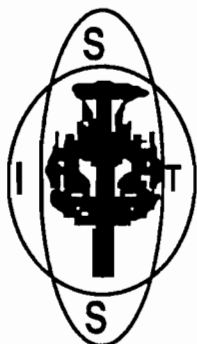


INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
UNIVERSITE CH. ANTA DIOP

ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION



Dossier /0002-92-IST-CSPT ; V/C 40DSP- 36549

RAP/CONF.001/92/CSPT

**ETUDE DES NIVEAUX D'INDURATION DU RECOUVREMENT DU
GISEMENT DE PHOSPHATE DE TOBENE (CSPT): METHODES
GEOLOGIQUES ET GEOPHYSIQUES (Sondages électriques, Sismique
Réfraction légère, Magnétisme au sol).**

VOLUME I

RAPPORT

M. SYLLA
M. SAMB

M.DESCLOITRES
M.RITZ

----- DAK/09/92 -----

Institut des Sciences de la Terre
Faculte des Sciences et Techniques,
Université Ch. A. Diop
BP 5396 Dakar - Fann SENEGAL
Tel. 250443 . Fax . 25.28.83

Laboratoire de Géophysique
ORSTOM
BP. 1386 Dakar SENEGAL
Tél. 32.34.80

SOMMAIRE

	<u>pages</u>
1. INTRODUCTION GENERALE.....	4
1.1 INTRODUCTION.....	5
1.2 METHODOLOGIE D'ETUDE	5
2. ETUDE GEOLOGIQUE DU RECOUVREMENT:.....	8
SECTEURS 1 ET 2 DE TOBENE	
2.1 INTRODUCTION.....	9
2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE DU GISEMENT.....	9
2.3 ETUDE GEOLOGIQUE	11
2.3.1 SECTEUR 1.....	11
2.3.1.1. Traitement des données géologiques des ouvrages miniers	11
2.3.1.1.1 Coupes géologiques des sondages.....	13
2.3.1.1.2 Levé géologique de la tranchée T1.....	16
2.3.1.1.3 Les logs de sondages carottés	17
2.3.1.2 Conclusion sur le secteur 1.....	18
2.3.2 SECTEUR 2.....	21
2.3.2.1 Traitement des données géologiques des ouvrages miniers.....	21
2.3.2.1.1 Coupes géologiques	21
2.3.2.1.2 Levé géologique de la tranchée Béchon T2.....	26
2.3.2.1.3 Log du sondage carotté UUBL.....	27
2.3.2.2 Conclusion sur le secteur 2	29
2.3.3 SECTEUR 3	32
2.3.3.1 Description des profils de fronts de taille.....	32
2.3.3.1.1 Front de taille GII.1.....	32
2.3.3.1.2 Front de taille GII.2.....	32
2.3.3.2 Conclusion sur le secteur 3.....	34
2.3.4 CONCLUSION.....	34
BIBLIOGRAPHIE GEOLOGIQUE.....	35

3.ETUDE GEOPHYSIQUE.....	36
3.1 APERCU SUR LES METHODES GEOPHYSIQUES.....	37
3.1.1 LA METHODE ELECTRIQUE.....	37
3.1.1.1 Principe général.....	37
3.1.1.2 Principes de l'interprétation des sondages.....	40
3.1.1.3 Limites de la méthode.....	41
3.1.2 LA METHODE SISMIQUE REFRACTION LEGERE.....	43
3.1.2.1.Principe général.....	43
3.1.2.2. Principe de l'interprétation.....	44
3.1.2.3.Limites de la méthode.....	46
3.1.3 LA METHODE DE PROSPECTION MAGNETIQUE AU SOL.....	47
3.2 RESULTATS DES MESURES GEOPHYSIQUES.....	49
3.2.1 ETUDE DE LA ZONE 1.....	49
3.2.1.1.Localisation des essais.....	49
3.2.1.2.Résultats de la méthode électrique.....	50
3.2.1.3.Résultats de la méthode sismique.....	59
3.2.1.4.Résultats de la méthode magnétique.....	63
3.2.2 ETUDE DE LA ZONE 2.....	63
3.2.2.1 Localisation des essais.....	63
3.2.2.2 Résultats des mesures électriques.....	66
3.2.2.3 Résultats des essais sismiques.....	72
3.2.2.2 Résultats de la méthode magnétique.....	74
3.3 ESSAIS GEOPHYSIQUES SUR LA ZONE D'EXPLOITATION ACTUELLE.....	74
4. CONCLUSIONS GENERALES.....	77
5. RECOMMANDATIONS POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DU GISEMENT ET DES ZONES D'INDURATIONS	81
BIBLIOGRAPHIE GEOPHYSIQUE.....	83
ANNEXES : VOIR CAHIER SEPRE DU RAPPORT	

1. INTRODUCTION GENERALE

1.1. INTRODUCTION

Le gisement de phosphate sédimentaire de Tobène, situé à l'Ouest du panneau Ndomor Diop à environ 80 Km à vol d'oiseau de Dakar, s'étend sur 30 km² (fig.1.1)

Les travaux de recherches préliminaires ont permis de mettre en évidence d'importantes réserves de phosphates de chaux sous une couverture épaisse (environ 35 mètres) constituée de sables meubles, de sables argileux relativement consolidés, de grès et de latérites.

Les travaux de reconnaissance du gisement, par sondages mécaniques, généralement destructifs dans le recouvrement, ont montré l'existence de plusieurs niveaux de dureté nettement supérieure à celle des sables dunaires. Ces niveaux, appelés "indurations", sont caractérisés par une forte compaction et /ou une dureté plus élevée par rapport à l'encaissant, et posent des problèmes dans l'exploitation du gisement, en particulier dans le choix et le dimensionnement des engins d'excavation.

Deux secteurs d'étude (1 et 2) ont été choisis par la CSPT en fonction des données géologiques de sondages (fig.1.1).

1.2. METHODOLOGIE D'ETUDE

Pour une meilleure utilisation des méthodes géophysiques (sondages électriques , sismique -réfraction , magnétisme au sol) dans l'étude des faciès indurés du recouvrement des phosphates sédimentaires de Tobène, il a été proposé une étude géologique préalable pour une caractérisation des zones tests.

La méthodologie d'étude est basée d'une part sur le traitement et l'analyse des données géologiques existantes complétés par des études ponctuelles détaillées du panneau dans les deux secteurs afin de déterminer des zones tests, et d'autre part sur les tests de méthodes géophysiques dans ces zones afin de déterminer la méthodologie géophysique la mieux adaptée pour l'étude de la nature et de la géométrie des zones indurées.

Pour la réalisation de la partie " Etude géologique du secteur de Tobène " en vue de l'orientation du choix des zones de tests géophysiques, nous avons exécuté les travaux suivants :

- exploitation des données de sondages mécaniques;
- des corrélations des niveaux;
- levé géologique de tranchées, de fronts de taille ;
- études lithologique, macroscopique, granulométrique et pétrographique pour tenter d'appréhender les phénomènes d'induration observés dans le recouvrement ;

Afin de mieux caler les mesures géophysiques par rapport aux faciès non "indurés", nous avons jugé opportun de déterminer une troisième zone-test (Secteur 3) se présentant en affleurement.

La campagne de mesures géophysiques a été réalisée du 21 au 31 juillet 1992 sur les zones délimitées grâce aux informations géologiques. Trois méthodes ont été testées: la méthode électrique (sondages et trainés), la méthode sismique-réfraction légère, et la prospection magnétique au sol. Ce choix s'appuie sur trois critères principaux :

- la possibilité que les paramètres géophysiques des différents terrains (résistivité, vitesse sismique, susceptibilité magnétique) soient suffisamment contrastés pour que ces méthodes puissent révéler les zones d'induration;
- la facilité de mise en œuvre sur le terrain (équipe légère);
- le coût relativement faible de ces méthodes par comparaison avec d'autres (sismique avec explosif, radar géologique, prospections aéroportées...).

L'étude géophysique permet :

- de caractériser certains paramètres géophysiques des indurés;

- de définir les capacités de ces méthodes à détecter les indurations et à déterminer leurs profondeurs et leurs épaisseurs;
- d'évaluer la précision des méthodes;
- de proposer le cas échéant, le test d'autres méthodes.

Le tableau ci-après récapitule les différents travaux géologiques et les essais géophysiques réalisés dans le cadre de l'exécution de cette étude.

TRAVAUX EFFECTUES		SECTEUR 1 TOBENE	SECTEUR 2 TOBENE	SECTEUR DECAP. SUP. ACTUEL KMF 7/8/92
ETUDE GEOLOGIQUE				
COUPES GEOLOGIQUES		10	8	-
ETUDE D'OUVRAGES MINIERS	SONDAGES ETUDIES	27 dont 2 carottés	15 dont 1 carotté	-
	LEVES DE TRANCHEES	1	1	-
	LEVES DE FRONTS DE TAILLE	-	-	2
NBRE D'ECHANTILLONS TRAITES		15	14	7
ANALYSES REALISEES	GRANULOMETRIE	4	10	7
	DETERMINATION DU % D'INFÉRIEURS A 40 MICRONS	11	14	7
ETUDE GEOPHYSIQUE				
SONDAGES ELECTRIQUES		14 sondages	10 sondages	2 sondages
ESSAIS SISMIQUES		8 essais	10 essais	2 essais
ESSAIS ET PROFILS MAGNETIQUES		1 profil, 2 essais	1 profil	-

2. ETUDE GEOLOGIQUE DU RECOUVREMENT:

SECTEURS 1 ET 2 DE TOBENE.

2.1.INTRODUCTION

La coupe géologique type des formations d'âge Eocène du bassin sénégalais indique la présence fréquente de niveaux "d'induration " au-dessus de la formation phosphatée. La zone de recouvrement du gisement de phosphate de Tobène comporte des niveaux d'induration de géométrie et de nature différentes.

L'étude géologique proposée, s'appuie sur des données ponctuelles fournies par les archives de la CSPT et d'observations nouvelles faites sur les secteurs 1 et 2 du panneau de Tobène .

2.2.CONTEXTE GEOLOGIQUE DU GISEMENT

L'évolution des formations du gisement de phosphate sédimentaire de Taïba s'inscrit dans le cadre global de l'évolution géodynamique et paléogéographique du bassin Méso-Cénozoïque sénégal-mauritanien.

Les principales études géologiques portant sur cette partie du bassin (Tessier, 1952, Monciardini, 1966; Tessier et al. 1976) permettent de retenir la coupe géologique type suivante, avec de bas en haut:

- un niveau plus ou moins épais d'argiles feuilletées d'âge Yprésien ;
- une formation phosphatée datée du Lutétien ;
- des argiles bariolées rouges d'âge Eocène supérieur d'épaisseur variable ;
- un niveau composite silico-ferallitique constitué de grès ferrugineux, de latérites et de latéritoïdes phosphatées passant au sommet à d'épais recouvrements de sables quaternaires fins, fortement à moyennement indurés à la base, de plus en plus grossier vers le sommet.

Le schéma d'évolution paléogéographique et les transformations postérieures à la période de phosphatogenèse consécutives à l'installation d'un régime continental vont entraîner:

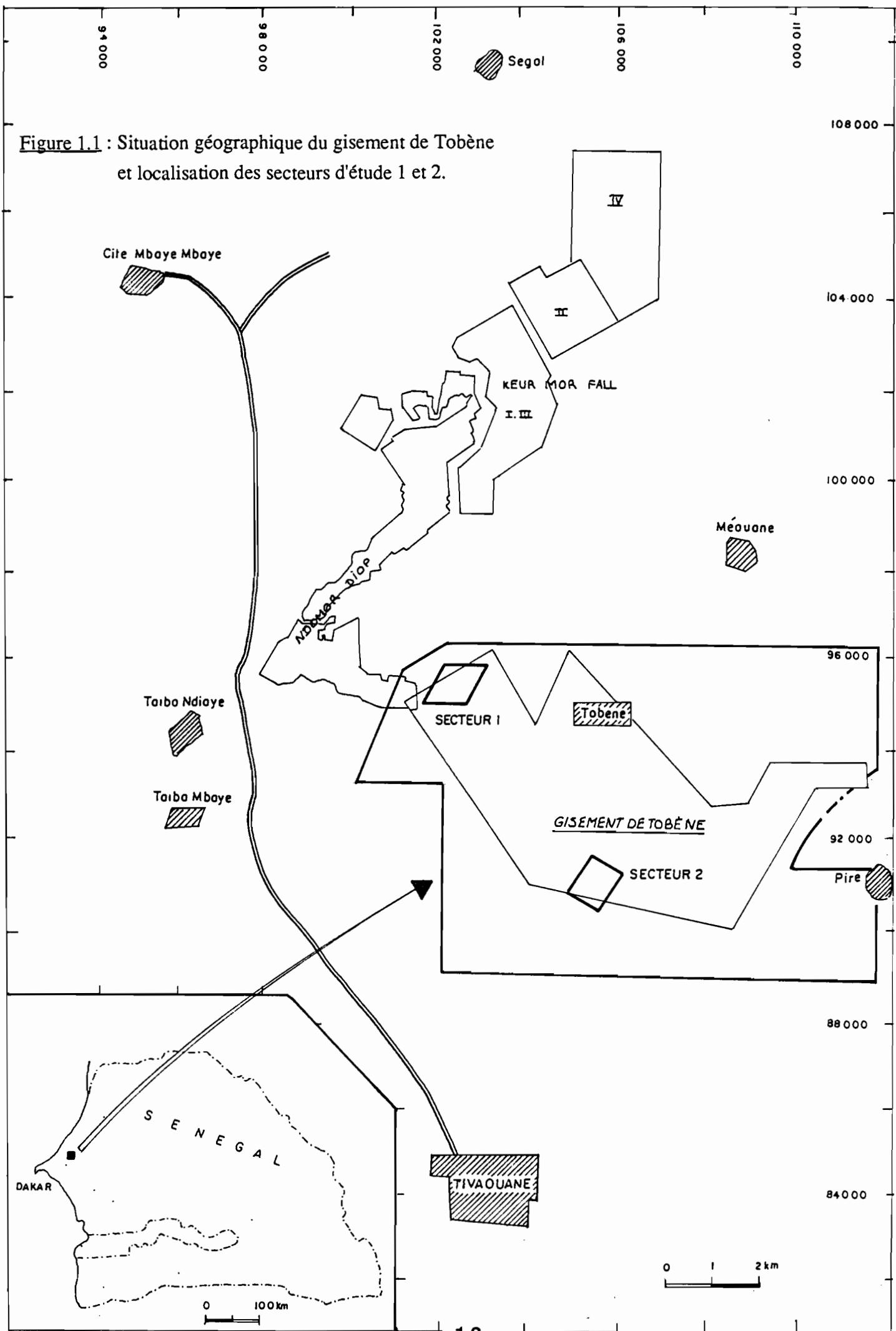


Figure 1.1 : Situation géographique du gisement de Tobène et localisation des secteurs d'étude 1 et 2.

- un remaniement des faciès marins en sables argileux plus ou moins indurés observables au - dessus des phosphates du Plateau de Thiès;
- une importante altération sous forme de niveaux silico-ferallitiques, gréseux et latéritiques;
- un phénomène de dissolution et de lessivage par suite des infiltrations d'eau, entraînant une induration du minerai et des faciès de recouvrement, un nourrissage silico-ferrugineux, et une calcification secondaire.

2.3: ETUDE GEOLOGIQUE

2.3.1. SECTEUR 1

La localisation des secteurs 1 et 2 délimités dans le panneau de Tobène est donnée sur la figure 1.1.

Le secteur 1 situé au Nord Ouest du gisement de Tobène couvre une superficie de 2 km x 2 km et est couvert par un réseau de 68 sondages mécaniques avec la maille losangique de 250 m x 250 m dans la zone étudiée.

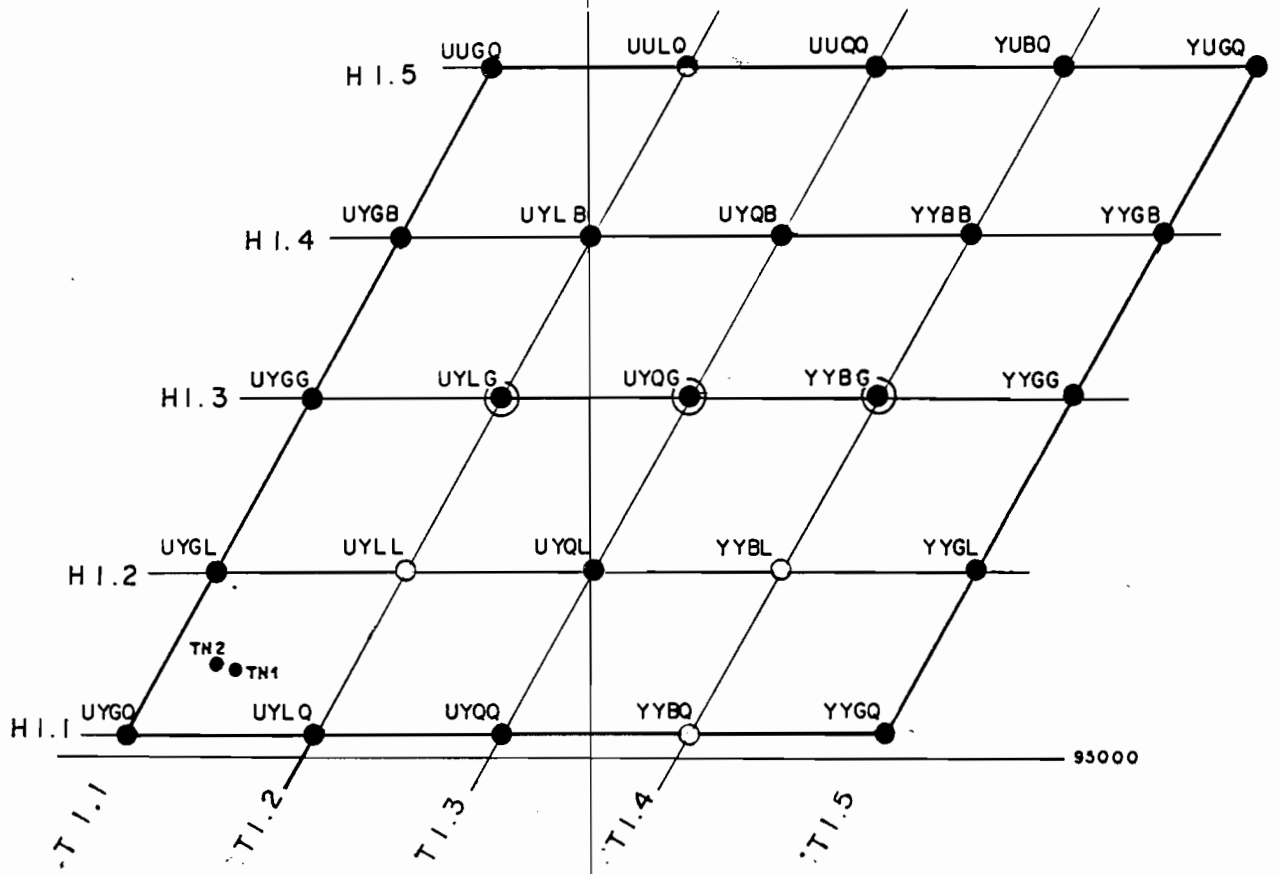
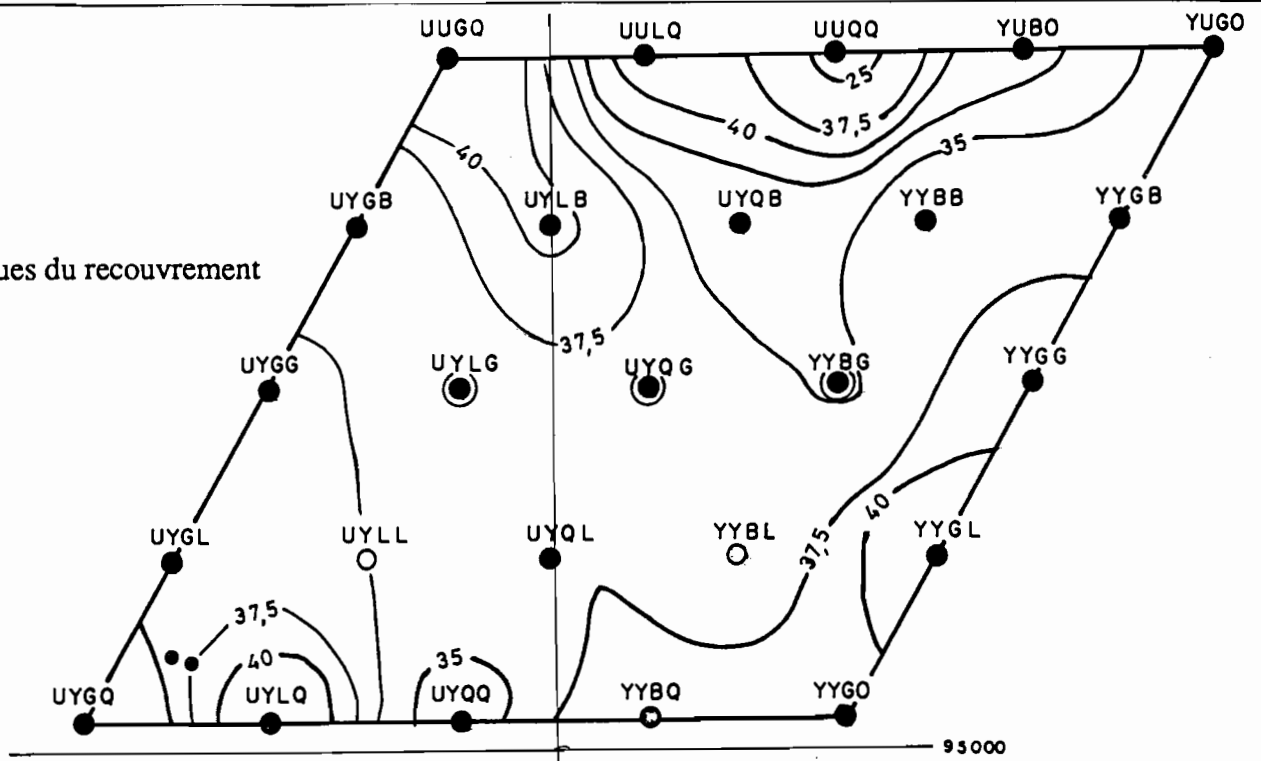
Les données des ouvrages miniers indiquent une variation des épaisseurs de recouvrement; elles sont inférieures à 37 m dans la partie centrale et augmentent sensiblement vers les limites Sud et Nord du secteur (fig 2.1a) .

