

Y. ALBOUY
B. BOULANGE
J.C. PION



**ESSAIS DE PROSPECTION ELECTRIQUE
APPLIQUES A L'ETUDE DES NIVEAUX
D'ALTERATION EN HAUTE-VOLTA**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

JUILLET 1970

CENTRE DE DAKAR-HANN

Trois campagnes de fonçage de puits (1968-1970) ont été menées en Haute-Volta dans le cadre d'une étude sur l'altération des roches éruptives basiques. Les deux premières années l'implantation des puits a été effectuée d'après les seules données géologiques et la reconnaissance de terrain, ce qui laissait entièrement au hasard l'épaisseur des niveaux d'altération à traverser pendant le creusement.

Au cours des missions 1970, par contre, des prospections géophysiques ont été systématiquement entreprises par les géologues du Centre de DAKAR et les géophysiciens du Centre de M'BOUR.

Les techniques et l'appareillage utilisés ont été mis au point au Sénégal-Oriental sur un problème de même nature - cf. Application de la prospection électrique par courant continu à l'étude des niveaux d'altération -

Y. ALBOUY - J.M. WACKERMANN - Rapport ORSTOM - Août 1969.

En Haute-Volta la prospection géophysique s'est déroulée selon le protocole suivant :

1/ Etalonnage des sondages électriques sur les puits des missions KOLEL 1968 et SIAN 1969 en améliorant matériel et méthode:

- les premières mesures sont réalisées avec des AB/2 très faibles (1 m, 1,50 m, 2 m...) et un MN de 0,40 m, de façon à serrer les points en début de courbe
- la sensibilité du potentiomètre "CAGNIARD" a été augmentée par l'adjonction d'un amplificateur (Annexe n° 1).

2/ Implantation des puits - TANKIEDOUGOU 1970 :

Dix sondages électriques ont été effectués pour déterminer l'épaisseur du manteau d'altération. Malheureusement les résultats obtenus n'ont jamais permis de localiser le toit de la nappe phréatique.

Les deux points essentiels dans le creusement manuel des puits sont:

- connaissance de l'épaisseur des niveaux d'altération, le fonçage devenant difficile en dessous de 15 m avec risques d'éboulement
- connaissance du toit de la nappe phréatique, les venues d'eau rendant l'avancement impossible en l'absence de moyens de pompage.

3/ Comparaison méthode électrique - méthode sismique
(Terra-Scout du Centre d'ABIDJAN)

La comparaison sismique-électrique n'a pu être qu'ébauchée au cours de cette campagne. Le marteau du "Terra-Scout" s'est révélé fragile à l'emploi et le manque de régularité du "top" de départ nous a contraint à arrêter les mesures. Méthode et résultats sont donnés dans l'Annexe n°3.

Les résultats de la méthode sismique ne sont pas décisifs, on pourrait peut-être en attendre une localisation de la nappe phréatique et des faibles épaisseurs de terrains intermédiaires, là où la méthode électrique reste aveugle.

Dans le cas général, les méthodes électriques ont donné des résultats satisfaisants aux problèmes posés par l'étude des altérations. A ceci s'ajoute les qualités de terrain du matériel électrique, robustesse, rapidité des mesures avec du Personnel non spécialisé et surtout équipement moins onéreux.

ETUDE DES NIVEAUX D'ALTERATION

L'étalonnage des sondages électriques a été effectué sur les secteurs suivants :

KOLEL (Long. 0° 26' Lat. 14° 33') 7 sondages

SIAN (Long. 1° 13' Lat. 13° 06') 8 sondages

Les essais prospectifs ont porté sur le secteur TANKIEDOUGOU (Long. 3° 24' Lat. 11° 07') 10 sondages électriques et 2 sondages sismiques.

Dans la majorité des cas un puits est creusé à proximité du sondage.

Résultats :

Les courbes représentant chaque sondage sont groupées sur 9 feuilles d'après leur localisation géographique (KO = KOLEL, SI = SIAN, TAN = TANKIEDOUGOU) et d'après leur "profil général" (fond de bateau ou escalier) - Annexe n° 2

Un tableau regroupe tous les résultats géologiques et géophysiques pour chaque puits et sondage.

Interprétation:

En général, il ne peut être retenu qu'une seule interprétation graphique des résultats obtenus, qui s'accorde de façon satisfaisante avec les profils des puits.

Cependant certains sondages peuvent être d'interprétation délicate:

- deux valeurs possibles selon l'abaque employée, pour
KO-3, KO-11, SI-9, TAN-5

- présence d'un quatrième terrain dans les sondages:
SI-1 (les deux premiers terrains sont groupés)
SI-faille - TAN-puits.

Précision des mesures:

Pour tous les sondages électriques étalonnés par des puits, la profondeur de la roche saine $e_1 + e_2$ correspond à la profondeur réellement atteinte par creusement avec une précision de l'ordre du mètre (Tableau 1).

Si cette précision entre mesures électriques et observations géologiques est satisfaisante dans son ensemble, certains cas nécessitent une réserve

1/ Cas des terrains intermédiaires peu épais

Au cours d'un sondage électrique, le passage rapide d'un niveau superficiel très résistant à un niveau sous-jacent très conducteur se traduit par une descente abrupte de la courbe.

Cette chute de la résistivité apparente de plusieurs centaines d'ohms à quelques dizaines d'ohms peut oblitérer un niveau intermédiaire peu épais

Ex. : KO-1, KO-2, SI-1, TAN-2

2/ Puits $< e_1 + e_2$

C'est le cas général où la profondeur mesurée du puits est inférieure à la valeur fournie par la géophysique.

Le creusement manuel n'atteint pas tout à fait la roche saine mais s'arrête environ 1 m au-dessus. Un surcreusement au burin ou au marteau piqueur est à envisager.

3/ Puits $> e_1 + e_2$

Pour deux puits (KO-3 et SI-3) situés à flanc de colline sur des pentes de l'ordre de 30 % la valeur mesurée est plus faible que la profondeur réellement atteinte. Le sondage électrique a été effectué perpendiculairement à la ligne de plus grande pente. Dans ces conditions de topographie très tourmentée, on ne peut attendre que des résultats qualitatifs des sondages électriques. Dès que les électrodes d'envoi de courant se placent à l'intérieur d'une dépression de terrain, la résistivité apparente augmente, ce qui peut conduire à des interprétations trop faibles de l'épaisseur du deuxième terrain.

Tableau 1 - Comparaison $e_1 + e_2$ - puits profondeur mesurée en m.

	$e_1 + e_2$	PUITS	OBSERVATIONS
KO - 1	18,80	> 11	Boulders au fond
KO - 2	10,80	9,50	
KO - 3	10,50 à 13,50	> 13	Pente 25°
KO - 4	7,75	6,50	
KO - 9	4,50	4,50	
KO - 10	3,30	3	
KO - 11	4	3,50	
SI - 1	19,5	> 17	
SI - 2	9	9	
SI - 3	10,50	12	Pente 20°
SI - 9	23	23	
SI - 10	19,80	> 8,50	Boulders au fond
SI - 11	8,80	9	
SI - 12	9,80	> 4,50	
TAN - 1	14	> 8,50	Niveau de la nappe phréatique
TAN - 2	14,10	> 9,50	Niveau de la nappe phréatique
TAN - 5	18	> 11	Niveau de la nappe phréatique
TAN - 3	8	6	
TAN - 6	8,25	7,50	
TAN - 7	8,40	7,50	

Résistivité des niveaux d'altération: (voir tableau altération - résistivité)

Les lois concernant la distribution des résistivités apparentes mises en évidence au cours de la campagne 1969 sont confirmées en Haute-Volta:

$$\Psi_{\text{argiles gonflantes}} < \Psi_{\text{argiles gonflantes} + \text{kaolinite}} < \Psi_{\text{Kaolinite}} < \Psi_{\text{Roche altérée}}$$

Le tableau récapitulatif est établi sans tenir compte des localisations géographiques qui doivent cependant jouer un rôle pour la distribution des résistivités.

