

Y. ALBOUY  
J. WACKERMANN  
AOUT 1969

**APPLICATION DE LA PROSPECTION ELECTRIQUE  
PAR COURANT CONTINU A L'ÉTUDE DES  
NIVEAUX D'ALTERATION**

CENTRE DE GÉOPHYSIQUE DE M'BOUR  
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE O.R.S.T.O.M. - DAKAR

ICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Dφ

LB

IRE DE DAKAR

Quatre campagnes de fonçages de puits (1964-1968) ont été menées au Sénégal oriental dans le cadre d'une étude de l'altération météorique des roches éruptives. Elles ont mis en relief la part de hasard qui préside tant à l'implantation de ces puits qu'à leur interprétation spatiale.

La connaissance de l'épaisseur des manteaux d'altération, c'est-à-dire de la profondeur de la roche dure ou saine, permettrait à la fois d'éviter les emplacements singuliers et de relier entre eux les divers profils d'une toposéquence. En outre, une carte d'isobathes de la roche saine faciliterait les tentatives de raisonnement sur les circulations d'eaux, l'intensité des processus et les âges relatifs des faciès d'altération.

De plus, cette carte éviterait d'amorcer le fonçage de puits dans les zones où l'épaisseur du manteau d'altération est telle que les moyens de creusement manuels à notre disposition ne permettent pas d'atteindre la roche saine; soit environ 17 m en raison des menaces d'asphyxie et d'éboulement, moins lorsque le niveau de la nappe phréatique est proche de la surface.

Le tracé d'une telle carte d'isobathes est évidemment du ressort des sondages géophysiques: électriques et sismiques. L'existence d'une différence marquée entre les conductivités des roches éruptives saines, compactes, et de leurs produits d'altération argileux, poreux, nous a fait opter pour la technique électrique. L'encombrement et la valeur relativement faibles de l'équipement, à profondeur d'investigation égale, constituent un atout supplémentaire par rapport à la technique sismique.

Les mesures faites dans le cadre de la mission 1969 devaient servir à tester les possibilités de la méthode par des sondages ponctuels, à proximité de puits déjà creusés. Les résultats obtenus, exposés ci-après, sont encourageants et doivent permettre, lors des missions ultérieures, d'effectuer une prospection par mailles dans les zones intéressantes. Les manteaux kaolinitiques (paléoprofils et drainages intenses) sont nettement distingués des manteaux à argiles smectiques, gonflantes.

À noter cependant que le toit de la nappe phréatique n'a pu être détecté dans aucun sondage.

# APPLICATION DE LA PROSPECTION ELECTRIQUE PAR COURANT CONTINU

## A L'ETUDE DES NIVEAUX D'ALTERATION

### 1) Principe du sondage électrique.

Le dispositif de mesure est un quadripole symétrique AMNB, (AM = NB, MN petit devant AB: quadripole SCHLUMBERGER). Un courant d'intensité I est envoyé dans le sol par l'intermédiaire des électrodes A et B, tandis qu'on mesure la différence de potentiel  $\Delta V$ , créée par l'envoi du courant, entre les électrodes M et N (voir schéma).

On a la relation

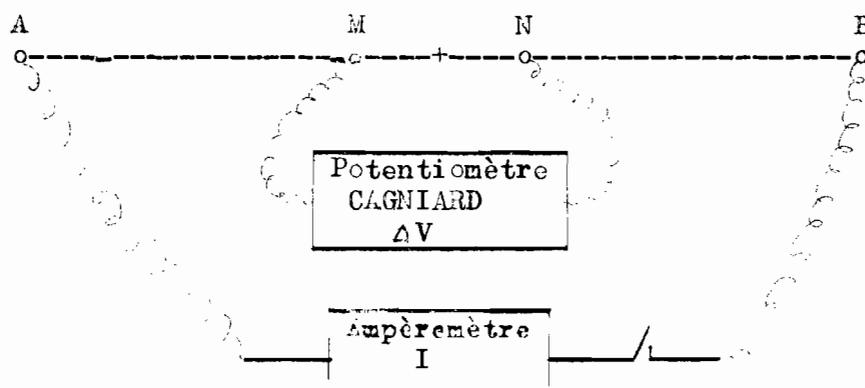
$$f_a \text{ (résistivité apparente: ohm.m)} = K_{(m)} \frac{\Delta V \text{ (mV)}}{I \text{ (mA)}}$$

K est fonction de la géométrie du quadripole (voir tableau des valeurs de K).

$f_a$  est une sorte de résistivité moyenne, résistivité d'un certain volume de terrain, dont les dimensions dépendent de la distance des électrodes A et B et des résistivités des divers terrains.

Lorsque l'on augmente AB (et MN quand  $\Delta V$  devient trop faible) le volume de terrain intéressé par le courant I s'accroît, et, en supposant les terrains horizontaux, on obtient différentes valeurs de  $f_a$ , correspondant à des profondeurs croissantes, d'où le nom de sondage électrique.

