de 51. Elles correspondent aux cas les plus intéressants en pratique. D'autre part, l'effet d'écran permet - sauf pour les très petites valeurs de t - de supprimer certains sondages C, et de cette façon, 11 configurations non traitées se ramènent à des cas étudiés, de sorte qu'il ne reste que 17 configurations, qui sont en général les moins intéressantes, pour lesquelles le krigeage n'a pas été traité.

Le répertoire ci-joint contient deux colonnes, qui se correspondent par dualité en B et C. Il est divisé en sections indiquant le nombre de sondages B et de sondages C utilisés : par exemple $nB pC$ représente la section contenant toutes les configurations à n sondages B et p sondages C. Par dualité, l'autre colonne contient, en face, la colonne $pB nC$. Chaque configuration est caractérisée par un symbole qui se lit de lui-même : par exemple :

- O -
- O -
O - O

représente la configuration contenant le sondage central A, le sondage B_1 et les deux sondages C_3 et C_4 . Le signe O représente un sondage disponible, et le signe - un sondage absent.

Pour chaque configuration, on indique la mention "non traité", par abréviation NT, "traité paragraphe 14°/", par abréviation 14°/, ou, éventuellement, "par effet d'écran, se ramène à 14°/", soit, par abréviation Ec. 14°/.

*
* *
*

Le repertoire ci joint contient deux colonnes, qui se correspondent par dualité en B et C. Il est divisé en sections indiquant le nombre de sondages B et de sondages C utilisés: par exemple. n B p C représente la section contenant toutes les configurations à n sondages B et p sondages C. Par dualité, l'autre colonne contient, en face, la colonne p B n C. Chaque configuration est caractérisée par un symbole qui se lit de lui même: par exemple:

~~---~~ - 0 -
 - 0 -
 0 - 0

représente la configuration contenant le sondage central A, le sondage B₁ et les deux sondages C₃ et C₄. Le signe 0 représente un sondage indisponible, et le signe - un sondage absent.

Pour chaque configuration, on indique la mention, "non traité", par abréviation NT, "traité paragraphe 14%", par abréviation 14%, ou, éventuellement, "l'effet d'écran, se ramène à 14%", soit, par abréviation Ec. 14%

Repertoire des Configurations

<p><u>Section 0B-0C</u></p> <p>- - - - 0 - - - -</p> <p>10%</p>	<p><u>Section 1B-0C</u></p> <p>- 0 - - 0 - - - -</p> <p>5%</p>	<p><u>Section 0B-1C</u></p> <p>0 - - - 0 - - - -</p> <p>6%</p>
---	--	--

Section 2 B-0C

-	0	-	
-	0	0	9%
-	-	-	
-	0	-	
-	0	-	12%
-	0	-	

Section 0 B-2 C

0	-	0	13%
-	0	-	
-	-	-	
0	-	-	
-	0	-	15%
-	-	0	

Section 1 B-1 C

-	0	-	
-	0	-	8%
-	-	0	

-	0	0	7%
-	0	-	
-	-	-	

Section 3 B-0C

-	0	-	
-	0	0	21%
-	0	-	

Section 0 B-3 C

0	-	0	NT
-	0	-	
0	-	-	

Section 2 B-1 C

0	0	-	NT
-	0	-	
-	0	-	

Section 1 B-2 C

0	0	-	NT
-	0	-	
-	-	0	

-	0	0	10%
-	0	0	E = 9%
-	-	-	

0	0	0	20%
-	0	-	
-	-	-	

0	0	-	NT
-	0	0	
-	-	-	

0	-	0	NT
0	0	-	
-	-	-	

-	0	-	
-	0	0	11%
0	-	-	

0	-	0	
-	0	-	19%
-	0	-	

Section 4B-0C

0 0 -
0 0 0
- 0 -

2%

Section 0B-4C

0 - 0
- 0 -
0 - 0

3%

Section 3B-1C

0 0 -
- 0 0
- 0 -

23%

Section 1B-3C

0 - 0
- 0 0
0 - -

NT

- 0 0
- 0 0
- 0 -

NT
Ec 21%

0 0
0 0
0

NT

Section 2B-2C

0 0 -
- 0 -
0 0 -

14%

0 0 -
- 0 0
- - 0

NT

0 0 -
- 0 -
- 0 0

16%

0 0 -
0 0 -
- - 0

NT
Ec. 11%

0 0 0
- 0 -
- 0 -

NT

0 0 -
- 0 0
0 - -

NT

- 0 0
- 0 0
- - 0

NT

Section 4B-3C

0 0 -
0 0 0
- 0 -

NT
Ec. 1%

Section 1B-4C

0 0 0
- 0 -
0 - 0

NT

Section 3B-2C

0 0 -
- 0 0
0 0 -

22%

0 0 0
- 0 0
- 0 -

NT
Ec 23%

0 0 -
- 0 0
- 0 0

NT
Ec 23%

- 0 0
- 0 0
- 0 0

NT
Ec 21%

Section 2B-2C

0 - 0
0 0 -
- 0 0

NT

0 0 0
0 0 -
- - 0

NT

0 - 0
0 0 0
- - 0

NT

0 0 0
0 0 0
0

NT

Section 4B-2C

0 0 0
0 0 0
0

NT
Ec 29%

0 0
0 0 0
0 0

17%
Ec 29%

Section 2B-4C

0 0 0
0 0
0 0

NT

0 0 0
0
0 0 0

18%

Section 3B-2C

0 - 0
0 0 0
0 0 -

NT
Ec 22%

Section 3B-3C

0 - -
0 0 0
0 0 0

NT
Ec 23%

Section 4B-3C

- 0 0
0 0 0
0 0 0

NT
Ec 29%

Section 4C-3A

0 - 0
0 0 0
0 0 0

NT
Ec 22%

Section 4B-4C

000 40/
000 Ec. 20
000

On trouvera ci-après, en annexe, le memento ayant servi au calcul numérique des 23 configurations traitées.



Ann

Annexe

(reproduire feuilles calculs paragraphes I à XXIV)