La nappe phréatique, au relevé piézométrique de Juillet 1990, est située dans la partie ouest du gisement de Tobène, entre 33 et 35 m de profondeur. Elle ne paraît pas à priori devoir affecter les mesures géophysiques de la séquence sableuse du recouvrement.

2.3.1.1 . Traitement des données géologiques des ouvrages miniers

Les ouvrages miniers effectués dans la zone étudiée comprennent: 27 sondages mécaniques dont 2 hors zone d'étude et deux également carottés (TN1 et TN2) et 1 tranchée T1 située non loin des sondages carottés (fig2.1b).

a - isopaques du recouvrement



ECHELLE
0 100 200 300m

LEGENDE

- Sondage avec induration
- Sondage sans induration
- ⊙ Présence de latérite
- ◐ Induration depuis la surface

b - localisation des sondages et des coupes

Figure 2.1 : Carte des isopaques du recouvrement - localisation des sondages

et des coupes du secteur 1

L'examen des logs de sondages et l'exploitation des coupes géologiques orientées W-E SSW-NNE, des levés géologiques de la tranchée et d'une partie du sondage carotté TN1 ont permis de délimiter en fonction du temps de réalisation une zone sensible ZT1, caractérisée par une forte concentration de niveaux d'induration.

2.3.1.1.1. Coupes géologiques des sondages

Dans le but de comprendre la distribution des faciès indurés du secteur 1, des coupes géologiques corrélées ont été réalisées: 5 coupes (T.I.1 à T.I.5) orientées SW-NE et 5 coupes (H.I.1 à H.I.5) orientées W-E (fig.2.1b).

Les coupes sont décrites du haut vers le bas avec comme niveau repère les argiles du toit de la formation phosphatée

a - Coupes SW - NE : T.I.1 à T.I.5 (Annexe 1.1)

T.I.1 :

* Au sommet : un épais recouvrement de sable meuble d'environ 30 m de puissance dans lequel apparaissent les transformations suivantes:

- un début de latéritisation vers 2 mètres de profondeur de forme lenticulaire disparaissant vers le NE. Cette zone de latéritisation s'étend sur environ 500 m vers le SW;

- vers 15 mètres de profondeur un faciès de sable induré de 4 mètres de puissance (UYGL);

* à la base de l'ensemble meuble, un niveau continu de sable induré d'épaisseur moyenne 2,5 m dans partie SW augmentant vers le NE (6 m).

* Ensuite, apparaissent les argiles du toit, présentant dans la partie NE du profil des récurrences de faciès silico-férrallitiques et de sable induré.

T.I.2

* Au sommet, apparaît un épais recouvrement de sable meuble (30 m) présentant les mêmes types de transformations que dans T.I.1, avec notamment: une latéritisation plus poussée sous forme de niveau silico-férrallitique d'épaisseur moyenne 2,5 m et l'apparition à la base de ce recouvrement d'un niveau de sable argileux d'environ 2 m passant latéralement à de la latérite.

* Du NE vers le SW, on note, sous la couche silico-férrallitique, un niveau de phosphate homogène hors couche, lenticulaire, épais en moyenne de 1 m;

* les argiles du toit.

T.I.3 :

* Le recouvrement sableux meuble varie en moyenne de 30 m au SW à 20 m vers le NE subissant les mêmes types de transformations que dans TI.1..

Dans sa base, se développe un niveau de sable consolidé induré d'épaisseur moyenne 6 m disparaissant vers le NE.

* Vers le NE, on note sous le recouvrement sableux, un phénomène de latéritisation aboutissant à la formation d'une couche silico-ferallitique et marqué vers le SW, par l'apparition d'un faciès de sable argileux induré passant progressivement dans les parties les plus hautes à un faciès silico-ferallitique.

T.I.4 :

* Le recouvrement sableux est épais de 29,5 m en moyenne avec 27 m de sable meuble au sommet . Il se présente à la base sous forme de sable argileux en niveau lenticulaire de 2,5 mètres de puissance et de lentilles de silico-féral et de sable consolidé induré (YYBB, YUBQ) passant vers le SW dans les parties hautes en faciès latéritique(YYBG).

* Au SW une couche de phosphate hors couche d'épaisseur moyenne 2 m

* A la base de cet ensemble, des argiles du toit d'épaisseur moyenne de 2 m.

T.I.5

* On retrouve le recouvrement sableux meuble de 30 mètres en moyenne, passant vers le bas à un faciès induré de sable consolidé d'épaisseur moyenne de 5 mètres;

* Sous cette induration, se localise une bande métrique continue de sable meuble et un mince niveau lenticulaire silico-férrallitique qui s'amincit vers le NE pour ensuite disparaître (sondage YYGG : 80 cm) ;

* A la base du profil on retrouve sous les lentilles de silico féral, le niveau repère des argiles du toit affecté localement et qui est le siège d'un double phénomène de ferallitisation au sommet et de remplissage de sable meuble (YYGB).

b - Coupes E-W : H.I.1-H.I.5 (Annexe 1.1)

H.I.1

* un recouvrement sableux, épais en moyenne de 31 m constitué d'un puissant niveau de sable meuble (28 m en moyenne) latéritisé dans sa partie haute sur environ 3m (UYGQ) et transformé en sable consolidé induré sous forme de niveau lenticulaire d'épaisseur moyenne 5 m, s'amincissant vers l'Ouest (2 m);

* En dessous, les argiles du toit ferallitisées au sommet.

H.I.2

* un recouvrement sableux légèrement plus épais (34 m en moyenne), constitué essentiellement de sable meuble (32 m en moyenne) et vers la base, de sable consolidé induré sous forme de lentilles ou en bancs plurimétriques pris dans le sable meuble;

En l'absence de niveau de sable consolidé le recouvrement meuble repose directement soit sur du sable argileux consolidé (3 m en UYGL), soit sur le niveau silico-ferallitique (UYLL);

* une couche lenticulaire de phosphate hors couche passant latéralement vers l'Est à un niveau silico-ferallitique;

* les argiles du toit qui passent latéralement à un mélange de sable et de sable argileux (UYQL).

H.I.3

* Cette coupe met en évidence, dans le recouvrement sableux (32 m environ), la présence de niveaux d'induration de type latéritique qui apparaissent sur trois sondages consécutifs occupant la partie centrale du profil.

Ces faciès latéritiques apparaissent soit sous forme de récurrences lenticulaires d'épaisseur moyenne 8 m au sein du niveau sableux meuble soit vers la base de ce niveau recouvrement;

* un niveau de sable consolidé induré, d'épaisseur variable (2 à 8 m) passant localement à un niveau silico-ferallitique apparaît sous la pile sable meuble-latérite ;

* le sable argileux, faiblement représenté dans ce profil se présente en faibles niveaux d'épaisseur maximum de 2 m (YYGG);

* les argiles du toit présentant par endroits le phénomène de ferallitisation.

H.I.4

* un horizon de sable meuble d'épaisseur moyenne 28 m, occupe le sommet de la pile;

* des niveaux de sable consolidé induré d'épaisseur variable (2 à 8 m) et passant latéralement à du sable argileux consolidé (UYLB) sont localisés à la base du recouvrement ;

* les argiles du toit sous le recouvrement sableux sont transformées par endroits en niveaux silico-ferallitiques.

H.I.5

Cette coupe met en évidence, la présence d'induration de surface de type sable consolidé induré (UULQ).

* un sable meuble (25 m en moyenne) en position haute dans la séquence de recouvrement;

* des niveaux d'induration apparaissant latéralement sous différentes formes: tantôt du sable consolidé induré, tantôt du sable argileux consolidé, tantôt du silico-féral;

* le niveau repère des argiles du toit, d'épaisseur variable (1 à 3 m) et localement férallitisé.

2.3.1.1.2. Levé géologique de la tranchée T1

La tranchée T1 met en évidence un front de taille de 6 m de hauteur. Les analyses sédimentologiques et la morphoscopie des grains permettent de mieux préciser le faciès lithologique. La séquence lithologique se présente de haut en bas (fig. 2.2):

- 0,00 - 1,80 m : mélange meuble de sable éolien ocre et de sable marin blanc (dominant) de diamètre moyen des grains $dm = 210 \mu m$ et à fraction silto-argileuse $< 3\%$. Présence remarquable de minéraux noirs en grains dans la fraction 160-200 μm ;

- 1,80 - 2,30 m : Latérite à concrétions vacuolaires très riches en fer présentant des fissures colmatées par des minéraux noirs. Les concrétions souvent dispersées et associées à du sable meuble, sont constituées de grains anguleux très consolidés donnant à la roche une forte dureté;

- 2,30 - 3,80 m : sable légèrement argileux (dm de l'ordre de 240 μm , fraction argileuse $< 6\%$). Il est constitué majoritairement de grains de quartz recouverts d'une mince pellicule ferri-argileuse de couleur ocre à rouille et de quelques grains de quartz blanc transparent. On note également une forte proportion de minéraux noirs en grains dans la fraction $> 160 \mu m$;

- 3,80 - 5,80 m : sable friable en grains anguleux très blancs (dm de l'ordre de 280 μm , à fraction d'argile $< 5\%$) d'origine marine, avec de minces strates centimétriques de sable jaune riche en minéraux noirs en grains dans la fraction $> 200 \mu m$.

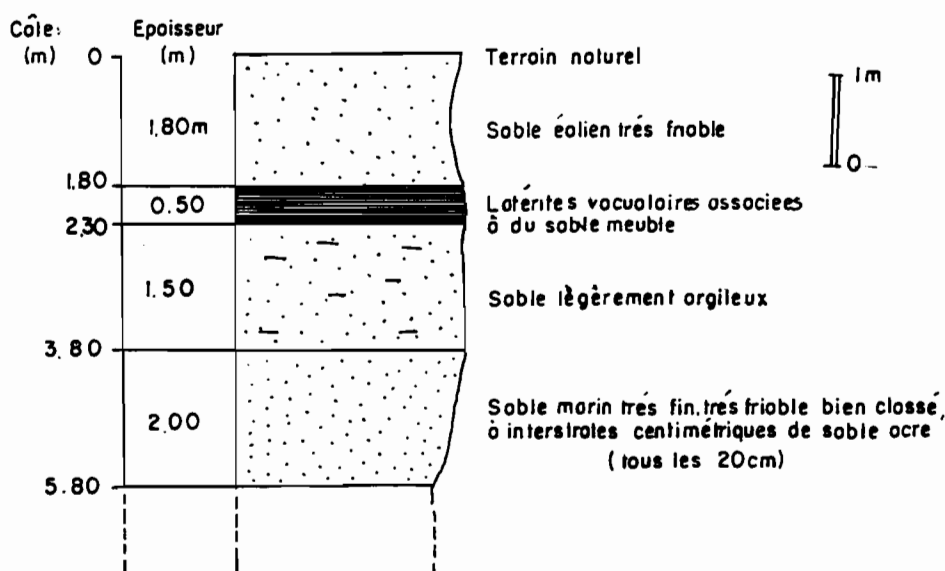


Figure 2.2 : Log de la tranchée T1 (secteur 1)

2.3.1.1.3. Les Logs de sondages carottés (Annexe 1.2)

Les carottes des sondages TN1 et TN2 proviennent de la carothèque de la CSPT. Cependant l'état de conservation des carottes n'a permis de procéder qu'à un échantillonnage partiel (jusqu'à la côte 16 m) du sondage TN1. Aussi, les descriptions des profils géologiques de TN1 et TN2 font référence à celles précédemment faites par la CSPT (voir Annexe 1.2).

a. Sondage TN1 .

Le log géologique du sondage TN1 jusqu'à la côte 16 m est donné ci-après.

- 0,00 - 1,00 m : sable fin à moyen, à tendance brune, pulvérulent avec une fraction silto-argileuse représentant 4 % en poids.
- 1,00 - 1,50 m: mélange de sable moyen et ocre, pulvérulent et de sable blanc avec des concrétions.
- 2,00 - 3,00 m: mélange de sable blanc et de sable ocre, pulvérulent, avec des concrétions de latérite dispersées.
- 3,00 - 4,00 m: sable fin à moyen, pulvérulent, identique au niveau 0,00 - 1,00 mais avec de rares concrétions de latérite dure.
- 4,00- 6,00 m: sable fin blanc à beige, induré et consolidé renfermant 12% pondéral de fraction argileuse ;
- 6,00 - 8,90 m: même sable fin blanc à beige, légèrement ferruginisé, moins riche en fraction silto-argileuse (10 %) et légèrement moins consolidé que le niveau précédent.
- 8,90 - 10,30 m: sable fin beige légèrement moins consolidé que le niveau 6,40 - 8,90 m;
- 10,30 - 12 m: sable fin argileux blanc avec des traînées ferrugineuses ocres à 15% de fraction silto-argileuse et à aspect plus consolidé ;
- 12- 14,40 m: sable fortement ferruginisé, à grains très oxydés, à fraction silto-argileuse (15%) et d'aspect très consolidé;
- 14,40-15 m: niveau consolidé de mélange de sable blanc et de sable beige, à interstratification de sable ferrugineux ocre et à 12,5% de fraction argileuse;
- 15-16 m: sable fortement ferruginisé et plus consolidé que le niveau précédent et à fraction silto-argileuse oxydée (14 %).

L'observation des échantillons prélevés dans les niveaux dits "indurés" rencontrés dans les sondages TN1 montre que l'induration s'exprime dans ce cas par un certain taux de

consolidation et semble évoluer proportionnellement au pourcentage de la fraction silto-argileuse. Les indurations se traduisent par l'apparition de faciès argileux et/ou de faciès ferrugineux. En effet, le niveau qui apparaît le plus consolidé dans le log de sondage (sable fin argileux fortement ferruginisé), a la plus forte teneur en fraction fine ($< 40 \mu\text{m}$).

b.Sondage TN2 (Annexe 1.2)

2.3.1.2. Conclusion sur le secteur 1

L'exploitation des données géologiques des ouvrages miniers du secteur 1 par la synthèse, l'interprétation et les corrélations permet de mieux préciser les caractéristiques géologiques du secteur ZT1 et les formes d'induration.

La figure 2.3 donne la coupe lithologique-type du secteur 1 (les épaisseurs sont calculées par simple pondération à partir des valeurs mesurées dans les différents sondages et coupes géologiques).

Les faciès lithologiques les plus représentatifs dans le secteur 1 sont : du sable meuble , de la latérite, du sable fin consolidé, du sable argileux consolidé, du phosphate hors couche, des argiles du toit.

Le sable meuble; il constitue le faciès de recouvrement superficiel et présente généralement une épaisseur variant de 30 à 25 mètres avec une moyenne de 28 mètres. Ce type de sable pauvre en fraction silto-argileuse, forme un niveau peu consolidé et sans induration.

La latérite, elle apparaît avec un aspect vacuolaire et sous forme de niveaux lenticulaires (5 m d'épaisseur moyenne maximale) dans les parties basales de l'horizon de sable meuble ou sous forme de niveaux de faible puissance de sables ferruginisés interstratifiés dans les sables.

Ce type de faciès lithologique est fortement induré et consolidé.

Le sable fin consolidé, d'épaisseur moyenne 5 m; il apparait le plus souvent dans la séquence de sable meuble avec une cimentation siliceuse associée à une légère ferrugination. Ce type de sable apparait comme un niveau consolidé et induré soit en position intermédiaire entre le niveau de sable meuble et les argiles du toit, soit en fins niveaux au dessus des faciès ferruginisés.

Le sable argileux, épais en moyenne de 2,5 m, constitue le plus souvent des concentrations de la fraction silto-argileuse dans les zones les plus profondes de l'horizon des sables du recouvrement. Ce faciès induré passe graduellement en profondeur à des faciès silico-ferallitiques.

Le phosphate hors couche, lenticulaire, présente une épaisseur moyenne de 1 m.