Lorsque l'on conserve AB constant et que l'on déplace l'ensemble du quadripole, on réalise un profil de résistivité.



2) Appareillage nécessaire:

- 1 potentiomètre CAGNIARD - AOIP- 23, Place Jeanne d'Arc  
PARIS-13°

valeur: 1700 FF.(H.T.)

(prévoir un galvanomètre de rechange, soit 150 FF)

- 1 ampèremètre - 100  $\mu$ A, 10 A, à disjoncteur.

Ex: Contrôleur METRIX MX 211 A: 350 FF

- 15 à 20 piquets en acier, l = 100 cm, diam: 2,5 à 3 cm

- 6 bobines + câble (acier + cuivre):

2 pour A et B (l = 300 m) + 1 rechange

2 pour M et N (l = 50 m) + 1 rechange

environ 500 FF

- 1 ensemble de piles sèches à grande capacité, dans une boîte à fiches.

Ex: 2 x 6 volts permettant d'obtenir les tensions	6 v
	12
2 x 45	45
	90
8 x 90	180
	360
	360

et la somme de ces tensions, soit  
environ 800 volts

- papier bilogarithmique transparent pour sondage électrique  
(PRECIS - n° 368)

- jeu d'abaques C.G.G. (European Association of Exploration Geophysicists) - Librairie LAVOISIER - 11, rue Lavoisier  
Edition 1963 PARIS - 8°

### 3) Exécution des mesures.

Lorsqu'on ferme le circuit MN, en l'absence de tout courant dans AB, l'aiguille du galvanoscope se déplace du fait de la polarisation des électrodes. Cette d.d.p. est annulée au moyen d'un premier circuit du potentiomètre CAGNIARD, circuit dit de compensation. L'aiguille étant au zéro, on ferme le circuit AB et on compense la d.d.p. aux bornes de MN au moyen du 2<sup>o</sup> circuit, circuit de mesure. La lecture de I (ampèremètre),  $\Delta V$  (potentiomètre) et la connaissance de K permettent le calcul de  $f_2$ .

Pour que les mesures soient bonnes, il faut que  $\Delta V$  soit suffisamment grand (en pratique  $\Delta V > 2,5$  mV sur potentiomètre CAGNIARD) et que l'impédance du circuit MN soit faible: condition d'une sensibilité suffisante du galvanoscope. Les résistances de prise de terre, tant sur AB que sur MN, doivent donc être les plus faibles possibles; on a intérêt à multiplier le nombre d'électrodes en chaque point (3 ou 4) et à les arroser d'eau salée dès que les mesures deviennent trop délicates.

D'autre part, lorsqu'un changement de MN est nécessaire, il faut doubler les mesures: faire 2 mesures pour un même AB, avec les 2 MN, afin d'évaluer l' "à-coup de prise". Il y a tout intérêt à effectuer les calculs de  $f_2$  après chaque mesure afin de pouvoir éventuellement reprendre les mesures défectueuses, ou donnant lieu à des "à-coups" intempestifs.

Notons que, l'interprétation des sondages supposant des terrains horizontaux, dans le cas de terrains en pente, le sondage devra être orienté perpendiculairement à la ligne de plus grande pente.

Le personnel indispensable se compose de 3 manoeuvres, en plus de l'opérateur. Dans le cas le plus fréquent où il s'agit de manoeuvres non spécialisés, il est néanmoins possible de faire 3 à 5 sondages en courte longueur de ligne ( $AB/2 = 2$  à 300 m) par jour.

### 4) Interprétation des résultats.

Les courbes de sondages électriques, reportées sur papier bi-logarithmique spécial, sont comparées aux abaques 3 terrains C.G.G. Epaisseurs et résistivités du 1<sup>o</sup> terrain, lues directement sur les abaques et prises comme unités, permettent de déterminer l'épaisseur et la résistivité du 2<sup>o</sup> terrain, ainsi que la résistivité du 3<sup>o</sup> terrain (substratum). Dans le cas de niveaux d'altération sur roches éruptives la résistivité  $f_3$  est celle de la roche saine et en général  $f_3/f_2 > 100$ ,  $f_2$  étant la résistivité des niveaux d'altération. Quant à la résistivité  $f_1$  du terrain superficiel elle peut prendre toutes les valeurs comprises entre quelques ohm.m (niveaux très argileux) et quelques dizaines de milliers d'ohm.m (niveaux latéritiques, gravillons ferrugineux, etc...)

Dans ce dernier cas, l'on ne peut espérer déterminer à la fois  $e_2$  et  $f_2$ . En effet la courbe est telle qu'elle est applicable sur 2 ou plusieurs abaques, si bien que l'on peut connaître seulement le rapport  $e_2 / f_2$  (principe de l'équivalence, courbe en fond de bateau).