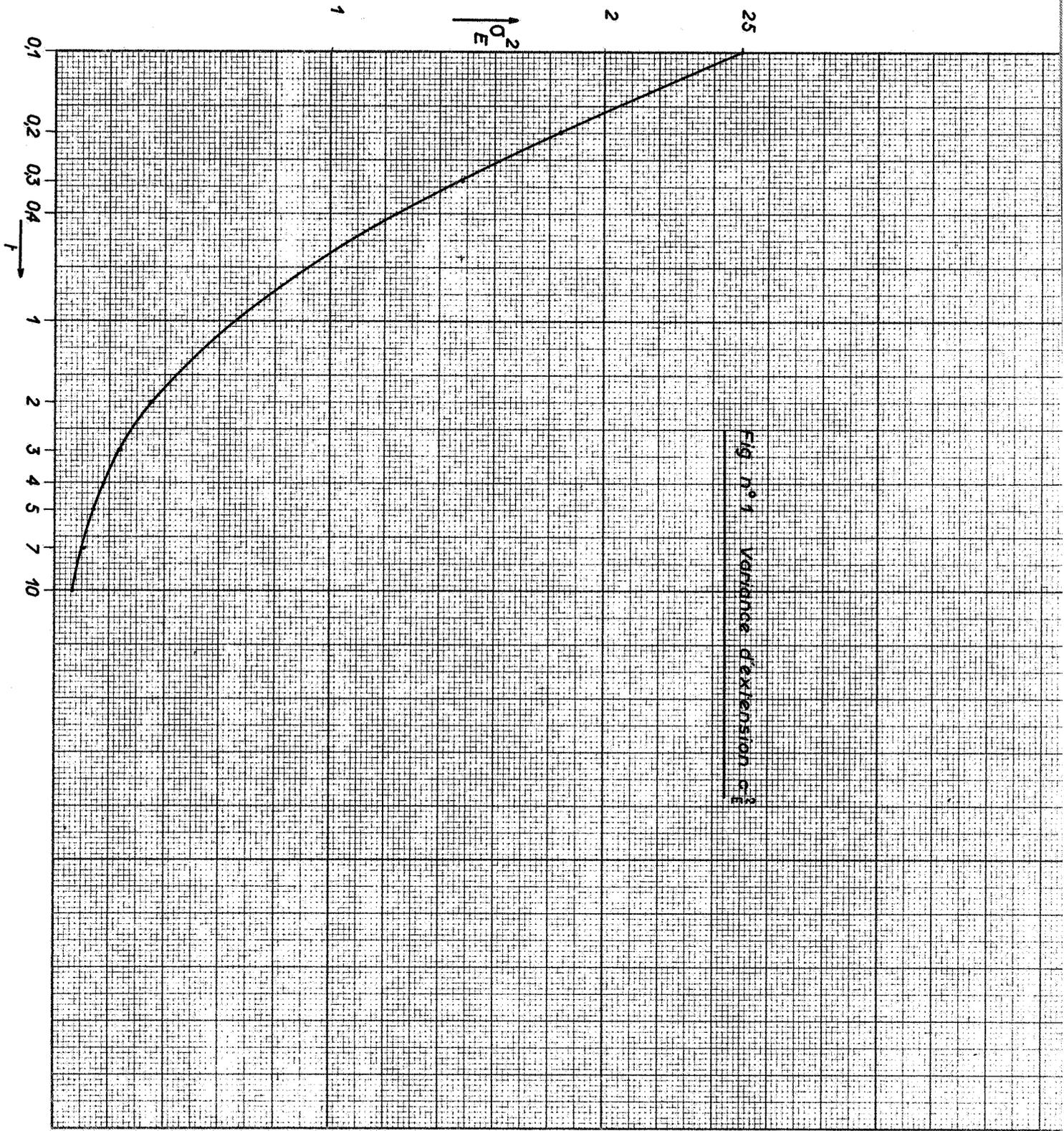


FIG. N° 1 Variation d'extension σ^2

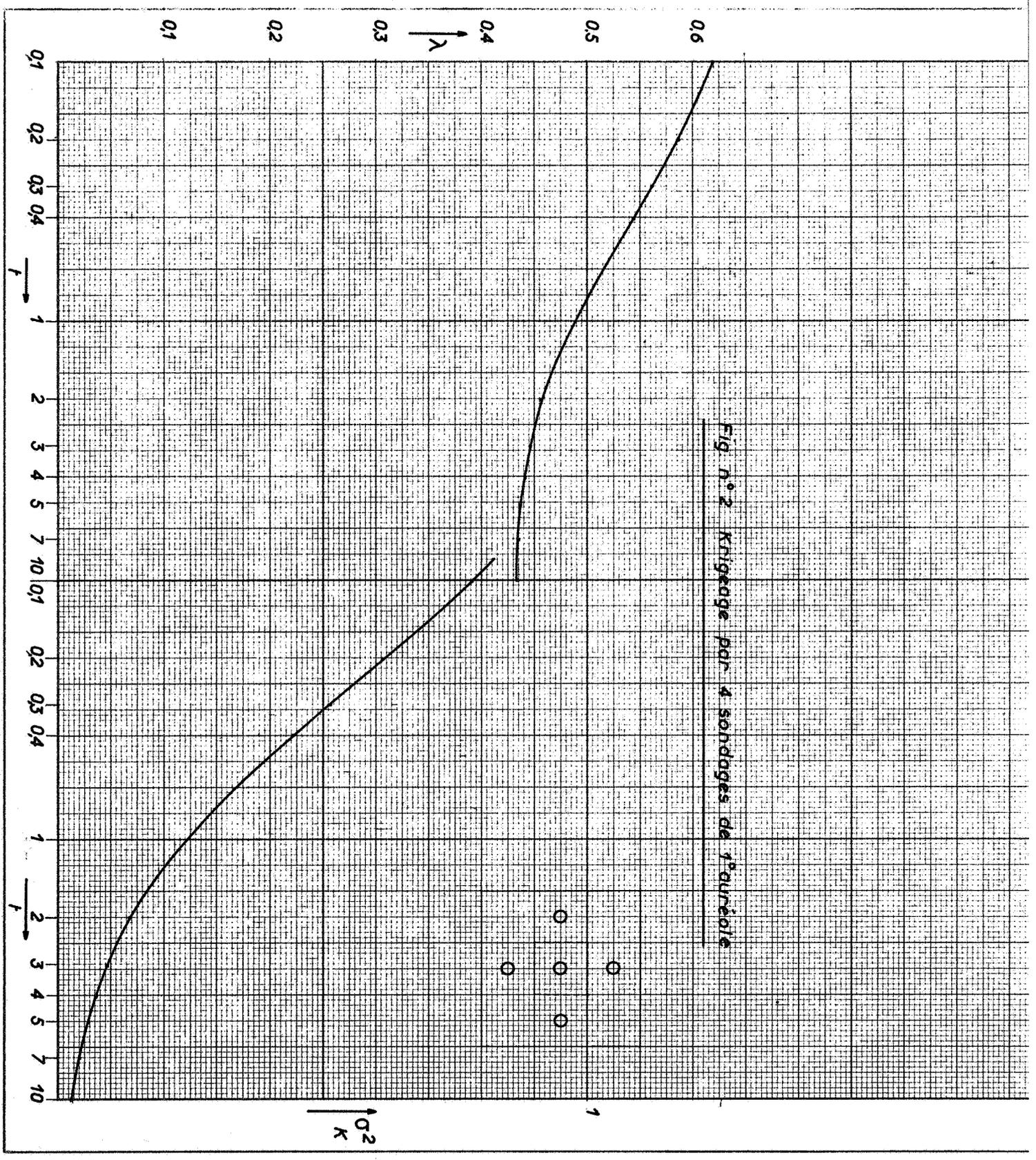


Fig. n° 2 Krigage par 4 sondages de l'aériale

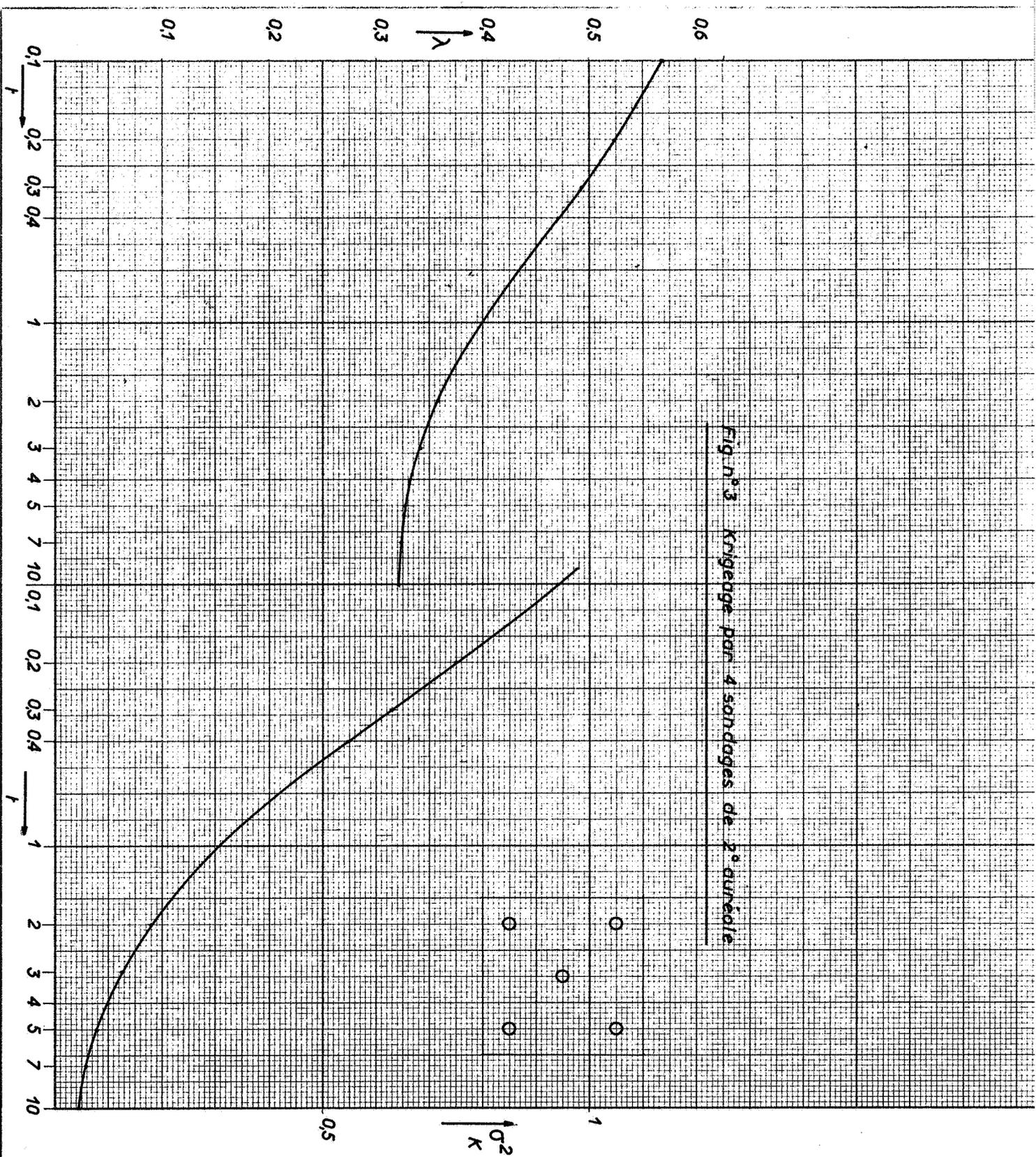


Fig. n° 3 Krigage par 4 sondages de 2° année

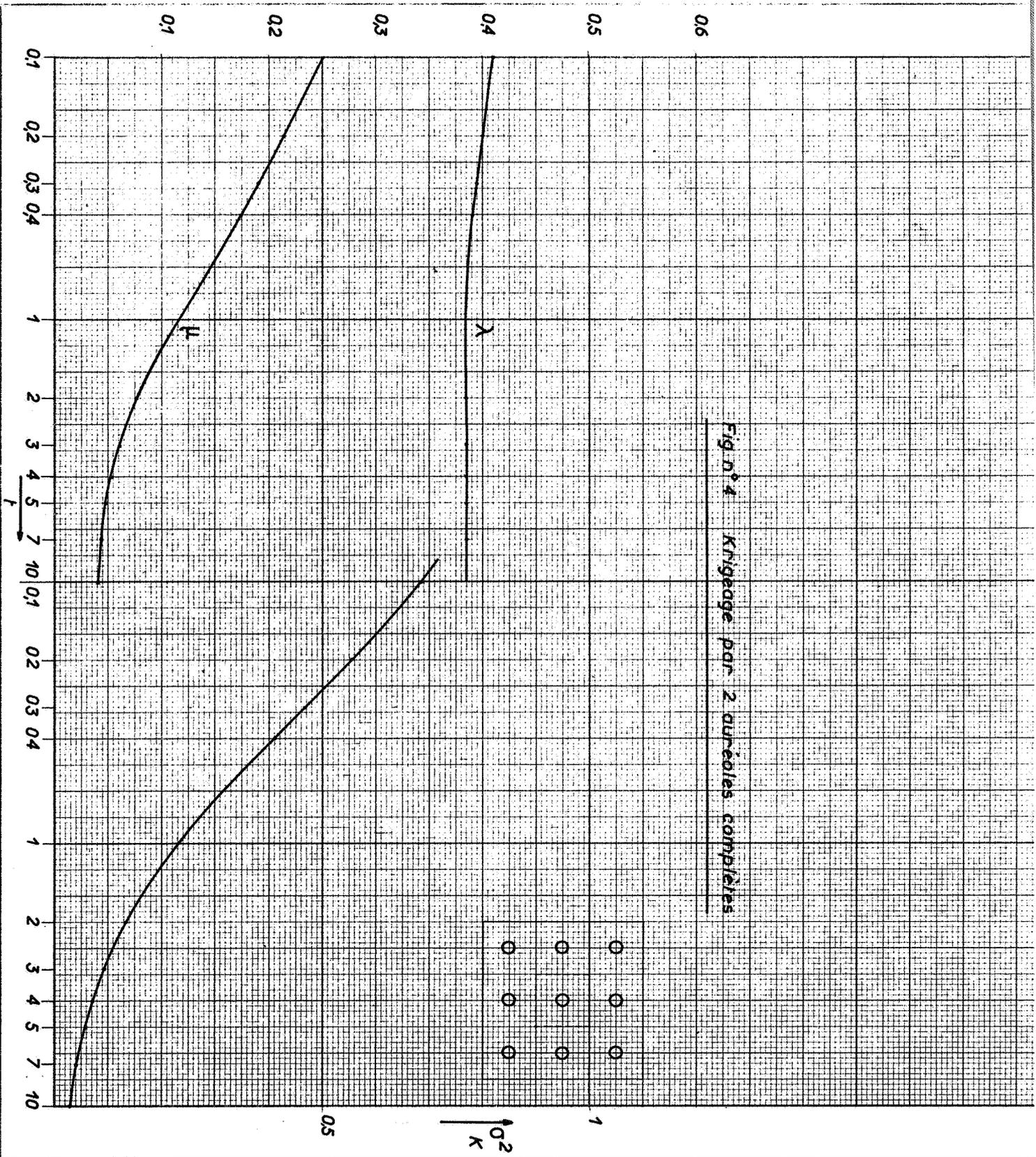
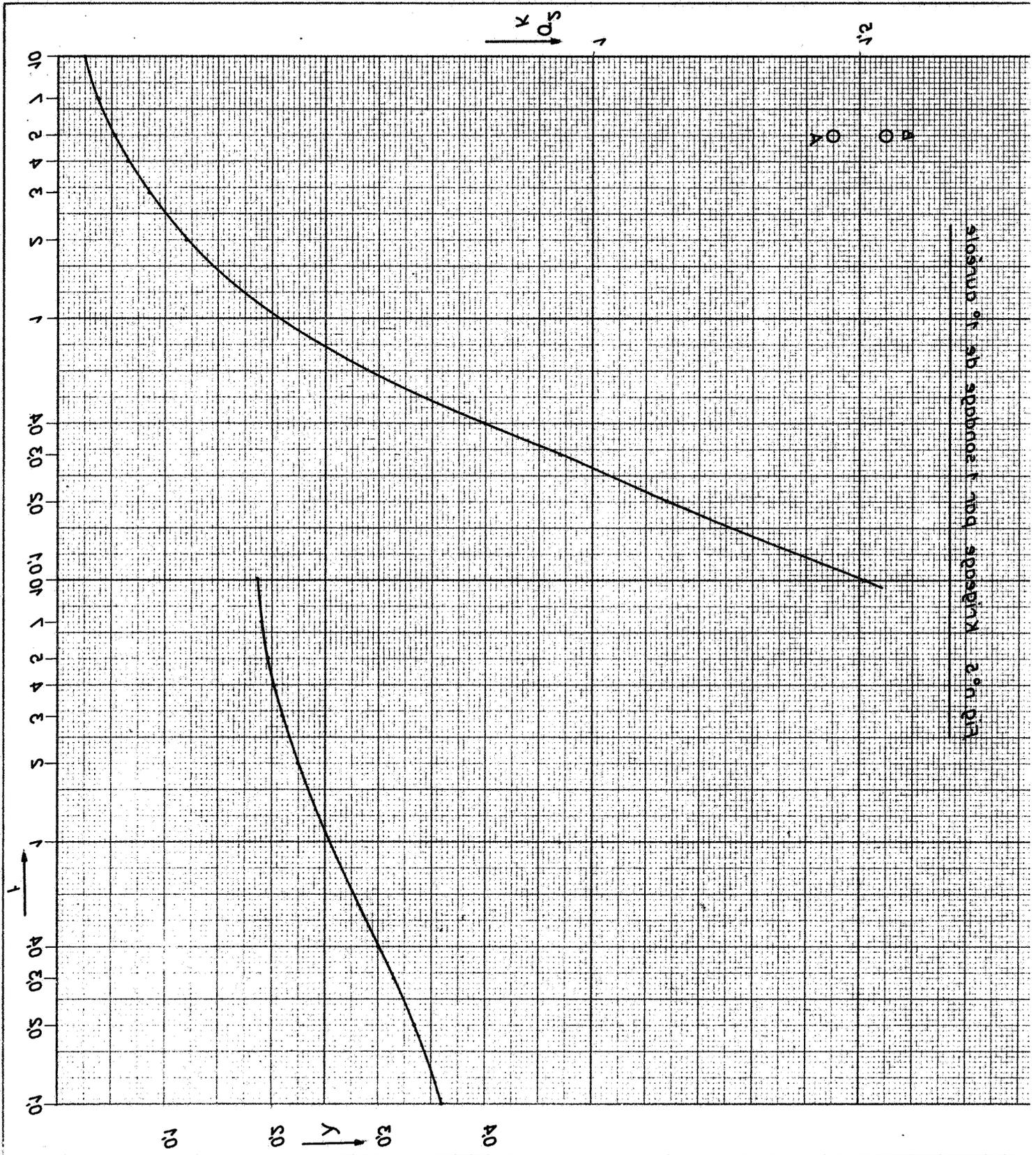