Si nous voulons chiffrer les différentes altérations, nous obtenons:

$$\begin{aligned} \text{Argiles gonflantes} &: 9 \leq \Psi \leq 14 \\ \text{Argiles gonflantes} \\ &+ \text{kaolinite} &: 15 \leq \Psi \leq 20 \\ \text{Kaolinite} &: 20 \leq \Psi < 30 \end{aligned}$$

Ces chiffres sont concordants avec ceux obtenus au Sénégal-Oriental. Nous avons pour KANEMERE :

$$\begin{aligned} \text{Argiles gonflantes} &: 6 \leq \Psi \leq 20 \\ \text{Kaolinite} &: 18 \leq \Psi \leq 30 \end{aligned}$$

Dans un prochain stade et à l'aide de ces valeurs, qui demandent à être confirmées dans d'autres zones géographiques à climat tropical sec, nous envisageons une détermination rapide des niveaux d'altération grâce aux résistivités apparentes.

Nous avons la possibilité de délimiter des grands ensembles masqués ou ennoyés sous les pédiments qui recouvrent une bonne partie de la topographie actuelle de la Haute-Volta.

Tableau 2 - Nature des niveaux d'altération/résistivité apparente

	NATURE	ρ_2	
<u>KO - 1</u>	S	9	Gabbro altéré = montmorillonite
KO - 2	S	12	
<u>KO - 3</u>	S	12	
KO - 11	S	14	
SI - 1	S	12	
<u>TAN- 1</u>	S	12	Sol verticale sur prasinite
<u>TAN- 2</u>	S	12	
SI - 3	S + K	15	
SI - 9	S + K	15	
SI - 10	S + K	17	
SI - 11	S + K	15	
<u>TAN- 6</u>	S + K	16	
<u>TAN -</u> <u>cuirasse</u>	K	24	Sur pente Pente
<u>TAN- 7</u>	K	30	
SI - 12	K	30	
TAN- 3	K + R. A.	26	
KO - 4	R.A. + K	30	
KO - 9	R.A.	70	
KO - 10	R.A. + gravillons	100	
SI - 2	R.A.	60	
TAN- 5	Arène	55	
<u>TAN-</u> <u>granite</u>	Arène	100	
Légende : R.A. = roche altérée S = argiles gonflantes K = kaolinite			

N.B. : Les puits soulignés ont fait l'objet d'une détermination minéralogique précise (rayons X, ATD, lames minces....)

PROFIL	Nature	S E S		Niveau nappe	Observations
		Recou- vrement	e ₁ + e ₂		
KO - 1	Sables éoliens sols bruns	0,50 1	18,80		Sol 1 m à 2,80 non visible dans descente - abaque 86
KO - 2	Blocs éboulis sols bruns	2,80	10,80		Abaque 86
KO - 3	Boules sols bruns		10,50 à 13,50		Abaque 84
KO - 4	Eboulis sols bruns	1	7,75		Abaque 85 s
KO - 9	Gravillons quartz	2	4,50		
KO - 10	Cuirasse ou sa- bles éoliens	0,50	3,30		
KO - 11	Sable gravillons	0,20	4		Abaque 85
SI - 1	Gravillons blocs	0,80 2	19,50		Deux terrains groupés en début de courbe - abaque 84
SI - 2	Eboulis anguleux		9		Abaque 83
SI - 3	Eboulis de pente	1	10,50		
SI - 9	Colluvions gravillons		23	- 25	Abaque 82 ou 83
SI - 10	Sols gravill. gros blocs	0,20 1	19,80		Abaque 84
SI - 11	Sols bruns	0,20	8,80		Abaque 82
SI - 12	Sol de pente		9,80		
SI - faille			56		$\Psi_3=35$ e ₃ =50 abaque 52-53
TAN - 1	Sol verticale	0,30 à 1,20	14	- 8	Possibilité palier pour terrain intermédiaire
TAN - 2	Sol verticale gravillons	0,50 à 1,50	14,10	- 9,50	Abaque 86
TAN - 3	Eboulis	0,50	8		Abaque 85
TAN - 3 sismique	Eboulis	0,50	7,35 à 8,50		Deux courses consécutives avec le Terra-Scout
TAN - 5	Sols gravill. sol verticale	0,20 2	18	-10,50	Abaque 95
TAN - 6	Sols gravill. sol brun	0,50	8,25		Abaque 83
TAN - 7	Sols bruns débris de pente	0,20	8,40		Abaque 84
TAN - topo 1			6,70		Abaque 81
TAN - Topo 2			8,40		Abaque 82
Tan - granite			42,70		Abaque 85
TAN - granite					Profondeur de la roche saine trop importante Terra-Scout
TAN - cuirasse	Cuirasse Moyen glacis		9,50		Possibilité terrain interméd- iaire dans descente
TAN - puits	Sols verticale marigot	1,20	14	- 2,50	e ₃ = 9 Ψ_3 = 30

A N N E X E S

A N N E X E n°1

AUGMENTATION DE LA SENSIBILITE DE L'APPAREILLAGE
(POTENTIOMETRE)

Le potentiomètre utilisé est le modèle "CAGNIARD", dont la sensibilité maximum est de 0,25 mV/unité, sensibilité nettement insuffisante. Nous avons donc ajouté sur le plot multiplicateur du potentiomètre la sensibilité 0,10mV/unité au moyen d'une résistance de 9.000 ohms (à 0,5 %).

Cependant le principal inconvénient du potentiomètre "CAGNIARD" est dû à la très faible résistance externe qu'admet le galvanomètre; pratiquement aucune mesure n'est possible dès que les résistances de prise de terre dépassent quelques milliers d'ohms, il faut donc recourir à un amplificateur qui sera, en fait, un adaptateur d'impédance.

Choix de l'amplificateur

Nous avons choisi l'amplificateur opérationnel Analog Devices 108 B, déjà utilisé en magnéto-tellurique, sa grande impédance d'entrée (4 Meg-ohms en différentiel) le rendant particulièrement apte à jouer ce rôle d'adaptateur d'impédance.

Les principales caractéristiques en sont les suivantes :

gain boucle ouverte	: 10^5
dérive thermique	: $\pm 10 \mu V/^\circ$
dérive dans le temps	: $\pm 50 \mu V/\text{jour}$
consommation	: 6 mA

Montage et caractéristiques

Le meilleur montage est incontestablement celui donnant un gain en tension égal à 1, quelle que soit la résistance des prises de terre. Il s'agit du montage suiveur à gain unité (voir figure).

L'impédance de sortie de l'amplificateur est tout à fait négligeable et le courant qui passe dans le galvanomètre devient égal à la tension d'entrée divisée par la résistance du circuit potentiométrique (inférieure à 300 ohms).

gain de la boucle	: 10^5
impédance de sortie	: ≈ 0 ohm
gain en tension	: + 1
gain en courant	: variable = rapport de la résistance des prises à la résistance du circuit potentiométrique.

Réalisation et utilisation

Le circuit est schématisé sur la figure ci-jointe.

L'alimentation est fournie par 6 piles 4,5 volts du commerce. L'interrupteur 1, en position arrêt, court-circuite M et M' permettant ainsi de faire des mesures de ΔV sans amplificateur. L'interrupteur 1 fermé, l'amplificateur est mis en marche; l'interrupteur 2 fermé court-circuite les prises de terre MN pour le réglage de compensation de l'amplificateur: il suffit de ramener le galvanomètre au zéro au moyen des potentiomètres de 250.000 et 25.000 ohms. On ouvre alors l'interrupteur 1 et l'on peut faire les mesures.

Sur le terrain il y a lieu de vérifier de temps à autre s'il n'y a pas de dérive, ce que l'on fait dans la pratique à chaque changement de MN.

Le système adaptateur d'impédance a été essayé avec diverses valeurs de tensions d'entrée (de 0,1 à 120 mV) et des résistances d'entrée (de 2.000 à 600.000 ohms), sa réponse est linéaire.

Bibliographie: Les amplificateurs opérationnels - R. GODIVIER
G. DUMONT - ORSTOM Géophysique - Juin 1968.