Dans le cas où  $f_1$  est inférieure à  $f_2$  la détermination de  $e_2$  et  $f_2$  est possible avec quelque précision à la seule condition que le rapport  $e_2 / f_2$  n'ait pas une valeur trop faible. Si  $e_2 / f_2$  est très petit le 2<sup>o</sup> terrain n'apparaît pas sur le diagramme (principe de la "suppression" du terrain intermédiaire, cas de l'escalier montant).

L'interprétation d'un groupe de sondages permet toutefois une appréciation relative des épaisseurs, même s'il n'est pas possible de déterminer  $e_2$ : en effet, en supposant  $f_2$  constante, l'épaisseur  $e_2$  sera d'autant plus grande que le palier de la courbe (fond de bateau ou marche d'escalier) sera plus accusé.

## Essais de sondages électriques sur niveaux d'altération

---

16 sondages électriques (SE) ont été effectués sur niveaux d'altération. Un seul de ces sondages (BARAFOUTE) n'a pas été placé à proximité d'un puits. Tous les autres ont été étalonnés d'après les puits. La longueur des lignes  $AB/2$  n'a jamais excédé 120 m. Les courbes obtenues, représentées sur 5 feuilles, sont groupées d'après leur situation géographique (Bar: BARAFOUTE, K: KANEMERE, Ba: BAGNONBA, T: TAKOUTALA, D: BOUNDOU DIOE), et d'après leur "allure" (fond de bateau ou escalier montant).

### Interprétation.

Les résultats des SE et des puits sont résumés dans le tableau joint. Notons tout d'abord qu'un de ces SE nous conduit à une interprétation complètement fautive: il s'agit du puits Ba: dans ce cas, le faible taux d'argiles de la roche altérée explique en partie l'erreur commise. D'autre part, deux sondages, le D-4 et le Ba-8, sont ininterprétables: les points des débuts de courbe étant trop dispersés. Quant aux autres SE, ils s'accordent de façon satisfaisante avec les résultats des puits; toutefois un plus grand nombre de points du côté des  $AB/2$  faibles aurait permis, à peu de frais, d'accroître la précision.

### Résistivité des niveaux d'altération.

Connaissant leurs épaisseurs d'après les puits nous sommes à même de chiffrer leurs résistivités. Nous obtenons

#### pour KANEMERE

argiles gonflantes	:	$6 \leq f \leq 20$ ohm.m
matériau kaolinitique:		$18 \leq f \leq 30$ ohm.m
arène granitique:		$f > 60$ ohm.m

#### pour BAGNONBA

matériau kaolinitique:		$f = 30$ ohm.m
kaolinite + argiles gonflantes:		$f = 18-20$ ohm.m

#### pour TAKOUTALA

argiles gonflantes	:	$f = 25-30$ ohm.m
--------------------	---	-------------------

Profil	SONDAGES						ELECTRIQUES		ELECTRIQUES			Remarques			
	nature	sol (1)		d'		nature	épais- seur mesurée	e <sub>2</sub>	altération (2)	roche résistante (3)	profon- deur mesurée		e <sub>1</sub> +e <sub>2</sub>	toit de nappe à la fin de saison sèche	
	base de horizon gravil- fonnaire	non- gravil- fonnaire	e <sub>1</sub>	ρ <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>				e <sub>2</sub>						
T-1	vertisol	3,0 m	1,5m	13	1,9	S + K	4,8m	6m	25	1,8	granodiorite	7,8m	7,5m		
T-2	vertisol	3,0	1,0	12	1,9	S	2,5	3,5	30	2,8	gabbro	5,5	4,5		
D-4	sol hydro morphe	1,5			1,8	S	4,0			2,3	basalte	5,5	+ 4	SE très dispersé	
Ba	lithosol	1,5	1,6	22	2,5	S + K	+ 10	4,8	17	2,6	diorite	+ 11,5	6,5	faux	
BA-4	lithosol	0,5m	1,0	120	1,7	S + K	2,5	2,0	20	2,1	diorite	3,0	3,0		
BA-6	vertisol	0,2	1,0	18	1,5	arène K	9,5	10	30	2,0	dolérite	10,5	11		
BA-7	vertisol	1,0	1,0	11	1,9	S + K	9,0	8-9	18	2,4	dolérite	10,0	9-10	10,0m	début dispersé
BA-8	sol hydro morphe	0,6			1,8	S	4,4			2,3	basalte	5,0	- 5	5,0	très dispersé, ininterprétable
Bara- fauté	s. gravil- fonnaire	1	2,0	10.000	2,1	K	?	35 à 60	20-30	1,7	basalte	?	5-60		non étalonné sur puits
K-5	vertisol	2,0	4,0	10	2,0	arène S	+ 1,5		10	1,9	granite	+ 4,5	6,5	4,5	pas de couverture
K-6	vertisol	0,5	1,0	70	1,8	S	1,5	1,4	9	2,0	gabbro	2,5	2,8		possibilité d'hété- rogénéité
K-7	vertisol	1,5	2,0	35	1,8	S	3,0	2,8	6	2,1	gabbro	4,5	4,8	4,5	
K-12	sol hydro morphe	1,5	2,0	12	2,0	S + K	+ 5	17	18	2,1	gabbro	+ 7	19	7,0	
K-15	s. gravil- fonnaire	1,0	1,0	15.000	1,7	K	+ 7,5	10	30	1,7	basalte	+ 8,5	11		45,0 à pente supérieure
K-22	vertisol	0,5	2,5	100	1,8	S	1,0	2,4	20	2,1	gabbro	3,5	3,0		manque de points en début de courbe
K-31	s. gravil- fonnaire	0,5	1,0	20.000	2,1	arène	+ 6	9	60	1,9	granite	+ 6,5	10	6,5	dispersé