Les argiles du toit des formations phosphatées. sont épaisses en moyenne de 0,6 m dans la ZT 1

Les proportions relatives des volumes de ces différents faciès, estimées par cumul pondéré des puissances lues sur les fiches de sondage, sont les suivantes :

- Faciès meuble non induré peu ou pas consolidé (sable meuble): 84% ;

- Faciès indurés : 16% dont

latérite vacuolaire : 1,5

. sable consolidé induré : 9%

. sable argileux consolidé : 3,5%

. silico-féral : 3%

La zone ZT1 délimitée dans le secteur 1, fortement documentée en données géologiques, constitue une zone très représentative du phénomène d'induration du recouvrement du gisement de Tobène. Elle est proposée comme zone test pour les méthodes géophysiques

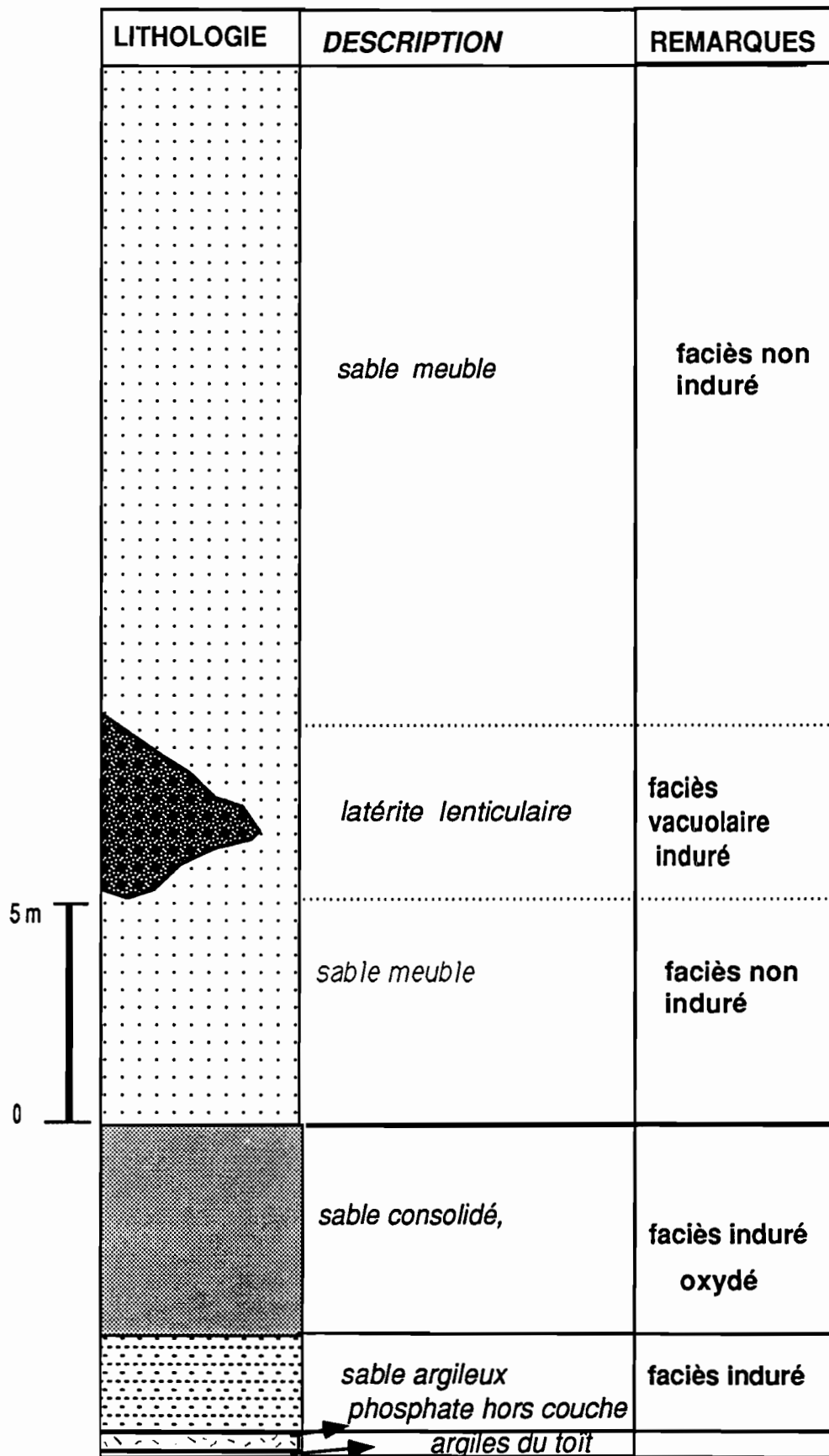


Figure 2.3: Log-type du recouvrement du secteur 1

2.3.2. SECTEUR 2

La zone d'étude dénommée secteur 2 proposée par la CSPT est située au Sud du gisement de Tobène. Elle couvre une superficie de 2 km x 2 km et est couverte par un réseau de 38 sondages mécaniques à maille rectangulaire de 250 m x 500 m.

La zone ZT2 délimitée dans ce secteur s'étend sur une superficie de 1000 m x 850 m et déborde légèrement du secteur d'étude.

Les épaisseurs de recouvrement varient, pour l'ensemble de la zone, entre 32 et 38 m (Fig.2.4.a).

Le relevé piézométrique consulté (Juillet 1990) ne donne pas d'information significative sur la position de la nappe dans la zone ZT2.

Les ouvrages miniers de cette zone ZT2 sont :

- les sondages mécaniques au nombre de 15 dont 2 hors zone d'étude, et un seul (sondage UUBL) carotté dans le recouvrement ;
- une tranchée (tranchée T2 ou tranchée Béchon), située à environ 150 m à l'Est du sondage UUBL.

2.3.2.1. Traitement des données géologiques des ouvrages miniers

2.3.2.1.1 Coupes géologiques (Annexe 1.1)

Au total 8 coupes géologiques ont été réalisées dans le secteur 2 dont 3 orientées SSW-NNE (Coupes T) et 5 orientées NW-SE (coupes H). La figure 2.4.b donne la situation de ces coupes.

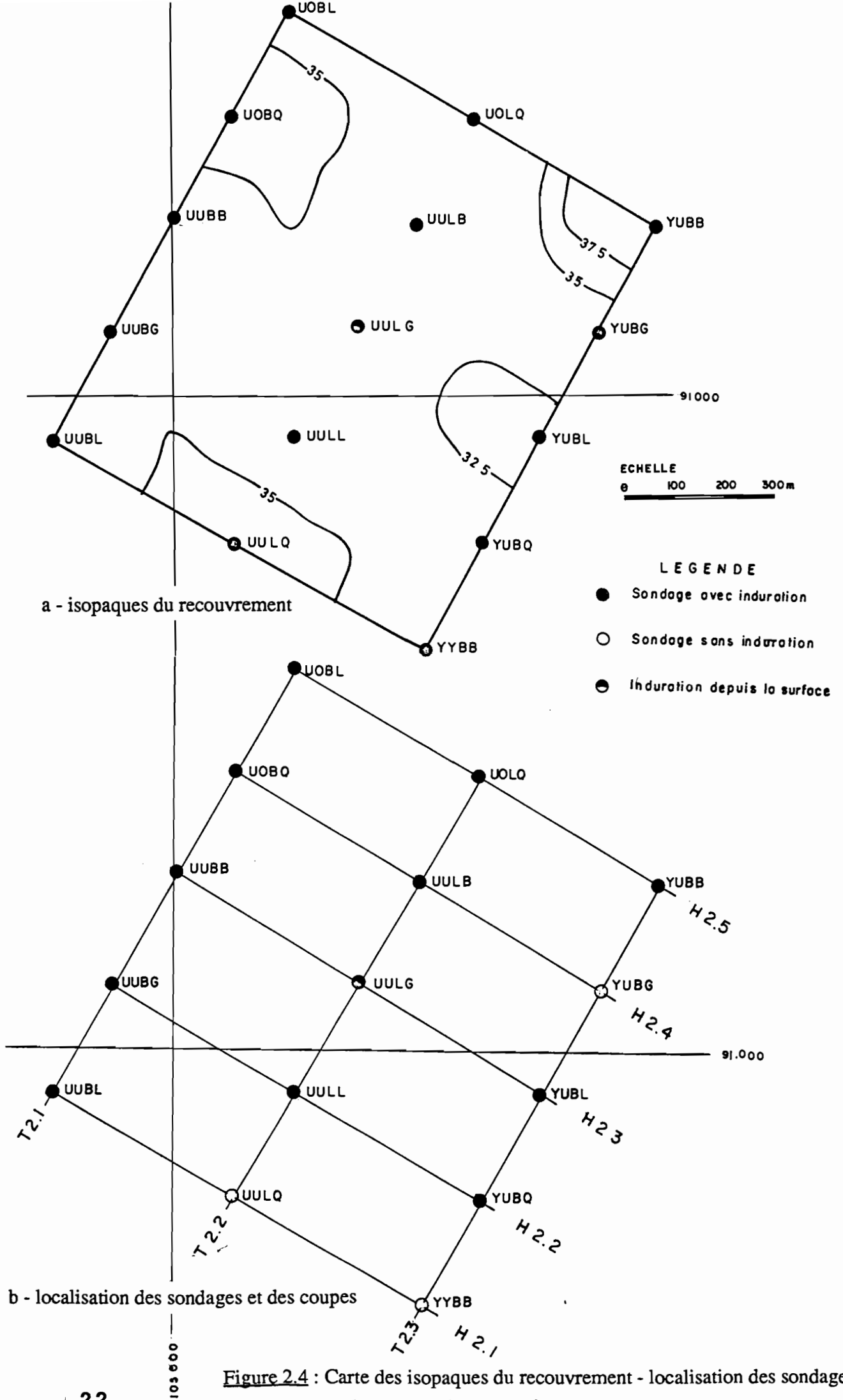


Figure 2.4 : Carte des isopaques du recouvrement - localisation des sondages et des coupes du secteur 2

a - Coupes SSW - NNE (T.2.1 à T.2.3: Annexe 1.1)

L'épaisseur du recouvrement sableux varie très peu et est de 30 mètres en moyenne. La succession lithologique s'établit ainsi du haut vers le bas :

T.2.1

L'épaisseur du recouvrement sableux varie très peu et est de 30 mètres en moyenne. La succession lithologique s'établit ainsi du haut vers le bas :

- * un sable meuble d'épaisseur variable (3 à 28 m avec une moyenne de 19 m). Le sondage UUBL carotté indique une alternance de sable meuble et de sable argileux consolidé et induré;

- * du sable argileux d'épaisseur également variable (1 à 28 m avec une moyenne de 9 m) présentant localement, dans sa partie haute, le phénomène de ferallitisation et de latérisation (sondage UOBQ):

- * les argiles du toit qui sont le siège d'une ferallitisation partielle ou totale.

T.2.2

- * un horizon de sable meuble, dans lequel les sondages UULQ et UULG mettent en évidence la présence de niveaux indurés d'épaisseur moyenne de 10 mètres, découverts par l'érosion de la partie superficielle de l'horizon des sables meubles, en dessous desquels apparaît une couche continue de sable meuble, d'épaisseur décroissante du SW (27 m) au NE (5 m) avec une moyenne de 13 m;

- * un sable argileux consolidé, également continu et d'épaisseur variant globalement en sens opposé à celle du sable susjacent : de 26 m vers le NE (UULB) à 1 m vers SW (UULQ). Cependant, une grande difficulté de corrélation subsiste entre ce faciès sablo-argileux et le recouvrement du sondage UOLQ voisin, décrit comme sableux induré au sommet et sableux meuble à la base. La forte épaisseur et la géométrie du sable argileux en UULB suggère que le recouvrement en UOLQ soit également argileux;

- * une succession latérite - niveau silico-ferallitique - argiles du toit de 2,5 mètres d'épaisseur moyenne .

T.2.3

Le recouvrement sableux est très épais (31 m en moyenne) sur toute la longueur de la coupe qui est constitué globalement du sommet vers la base :

- * de sable meuble d'épaisseur très variable: 5 m en moyenne pour les sondages YUBQ, YYUBL et YUBB; 31m en moyenne pour les sondages YYBB et YUBG constituant alors la quasi totalité du recouvrement;
- * de sable consolidé induré à géométrie lenticulaire et à épaisseur variant de 10 m vers le SW à 28 m vers le NE avec une moyenne de 18 m ;
- * de sable argileux consolidé en niveau de forme lenticulaire, avec une épaisseur moyenne de 10 m vers le centre du profil ;
- * des argiles du toit, qui localement passent à une couche silico-ferallitique.

b. Coupes NW - SE (H 2.1 à H 2.5: annexe 1.1)

H.2.1

Le recouvrement sableux très épais (32 m en moyenne) est constitué de haut en bas par :

- * du sable meuble épais présentant un niveau plus consolidé et plus induré d'une épaisseur moyenne de 11 m. Ce niveau de sable consolidé est rencontré à 2,5 m de profondeur au NW et affleure dans la partie SE du profil (UULQ). Sous ce niveau plus induré le recouvrement se poursuit sous forme de sable meuble (25 m en moyenne), s'épaississant progressivement du NW (12 m) vers le SE où il affleure (YYBB: 32 mètres),
- * du sable argileux consolidé en niveau lenticulaire (2 m au NW, disparaissant vers le SE) . Ce sable argileux induré est plus ou moins transformé par une ferallitisation en minces couche d'argile et et silico-féral ;
- * des argiles du toit qui passe à un niveau silico-ferallitique vers le NW.

H.2.2

* le recouvrement sableux est constitué d'une alternance de sable meuble (16 m en moyenne) et de sable consolidé (2 à 10 m) reposant sur un niveau lenticulaire de sable argileux consolidé d'épaisseur égale à 10 m en moyenne;

* le niveau repère des argiles du toit d'épaisseur métrique disparaissant vers le SE.

H.2.3

* une alternance de sable meuble épais en moyenne de 10 m, s'aminçissant vers le NW jusqu'à 3 m, et de sable consolidé induré en niveau lenticulaire, affleurant au sondage UULG (10 m en moyenne);

* des sables argileux consolidés épais en moyenne de 10 m;

* un niveau silico-ferallitique, d'épaisseur moyenne 2 m reposant vers le SE du profil sur une couche lenticulaire métrique de phosphate hors couche;

* les argiles du toit disparaissant vers l'extrémité NW du profil en subissant à la base une latéritisation (sondage UULG).

H.2.4

* du sable meuble, très épais aux extrémités du profil (jusqu'à 30 m), s'aminçit au centre (5 m). Les niveaux de sable consolidé induré généralement rencontrés dans le recouvrement sableux n'apparaissent qu'au NW du profil (4 m), sous une semelle latéritique reposant sous le sable meuble;

* du sable argileux induré en niveau fusiforme épais au centre (25 m) et mince aux extrémités du profil (2 m), passant localement en profondeur (UOBQ) à un niveau de sable fin très induré (environ 2 m de puissance);

* des argiles du toit passant vers le SE à un niveau silico-ferallitique.

H.2.5

* un recouvrement sableux très épais (30 à 35 m de puissance). Il est constitué de sable meuble (épais de 10 m en moyenne), de sable consolidé induré (6 à 30 m) passant du SE vers le NW à un faciès de sable argileux induré (10 m au sondage UOBL), l'ensemble formant une structure positive dans un horizon de sable meuble. Sous ces niveaux indurés, on retrouve une deuxième couche de sable meuble, d'épaisseur maximale 18 m, de forme lenticulaire, disparaissant aux extrémités du profil;

* des argiles du toit qui, localement, sont le siège du phénomène de ferallitisation précédemment décrit.

2.3.2.1.2 Levé géologique de la tranchée Béchon (T2) (fig.2.5)

Le front de taille de la tranchée Béchon (T2) présente de haut en bas la succession lithologique suivante :

* 0,00-0,60 m: sable fin meuble avec 1,5% de fraction silto-argileuse. L'étude morphoscopique de ce sable révèle des grains de quartz blanc, transparent, à surface lisse, sub-anguleux constituant les 80% des éléments associés à des grains de quartz jaune à brun, formant parfois (dans la fraction + 500 μm) des concrétions avec les grains blancs tandis que les fractions fines 40-200 μm sont exclusivement constituées de grains de quartz blanc.

*0,60 - 0,90 m : sable fin argileux à 25% de fraction silto-argileuse, d'aspect consolidé. Il est constitué d'un mélange de grains de quartz blanc, anguleux, légèrement émoussés, de grains de quartz jaune ocre, anguleux, légèrement enrobés d'une pellicule ferri-argileuse marron, et d'oxydes de fer associés dans les fractions inférieures à 200 μm à des minéraux en grains noirs.

* 0,90 - 1,80 m: sable fin , argileux et très consolidé, à 29 % pondéral de fraction silto-argileuse. Il est constitué d'un mélange de grains de quartz blanc transparent , émoussés, sub-anguleux (80% des éléments), et de grains de quartz ocre, avec présence de minéraux en grains noirs arrondis et de concrétions d'oxydes de fer.

*1,80 - 2,10 m : sable beige fortement argileux (31% de fraction silto-argileuse) très consolidé, tâcheté de rouille. Il renferme des grains de quartz blanc transparent (90 % des éléments) émoussés, sub-anguleux , des grains de quartz ocre, des minéraux en grains noirs arrondis et des concrétions d'oxydes de fer.

Ce profil indique sur toute la puissance du recouvrement sableux (à partir de 0,60 m), la présence de débris végétaux fossilisés (racines, écorces), témoins de paléosols.

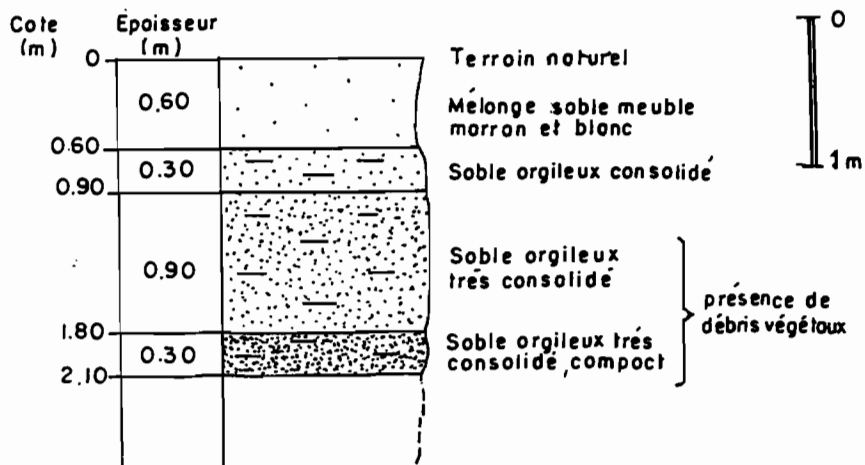


Figure 2.5 : Log de la tranchée Béchon (T2)

2.3.2.1.3 Log du sondage caroté UUBL (Fig.2.6)

* 0,00 - 2,50 m : sable meuble beige à ocre, mal classé, riche en débris végétaux, pauvre en fraction silto-argileuse (2,5% en poids), devenant plus consolidé vers la base avec quelques nodules (4 cm) de grès ferrugineux jaunâtre;

* 2,50 - 4,00 m : sable beige grisâtre, fin ($dm = 210 \mu m$), mal classé et légèrement consolidé, renfermant vers la base des niveaux jaunâtres plus riches en fraction silto-argileuse (9%), avec des tachetés d'oxydes de fer jaune - rougeâtres;

* 4,00 - 11,00 m : sable beige ocre présentant au sommet un faciès peu consolidé de même granulométrie que le niveau précédent, passant à partir de 6,00 m à un sable plus grossier, mieux classé et devenant à partir de 8,00 m un sable silto-argileux bariolé (10,5%) franchement plus consolidé;

* 11,00 - 18,00 m : grès ferrugineux ocre rougeâtre, consolidé, avec présence de beaucoup de grains de quartz, moyennement bien classés, de diamètre moyen $300 \mu m$. La fraction fine ne représente qu'1% en poids. Au delà de 12 m on passe à un sable plus fin, légèrement consolidé par la fraction fine (4%).