Adaptateur d'impédance

Schémas de montage et de principe

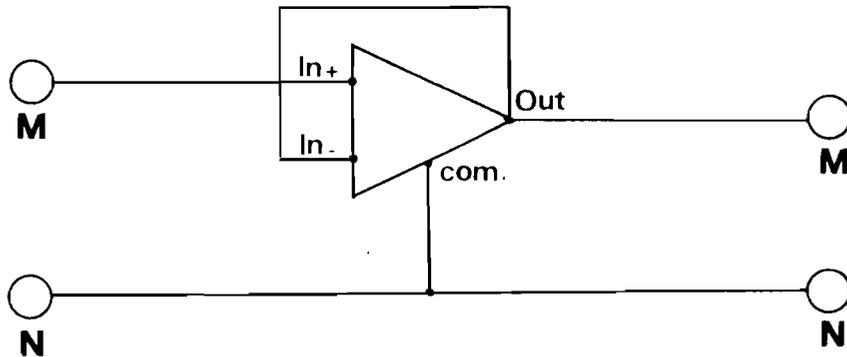
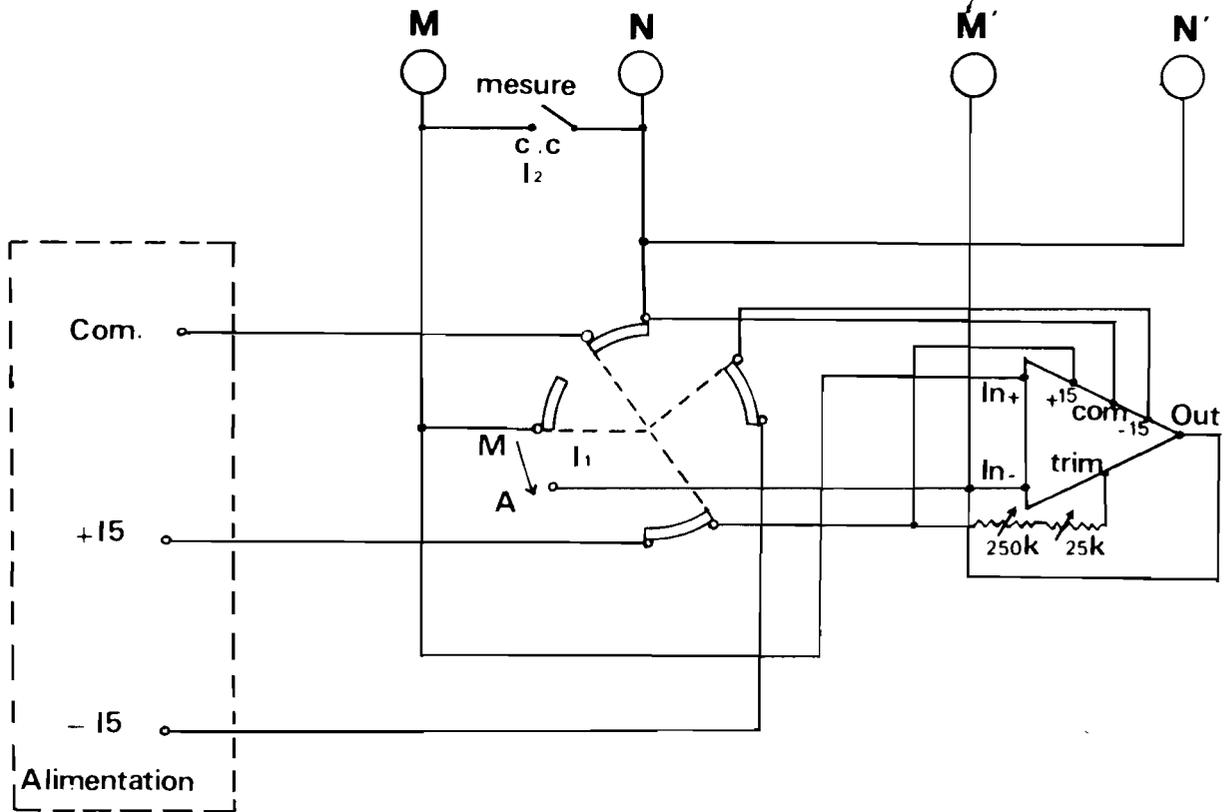
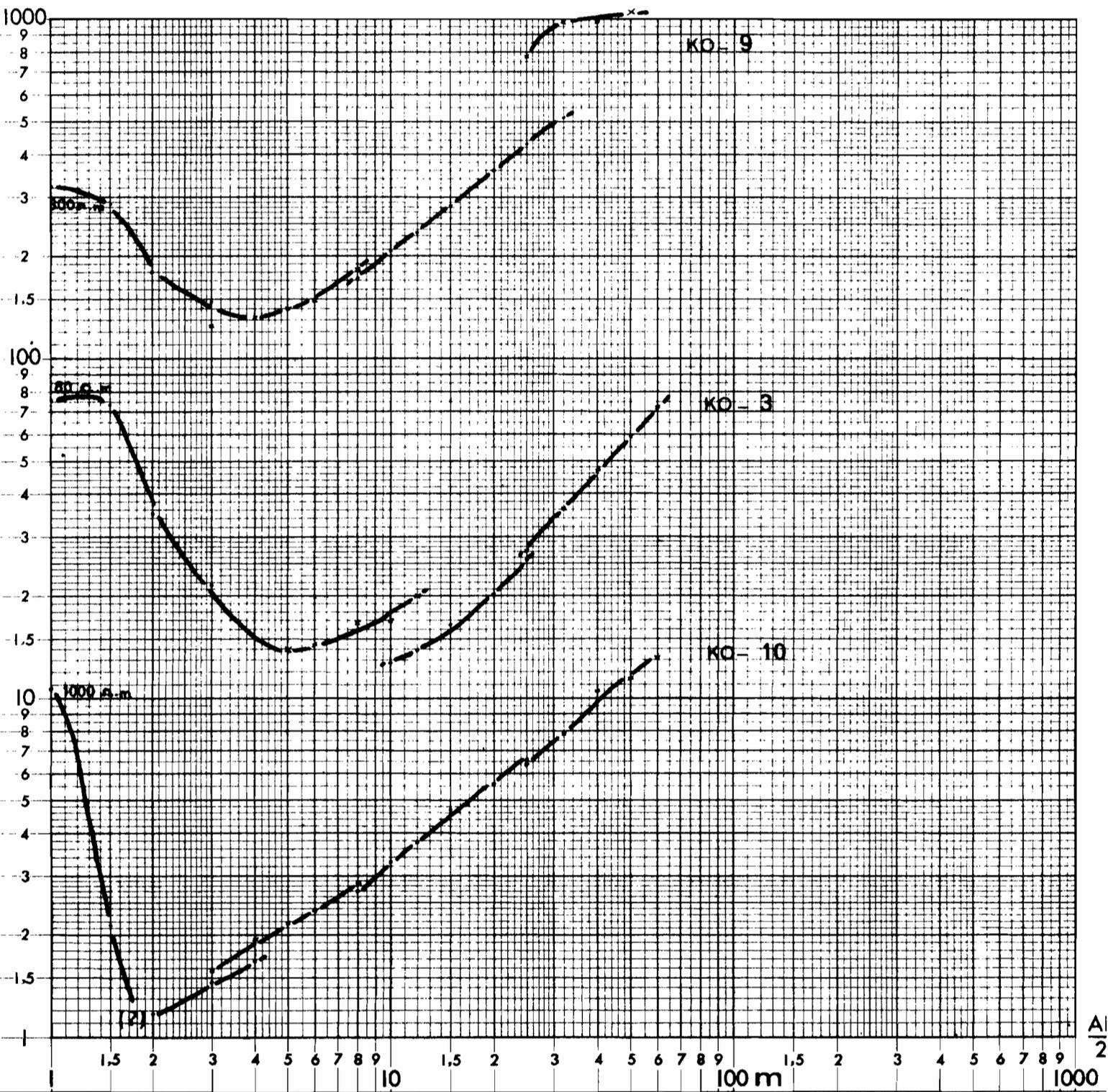
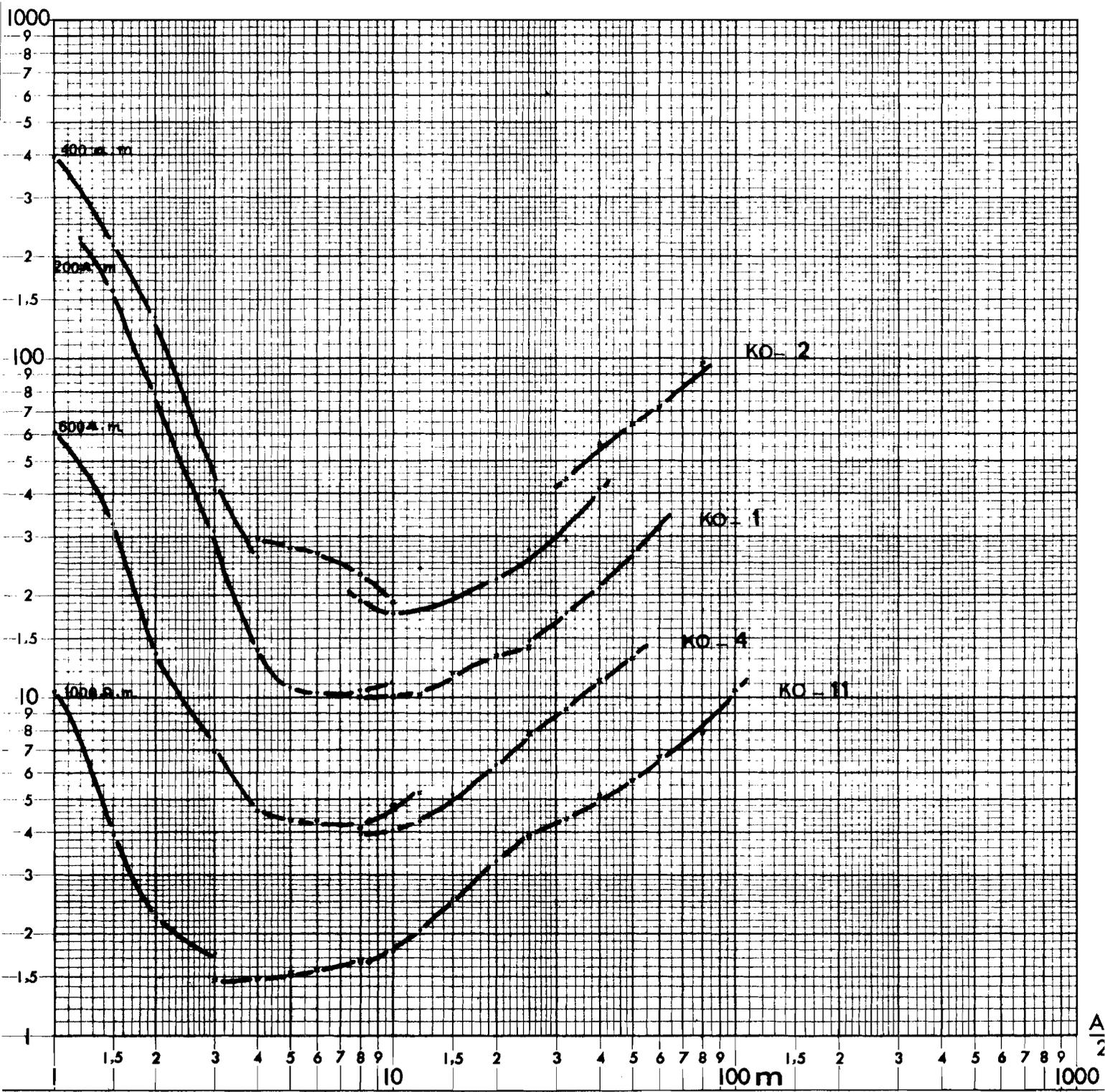