**Légende:** e = épaisseur calculée  
 ρ = résistivité calculée  
 d = densité apparente  
 S = matériau à vermiculites-  
 montmorillonites  
 K = matériau kaolinitique

**densité des roches:**  
 - granites: 2,8  
 - roches basiques: 2,9 à 3,0

**Notes:** un sondage complètement faux: puits Ba (faible taux d'argile, résistivités de la couche d'altération et de la roche peu différentes ?)  
 deux sondages ininterprétables: D-4 et BA-8 (dispersion et manque de points en début de courbe).

Possibilité d'amélioration de la précision par utilisation de AB/2 plus faibles.

La résistivité des niveaux d'altération varie donc grossièrement entre 10 et 30 ohm.m. De telles variations, si elles sont aléatoires, nous interdisent d'utiliser la méthode du profil électrique. En fait il semble que l'on puisse dégager quelques lois concernant la distribution de  $f$ , c'est ainsi que l'on doit avoir, dans une région donnée (d'après les résultats de KANEMERE):

$$f \text{ arg.gonflantes} < f \text{ kaolinite} < f \text{ kaolinite} \\ + \text{ arg.gonflantes}$$

Ces résultats permettent de dégager une méthode d'investigation rapide des niveaux d'altération.

#### Méthode proposée.

Un certain nombre de SE seront effectués en des puits régulièrement espacés de la région à prospector. Nous serons alors à même d'apprécier les variations latérales de la résistivité des niveaux d'altération. Dans chaque zone où la résistivité varie peu, nous exécuterons un profil de longueur  $AB/2$  donnée, définie par les précédents sondages.

Par exemple (voir schéma) si l'on a  $e_1 = 1$  m,  $f_1 = 10$  ohm.m,  $f_2 = 15$  ohm.m, la résistivité apparente pour  $AB/2 = 100$  m est:

420 ohm.m	pour	$e_2 = 2$ m
230 ohm.m		$e_2 = 5$ m
140 ohm.m		$e_2 = 9$ m
55 ohm.m		$e_2 = 25$ m

Ainsi la carte des résistivités apparentes pour  $AB/2 = 100$  m permettrait de définir les zones d'épaisseur d'altération faible pour  $f_a > 230$  ohm.m,  $e_2 \leq 5$  m.

Cette méthode devra être mise en oeuvre au cours de la prochaine campagne de prospection.