* 18,00 - 32,00 m : sable beige jaunâtre, fin ($dm = 300 \mu m$; 3,5% de fraction fine), friable, moyennement bien classé, passant à partir de 24,00 m à un sable plus fin ($dm = 260 \mu m$; 2,5% de fraction fine), mieux classé, mais toujours très peu consolidé et renfermant quelques éléments de quartz transparents subanguleux et de quartz blanc. A partir de 28,00 m le niveau devient consolidé.

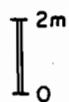
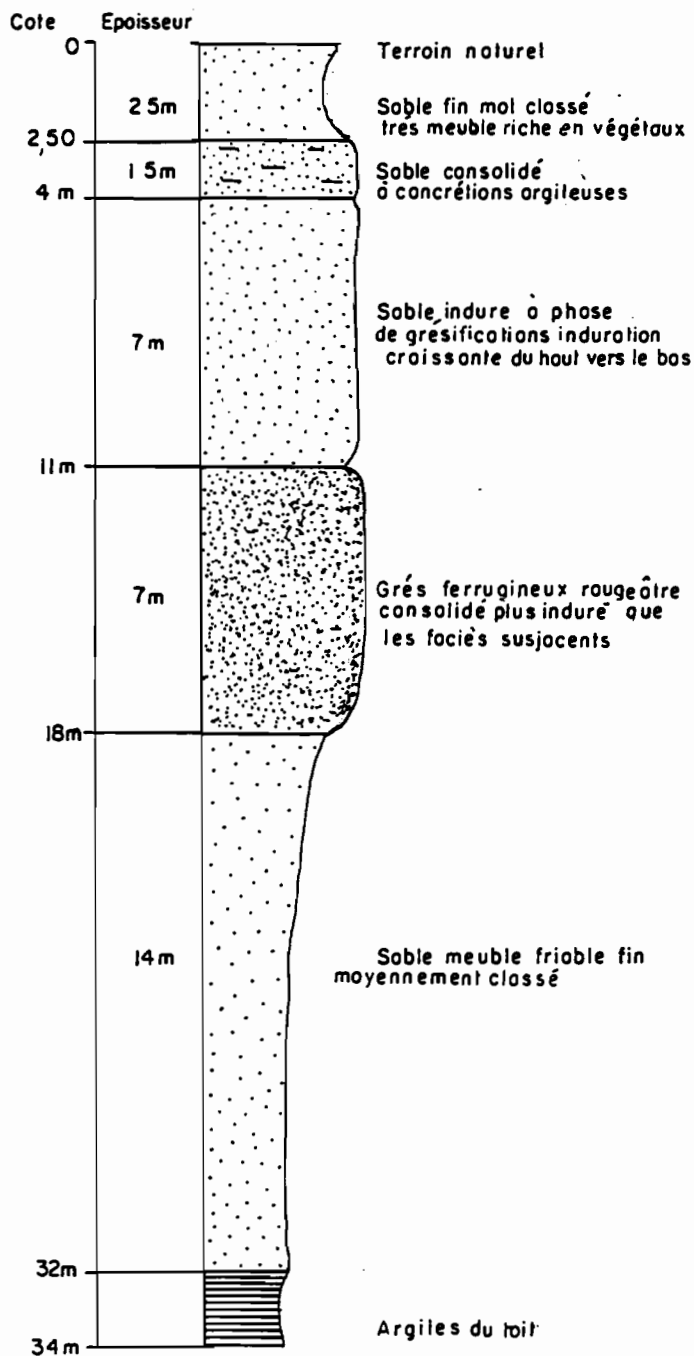


Figure 2.6 : Log du sondage carotté UUBL

2.3.2.2 Conclusion sur le secteur 2

* L'exploitation des données géologiques et les corrélations possibles des différents niveaux ont permis de proposer le log géologique type du recouvrement secteur 2 (Fig.2.7) et de définir les faciès lithologiques les plus caractéristiques de la Zone ZT2 .

* Le log géologique type se caractérise par un recouvrement sableux (30 m en moyenne), constitué globalement du sommet vers la base d'une alternance de sable meuble fin à moyen, non consolidé, très souvent mal classé et d'épaisseur très variable, de sable légèrement argileux moyennement bien classé, consolidé et induré, et de sable argileux consolidé mieux représenté au centre et au NW de la zone et passant aux argiles du toit par une semelle silico-ferallitique d'environ 1 m.

* Les proportions relatives des volumes des différents faciès rencontrés, estimées suivant la même méthode que précédemment, sont les suivantes :

- . faciès non indurés : 51%
- . faciès indurés : 49 % dont :
 - . sable consolidé induré : 21%
 - . sable argileux consolidé induré : 27,5 %
 - . sable latéritique ou latérite : 0,5%

* L'étude de la répartition de la fraction silto-argileuse et des différentes transformations lithologiques dans le recouvrement argileux indiquent clairement la présence de poches de concentration de la fraction fine argileuse responsable de l'apparition des niveaux silico - ferallitiques fortement indurés et consolidés.

* La consolidation et l'induration des faciès sableux sont ici fortement favorisées par la fraction silto-argileuse qui dans les faciès indurés peut représenter entre 10 et 30 % en poids.

* La zone ZT2, bien "calée" au plan géologique tant par la nature des faciès lithologiques que par la nature des indurations, est proposée comme deuxième zone de tests des méthodes géophysiques.

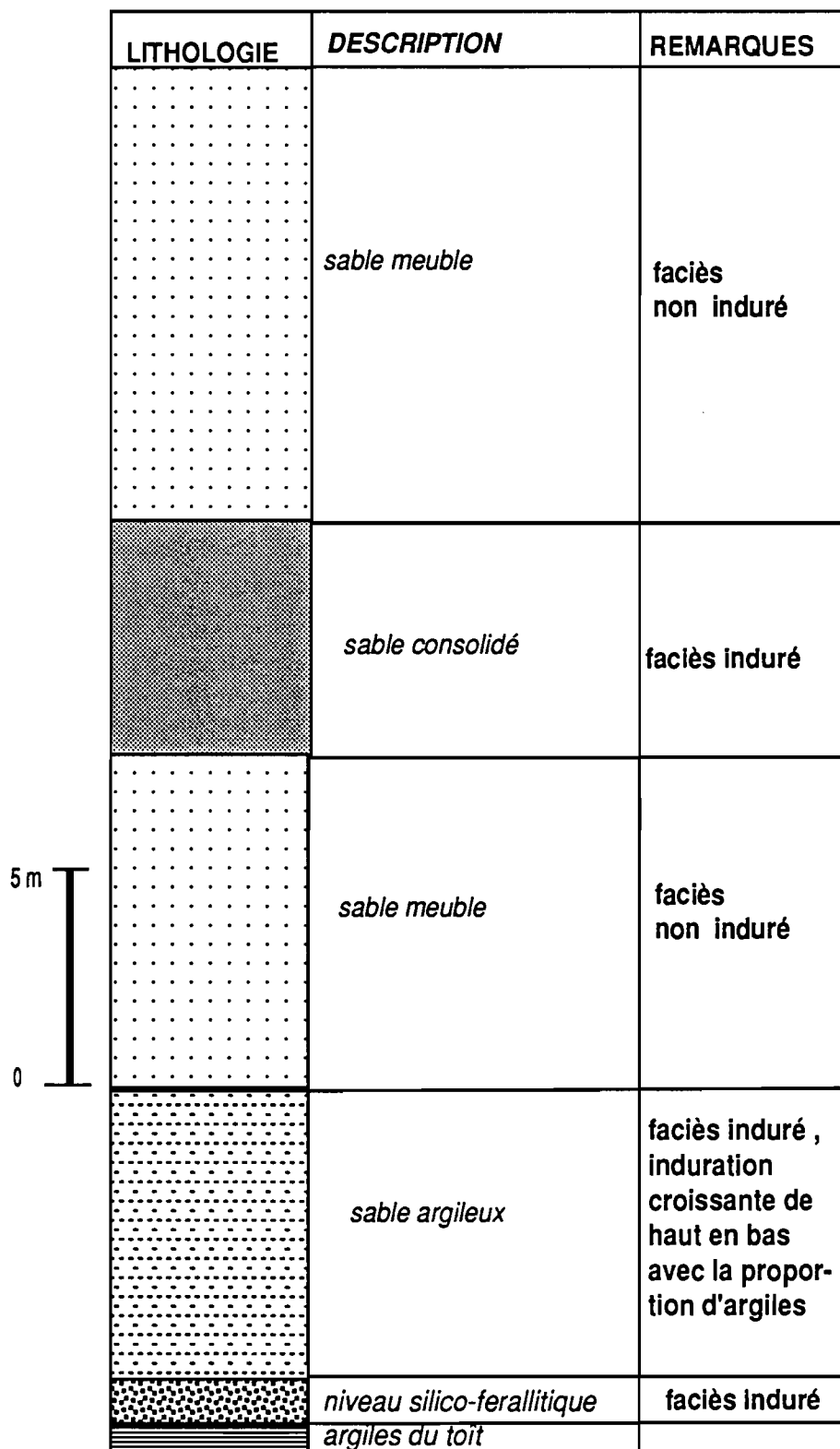


Figure 2.7: Log -type du recouvrement du secteur 2

2.3.3. SECTEUR 3 : (Zone du décapage supérieur Panneau II - KMF- 07 Août 1992)

Les coupes effectuées sur les fronts de taille de la zone de décapage supérieur ont donné les profils géologiques suivants :

2.3.3.1: Description des profils de fronts de taille

2.3.3.1.1: Front de taille GII.1

Le front de taille GII.1, d'une hauteur de 14 m, présente la succession lithologique suivante, du haut vers le bas (Fig.2.8 a) :

* 00,00 - 8,00 m : sable dunaire meuble, rouge à ocre, moyennement bien classé, fin ($dm = 240 \mu m$) avec présence d'une faible fraction silto-argileuse (1,2%);

* 8,00 -10,00 m : sable blanc jaunâtre, fin ($dm = 260 \mu m$) , friable, moyennement bien classé, et à fraction argileuse de 1,8%;

*10,00 - 14,00 : sable bariolé à ocre, friable, plus grossier que le précédent ($dm = 300 \mu m$) avec une fraction silto-argileuse de 3,6%.

2.3.3.1.2 Front de taille GII.2

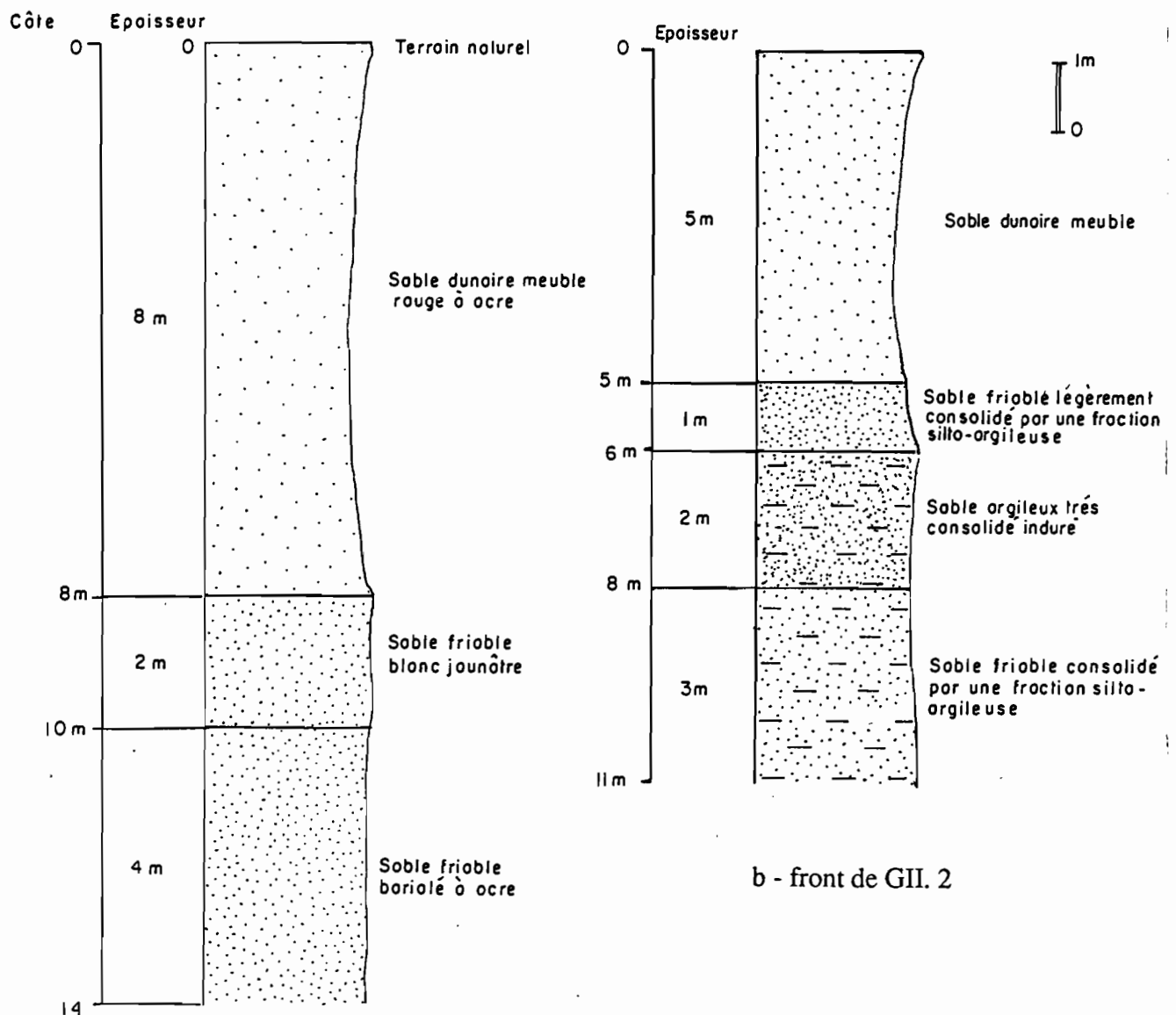
Ce front, d'une hauteur de 11 m, présente de haut en bas la succession suivante (Fig.2.8.b) :

* 0,00 - 5,00 m : sable meuble fin marron dans son ensemble, formé de grains de quartz blanc transparent, subarrondis, mal classés, de diamètre moyen $230 \mu m$. La fraction silto-argileuse représente environ 8%. On note la présence de quelques minéraux en grains noirs suballongés;

* 5,00 - 6,00 m : sable blanc, légèrement consolidé, formé de grains de quartz blanc transparent, subarrondis, mal classés, avec quelques grains de quartz jaune et ocre. La fraction fine est plus importante que dans le niveau précédent (11%). Le diamètre moyen est égal à 205 μm ;

* 6,00 - 8,00 m : mélange induré de sable formé de grains de quartz blanc (plus grossier) transparent, subarrondis, très consolidé d'une part par une fraction fine formée de grains de quartz blanc, et d'autre part par une fraction oxydée jaune - ocre enrobant les grains d'une mince pellicule ferro-argileuse. La fraction silto - argileuse représente 20 % en poids. Le diamètre moyen des grains est de 190 μm . L'ensemble est riche en minéraux lourds;

* 8,00 - 11,00 m : sable fin ($d_m = 240 \mu\text{m}$) friable, constitué de grains de quartz blanc transparent, subarrondis à anguleux, consolidés par une fraction plus fine de grains de quartz blanc et d'argiles représentant 14% en poids. Présence de grains de minéraux noirs.



a - front de taille GII. 1

2.3.3.2 : Conclusion sur le secteur 3

Les deux coupes GII.1 et GII.2 mettent en évidence respectivement des terrains sableux sans induration et des terrains présentant une induration par consolidation de sables par une fraction silto-argileuse.

Le premier cas est caractérisé par une très faible fraction fine (1,2 à 3,6%) donnant au sable une légère cohésion.

Le deuxième cas peut être rapproché à ce qui est observé dans le secteur 2 de Tobène (tranchée Béchon) à savoir la consolidation plus ou moins poussée des sables par accumulation de la fraction silto-argileuse.

2.3.4. CONCLUSION

L'étude géologique, basée essentiellement sur les données géologiques des ouvrages miniers, quelques observations ponctuelles et quelques analyses de laboratoire, a permis de délimiter des zones de tests (ZT1, ZT2, ZT3) des méthodes géophysiques.

* Elle montre que les zones-tests 1 et 2 présentent chacune des spécificités qui sont illustrées par la comparaison des deux logs types.

i. Induration plus marquée dans la zone 1 (84% du volume du recouvrement) que dans la zone 2 (50%);

ii. Présence remarquable de l'induration de type latéritique, parfois subaffleurante, dans la zone 1;

- iii. Développement de l'induration sablo-argileuse dans la zone 2 (28% contre 4% en zone 1).

*Les résultats géologiques devraient permettre un meilleur calage des profils de résistivités et des logs géophysiques de façon à voir la méthode la plus adaptée à l'étude de la nature et de la géométrie des indurations.

- BIBLIOGRAPHIE GEOLOGIQUE -

MONCIARDINI, C. (1966). La sédimentation éocène au Sénégal: Mémoire B.R.G.M. n° 43,
65 pages , 44 Fig.

TESSIER, F. (1952) .- Contribution à la stratigraphie et à la paléontologie de la partie ouest du
Sénégal (Crétacé et Tertiaire) . 1ère et 2 ème parties : historiques et stratigraphie .
Bulletin Dir. Min. Afr. Occid. Fr. , 267 p., 63 fig., 8 planches , 6 planches photo., 2
cartes h.t.

TESSIER, F., LAPPARTIENT, F et FLICOTEAUX, R (1976).- Etude géologique de la
carrière de Lam-Lam et de ses abords méridionaux (République du Sénégal) . Trav.
Lab. Sci. Terre , St Jérôme Marseille n°9 , 122p., 14 fig. 7 pl- ht.

3.ETUDE GEOPHYSIQUE

3.1 APERCU SUR LES METHODES GEOPHYSIQUES.

Ce chapitre est consacré à la description des méthodes géophysiques mises en oeuvre pour cette étude. Il ne s'agit pas ici d'une présentation complète. Seuls sont développés les points permettant une meilleure compréhension de l'interprétation.

Cette description des méthodes est largement inspirée de deux ouvrages:

- "Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines. Exemple d'application en Afrique Occidentale." par J.P.MATHIEZ et G.HUOT, ouvrage édité par le Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques.

- "Applications de la géophysique aux recherches d'eau." par C.MEYER DE STADELHOFEN, Technique et Documentation, Lavoisier, 1991.

Une bibliographie plus complète est disponible à la fin de cette étude.

3.1.1 LA METHODE ELECTRIQUE.

3.1.1.1. Principe général

La prospection électrique consiste à étudier les propriétés électriques du sous-sol au moyen de mesures effectuées à la surface. Les dispositifs les plus couramment employés comprennent deux circuits: un circuit d'émission entre deux points A et B, et un circuit de réception entre deux points M et N (figure 3-1).