figure 10

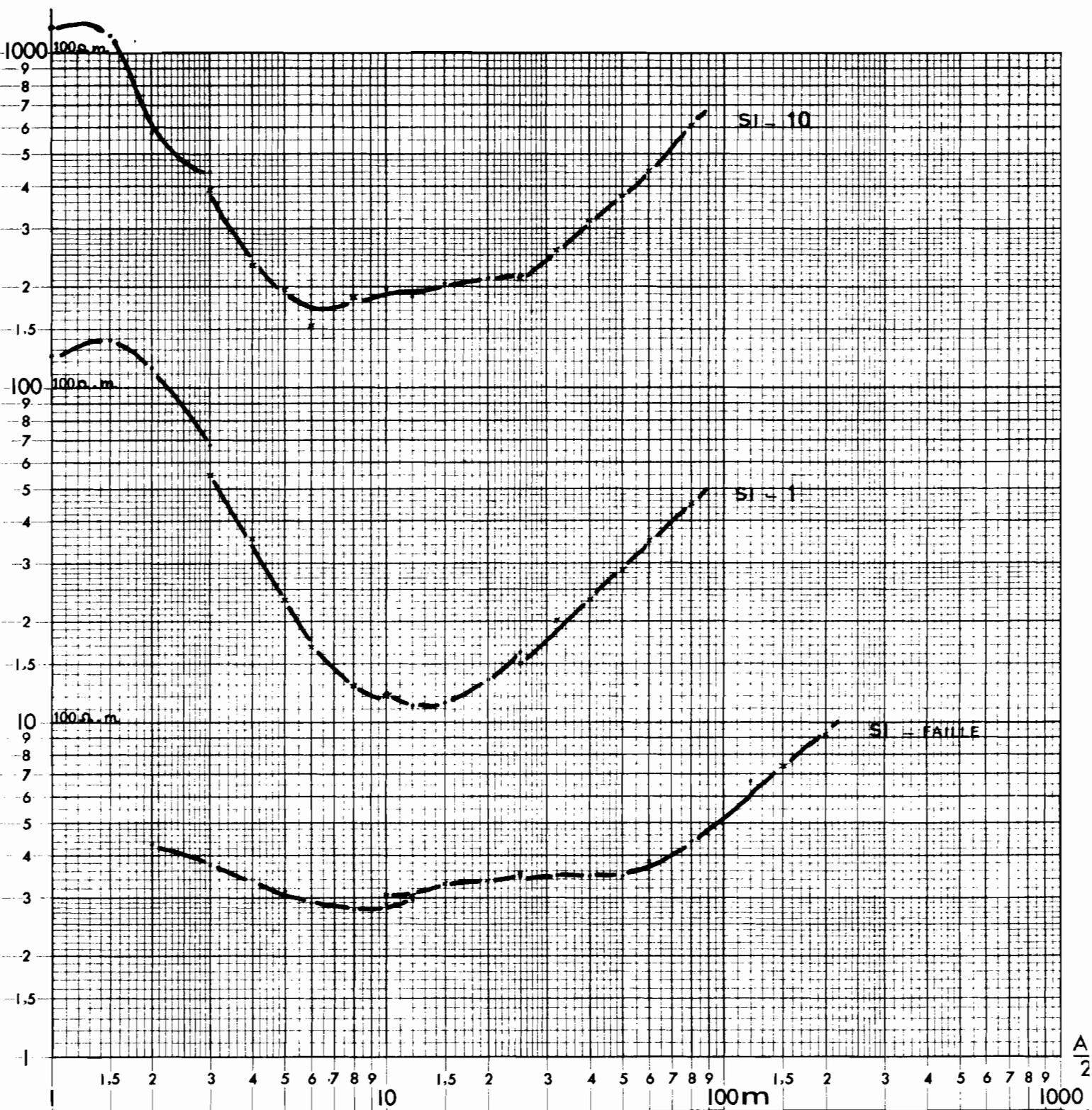
A N N E X E n° 2





N° 368

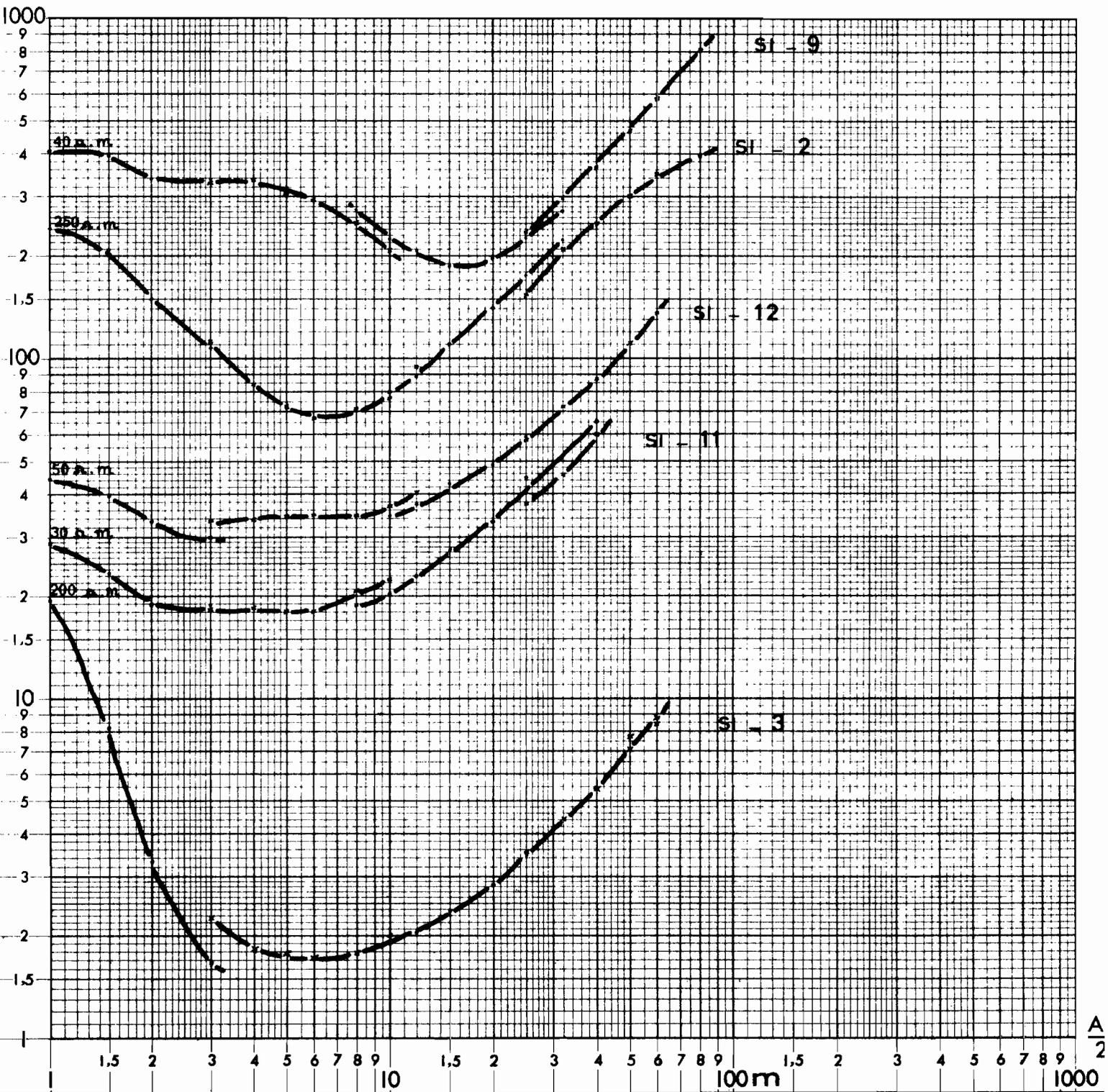
figure 2

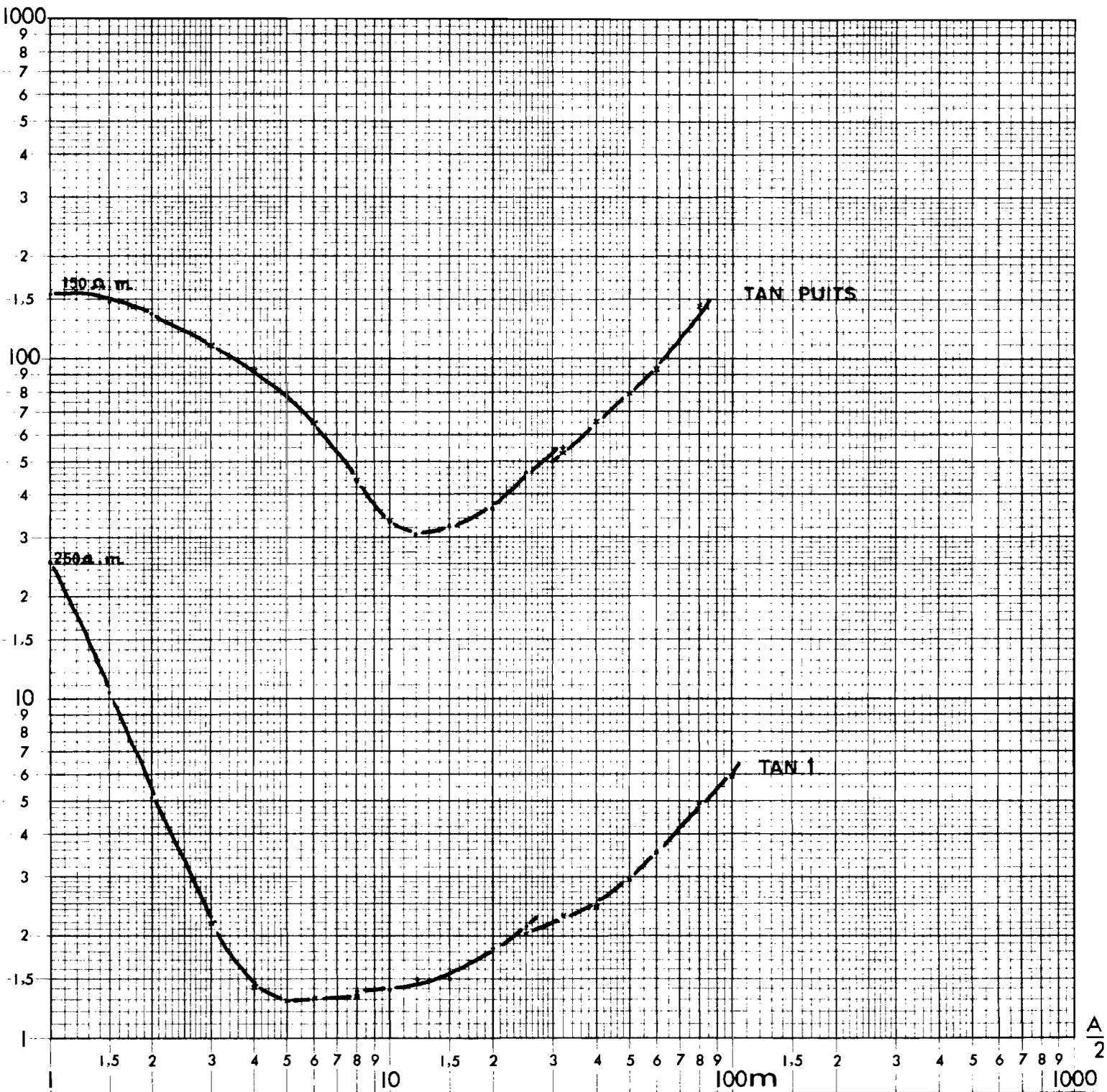


N° 368

figure 3

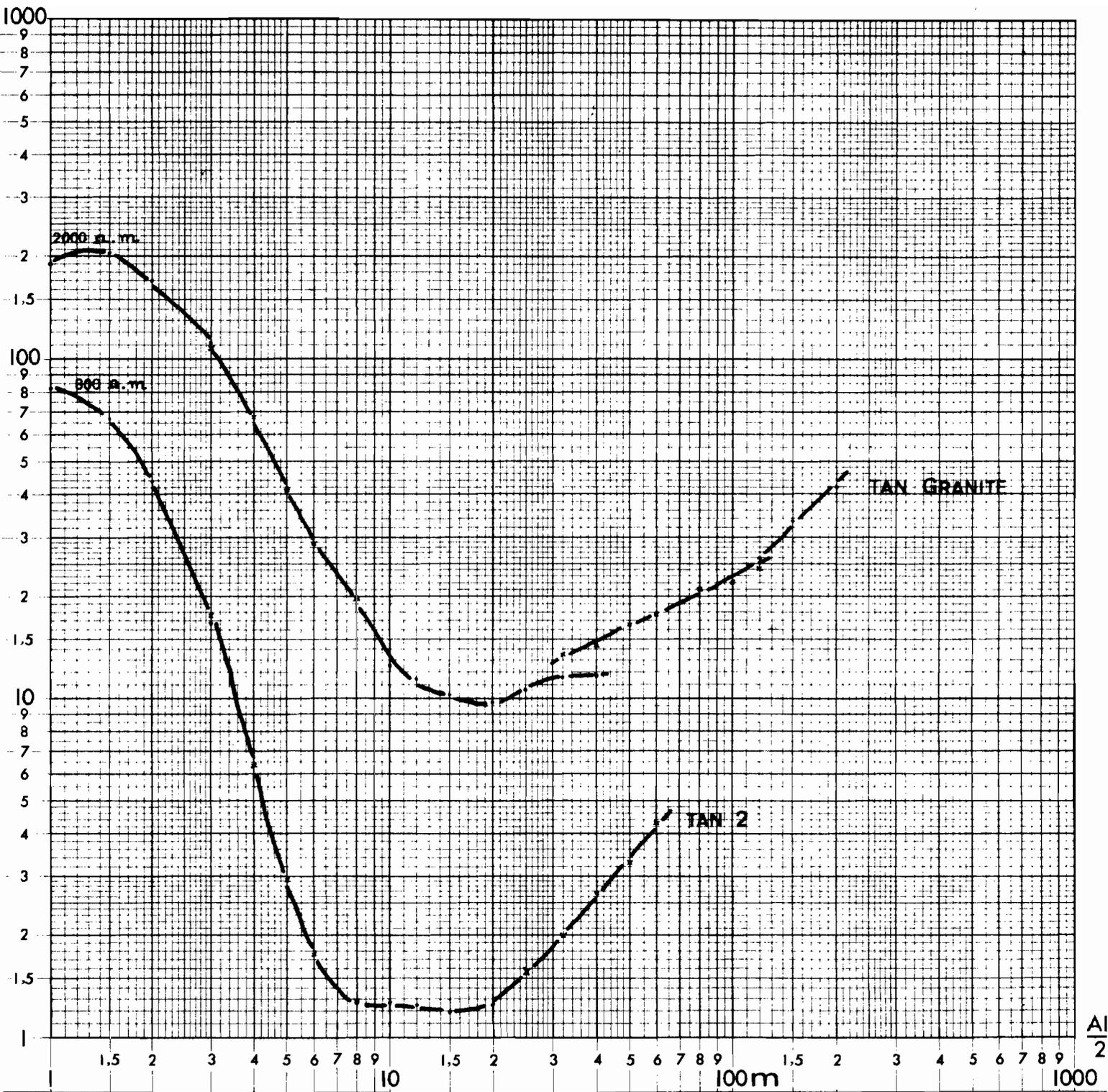
†





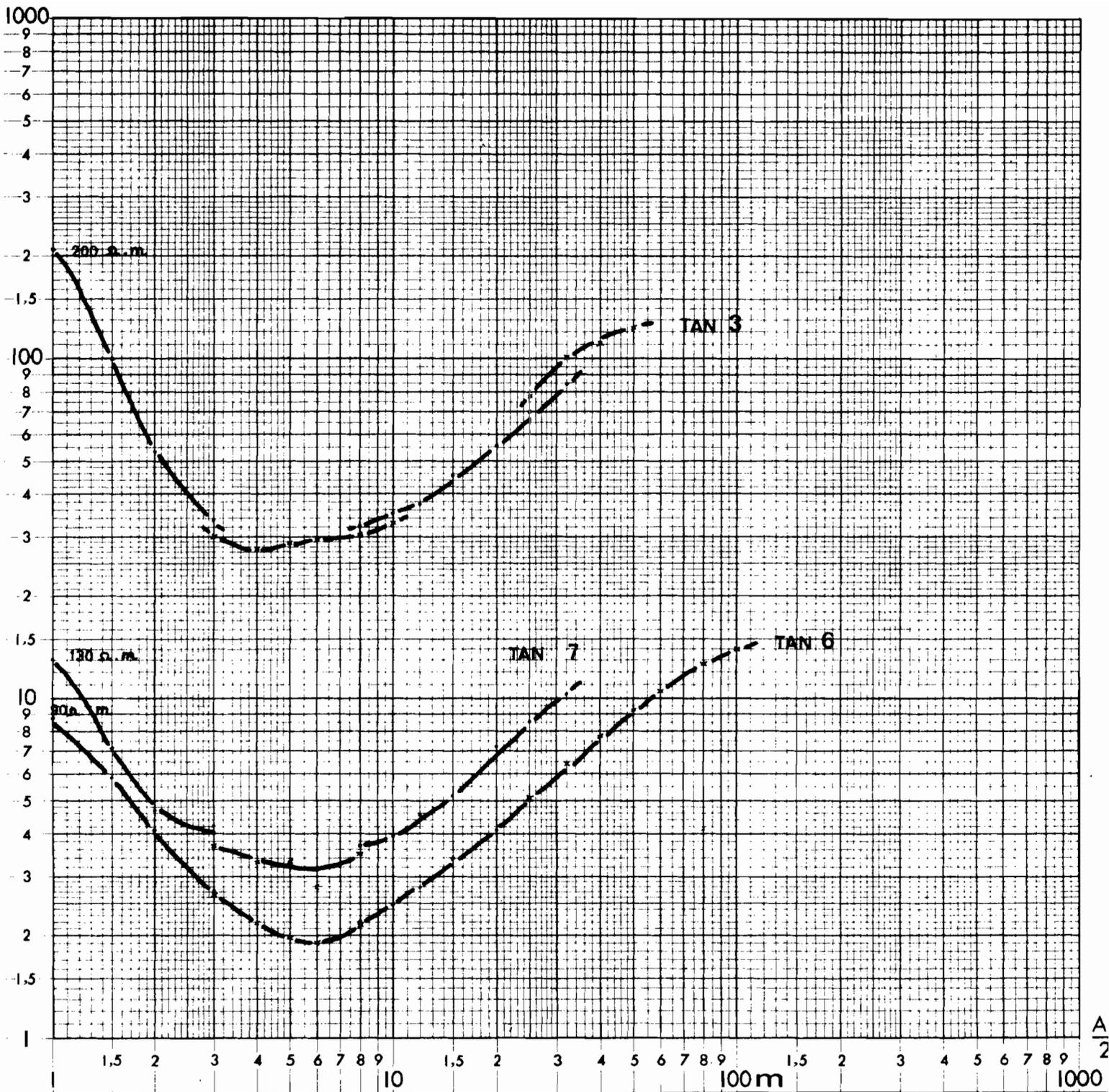
N° 368

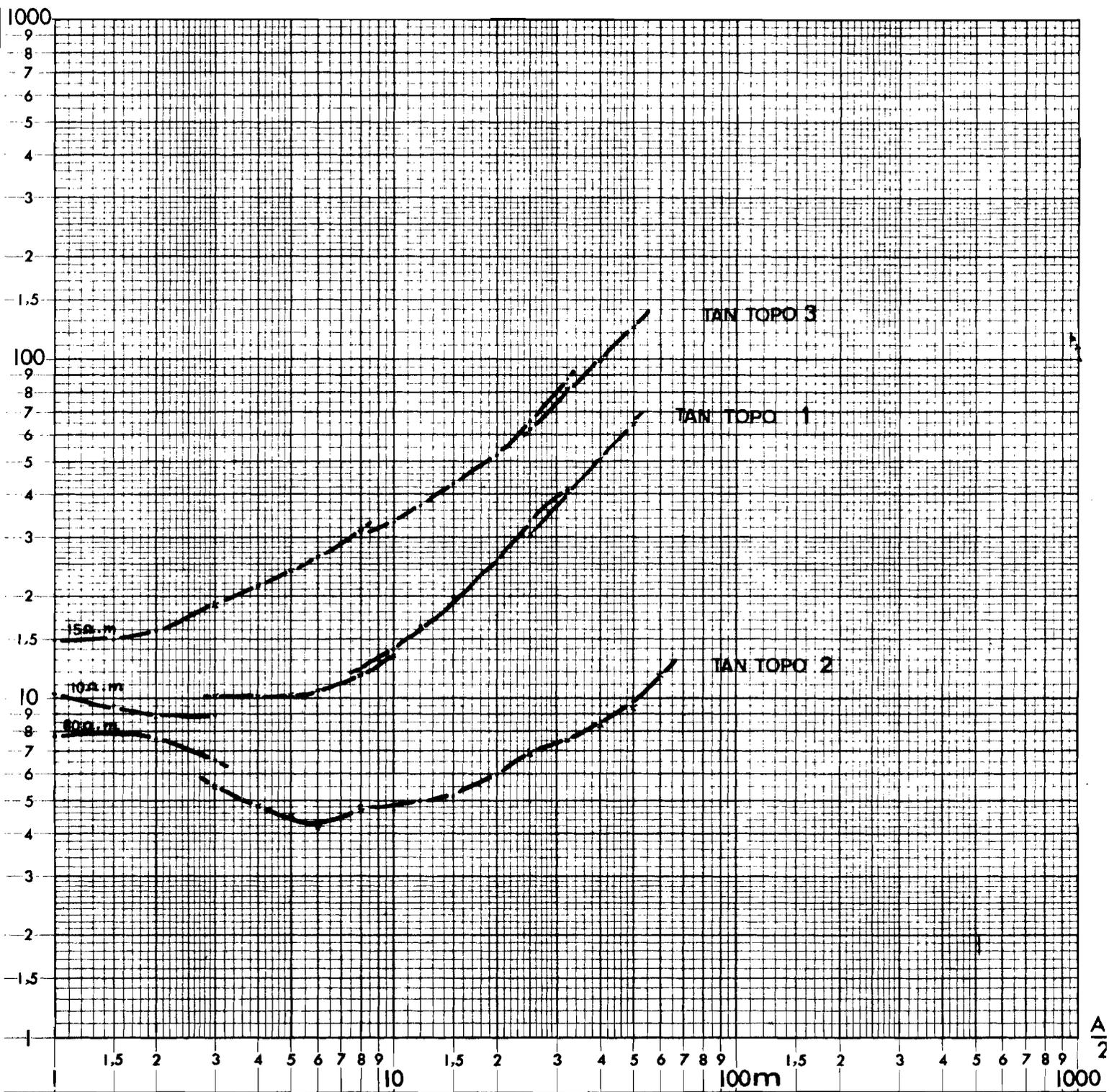
figure 5



N° 368

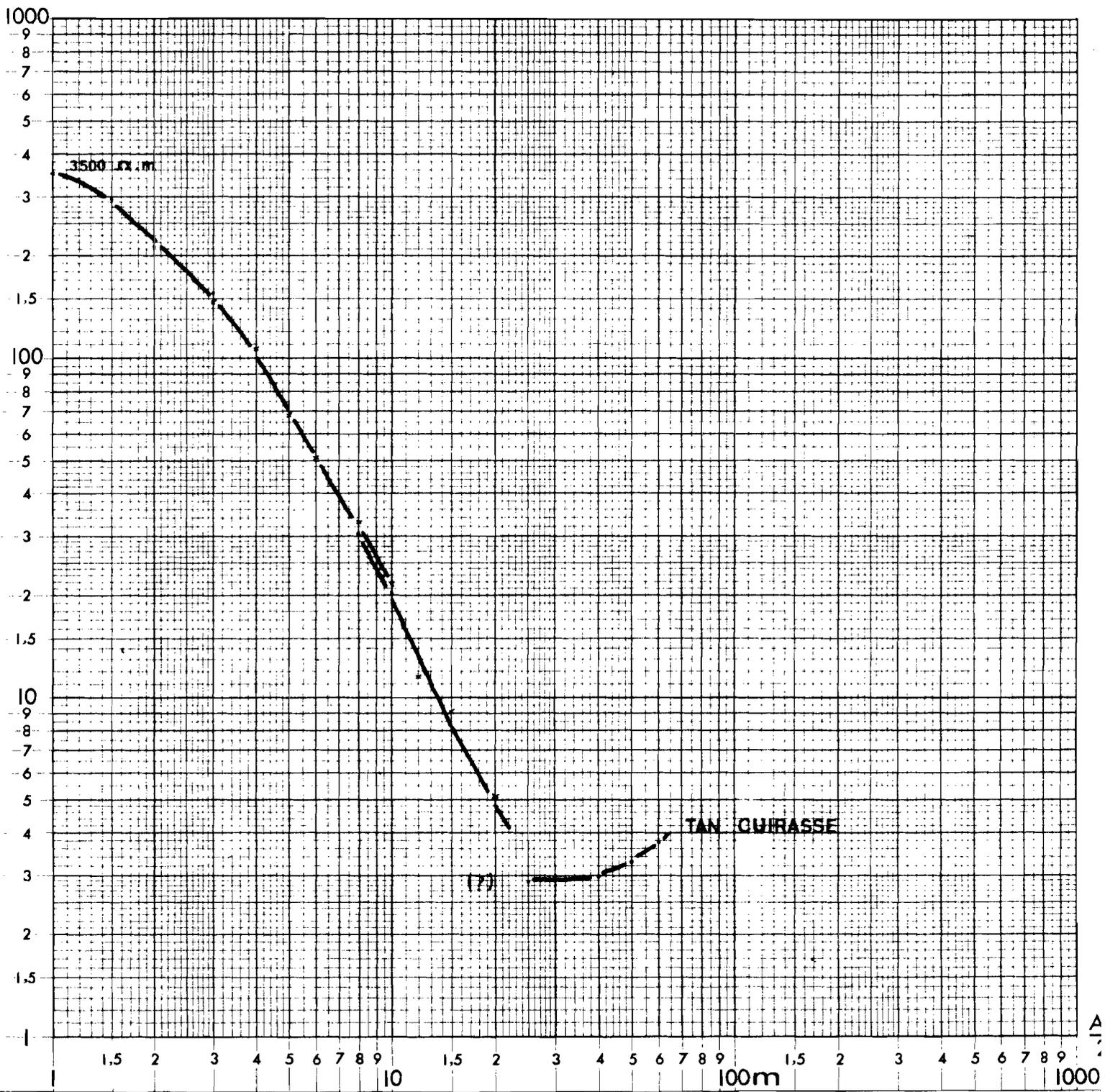
figure 6





N° 368

figure 8



N° 368

figure 9

A N N E X E n° 3

SONDAGE PAR REFRACTION SISMIQUE

1/ Principe et méthode

Une mission, d'une semaine en Haute-Volta (du 7 au 14 Février 1970), conjointe aux travaux de sondages électriques entrepris par ALBOUY et PION dans la région de TANKIEDOUGOU, a permis d'établir une comparaison de cette méthode et de celle utilisée au laboratoire de géologie d'Adiopodoumé dite par réfraction sismique.

Cette méthode est basée sur le fait que les ondes sismiques se déplacent à travers différents matériaux à des vitesses variables, fonctions de la nature de ces matériaux. La mesure de cette vitesse permet d'en déduire le type de matériau rencontré.

L'appareil utilisé est un "Terra-Scout".

Envoyées par des coups de marteau imprimés sur la surface du sol les ondes sont réceptionnées par un géophone et représentées en fonction du temps sur le cadran du Terra-Scout. On calcule alors le retard du train d'ondes par rapport au signal transmis simultanément au coup de marteau. Le martelage s'effectue à partir du géophone suivant des intervalles de 5 à 10 pieds.