## Coefficients K

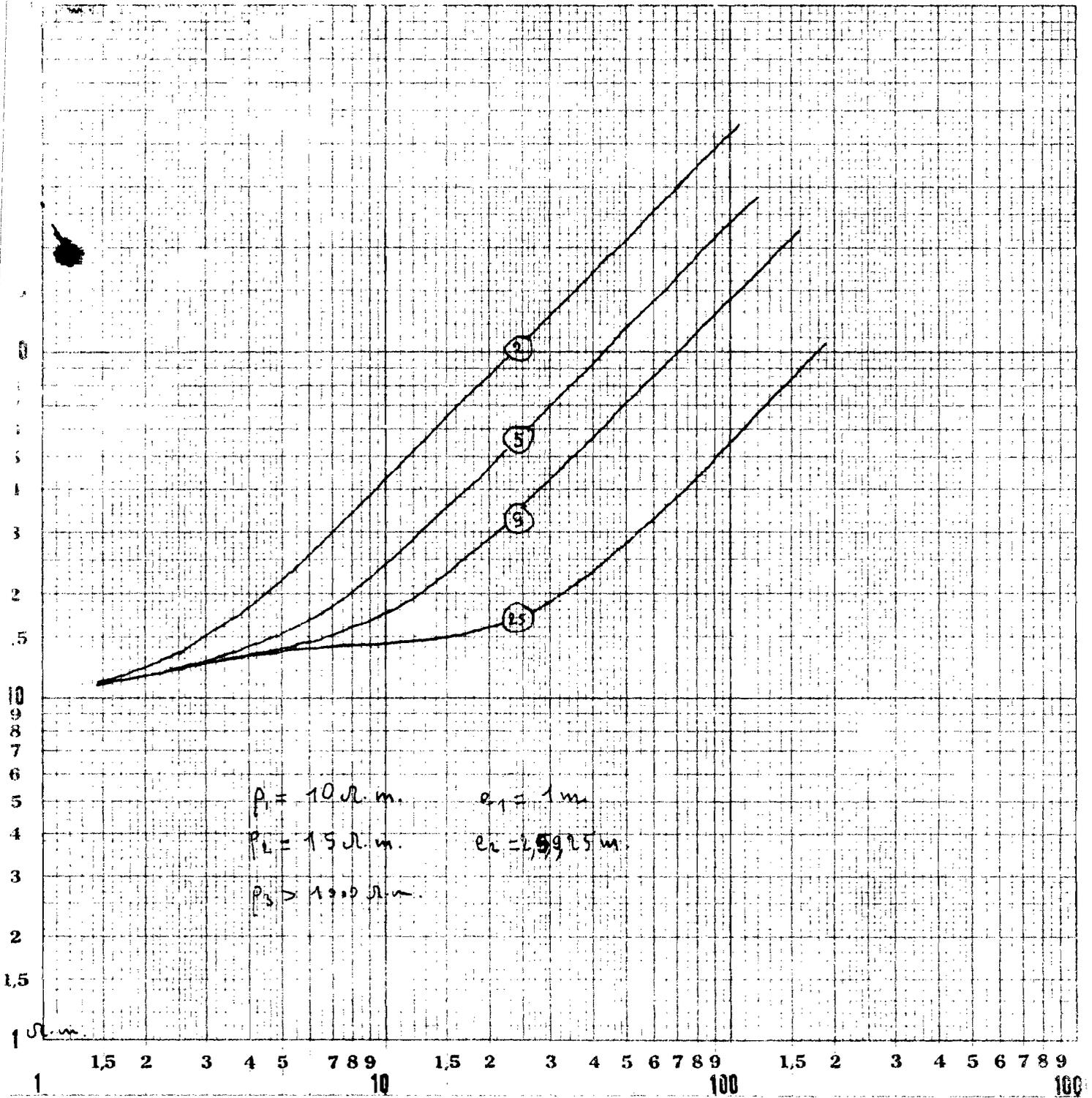
### Position des électrodes A - B - M - N

AB/2	MN	K	AB/2	MN	K
1,2 m	0,4 m	11,0	32	2	1600
1,5	-	17,4	40	10	495
2	-	31,1	-	2	2520
2,5	-	48,9	50	10	777,5
-	1	18,8	60	-	1125
3	-	27,5	80	-	2000
-	0,4	70,5	-	40	473
4	1	49,5	100	-	755
5	-	77,75	-	10	3140
6	-	112,5	120	40	1132
8	-	200	-	10	4570
-	2	100	150	40	1715
10	-	155,5	200	-	3115
-	1	314	-	100	1175
12	2	224	250	-	1880
-	1	451	-	40	4875
15	2	358	300	100	2750
20	-	628	-	40	7050
25	-	1010	400	100	4950
-	10	188	500	-	7775
32	-	318			