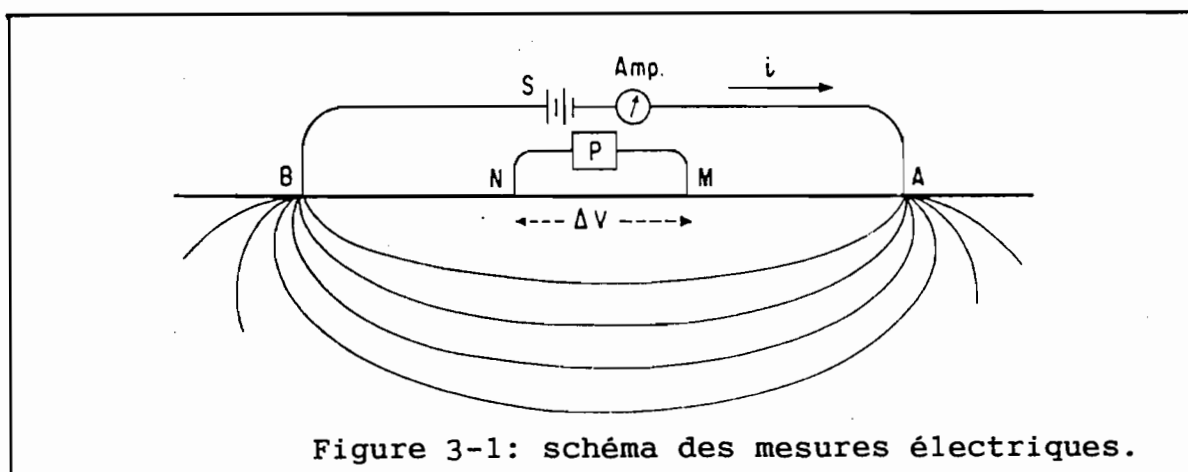


Figure 3-1: schéma des mesures électriques.

La résistivité des roches, exprimée en ohm.mètre (ohm.m), est un paramètre extrêmement différencié, dont la valeur est fonction de la résistivité propre de l'eau que la roche contient, de sa proportion, et de la façon dont celle-ci est répartie.

Les ordres de grandeurs s'échelonnent de 1 à quelques dizaines d'ohm.m pour les argiles et les marnes, d'une dizaine à une centaine pour les sables et les grès marneux, d'une centaine à plusieurs milliers pour les calcaires et les roches éruptives. Les terrains très secs, comme des sables, des latérites, peuvent présenter des résistivités de plusieurs dizaines de milliers d'ohm.m (MATHIEZ et HUOT, 1966).

Les dispositifs de mesure sont très variés . On distingue principalement:

- les dispositifs de sondage, qui permettent d'établir la succession verticale des résistivités à l'aplomb du point de mesure;
- les dispositifs de traînés ou les dispositifs carrés, qui permettent de mettre en évidence les variations latérales des résistivités à une profondeur relativement constante.

Tous ces dispositifs servent à mesurer la résistivité apparente des terrains ρ_a :

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

avec ΔV : différence de potentiel mesurée entre les points M et N,

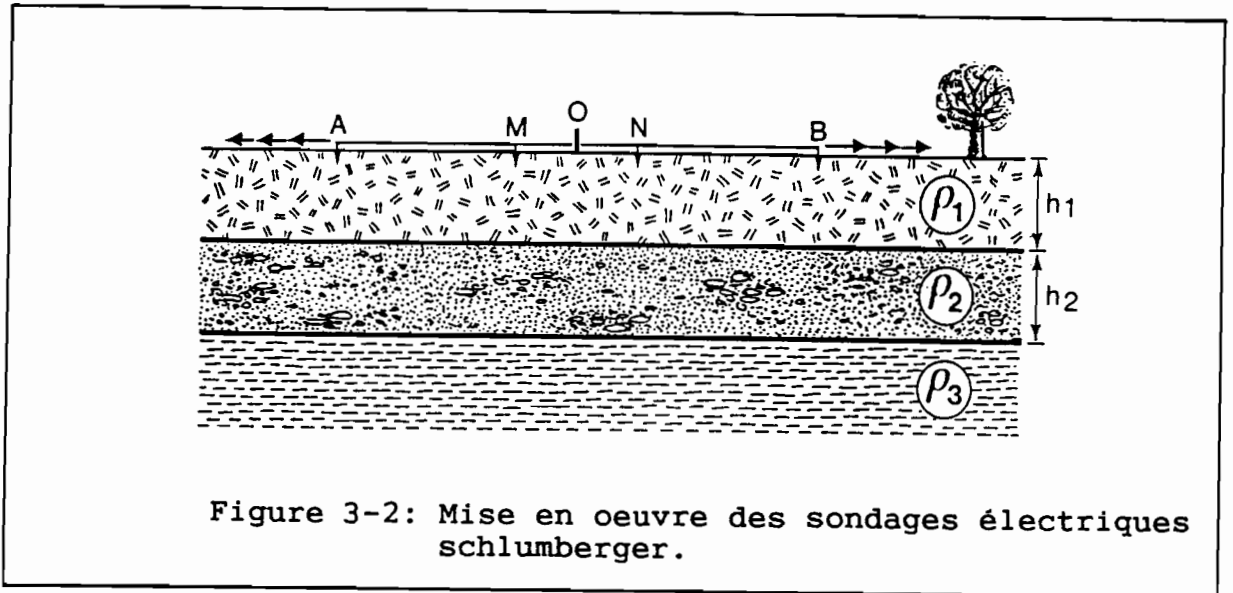
I: intensité du courant dans le circuit AB,

K: facteur géométrique du dispositif, donné par la formule suivante pour une géométrie quelconque:

$$K = \frac{2 \pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right)}$$

Les dispositifs employés pour cette étude sont les suivants:

1- Le dispositif type "Schlumberger", permettant de réaliser des sondages électriques (fig. 3-2).



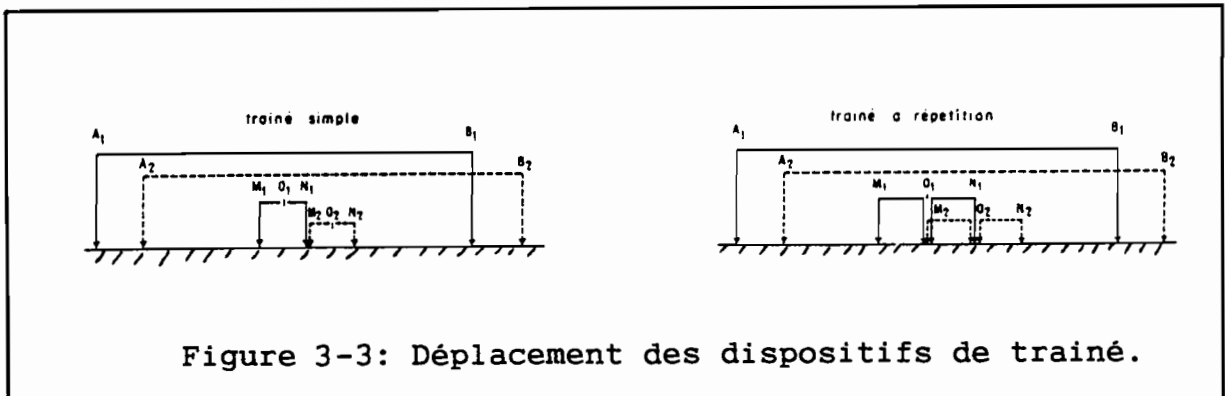
Le sondage de type schlumberger est composé d'un quadripôle en ligne AMNB. A et B s'écartent symétriquement de part et d'autre du centre O, MN restant aussi fixe que possible. Lorsque la distance AB devient grande devant MN, il est nécessaire d'agrandir MN. Dans ce cas, la valeur du coefficient K est la suivante:

$$K = \pi \cdot \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

La profondeur d'investigation est fonction des épaisseurs et des résistivités des terrains rencontrés. Il faut retenir que la profondeur d'investigation croît avec la longueur du dispositif, qu'elle est au mieux de l'ordre du quart de AB, mais peut tomber à AB/10 quand le substratum est très conducteur. C'est le cas à Tobène, où la nature marneuse des terrains profonds nécessite de réaliser des sondages de longueur de ligne AB variant entre 200m et 1km. Les profondeurs d'investigations sont par conséquent variables, de quelques mètres à plus de 50 mètres.

2- Le dispositif de traîné électrique:

Le dispositif de traîné électrique utilisé à Tobène est aussi un dispositif Schlumberger. Sa mise en oeuvre est schématisée sur la figure 3-3:



Les longueurs de ligne sont fixées à l'aide des résultats obtenus pour quelques sondages électriques en fonction du faciès recherché.

Les résultats du traîné électrique permettent d'établir des profils ou des cartes de résistivité apparente.

L'interprétation est qualitative et permet d'apprécier essentiellement les variations latérales des résistivités.

3.1.1.2. Principes de l'interprétation des sondages.

Seuls les sondages électriques se prêtent, sous certaines conditions, à une interprétation à la fois qualitative et quantitative.

Elle est basée sur l'hypothèse que les terrains sous-jacents ont des interfaces parallèles entre elles, et sont horizontales, ou faiblement pentées. Ce postulat peut être adopté dans le cas de Tobène, au moins dans les environs immédiats du sondage.

Dans certains cas cependant, les variations latérales des résistivités perturbent les mesures, surtout pour les valeurs obtenues pour les grandes longueurs de ligne. Ce phénomène est inhérent au sous-sol de Tobène. Dans ce cas, les courbes présentent une dispersion des mesures, comme c'est le cas lorsque la fin des courbes remonte à plus de 45°.

L'interprétation des courbes de sondages électriques repose sur le calcul de courbes théoriques issues d'un modèle proposé par le géophysicien. Celui-ci cherchera à calquer au mieux la courbe théorique sur la courbe expérimentale.

Le modèle proposé doit tenir compte de toutes les informations disponibles. Une des démarches que nous avons adoptée à Tobène consiste, pour les sondages électriques réalisés à l'aplomb des forages carottés, à déterminer un modèle de résistivité et d'épaisseurs compatibles avec les données géologiques.

Ce modèle, se superposant correctement aux données de terrain, permet d'obtenir des valeurs de résistivités de référence pour les terrains rencontrés.

En l'absence de logs géologiques de référence, les sondages électriques seront interprétés en tenant compte, dans la plupart des cas, des valeurs des résistivités précédemment trouvées, permettant d'obtenir ainsi les épaisseurs des terrains.

Dans d'autres cas, nous avons eu accès à de larges affleurements dans des tranchées. Les mesures effectuées avec des mini-dispositifs (distances AB et MN réduites), permettent de mesurer une résistivité apparente très proche de la résistivité vraie de la roche.

3.1.1.3.Limites de la méthode.

L'interprétation d'une courbe de sondage électrique n'est jamais unique: pour une même courbe, beaucoup de modèles peuvent être proposés. Dans la pratique, il est évident qu'on réduit considérablement le nombre de modèles possibles en utilisant des logs géologiques, des résultats obtenus avec d'autres méthodes géophysiques, etc..., pour ne retenir que l'interprétation ou les interprétations les plus réalistes.

La non-unicité de l'interprétation est due aux principes dits "d'équivalence" et de "suppression".

a. Le principe de l'équivalence:

* Pour un terrain résistant encadré par des terrains conducteurs:

L'expérience montre que l'on obtient des courbes pratiquement identiques pour des terrains résistants de résistivités ρ et d'épaisseurs h différentes, tant que le produit R de ces deux paramètres reste sensiblement le même.

La résistance transversale du terrain R est définie par la relation

$$R = \rho \cdot h$$

* Pour un terrain conducteur encadré par des terrains résistants:

Les courbes de sondages électriques restent pratiquement les mêmes tant que la conductance C de ce terrain reste constante.

C est définie par:

$$C = \frac{h}{\rho}$$

En résumé, lorsqu'on choisit de modéliser un terrain de résistivité et d'épaisseur donnée, il existe généralement d'autres solutions possibles, que l'on peut évaluer en calculant R ou C .

On comprend ici l'importance de disposer de logs géologiques de référence.

b. Le principe de suppression:

Le principe de suppression s'applique à des couches dont la résistivité est intermédiaire entre celles des couches encaissantes. On constate que ces couches intermédiaires ne modifient pas la courbe tant que leur épaisseur reste faible. On ne peut pas dans ce cas détecter ce terrain, sauf parfois par comparaison avec un sondage voisin sur lequel ce terrain apparaît.

Les effets de ces principes seront clairement montrés lors de notre interprétation des sondages électriques réalisés à Tobène.

3.1.2. LA METHODE SISMIQUE REFRACTION LEGERE.

L'emploi de la méthode sismique légère pour cette étude a pour objectif principal la détermination des vitesses de propagation des ondes sismiques dans les différents terrains, et en particulier dans les indurations.

La vitesse sismique est en effet un paramètre physique très souvent corrélable avec la compacité de la roche.

Nous avons utilisé une méthode légère à faible profondeur d'investigation, dont on ne saurait attendre les mêmes performances qu'avec des dispositifs sismiques utilisant des sources explosives.

3.1.2.1.Principe général.

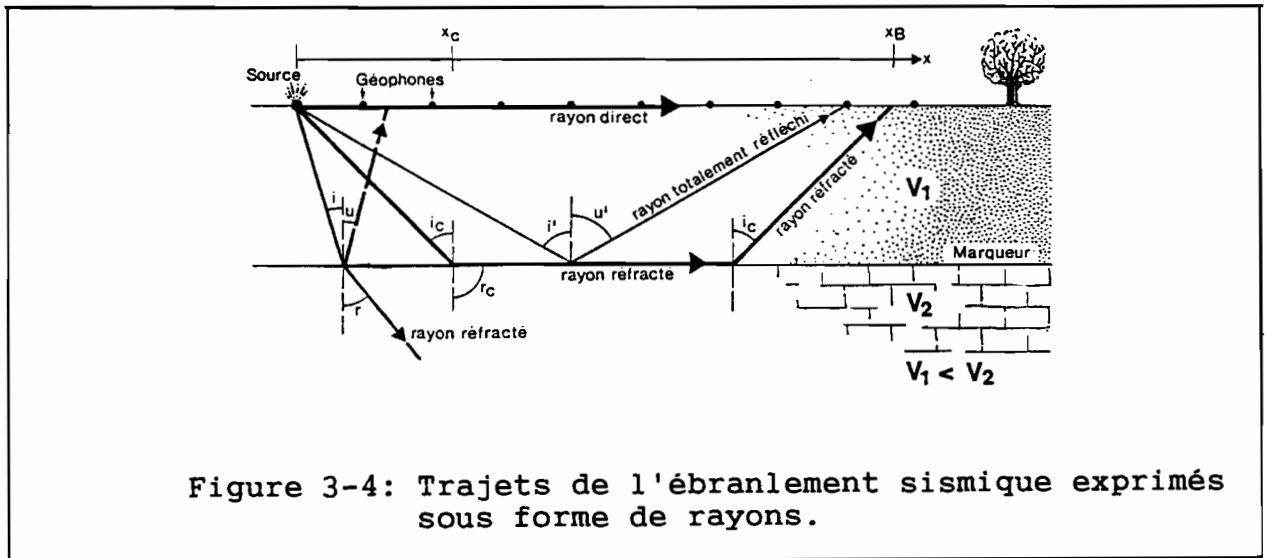
La méthode de prospection sismique réfraction légère -appelée aussi "sismique marteau"-, utilise une source d'ébranlement créée par un coup de masse sur une plaque métallique à la surface du sol.

Cette source produit une onde de choc qui se propage dans le sous-sol à des vitesses différentes et selon des trajets qui suivent des lois analogues à celles de l'optique (réflexion, réfraction, etc ...).

Les vibrations sont enregistrées à la surface du sol par des capteurs sensibles à la vitesse de déplacement du sol, appelés géophones.

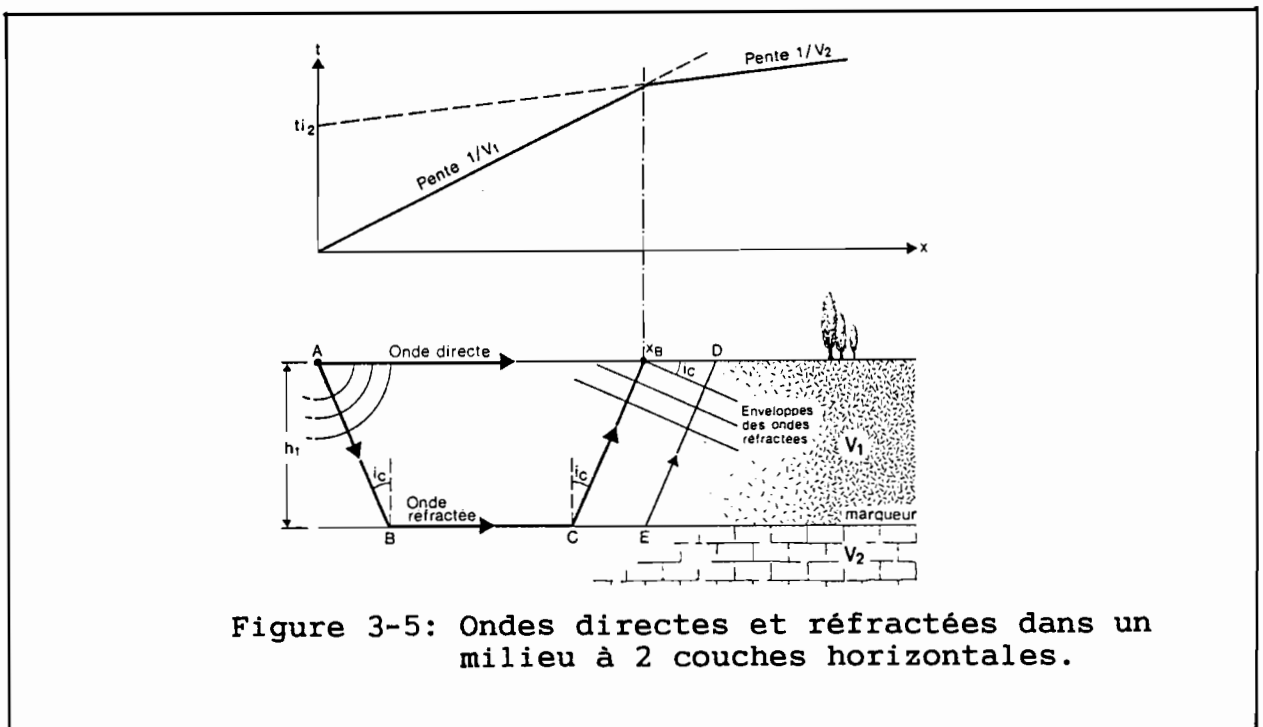
L'analyse des temps d'arrivée des différentes ondes de choc sur un diagramme permet de calculer les épaisseurs des terrains de vitesses sismiques différentes. Ces vitesses sont exprimées en mètres par seconde (m/s).

Pour l'étude des faibles profondeurs, on fait appel aux propriétés de réfraction des ondes . Le schéma de la figure 3-4 représente le dispositif de mesure et les trajets des ondes dans un milieu à deux vitesses V_1 et V_2 , où V_2 est supérieure à V_1 .



3.1.2.2. Principe de l'interprétation.

Toute l'interprétation se fonde sur l'étude du graphique temps-distance, la dromochronique. En appliquant les lois de l'optique, on établit l'équation des temps de parcours pour calculer les vitesses caractéristiques des terrains superposés et l'épaisseur de la première couche (fig. 3-5).



Le temps total du parcours entre A et D est égal à:

$$T = \frac{AB + ED}{V_1} + \frac{BE}{V_2}$$

Pour utiliser cette équation, il faut savoir que:

- les rayons directs atteignant l'interface V1-V2 sous l'angle critique i_c sont réfractés le long de ce marqueur et se propagent à la vitesse V2. L'angle i_c est tel que :

$$\sin i_c = V_1/V_2. \quad (\text{loi de Snell, ou loi de Descartes});$$

- l'enveloppe des ondes réfractées (normale aux rayons) remontant vers xb progresse à la vitesse V1, cependant la vitesse apparente en surface est égale à V2 et la pente du deuxième segment de la dromochronique est égale à $1/V_2$.