Fig n° 4 Krigage par 2 auréoles complètes



1.2 1.4

Fig. n° 6 Krigage par 1 sondage de 2° dureté

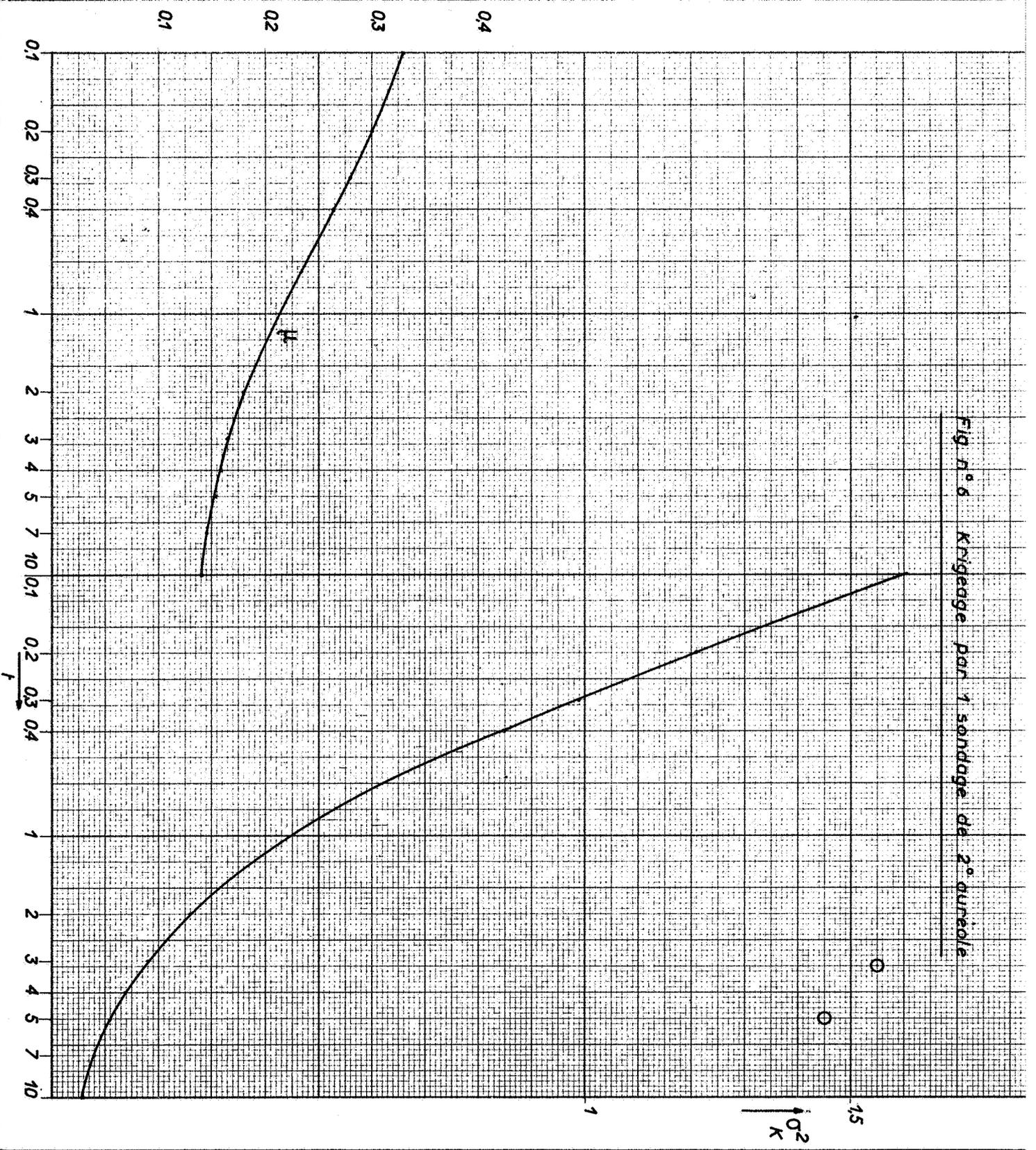
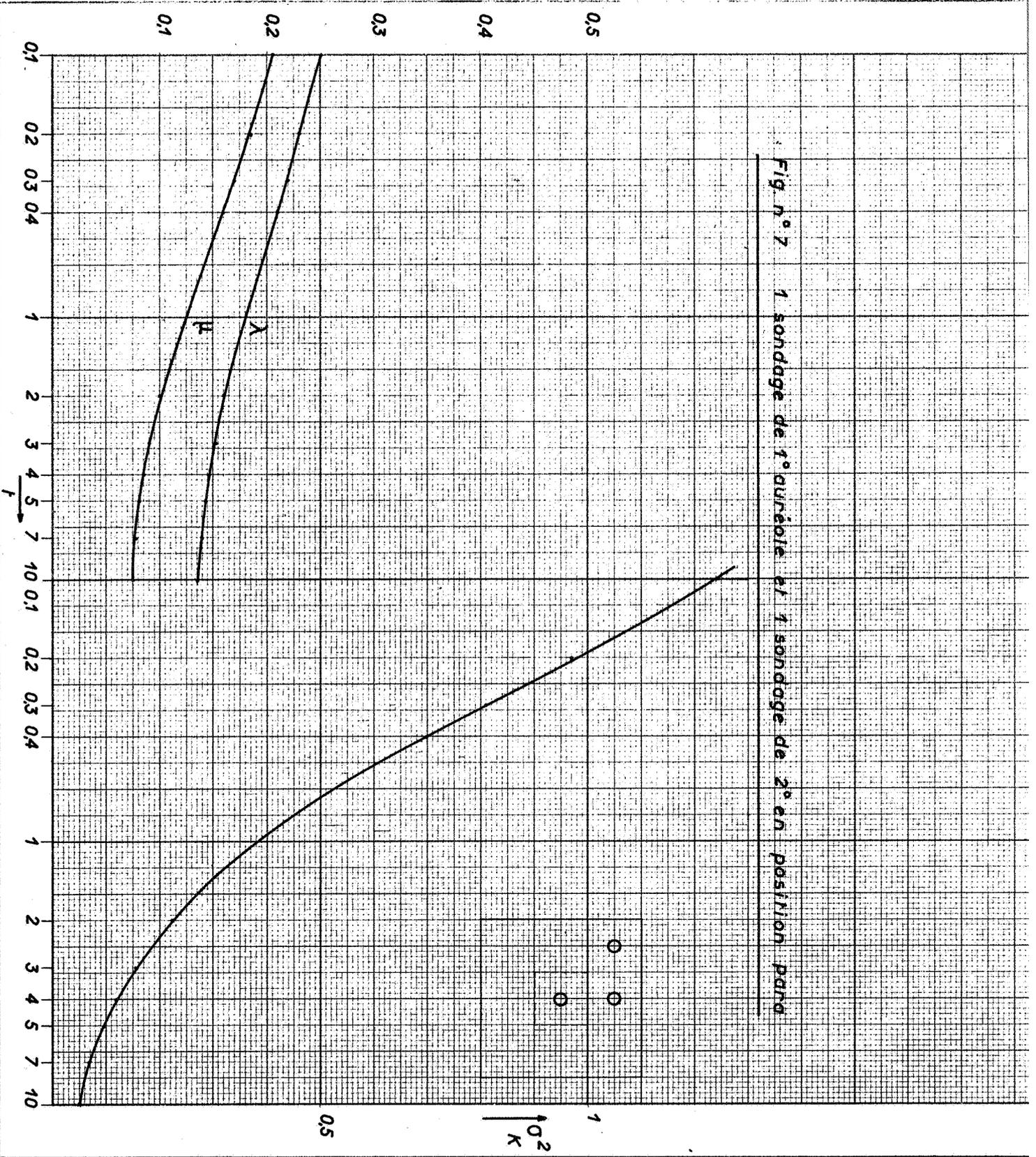