### BIBLIOGRAPHIE

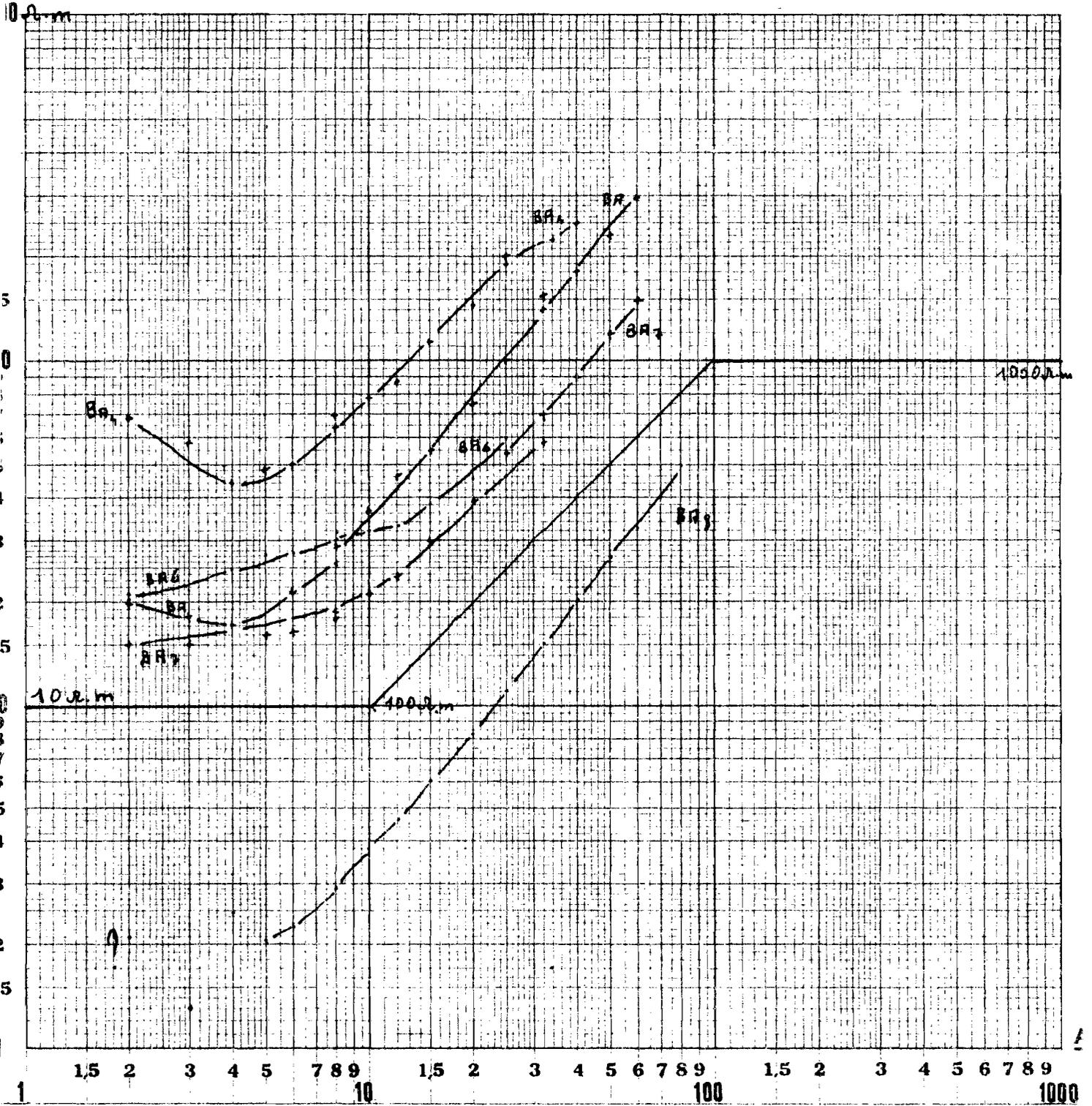
- Prospection électrique par courants continus - P.LASFARGUES - MASSON - 1957
- Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines - J.P.MATHIEZ  
et G.HUOT - C.I.E.H. - 1966
- Etude des matériels légers de prospection électrique et sismique -  
P.BAUDOIN - C.I.E.H. - 1967
- Abaques de sondage électrique (2<sup>e</sup> édition) - Compagnie Générale de  
Géophysique - 1963