Au point de brisure de la dromochronique, les ondes directes et réfractées arrivent au même instant:

$$T_{xb} = A_{xb} = \frac{AB}{V_1} + \frac{C_{xb}}{V_1} + \frac{BC}{V_2}$$

$$h_1 = x_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \quad \text{et} \quad h_1 = t_{i2} \cdot V_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

où x_b est l'abscisse du point de brisure et t_{i2} est l'"intercept time". V_1 et V_2 sont fournies par l'inverse des pentes des segments de la dromochronique. h_1 n'a pas une signification ponctuelle, c'est la profondeur moyenne entre les points B et C.

Lorsque il existe plusieurs marqueurs parallèles à la surface, dont les vitesses sont croissantes avec la profondeur, on utilise les formules suivantes:

Les vitesses V_1, V_2 et V_3 sont toujours fournies par les inverses des pentes des segments de la dromochronique.

Les épaisseurs des couches successives peuvent être calculées à l'aide des formules approchées publiées par Mooney en 1973:

$$h_1 + h_2 = P \cdot h_1 + x_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} \quad \text{avec } P \approx 0,8$$

$$h_1 + h_2 = t_{i3} \cdot V_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{V_3}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \right] - Q \cdot h_1 \quad \text{avec } Q \approx 2$$

Pour obtenir de meilleures approximations de P et de Q, on utilise les valeurs fournies par les abaques de la figure 3-6 (MOONEY, 1973).

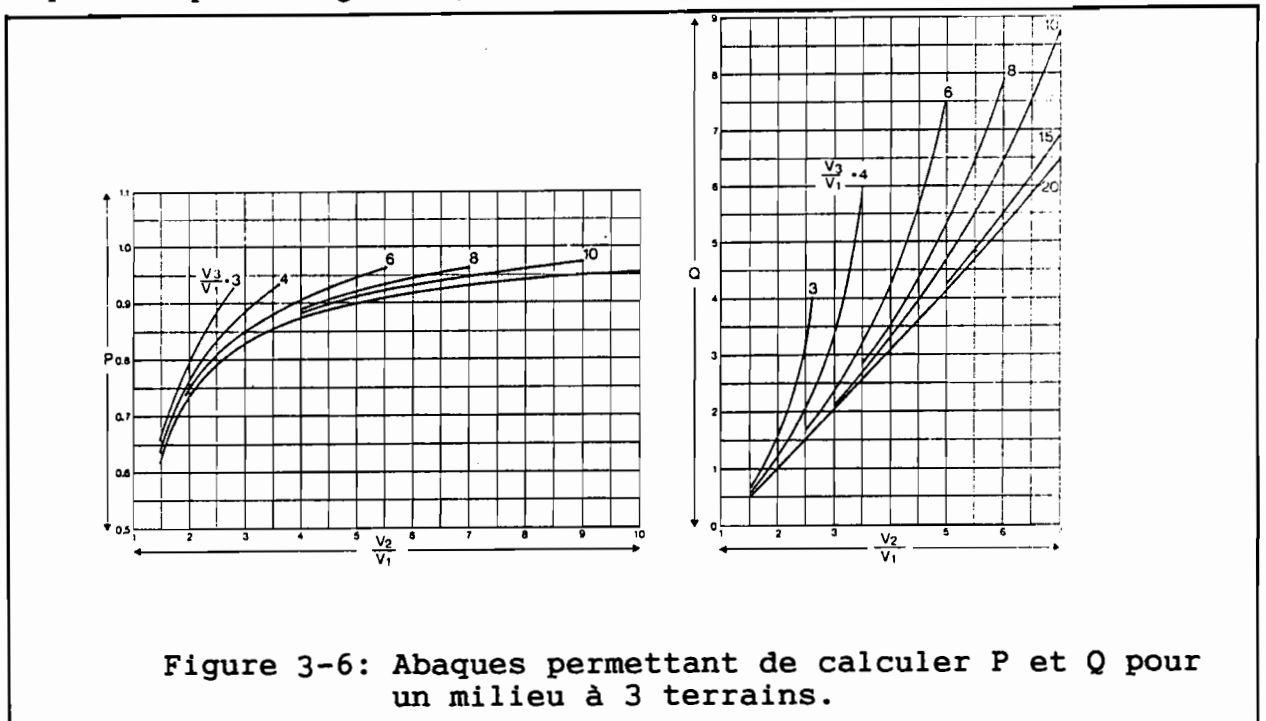


Figure 3-6: Abaques permettant de calculer P et Q pour un milieu à 3 terrains.

3.1.2.3. Limites de la méthode

La profondeur d'investigation est limitée aux premiers mètres du sous-sol. Cela est dû à la faiblesse de l'énergie produite par un coup de masse, les ondes de chocs s'atténuant assez rapidement avec la distance.

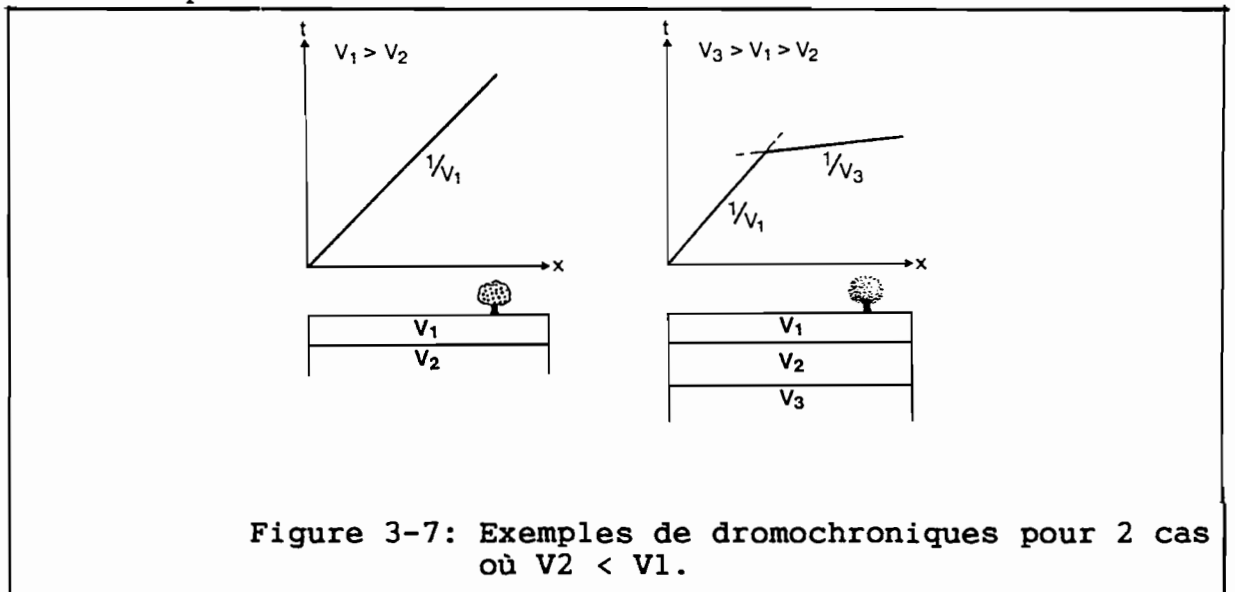
Les dispositifs utilisés à Tobène ont des longueurs en général comprises entre 20 et 45 mètres. Au delà, les ondes sont trop atténuées pour qu'il soit possible de lire leurs temps d'arrivée.

La méthode de sismique réfraction se heurte aussi à une limitation très importante, inhérente à la nature du sous-sol:

Les méthodes d'interprétation admettent toutes a priori que les vitesses croissent avec la profondeur. Ce n'est pas forcément le cas, par exemple lorsque des indurations latéritiques surmontent des couches de sables meubles à vitesse sismique plus faible.

Cela entraîne sur le tracé de la dromochronique, la disparition du premier marqueur et une surestimation systématique de la profondeur d'un éventuel second marqueur. Le schéma de la figure 3-7 représente ce cas.

S'il existe une troisième couche à vitesse V_3 plus importante, il sera possible dans les cas favorables, de détecter la couche de vitesse V_2 grâce à la rupture de pente constatée sur la dromochronique.



3.1.3.LA METHODE DE PROSPECTION MAGNETIQUE AU SOL.

Cette méthode utilise la propriété que possèdent certaines roches à s'aimanter sous l'effet du champ magnétique terrestre. Cette aimantation induite est proportionnelle à la susceptibilité magnétique de la roche et son effet s'ajoute à celui du champ normal.

Les mesures à la surface du sol des variations d'intensité du champ magnétique total débarrassées de l'influence du champ terrestre normal, reflèteront les inégalités de distribution des susceptibilités magnétiques dans le sous-sol. Ces inégalités, ou anomalies, sont exprimées en gammas (nano-Teslas).

Les roches de type latéritique produisent plutôt un signal magnétique chaotique à la différence des sables, en général très peu magnétiques.

Dans la pratique, nous avons utilisé deux magnétomètres synchronisés.

Le premier est le magnétomètre de base. Il enregistre régulièrement les variations d'intensité du champ magnétique normal en un point de référence.

Le second est déplacé sur le terrain selon des profils, en effectuant des mesures du champ magnétique total à l'aplomb de points régulièrement espacés.

Les valeurs ainsi obtenues sont réduites par différence avec celles mesurées au même instant sur le magnétomètre de base. On s'affranchit ainsi des variations diurnes du champ magnétique terrestre.

3.2. RESULTATS DES MESURES GEOPHYSIQUES.

3.2.1.ETUDE DE LA ZONE 1.

3.2.1.1.Localisation des essais

On distingue les essais réalisés près de la tranchée (figure 3-8), zone à forte densité d'informations géologiques, de ceux réalisés dans les environs immédiats, selon des profils passant par les forages destructifs existants (fig. 3-10).

Le tableau ci-dessous récapitule les différents essais réalisés sur la zone 1:

Nom de l'essai	Type	Observations
	E: électrique S: sismique M: magnétisme	
TN1-35	E	sondage longueur AB grande
TRAN-2	E	AB petite.Au plus près de la tranchée avec latérite.
TRAN-ROU	E	AB petite.à 15 m.le long de la tranchée avec sable.
TN1	E	AB petite.A l'aplomb du forage TN1.
TRANCHEE LAT	E,S	Essai directement sur l'affleurement de latérite
TRANCHEE SAB	E	Idem sur le sable.
TRANCHEE LAT	M	Essai au plus près de la latérite.
TN1-TN2	S	Essai le long de la tranchée avec latérite.
TN1-TN2	M	Profil entre TN1 et TN2.

suite du tableau

UYLQ	E,S	Sondages électriques à grande longueur de ligne AB
UYLL	E,S	
UYLL2	E	
UYLG2	E,S	Sondages alignés et espacés de 80 à 250 m. (voir carte).
UYLG	E,S	
UYLB	E,S	
UULQ	E,S	
UYGB	E	

3.2.1.2. Résultats de la méthode électrique.

Les résultats sont récapitulés sous forme de logs électriques (E), réunis selon deux coupes.

La première, (fig.3-9) est parallèle à l'axe de la tranchée, et passe par le sondage TN1-35 et les seuls forages carottés de la zone, TN1 et TN2. Les sondages réalisés en dehors de cet alignement sont projetés sur la coupe.

La seconde, (fig. 3-11), se situe dans l'alignement des forages UYLQ - UULQ. Seul le sondage UYGB n'en fait pas partie et est projeté sur cette coupe.

Ces coupes présentent aussi les résultats de la prospection sismique (S), que nous commenterons plus loin, et les principales informations géologiques disponibles (G).

Les courbes expérimentales des sondages électriques et leurs interprétations sont réunies dans le cahier d'annexes (Annexe 2).

a. Interprétation de la zone de la tranchée:

Les premières mesures -"TRANCHEE LAT et SAB"-réalisées directement sur les larges affleurements disponibles donnent deux valeurs de résistivités:

Figure 3-8 : ZONE 1 - LOCALISATION: ESSAIS GEOPHYSIQUES PRES DE LA TRANCHEE.

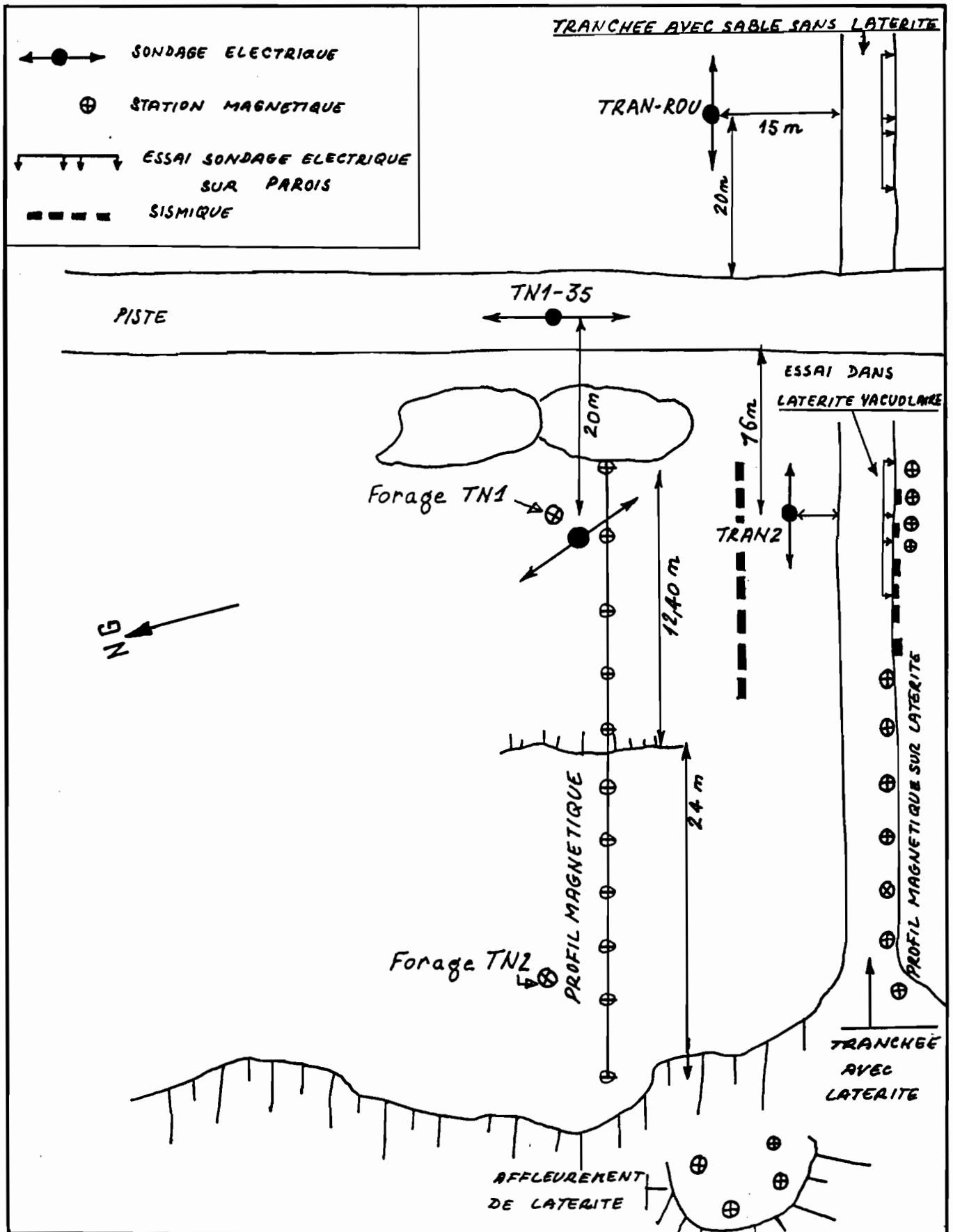


Figure 3- 9 : ZONE 1 - RESULTATS DES ESSAIS GEOPHYSIQUES PRES DE LA TRANCHEE.