Fig. n° 7 1 sondage de 1^o auréole et 1 sondage de 2^o en position pare



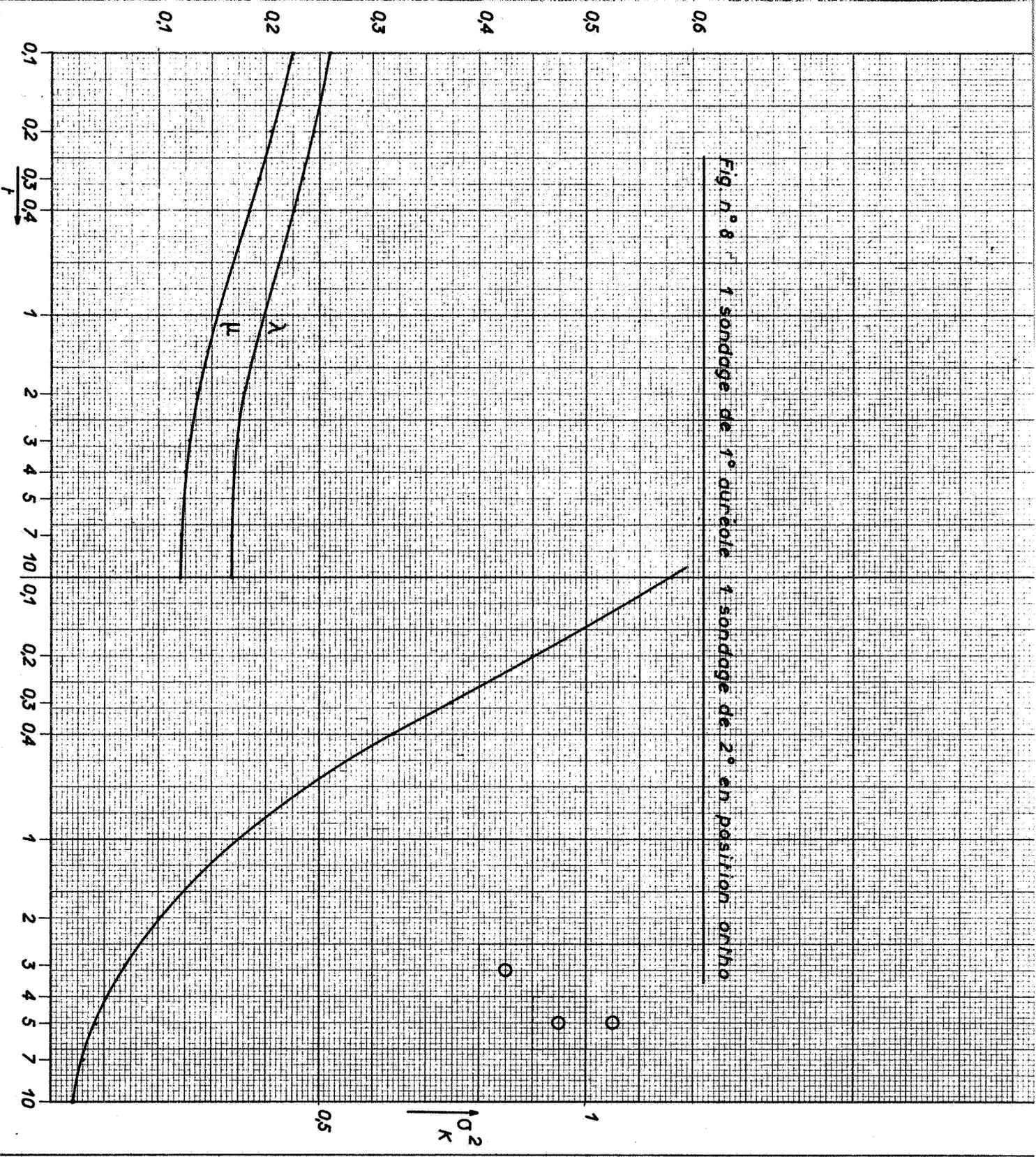


Fig n° 8 - 1 sondage de 1° dureté 1 sondage de 2° en position ortho

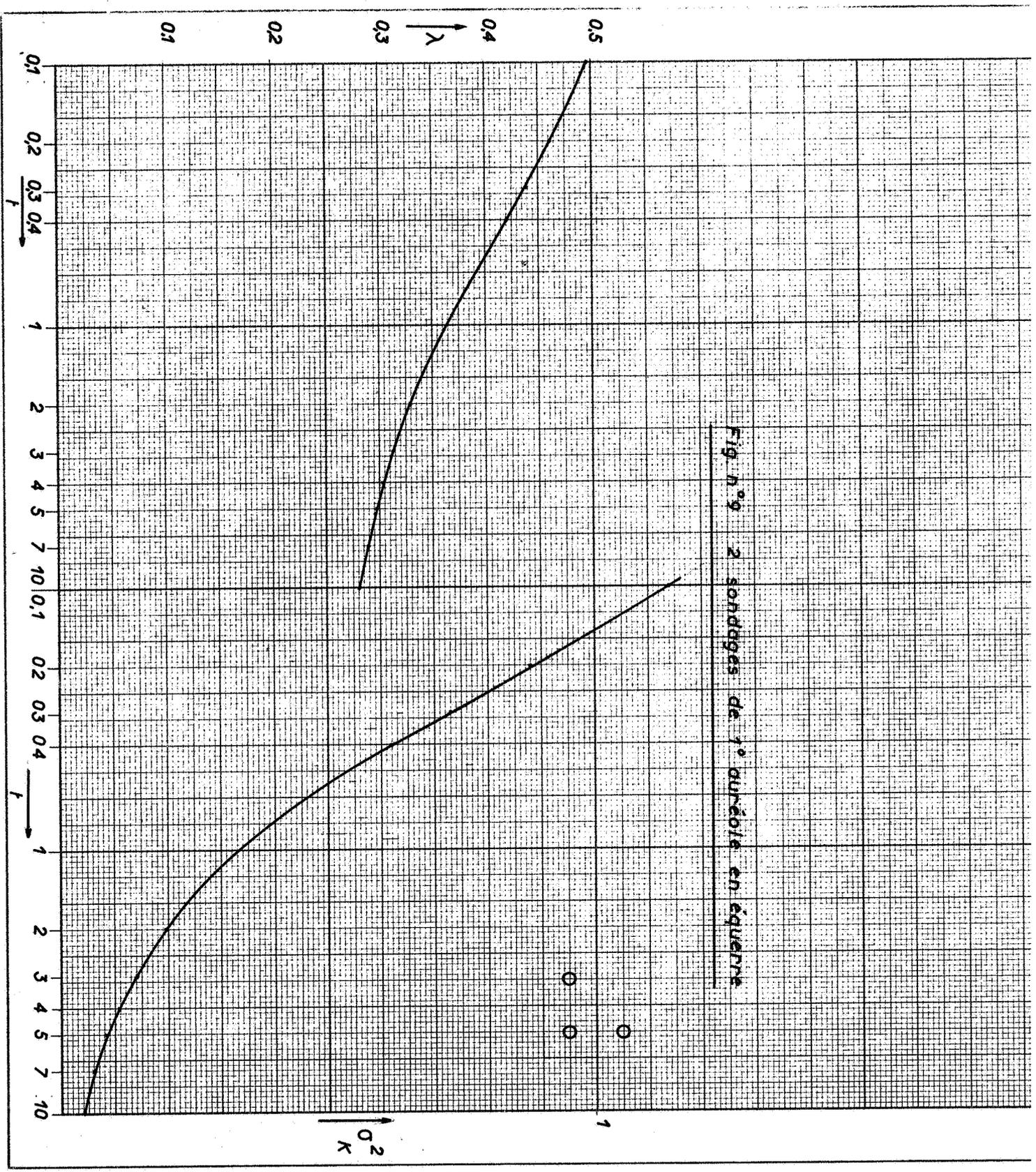


Fig. n°9 2 sondages de 1° auréole en équerre

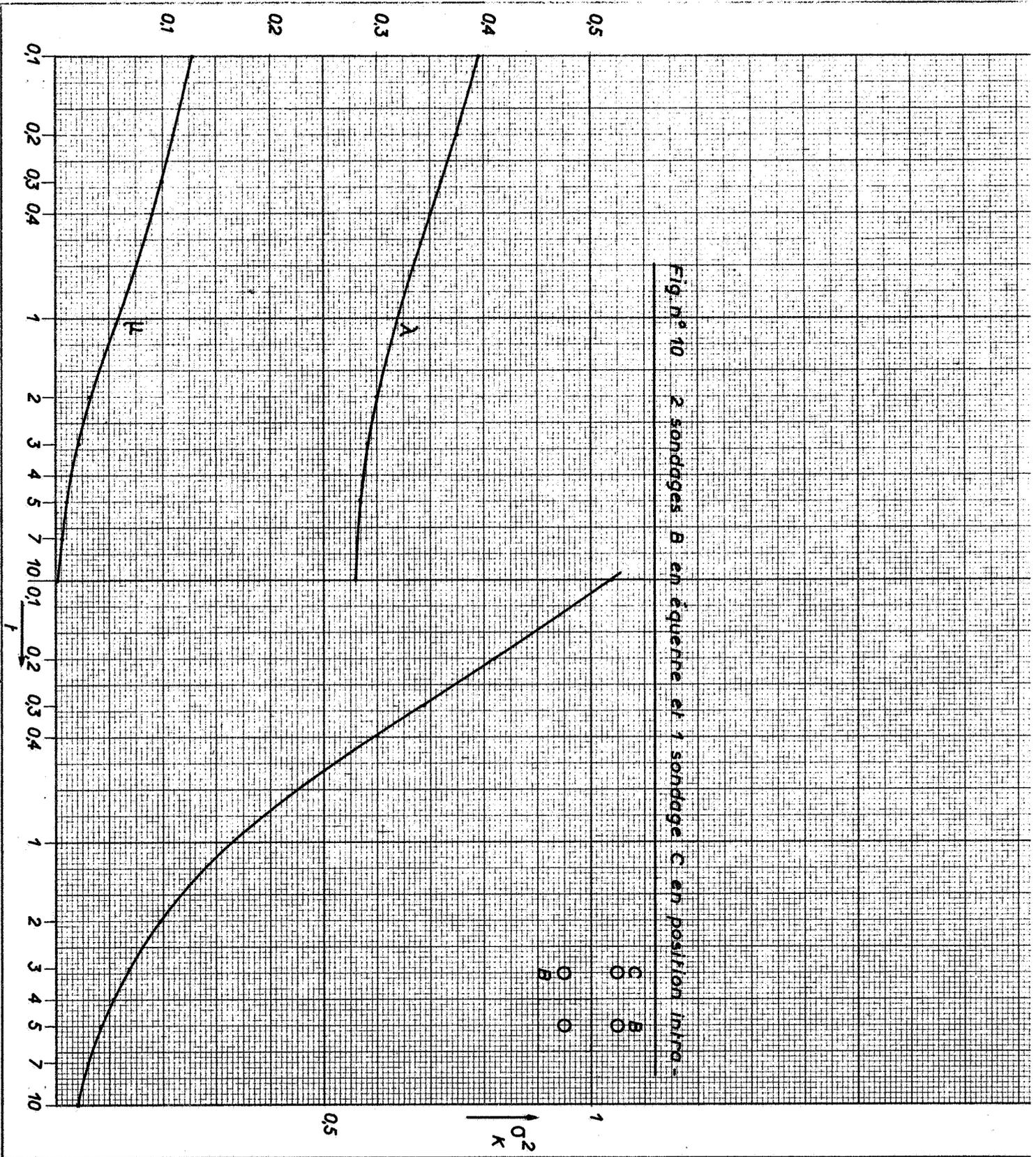