2/ Profil sur ultrabasite - TANKIEDOUGOU n° 3

Dans le profil TANKIEDOUGOU n° 3 que nous donnons en exemple figure 11, jusqu'à 10 pieds les ondes voisines de la surface traversant un léger recouvrement gravillonnaire et la roche altérée désagrégée atteignent les premières le géophone. De 20 à 50 pieds les ondes traversant la roche altérée, on y reconnaît encore la structure de la roche mère, atteignent le géophone avant les ondes de surface. A partir de 60 pieds les ondes qui se propagent à travers la roche saine sont les premières à atteindre le géophone. Malgré la distance parcourue plus longue, le matériau étant plus dense les ondes se propagent plus rapidement.

Course 1

La courbe des retards comprend deux points d'inflexion délimitant trois segments de droite: AB, BC et CD correspondant chacun aux vitesses V1, V2 et V3 des ondes dans un matériau différent.

Les distances parcourues dans un intervalle de temps de 5 ou 10 millisecondes permettent de déterminer les vitesses :

$$V1 = 1100 \text{ pieds/seconde} \quad V2 = 4150 \text{ p/s} \quad V3 = 14500 \text{ p/s}$$

Les distances critiques des points d'inflexions B et C sont respectivement :

$$C1 = 12 \text{ pieds} \quad C2 = 54 \text{ pieds}$$

On détermine les coefficients K1 et K2 :

$$K1 = 1/2 \sqrt{\frac{V2 - V1}{V2 + V1}} \quad K2 = 1/2 \sqrt{\frac{V3 - V2}{V3 + V2}}$$

soit :

$$K1 = 0,381 \quad \text{et} \quad K2 = 0,273$$

Les épaisseurs sont données par les formules :

$$D1 = C1 \times K1 \quad D2 = C2 \times K2 + (D1 \times Q)$$

$$D1 = 4,57 \text{ pieds soit } 1,40 \text{ m}$$

Q est un coefficient de correction fonction de V1, V2, V3

$$Q = 1 - \frac{V2 \sqrt{V3^2 - V1^2} - V3 \sqrt{V2^2 - V1^2}}{V1 \sqrt{V3^2 - V2^2}}$$

$$Q = 0,869$$

$$D2 = 54 \times 0,373 + (4,57 \times 0,869)$$

$$D2 = 24,17 \text{ pieds soit } 7,35 \text{ m}$$

Course 2

Le géophone a été placé au point d'arrivée de la course n° 1. Les résultats obtenus sont :

$$D1 = 1,65 \text{ m}$$

$$D2 = 8,50 \text{ m}$$

Ces déterminations indiquent la superposition de trois couches dans le profil :

- sous un faible recouvrement gravillonnaire la première couche d'épaisseur 1,50 m environ est formée d'argile et de roches pourries
- la deuxième couche d'une épaisseur d'environ 5,50 m est formée de roches altérées
- la roche mère se situe vers 7 à 8 m

Ces résultats sont concordants à ceux obtenus par sondages électriques.

3/ Profil sur granite

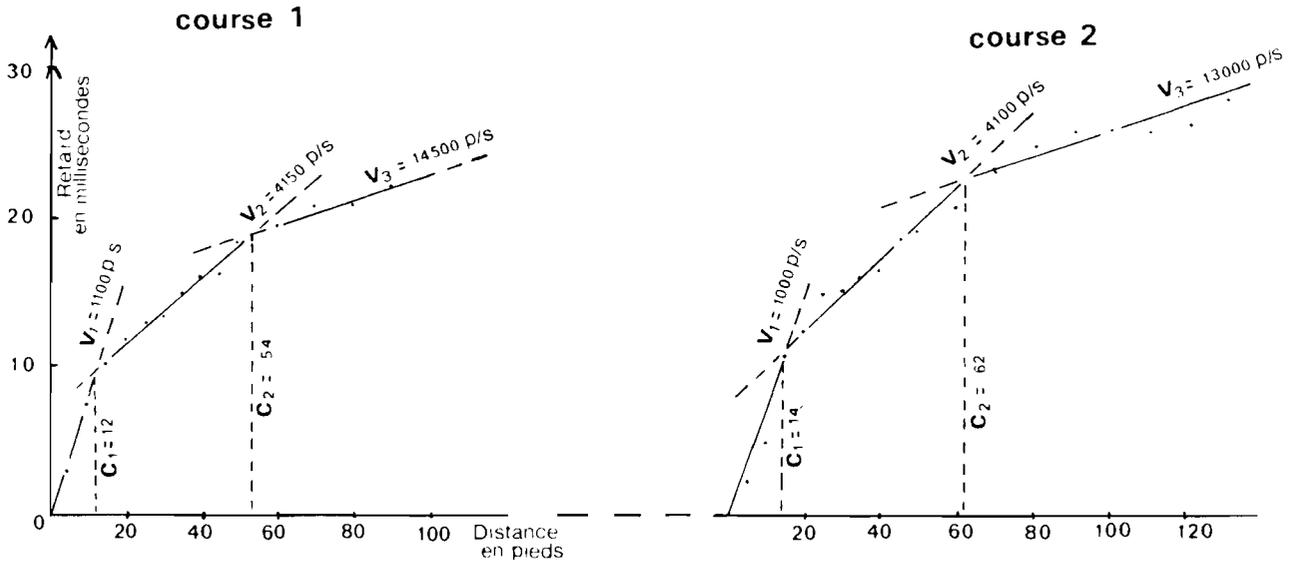
La courbe des retards ne présente qu'un seul point d'inflexion à la distance critique $C1 = 64$ pieds.

La vitesse de propagation $V1$ (1600 pieds/sec.) correspond à la propagation des ondes à travers la partie supérieure de l'arène granitique dont l'épaisseur est de 6,65 m.

La faible vitesse de propagation $V2$ (3800 pieds/sec.) semble indiquer que nous n'avons pas atteint la roche mère mais qu'il existe une différence de densité dans l'arène. L'épaisseur de l'arène serait supérieure à 15 m. (1/4 de la longueur de la course). Il n'est pas possible de déterminer sa profondeur par cette méthode.

TANKIEDOUGOU - Puits n° 3

Sismique refraction



Interprétations

1

2

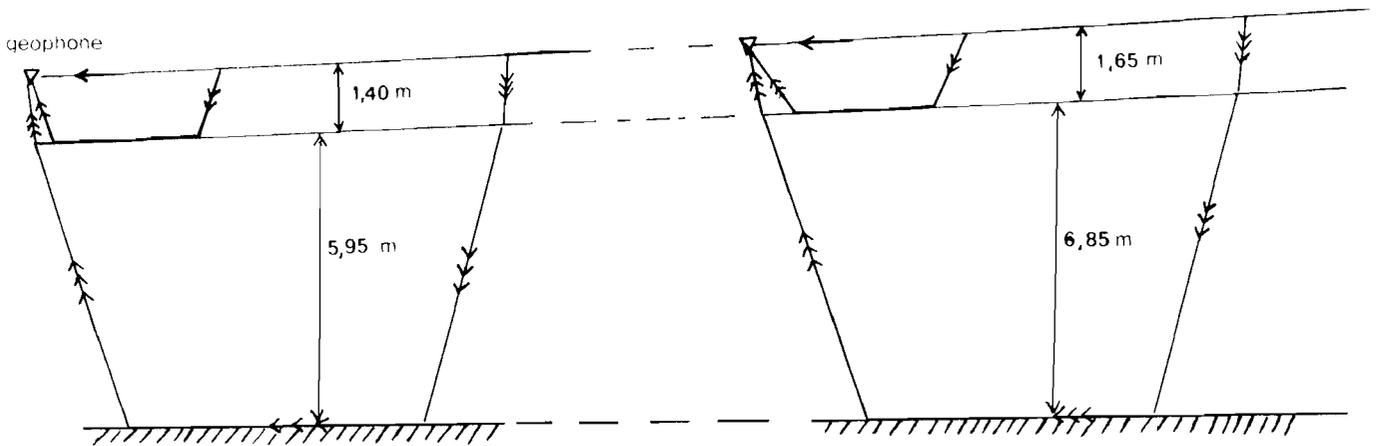


figure 11