# Schema

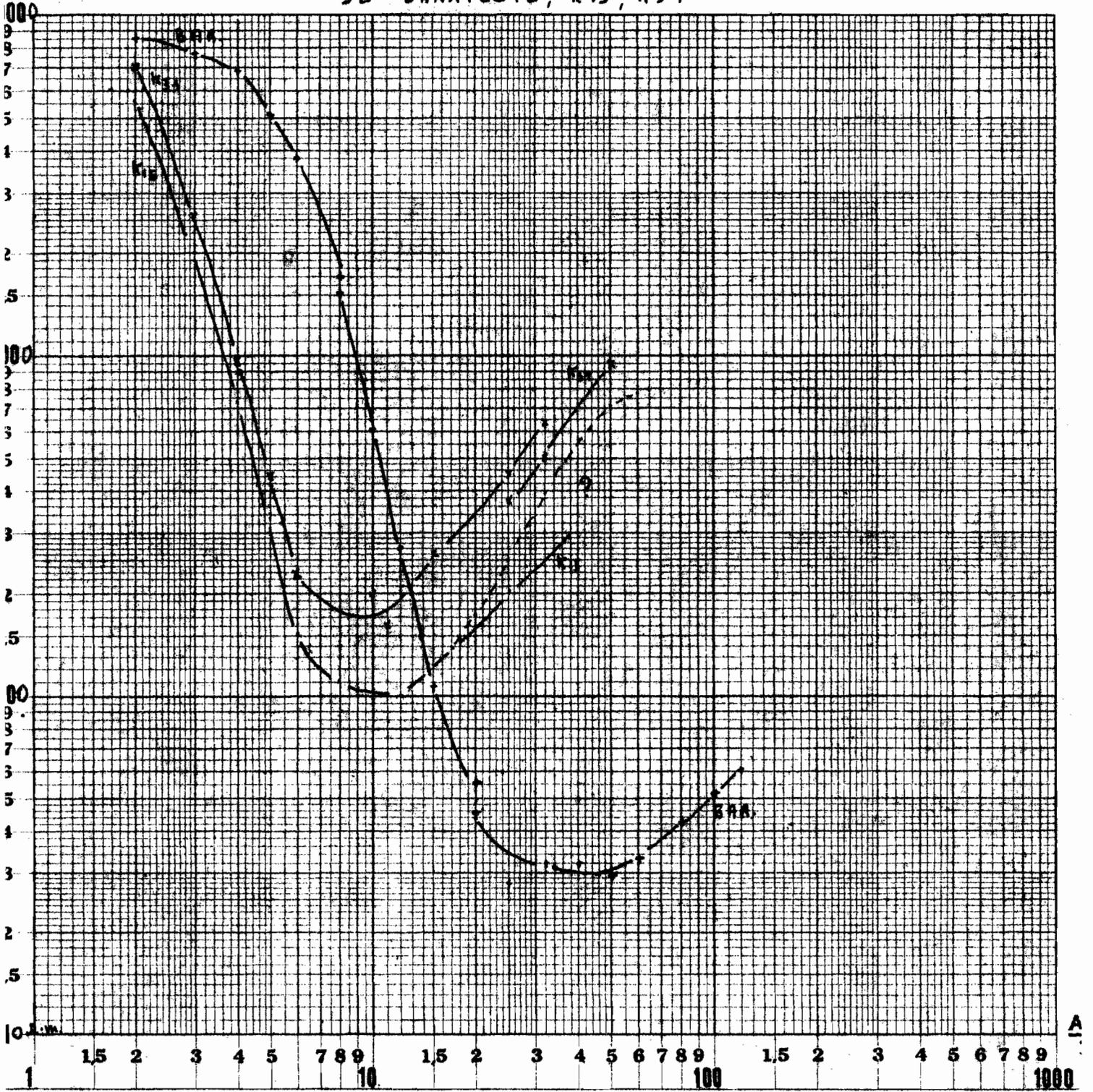




SE BA, BA<sub>4</sub>, BA<sub>6</sub>, BA<sub>7</sub>, BA<sub>8</sub>