Fig. n° 10 2 sondages B en équerne et 1 sondage C en position intra-

C B
 O O
 B O

$\frac{\sigma^2}{k}$

f

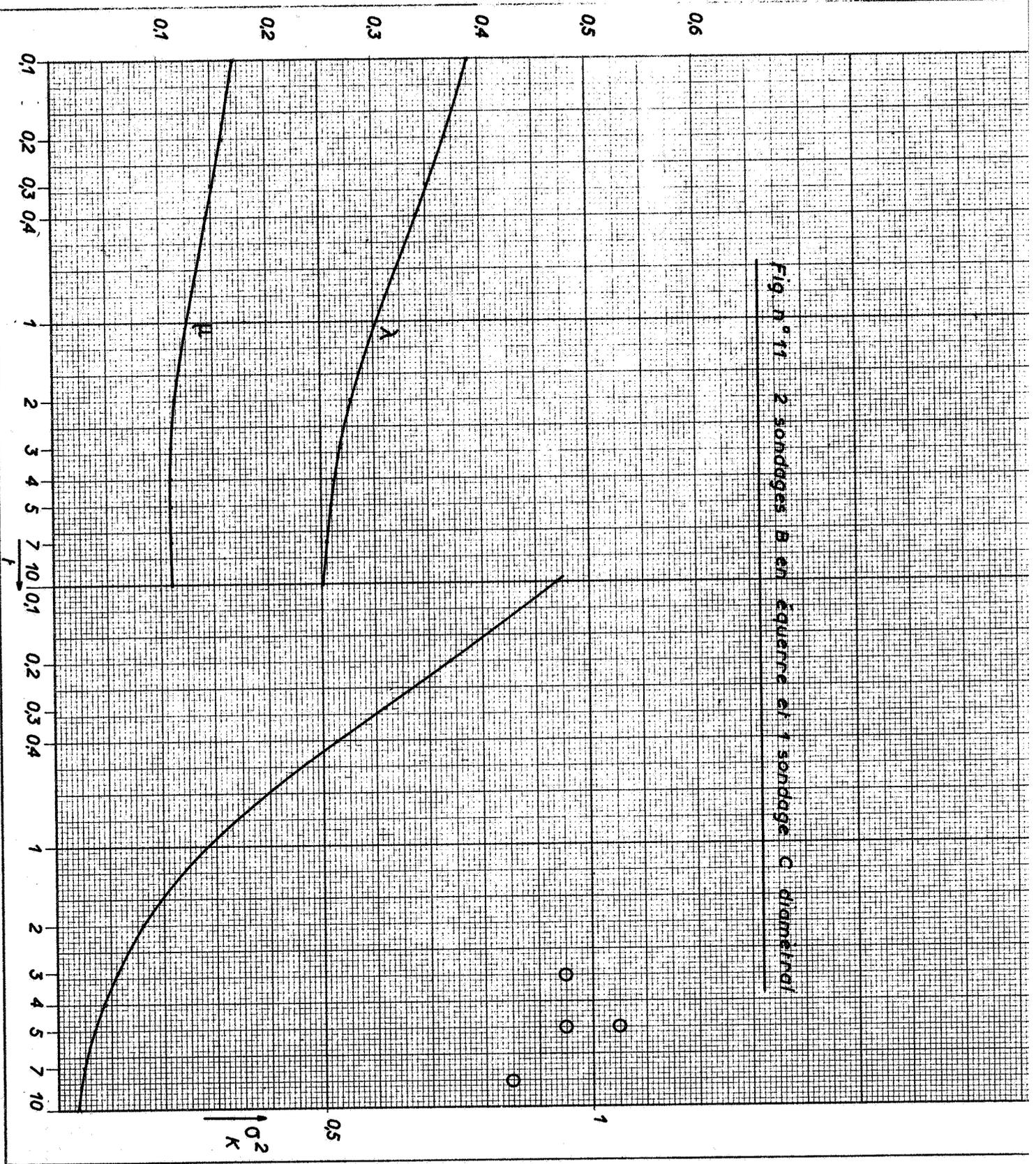


Fig. n° 11. 2 sondages B en équerre et 1 sondage C diamétral

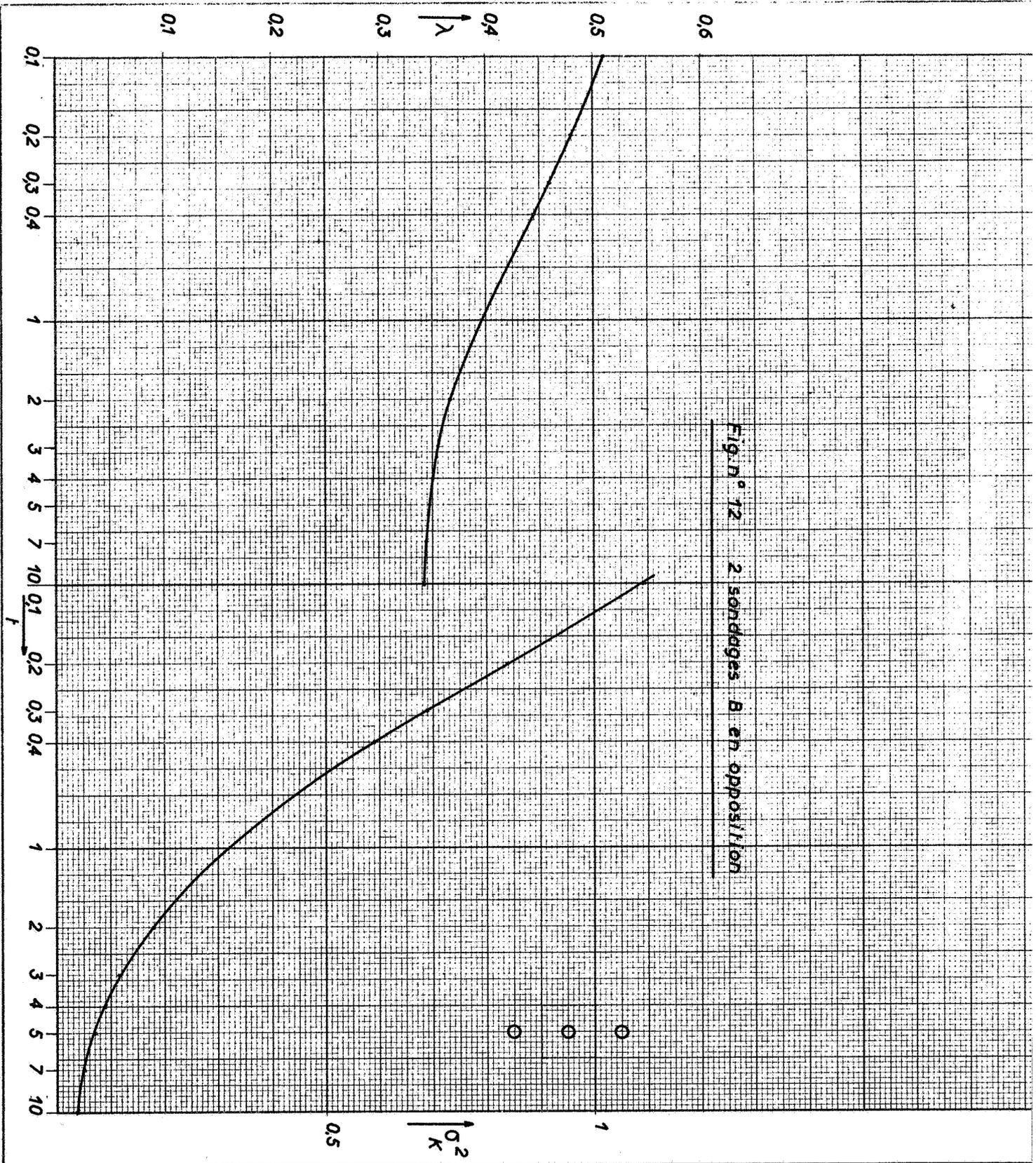


Fig. n° 12 2 sondages B en opposition

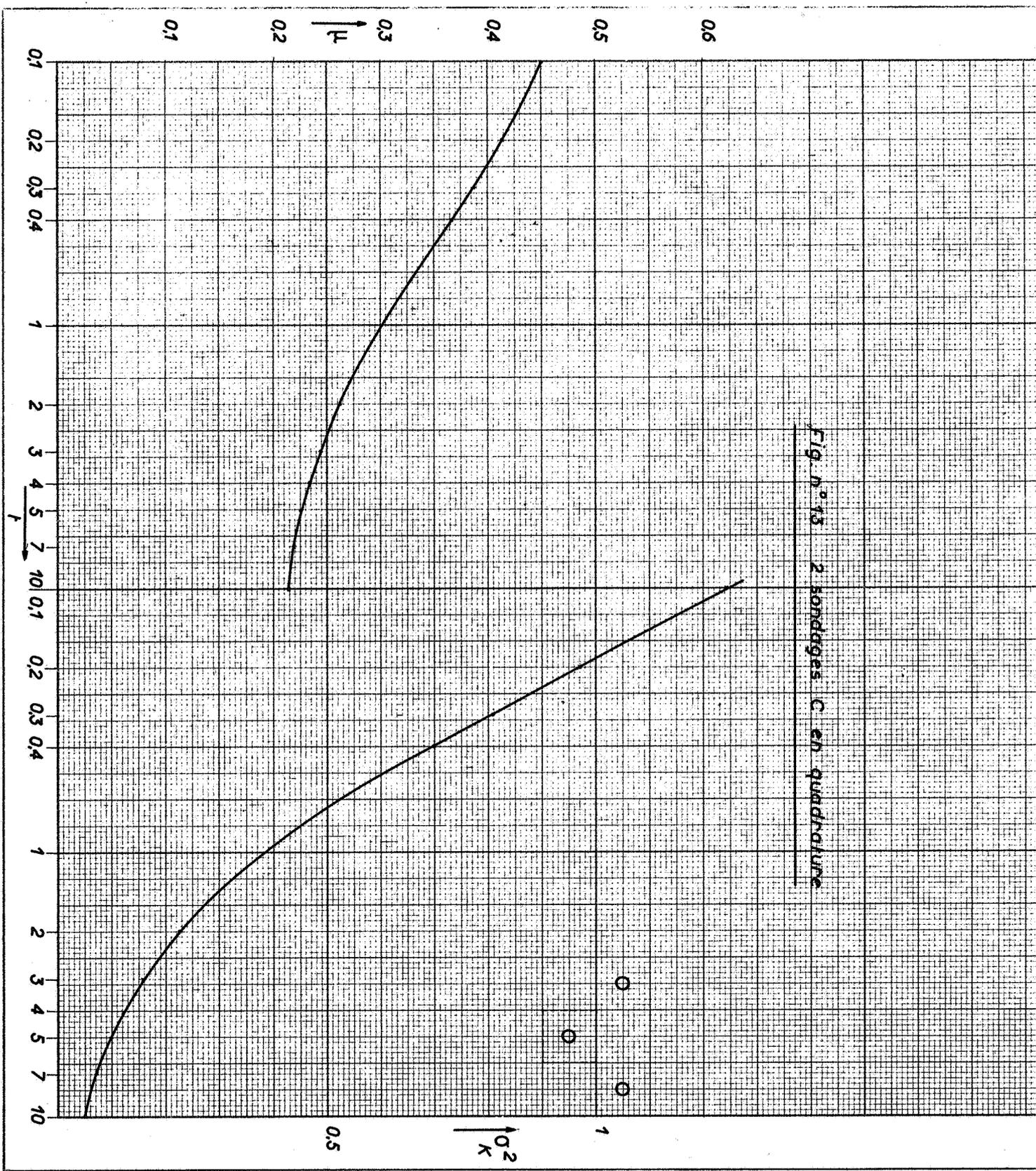
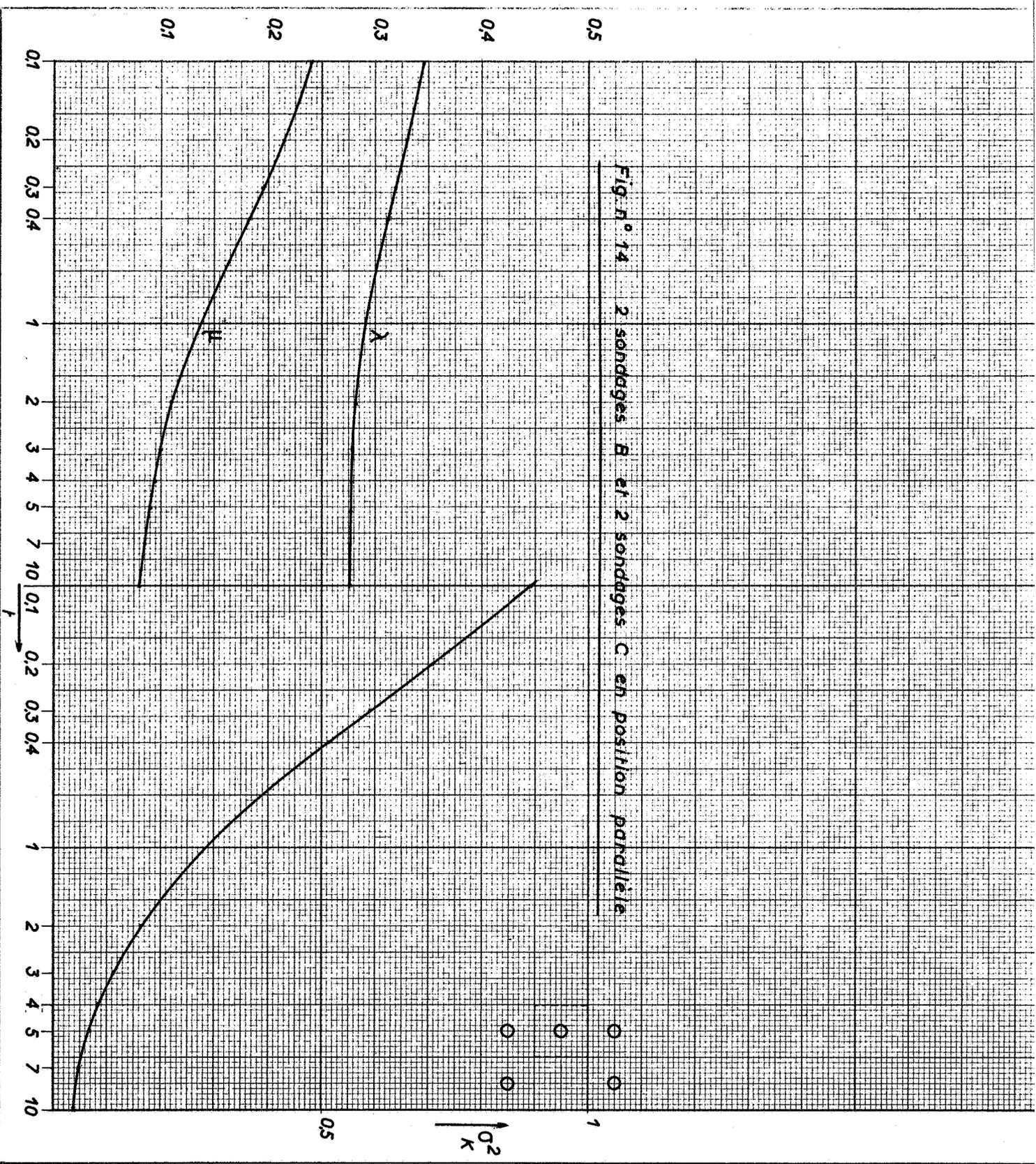