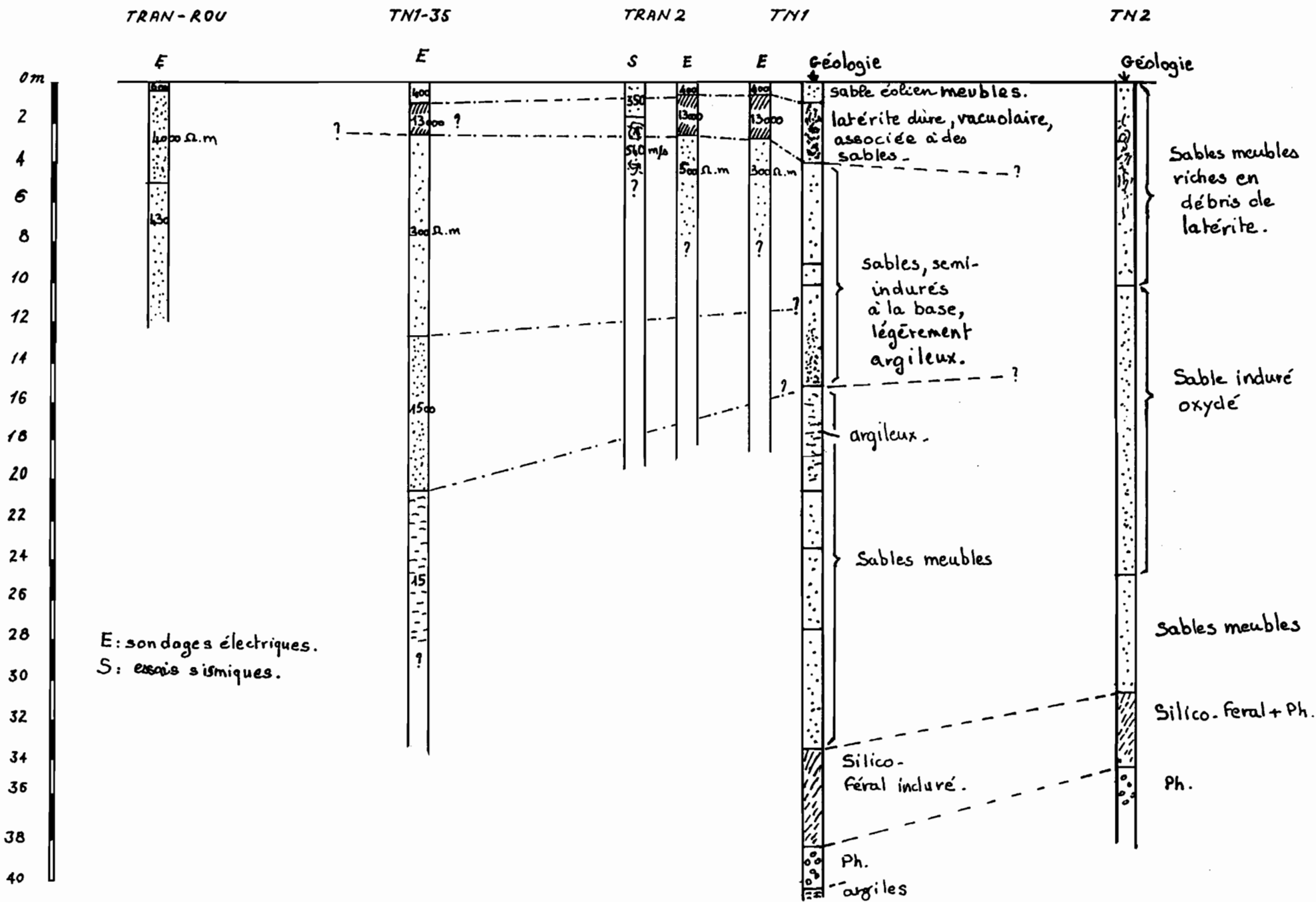
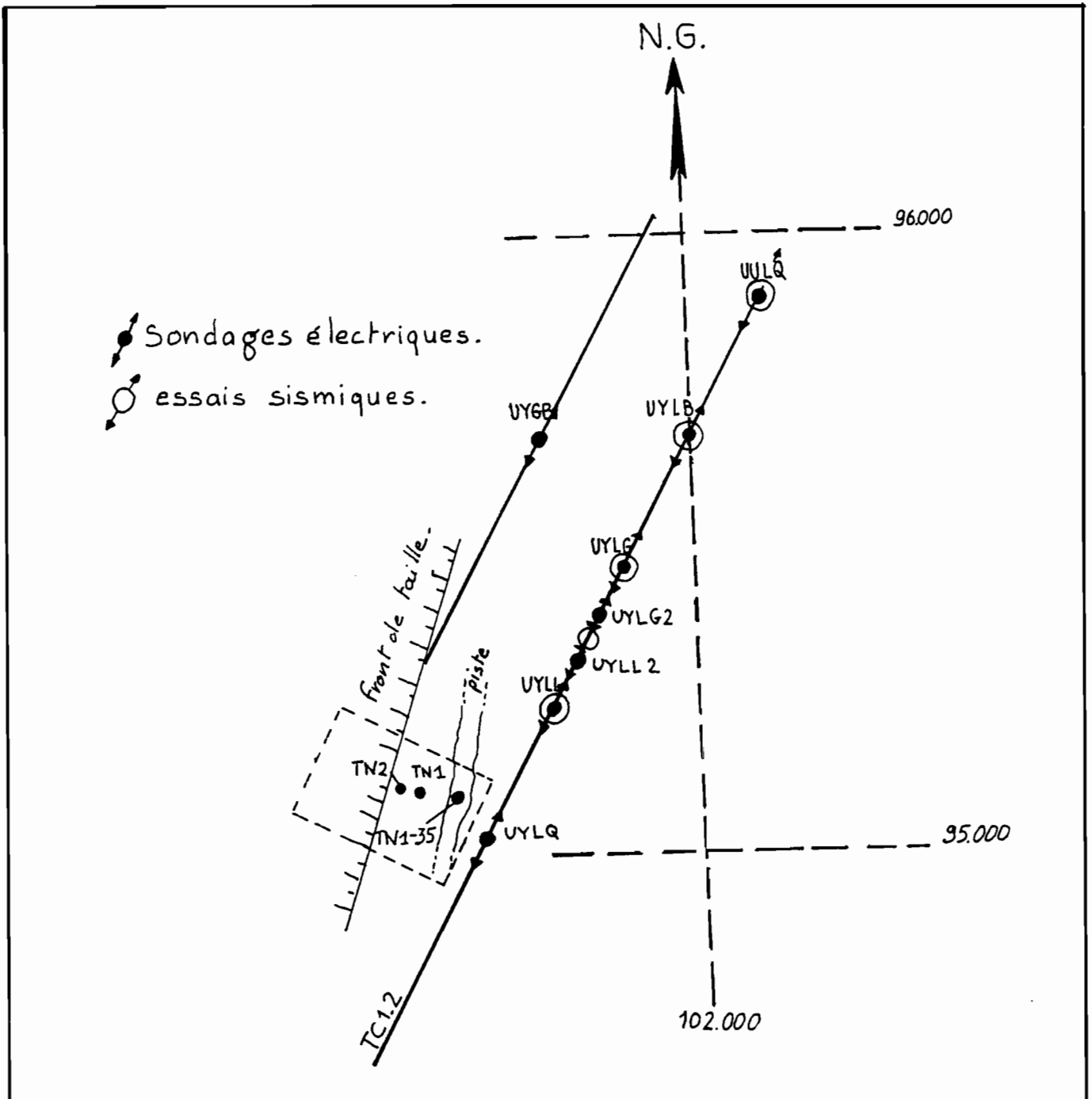


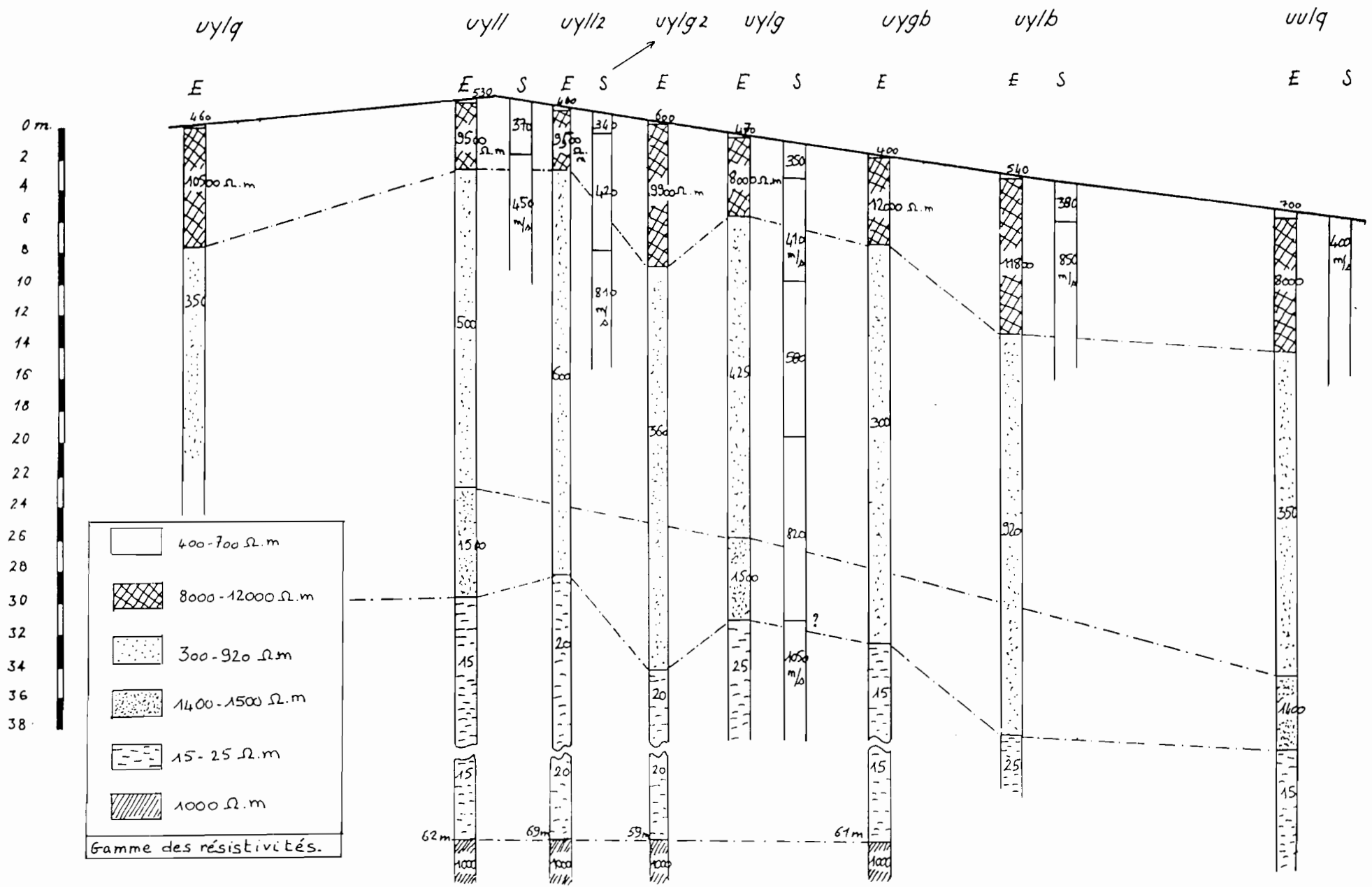
Figure 3-10: ZONE 1 - LOCALISATION: ESSAIS GEOPHYSIQUES EN PROFIL.



0 50 100 150 200m

Figure 3-11 : ZONE 1 - RESULTATS DES ESSAIS GEOPHYSIQUES UYLQ → -UULQ.

54



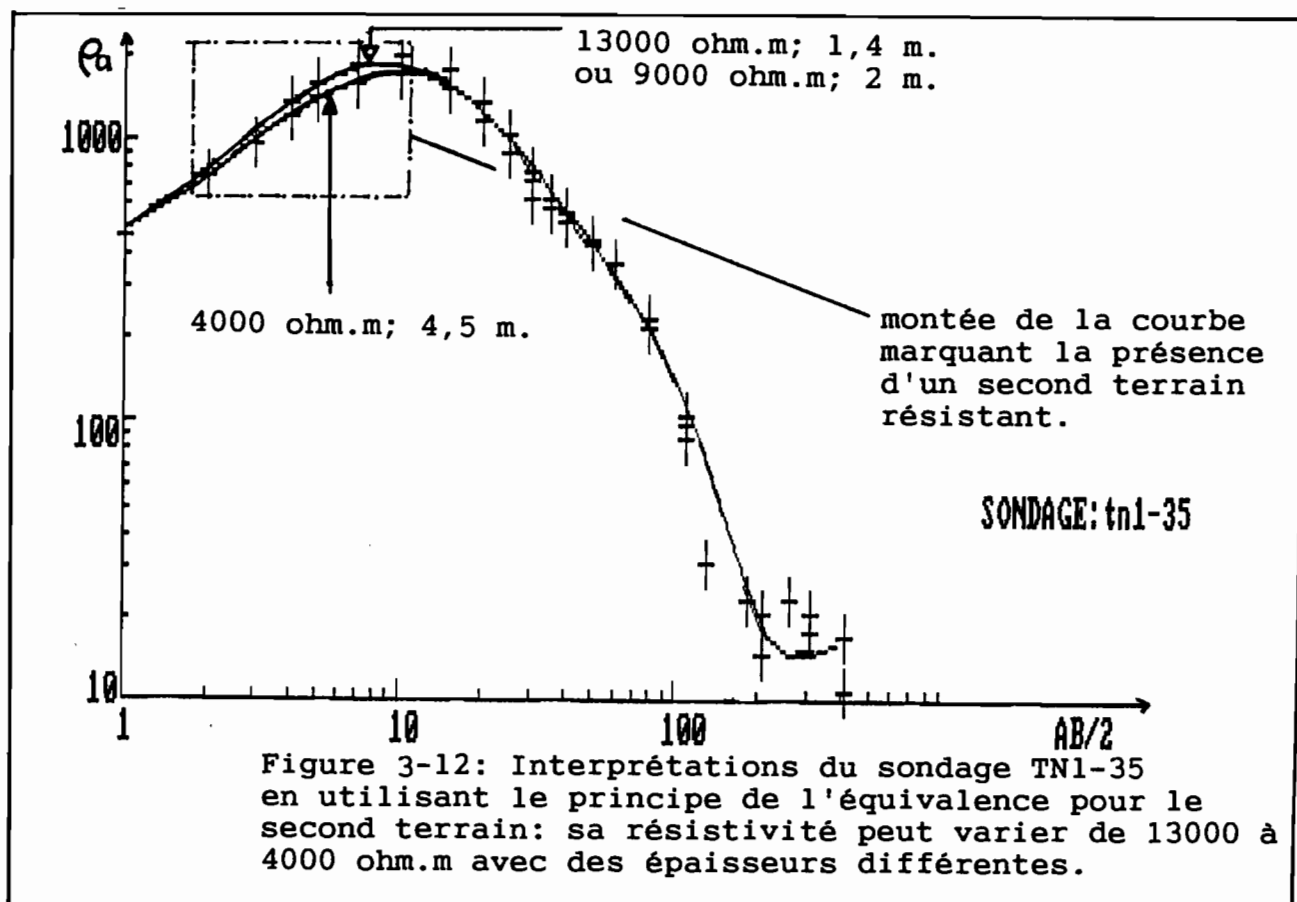
La résistivité du faciès latérite vacuolaire est de 13500 ohm.m, et celle des sables secs de l'autre coté de la piste est comprise entre 3300 et 3800 ohm.m.

Les sondages électriques TN1-35, TRAN-2 et TN1, interprétés en utilisant le log géologique des forages TN1, TN2, les coupes des tranchées et les résistivités mesurées précédemment, permettent de déterminer les gammes de résistivité des principaux types de terrains rencontrés dans cette étude:

On distingue, de la surface vers le bas:

- * les sables éoliens meubles de surface 350 - 600 ohm.m
- * les sables secs de sub-surface parfois semi-indurés: 3300 - 3800 ohm.m
- * la latérite vacuolaire: environ 13000 ohm.m
- * les sables meubles en profondeur, parfois légèrement argileux 300 - 500 ohm.m
- * les sables indurés, oxydés appelés silico-feral environ 1500 ohm.m
- * les argiles ou sables assez argileux: environ 15 ohm.m

Le sondage TN1-35 peut être interprété de plusieurs façons différentes (principe de l'équivalence), comme le montre la figure 3-12.



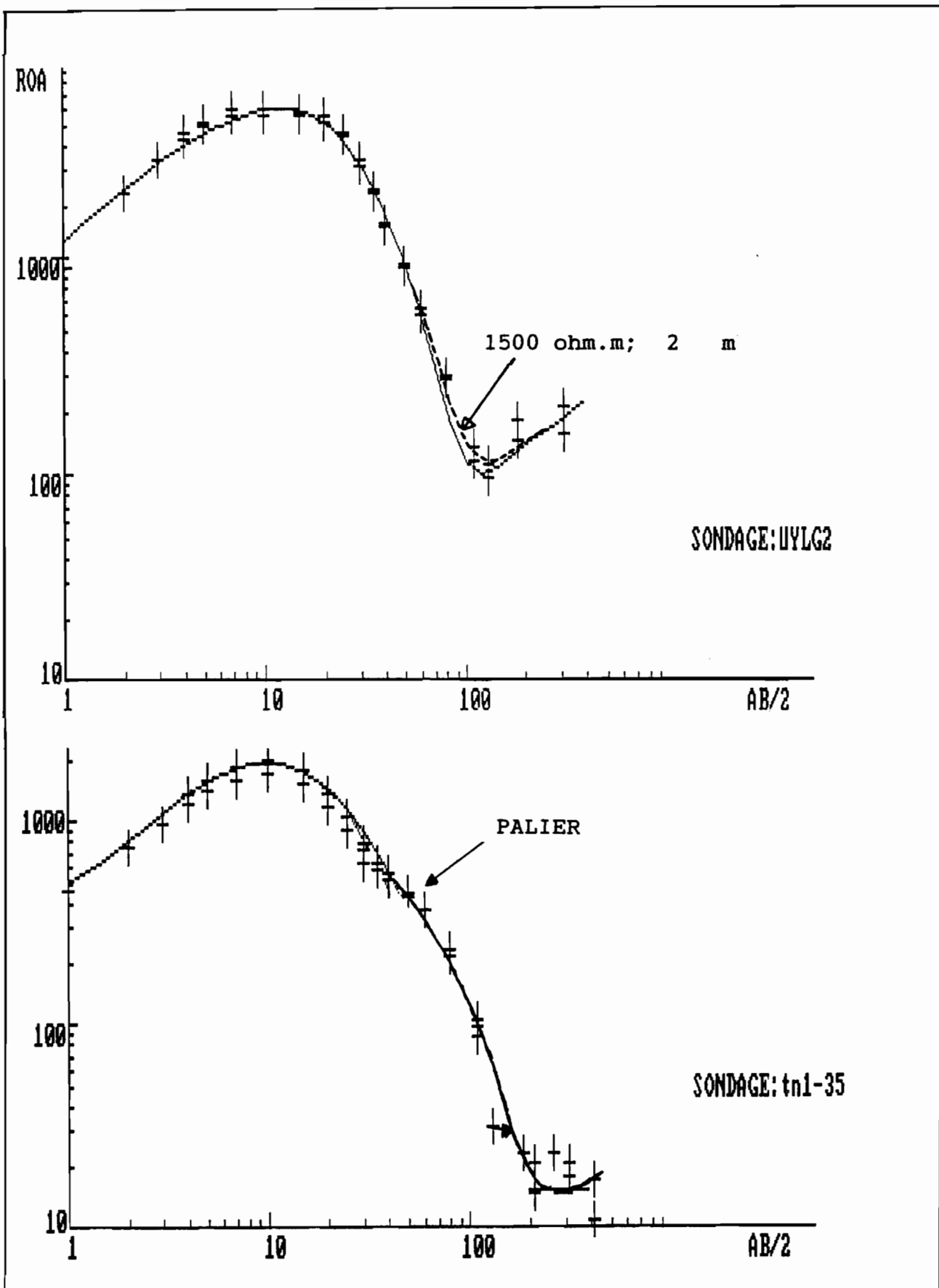


Figure 3-13: Illustration du principe de suppression. Dans le cas du sondage UYLG2 en haut, la courbe modélisée avec le terrain à 1500 ohm.m de 2 m d'épaisseur est trop proche de celle modélisée sans ce terrain pour qu'il soit possible de confirmer sa présence. Dans le cas du sondage TN1-35 en revanche, le palier marquant la présence de ce terrain à 1500 ohm.m est net.

On constate que le deuxième terrain peut avoir des résistivités de 13000, 9000 et 4000 ohm.m, pour des épaisseurs respectives de 1.4, 2 ou 4.5 mètres. Ce second terrain correspondrait dans ce cas soit à des sables très secs, soit à de la latérite. Il est par conséquent impossible de dire si il y a ou non le faciès latérite vacuolaire de 13000 ohm.m à cet endroit.

La méthode électrique est incapable de distinguer avec fiabilité la couche de latérite vacuolaire au sein de sables très secs.

Par contre la méthode discerne un ensemble résistant, constitué par cette couche latéritique et les sables secs sous-jacents. Si cet ensemble est considéré comme une induration gênante pour l'exploitation, la méthode électrique s'avère efficace.

Pour l'interprétation des sondages suivants, nous avons affecté arbitrairement à cet ensemble une résistivité moyenne de 8000 à 9000 ohm.m.

Le sondage TN1-35 distingue un autre ensemble résistant à 1500 ohm.m, que nous avons appelé "sables indurés, oxydés", et repérés sur le log TN1.

Cet ensemble résistant est marqué par un palier sur la courbe, ce qui n'est pas toujours le cas sur les autres sondages, par exemple sur UYLG2, soit que ce niveau ne soit pas assez épais (principe de suppression), soit qu'il soit absent.

Une modélisation avec différentes épaisseurs de ce terrain à 1500 ohm.m montre que celui-ci ne devient vraiment repérable que si son épaisseur est supérieure à 2 ou 3 mètres (fig.3-13).

b. Interprétation des sondages UYLQ à UULQ:

En l'absence de logs carottés, l'interprétation de ces sondages reprend, dans la mesure du possible, les valeurs de résistivités connues de la zone de la tranchée, permettant de fixer les épaisseurs des terrains.