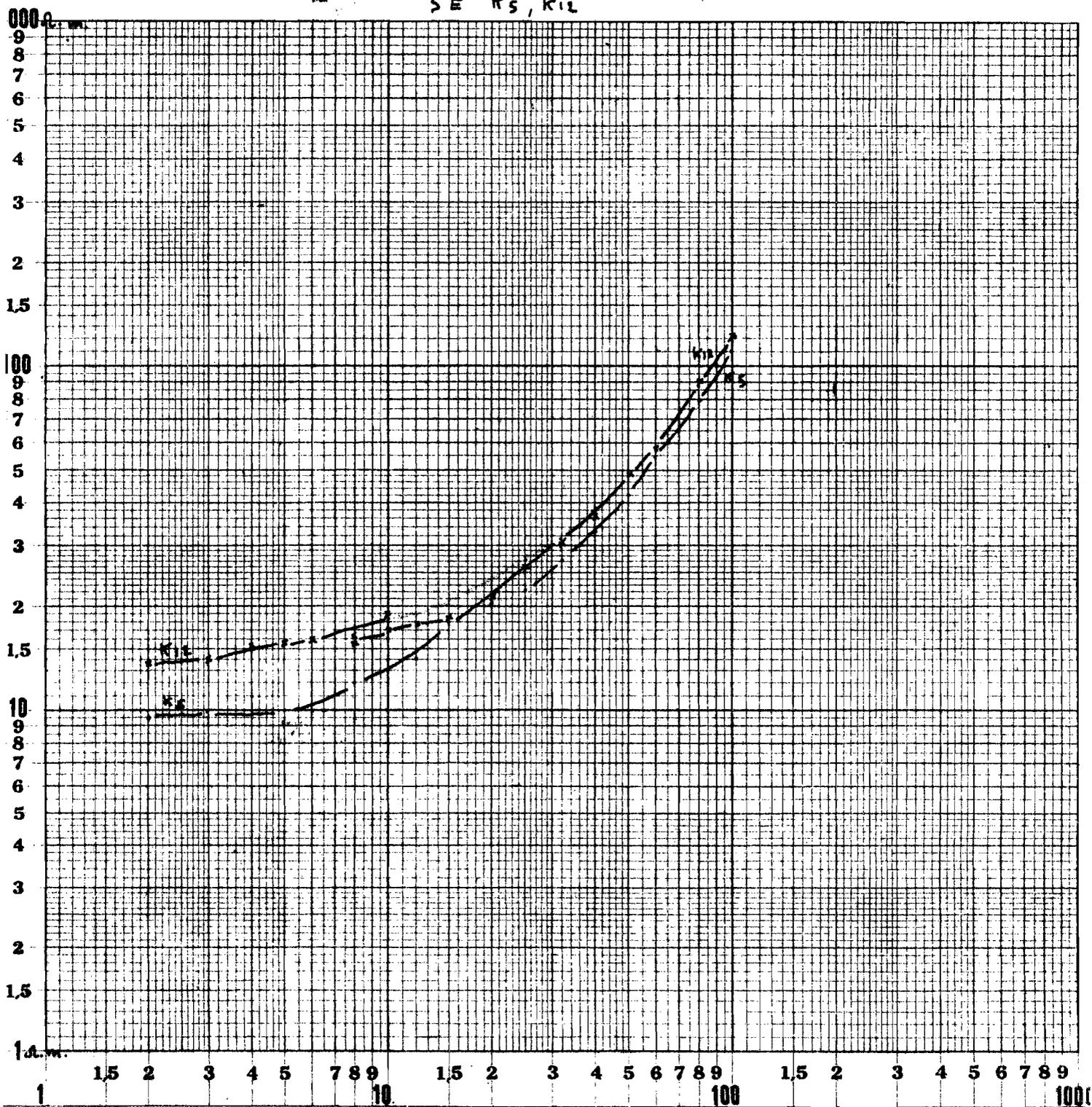


SE BARAFOUTE, K15, K31

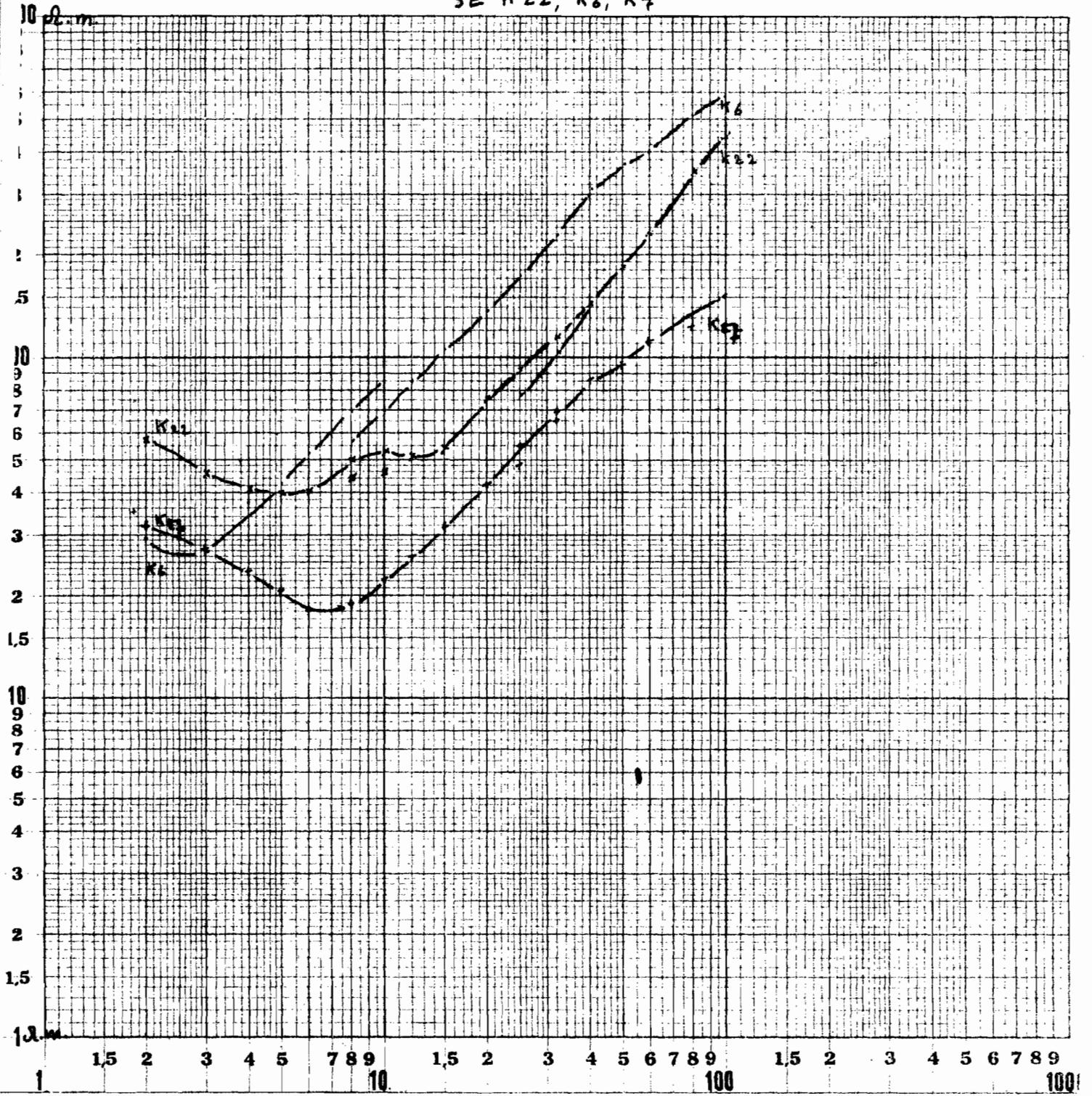


N° 368

SE K5, K12



SE K22, K6, K7



N° 368