Fig. n° 15 2 sondages C en quadrature

Fig. n° 14 2 sondages B et 2 sondages C en position parallèle



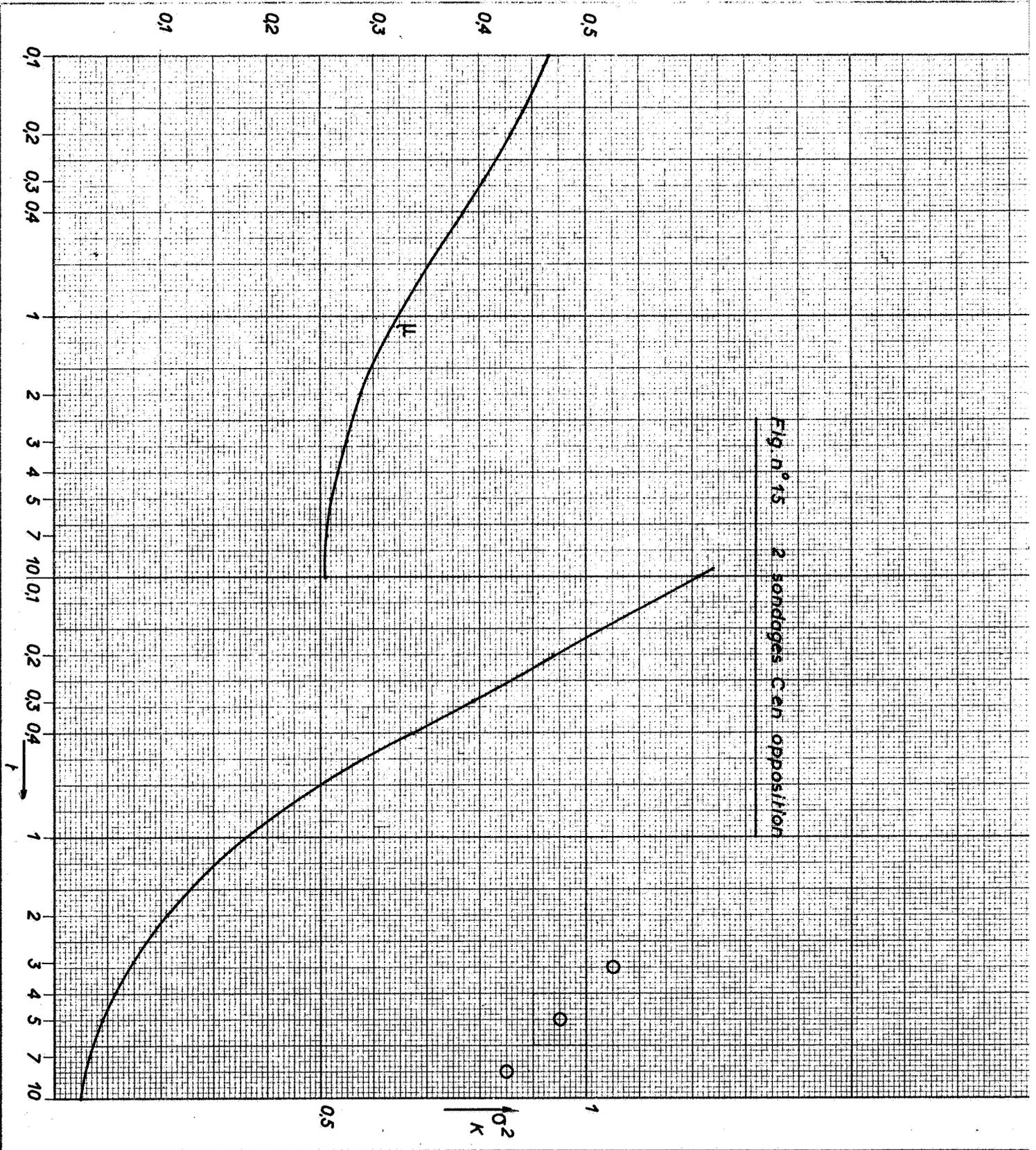
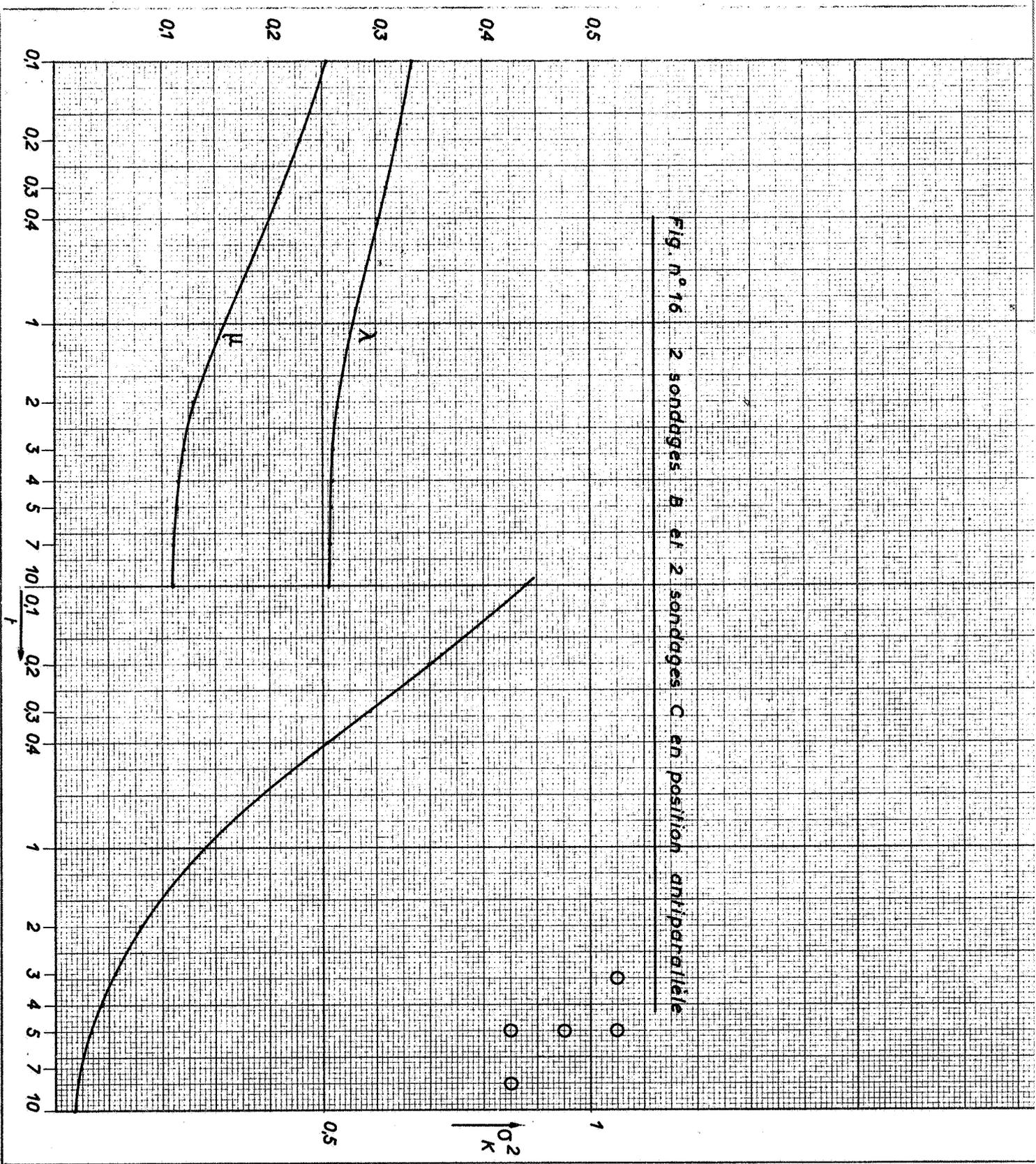


Fig. n° 16 2 sondages B et 2 sondages C en position antiparallèle



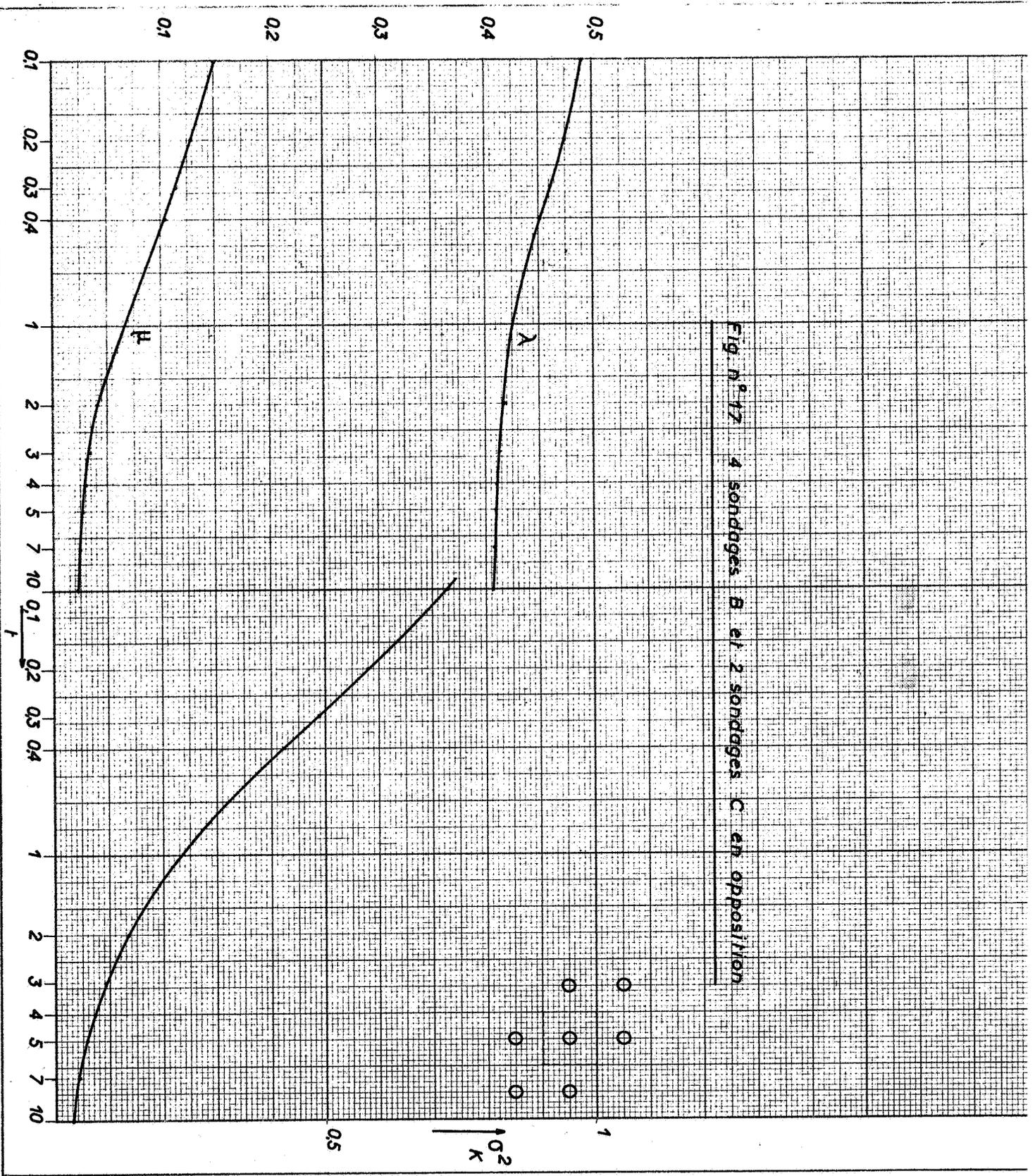


Fig. n° 17 4 sondages B et 2 sondages C en opposition

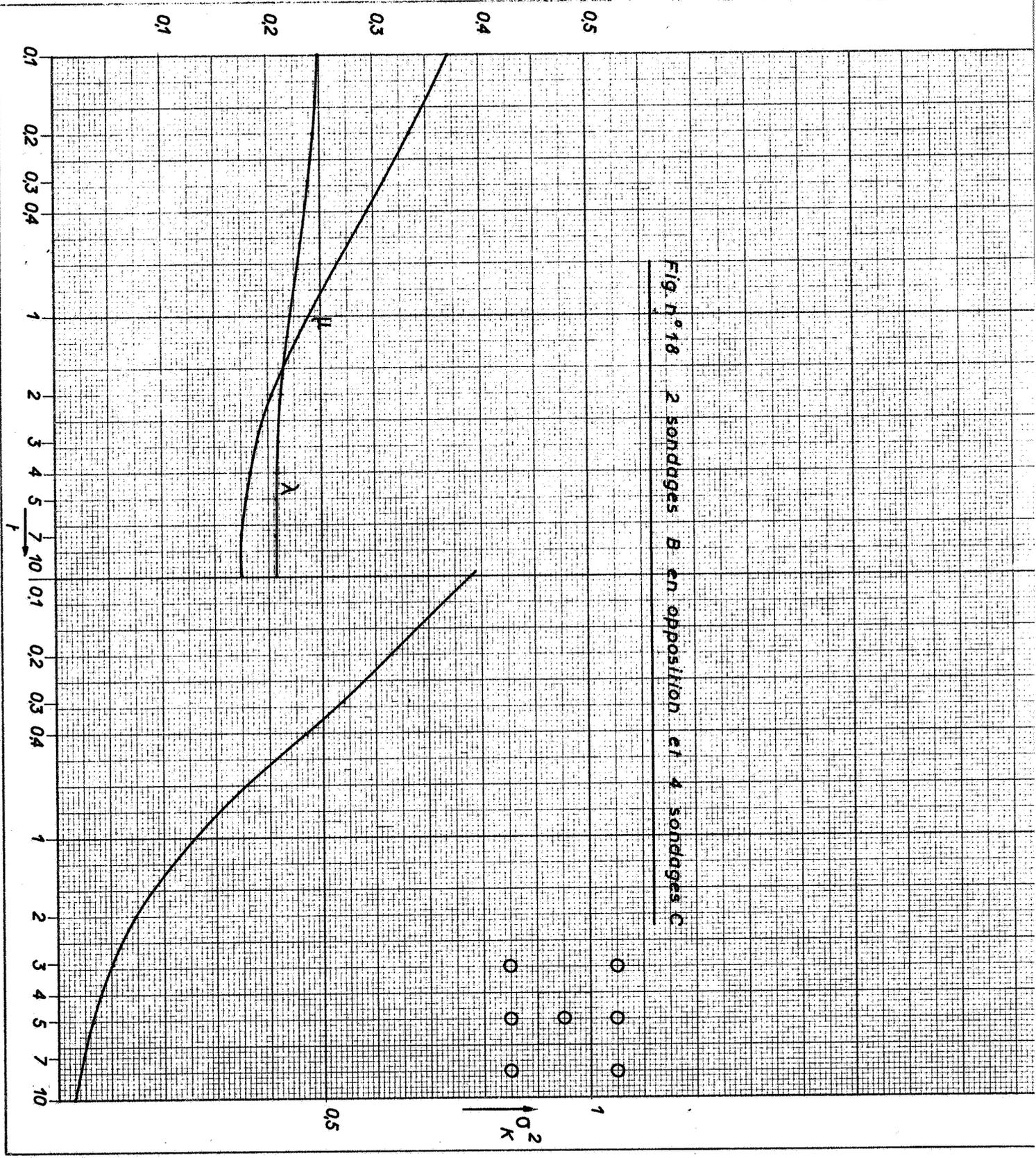
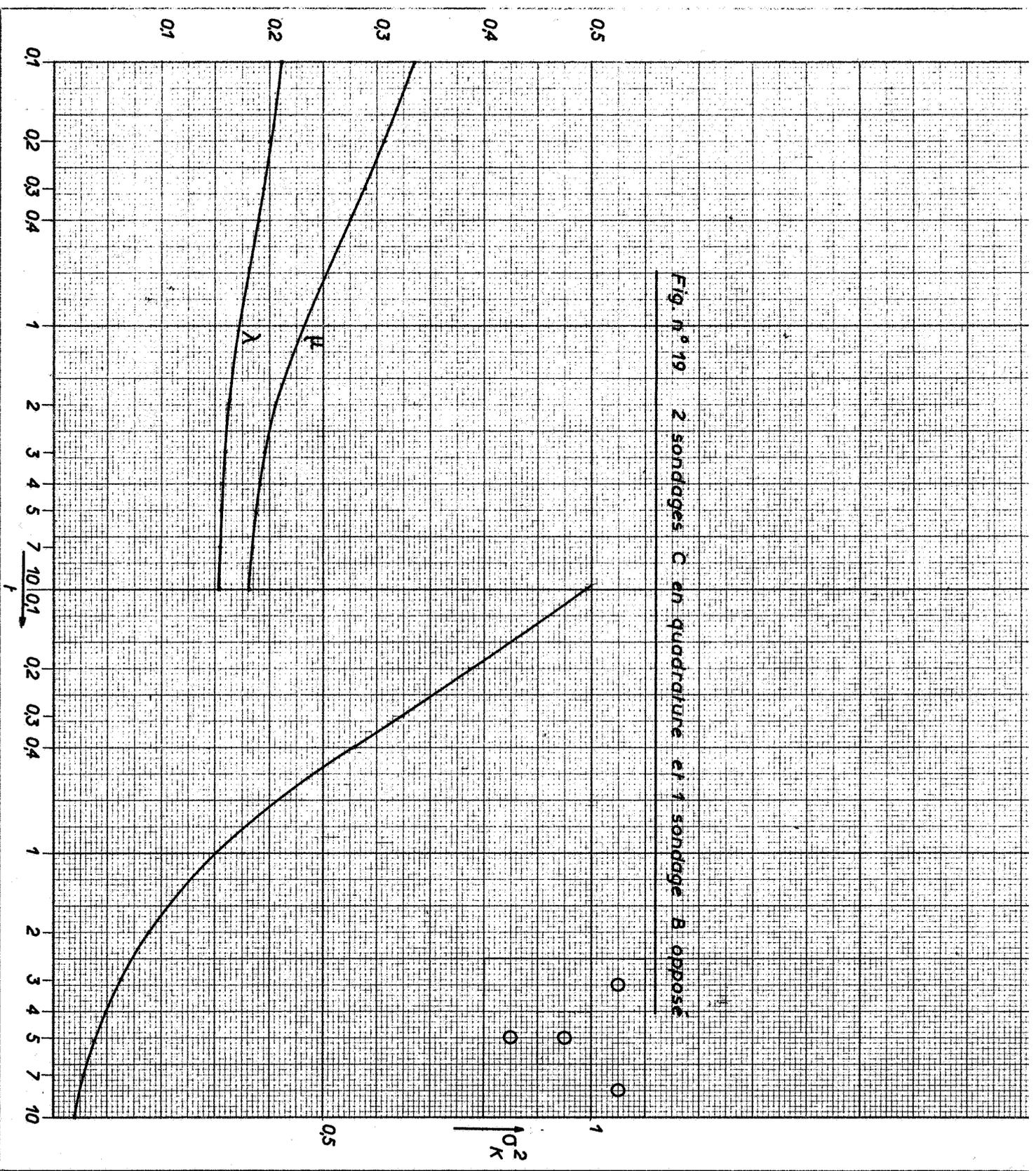


Fig. n° 18 2 sondages B en opposition et 4 sondages C

Fig. n° 19 2 sondages C en quadrature et 1 sondage B opposé



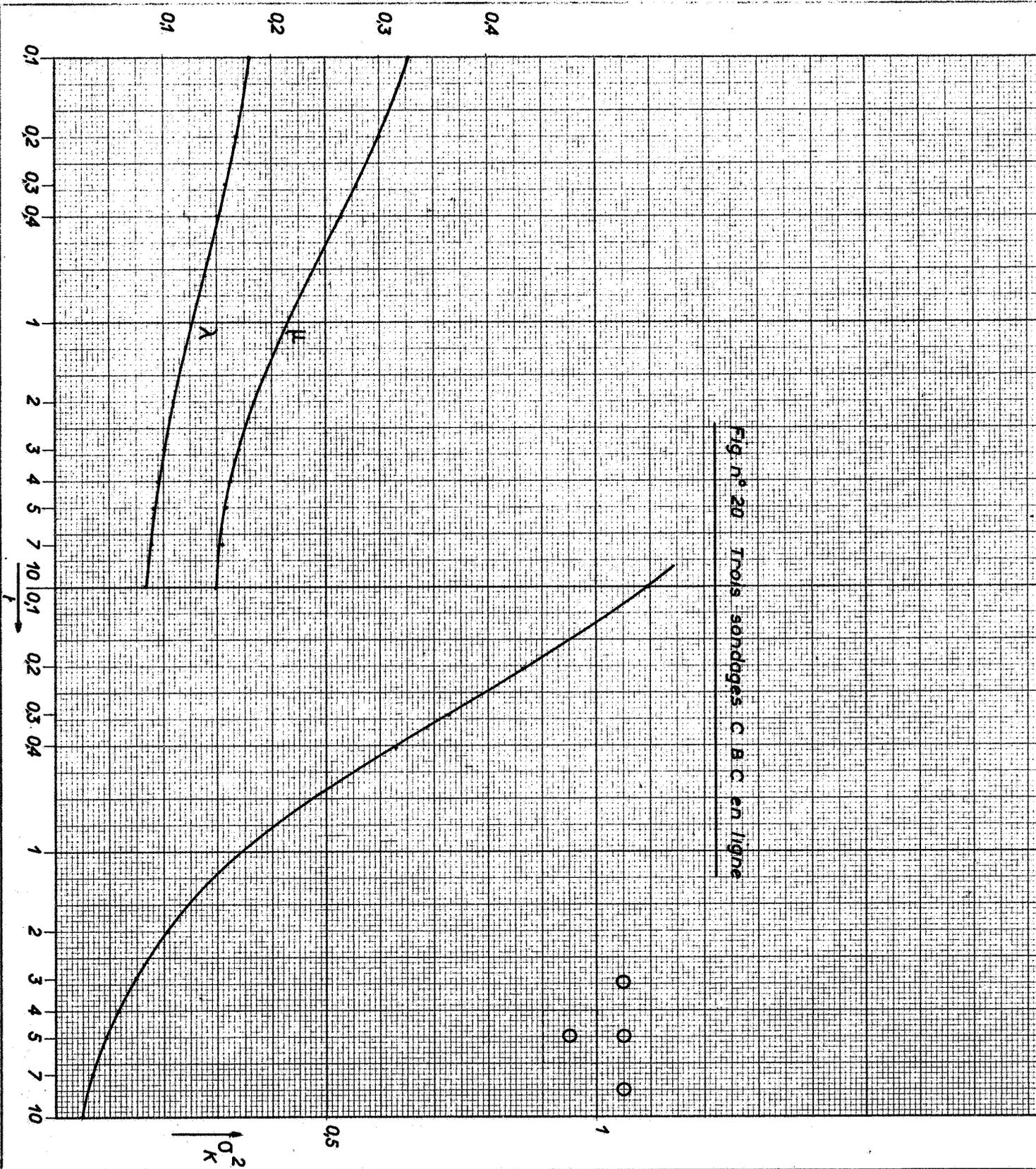


Fig. n° 20. Trois sondages C B C en ligne

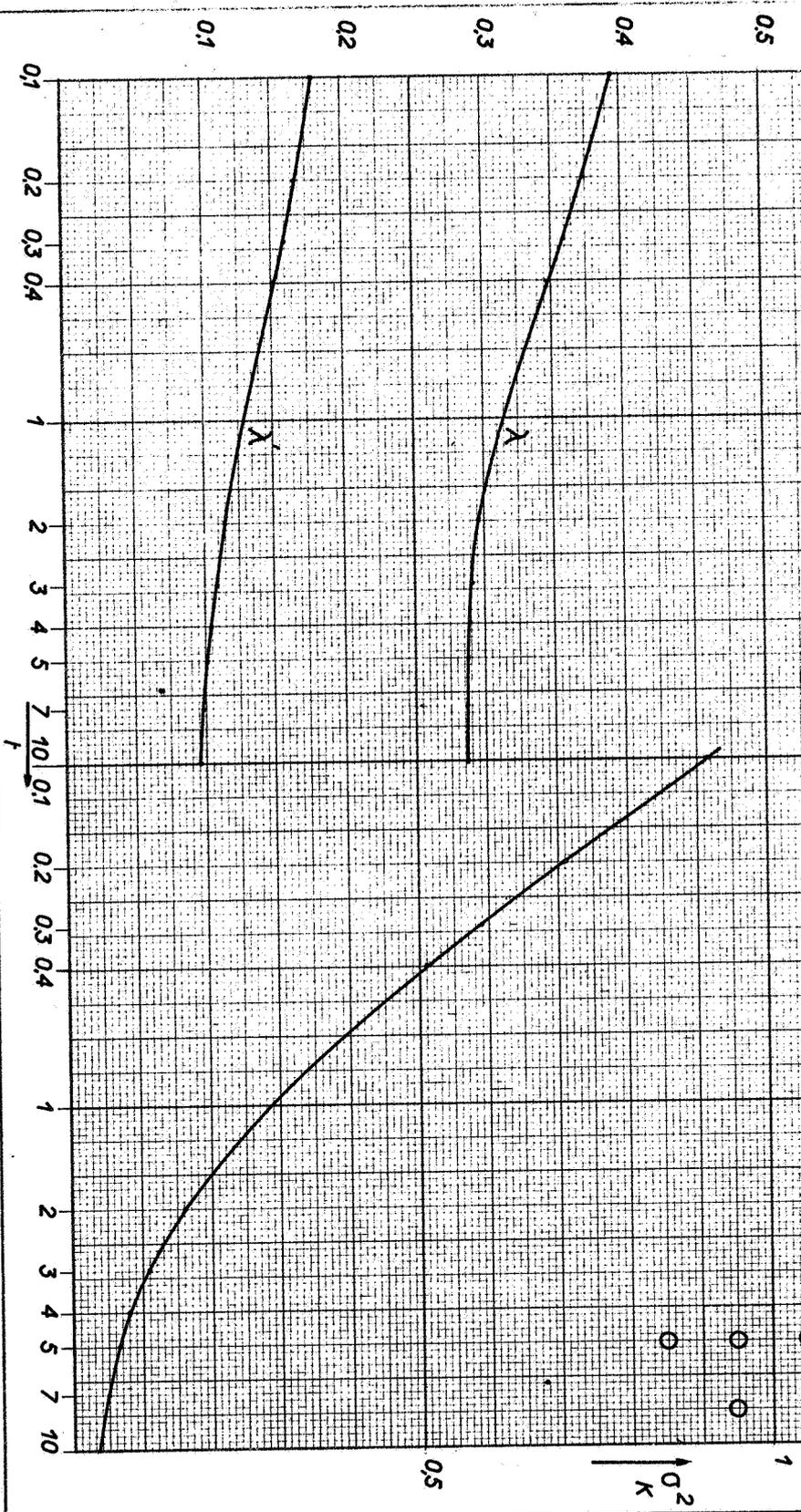
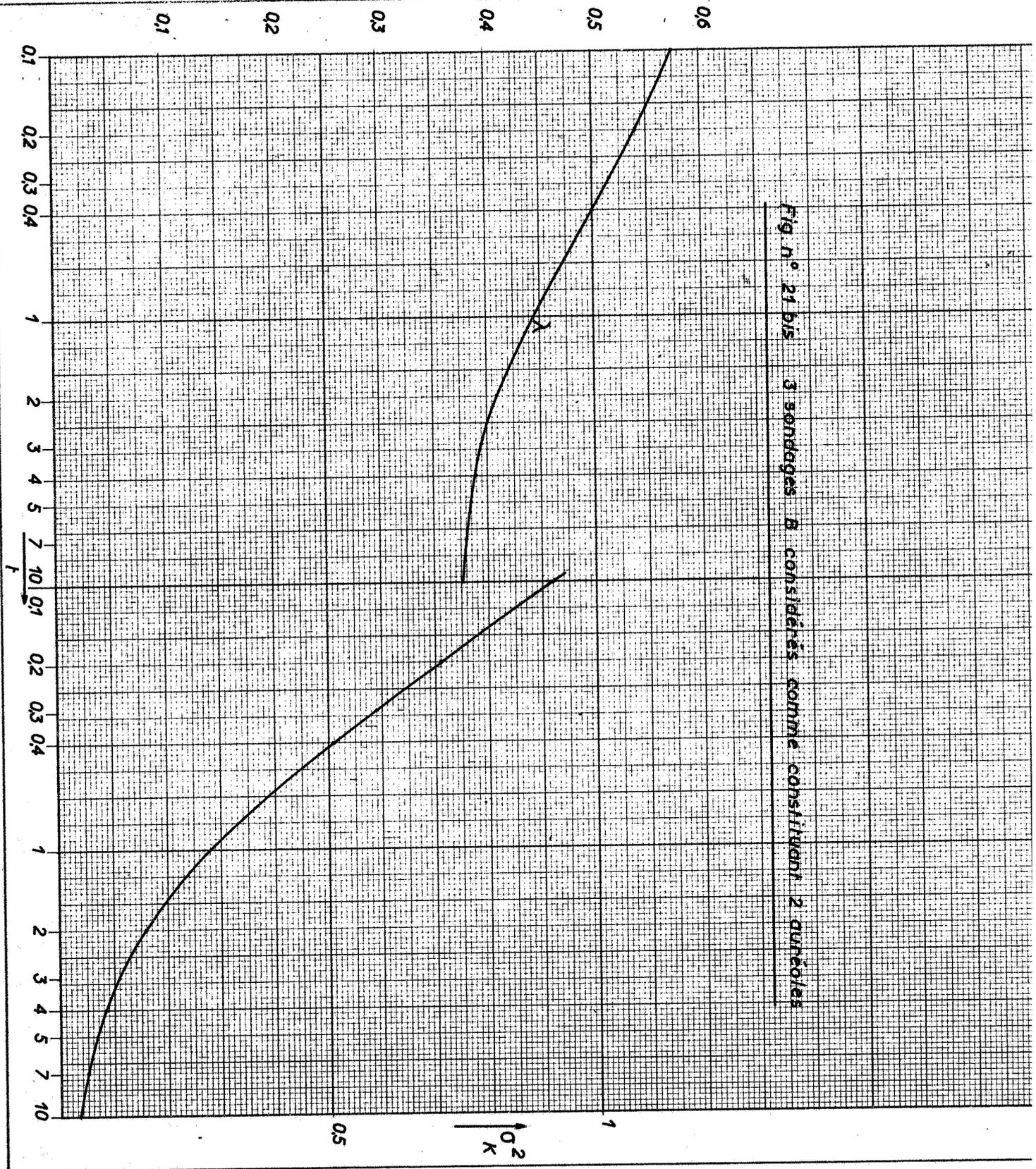


Fig. 21 3 sondages B considérés comme constituant 2 durées distinctes

Fig. n° 21 bis 3 sondages B considérés comme constituant 2 quipoles



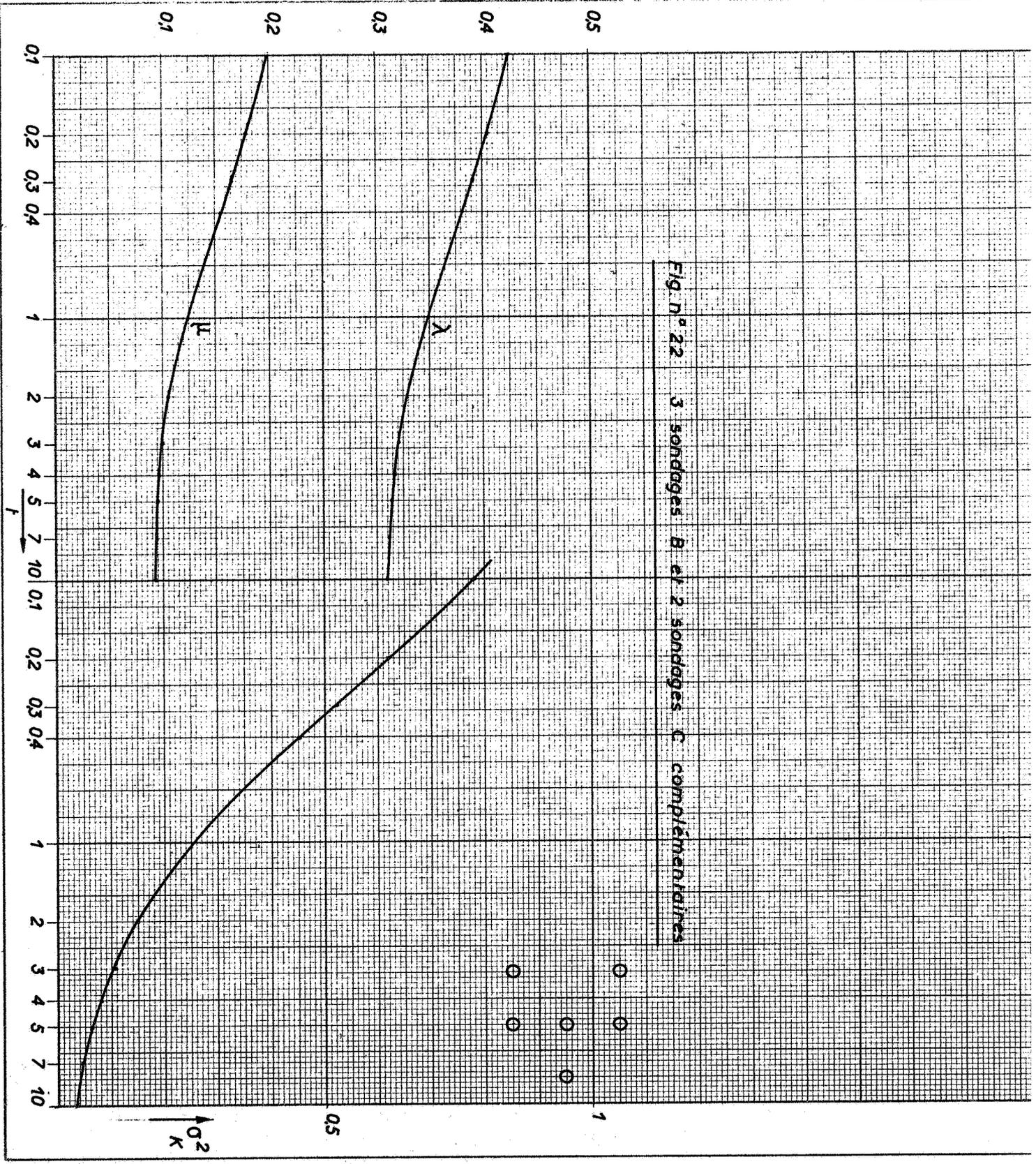


FIG. N° 22 3 sondages B et 2 sondages C complémentaires

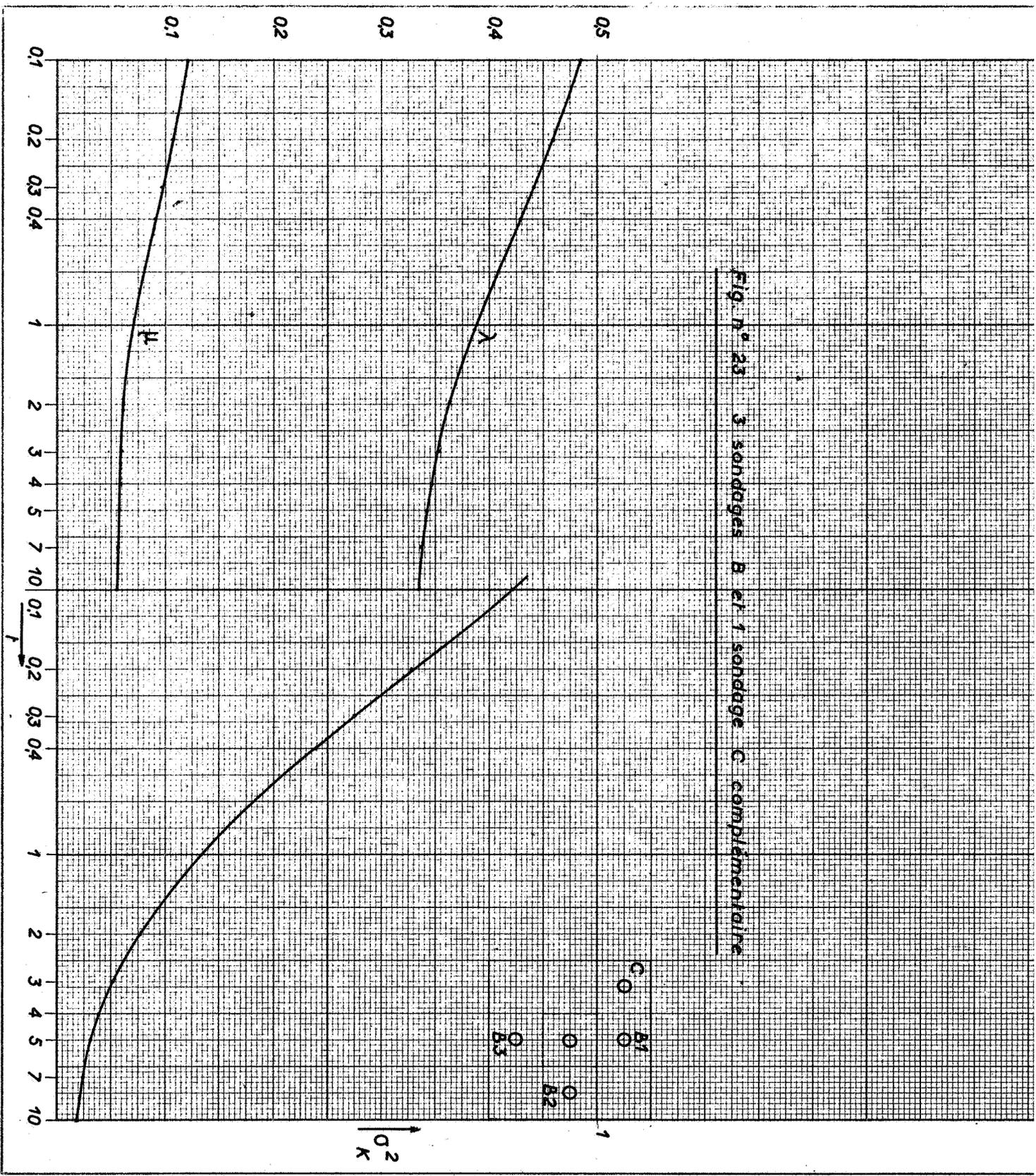


Fig. n° 23 3 sondages B et 1 sondage C complémentaire