De la surface vers le bas, on distingue:

* des sables éoliens meubles de surface:	350 - 700 ohm.m
* un ensemble résistant, correspondant soit à des latérites, soit à des sables secs, indurés ou non, soit aux deux faciès réunis:	8000 - 12000 ohm.m
* un terrain correspondant à des sables plus conducteurs, peut-être légèrement argileux	360 - 900 ohm.m
* un ensemble résistant parfois mis en évidence, correspondant à des sables indurés, ou des grès (silico-feral) :	1500 ohm.m
* un ensemble conducteur, correspondant probablement au niveau de la nappe et comprenant des argiles, le minerai et les marnes sous-jacentes	15-25 ohm.m
* un niveau résistant mal défini, apparaissant sur certains sondages, pouvant correspondre à des calcaires.	
Nous avons fixés arbitrairement la résistivité de ce banc à:	1000 ohm.m

La coupe met en évidence les variations latérales d'épaisseurs des différents faciès. Il faut cependant garder à l'esprit que les hypothèses faites sur les résistivités conditionnent la détermination des épaisseurs.

Pour cette série de sondages, nous ne disposions que d'informations fragmentaires obtenues lors des forages destructifs. Ces annotations, "indurations", "sables indurés", ne sont pas suffisamment fiables pour être exploitées dans notre interprétation. Aucun des niveaux indurés mentionnés sur les feuilles de forages ne correspond aux faciès "électriques".

En l'absence de données géotechniques portant sur les caractéristiques mécaniques des faciès reconnus par forages destructifs, il s'avère difficile de corréler les faciès "électriques" à leur degré d'induration.

Si la méthode électrique est capable de distinguer les principaux faciès en présence, sa capacité à détecter des indurations ne pourra vraiment être déterminée que lorsque cette corrélation aura été faite.

c. A propos des traînés électriques:

L'information que pourraient apporter des traînés électriques, choisis de manière à faire apparaître la latérite vacuolaire avec un écartement AB/2 de 10 mètres par exemple, serait extrêmement fragmentaire.

En effet, un sondage ne permet pas de distinguer avec fiabilité un terrain de 4000 ou de 13000 ohm.m. Les sondages présentent pour $AB/2 = 10$ m. des valeurs de résistivités apparentes comprises entre 2000 et 7000 ohm.m. Adopter la règle qu'une forte résistivité apparente correspond à un faciès latéritique serait une erreur.

Les traînés électriques ne sont donc pas adaptés au repérage des faciès de latérite vacuolaire indurée.

3.2.1.3. Résultats de la méthode sismique.

Les résultats des essais sismiques sont présentés sous forme de dromochroniques réunies dans le cahier d'annexes (Annexe 3), et sous forme de logs sur les figures 3-9 et 3-11.

a. Interprétation des essais près de la tranchée:

Les essais sismiques TN1-TN2 et TRANCHEE LAT permettent de déterminer les vitesses sismiques des deux premiers terrains:

- * celle des sables meubles éoliens : 350 m/s
- * celle de la latérite vacuolaire : 540 m/s

Les vitesses sismiques des terrains sous-jacents n'ont pas pu être calculées. En effet la couche de latérite surmonte des sables à vitesse plus faible, et cette configuration n'est pas favorable, nous l'avons vu, à la détermination des couches inférieures.

La vitesse sismique relativement faible de la latérite s'explique par son faciès vacuolaire: Une latérite classique présente des vitesses élevées (1500-2500 m/s). Le sable meuble qui remplit les nombreuses alvéoles suffit à faire chuter considérablement la vitesse sismique.

Cette vitesse, si elle reste supérieure à celle de sables meubles, est identique à celle que l'on mesure pour des sables plus compactés.

Il sera donc impossible de distinguer la latérite vacuolaire au sein d'autres faciès sableux plus compactés, qui eux, ne seront pas forcément gênants pour l'excavation.

Il est évident que si le faciès vacuolaire fait place à un faciès plus compact à vitesse sismique élevée, la méthode sismique permettra de le distinguer sans équivoque.

b. Interprétation des essais le long du profil UYLQ - UULQ:

Les essais font apparaître une grande diversité dans les valeurs de vitesses:

L'essai UYLG est celui qui fournit le plus d'informations, en distinguant 4 et probablement 5 terrains de vitesses sismiques croissantes de 350 à 1050 m/s.

Si on compare les essais sismiques avec les résultats obtenus en prospection électrique, on constate qu'il n'y a pas de correspondance nette entre les faciès.

Dans un cas par exemple, on associe un milieu résistant de 9000 ohm.m à des vitesses de 370 à 470 m/s (UYLL). Dans un autre cas le milieu résistant de 11800 ohm.m est associé à une vitesse de 850 m/s (UYLB).

Pour UYLG cependant, une correspondance existerait entre le faciès à 1500 ohm.m et une vitesse de 820 m/s et entre le faciès conducteur à 25 ohm.m et une vitesse de 1050 m/s.

Ces faciès pourraient correspondre à des zones relativement indurées.

Comme pour la méthode électrique il est nécessaire de réunir des informations complémentaires de type géotechnique sur les indurations de la zone 1, qu'il sera possible de corréler aux vitesses sismiques en présence.

Figure 3-14 : MAGNETISME ZONE I - PROFIL TN1 - TN2.

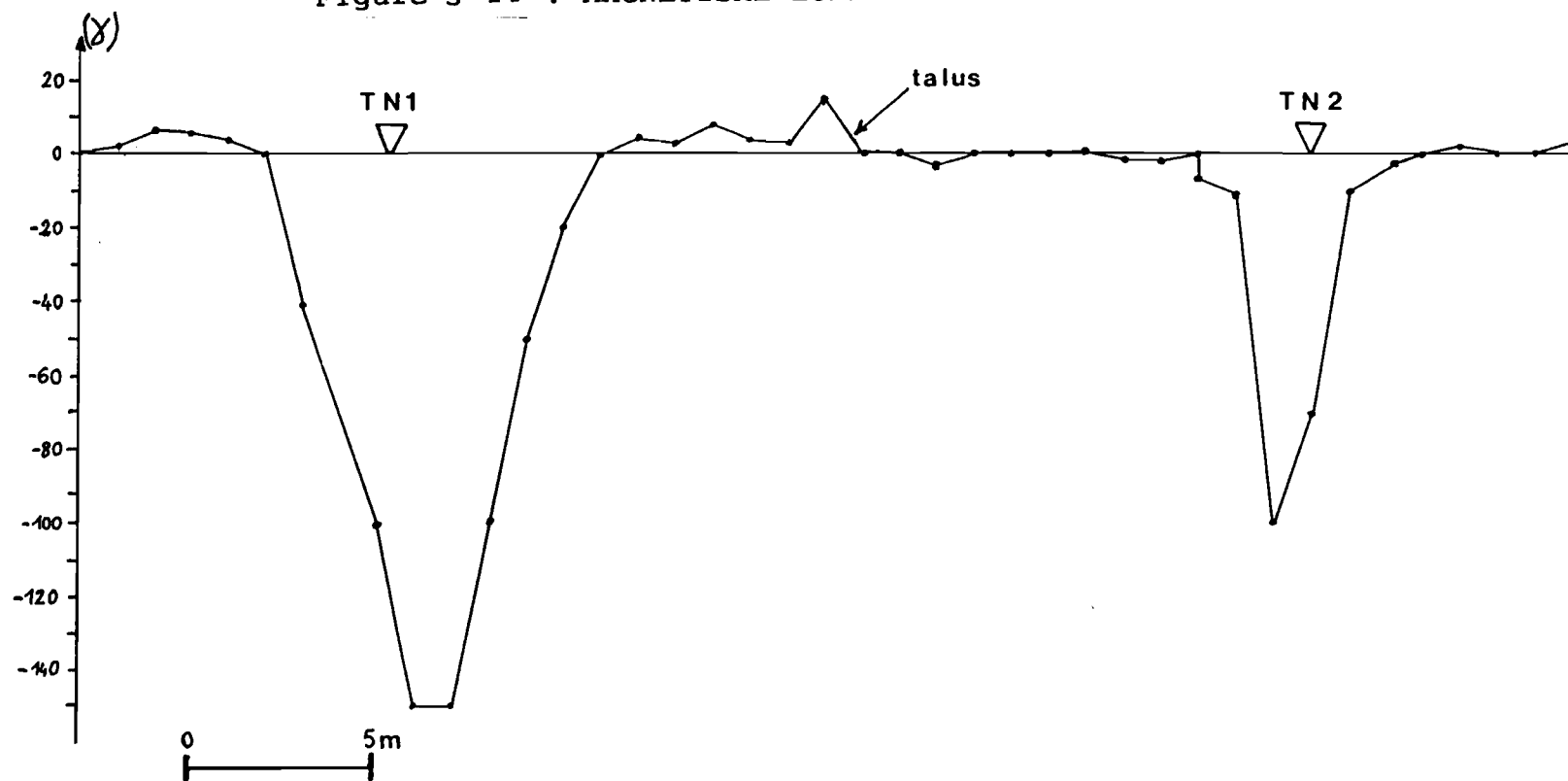
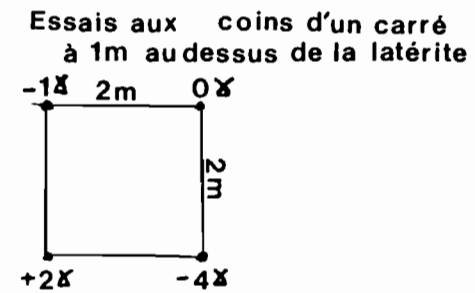
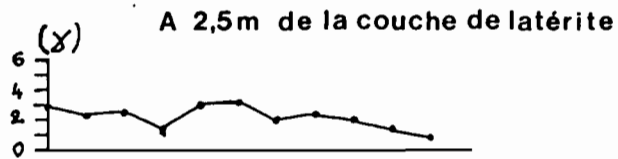
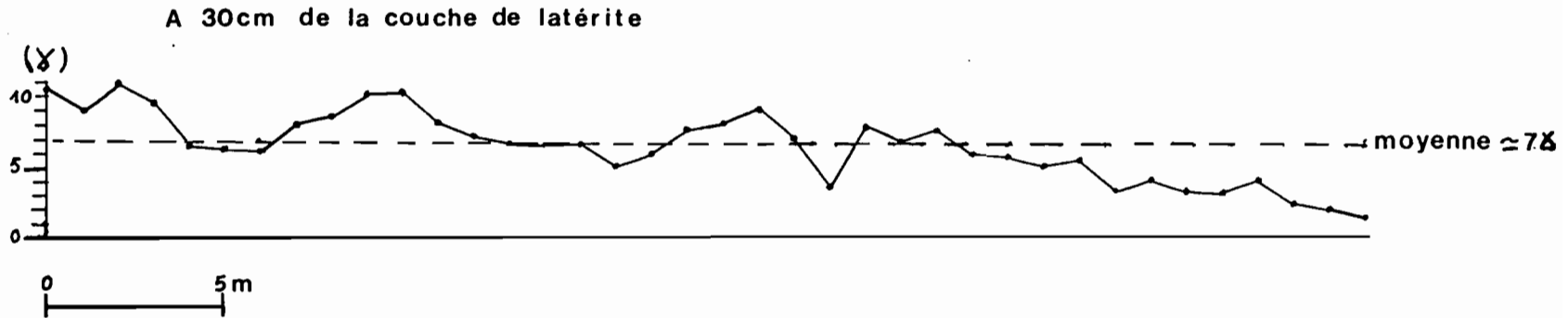
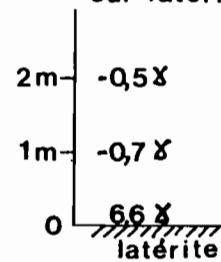


Figure 3-15 : MAGNETISME ZONE I - ESSAIS SUR LA LATÉRITE.



Essais à différentes hauteurs sur latérite



3.2.1.4. Résultats de la méthode magnétique.

Les résultats des mesures magnétiques sont présentés sur les figures 3-14 et 3-15.

Le profil magnétique TN1-TN2 (fig. 3-14) montre deux anomalies négatives de -150 et -100 gammas, situées à l'aplomb des deux forages carottés TN1 et TN2. Elles correspondent à des tubages métalliques, ou à des pièces métalliques encore enfouis. L'effet de ces corps se fait sentir le long du profil, où les valeurs oscillent entre +20 et -3 gammas.

Le profil précédent ne permettant pas d'évaluer l'effet de la couche latéritique, nous avons réalisé des essais sur des affleurements de latérite éloignés des forages (fig. 3-15).

Les mesures sur une dalle de latérite vacuolaire montrent que celle-ci est légèrement magnétique : + 6,6 gammas à ras du sol, valeur qui chute considérablement dès qu'on éloigne le magnétomètre du sol : -0,7 à 1 m et - 0,5 à 2 mètres.

Les essais avec le magnétomètre placé à 1 mètre du sol aux coins d'un carré de 2 mètres de côté montrent que la magnétisation est très variable latéralement: de -4 à +2 gammas.

Nous avons suivi la tranchée en maintenant le magnétomètre au plus près de la couche de latérite. Le profil obtenu montre des variations oscillantes autour d'une valeur moyenne de 7 gammas.

Lorsque les mesures sont faites depuis le sommet de la tranchée, à 2,5 mètres au dessus de la couche, la valeur moyenne retombe à 2 gammas.

Ces valeurs sont trop faibles pour être distinguées des valeurs obtenues pour une couverture sableuse.

Ces résultats montrent que la méthode magnétique ne permet pas de repérer avec fiabilité le faciès de latérite.

3.2.2. ETUDE DE LA ZONE 2.

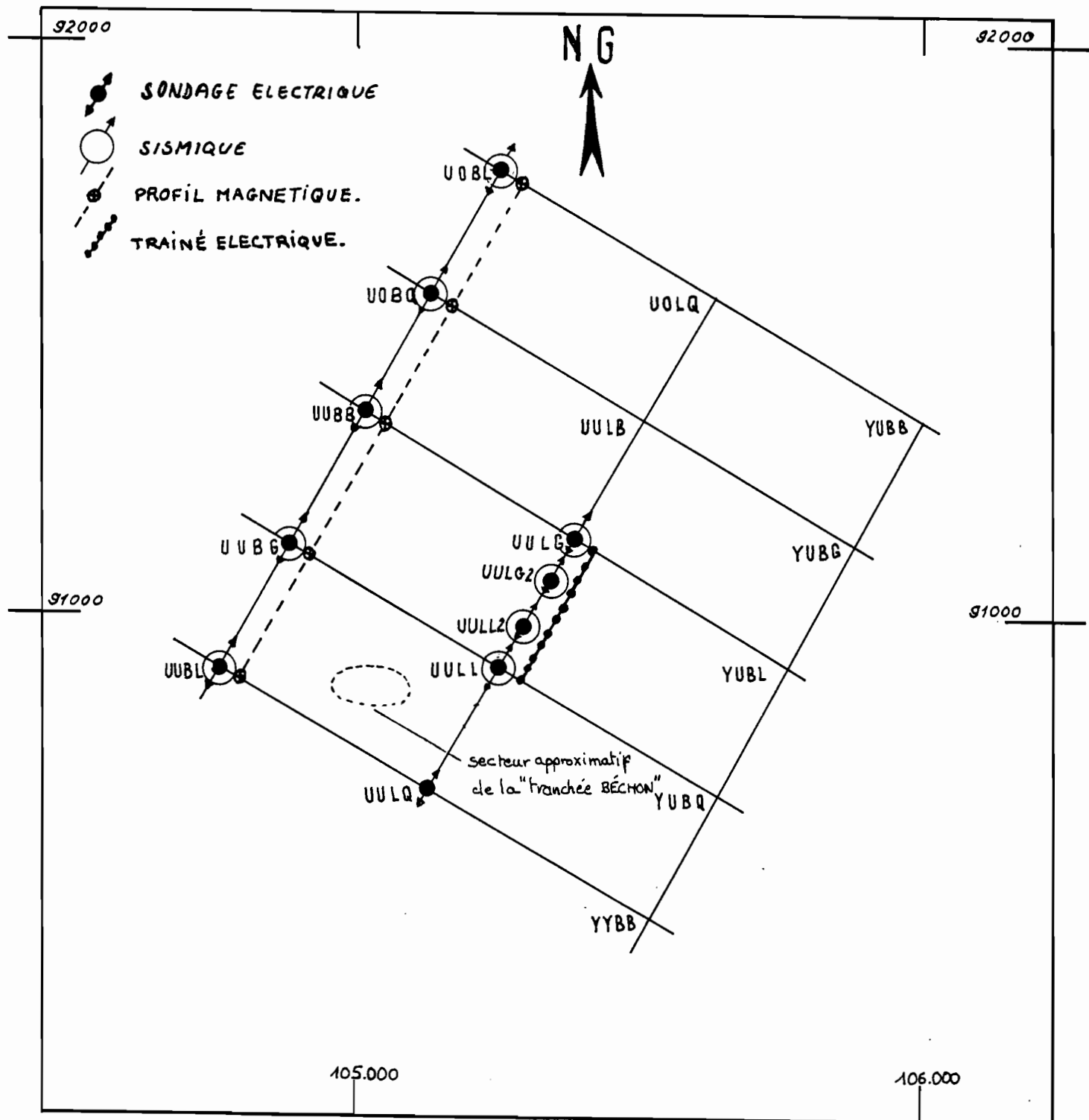
3.2.2.1. Localisation des essais.

La figure 3-16 permet de localiser les essais géophysiques réalisés sur la zone 2.

Le tableau ci-dessous récapitule ces essais:

Nom de l'essai	Type	Observations
	E: électrique S: sismique M: magnétisme	
UUBL UUBG UUBB UOBQ UOBL	E,S E,S E,S E,S E,S	Sondages électriques à grande longueur de ligne AB.Espacés de 250 m.
UULL UULL2 UULG2 UULG UULQ	E,S E,S E,S E,S E	Sondages électriques à grande longueur de ligne.Espacés de 80 m. à 250m des précédents.
TRANCHEE BECHON UUBL-UOBL UULL-UULG	E,S M E	Mesures électriques sur sables argileux compacts. Profil magnétique avec un pas de 10 m. Traînés électriques avec un pas de 10 m.

FIGURE 3-16 : ZONE 2 . LOCALISATION DES ESSAIS GEOPHYSIQUES.



3.2.2.2. Résultats des mesures électriques.

L'ensemble des résultats est récapitulé sous forme de logs électriques (E), réunis selon deux coupes.

La première, (fig.3-17), correspond aux cinq sondages entre UUBL (seul forage carotté de référence), et UOBL.

La seconde, représentée sur la figure 3-18, correspond à une série de cinq sondages, entre UULL et UULQ.

Comme pour la zone 1, ces coupes reprennent aussi les résultats obtenus en sismique (S) et les données géologiques du forage carotté UUBL (G).

Les courbes de sondages électriques expérimentales et leurs interprétations sont réunies dans le cahier d'annexes (Annexe 2).

a. Interprétation des sondages électriques des deux profils:

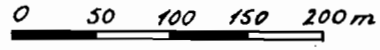
Les mesures effectuées sur un affleurement de sable argileux compacté dans la "tranchée Béchon" permettent de fixer la résistivité de ce faciès. Elle est comprise entre 15 et 25 ohm.m.

Le sondage UUBL permet lui aussi de fixer les résistivités vraies des principaux faciès, en respectant les épaisseurs relevées sur les carottes:

On distingue, de la surface vers le bas:

* des sables meubles éoliens :	850 ohm.m
* des sables argileux :	30 ohm.m
* un ensemble constitué de grès ferrugineux consolidés et de sables meubles :	700 ohm.m
* un ensemble constitué d'argiles, du minerai et des marnes, avec probablement la nappe:	15 ohm.m

FIGURE 3-17 : ZONE 2 . RESULTATS DES ESSAIS GEOPHYSIQUES SUR LE PROFIL UUBL - UOBL .



67

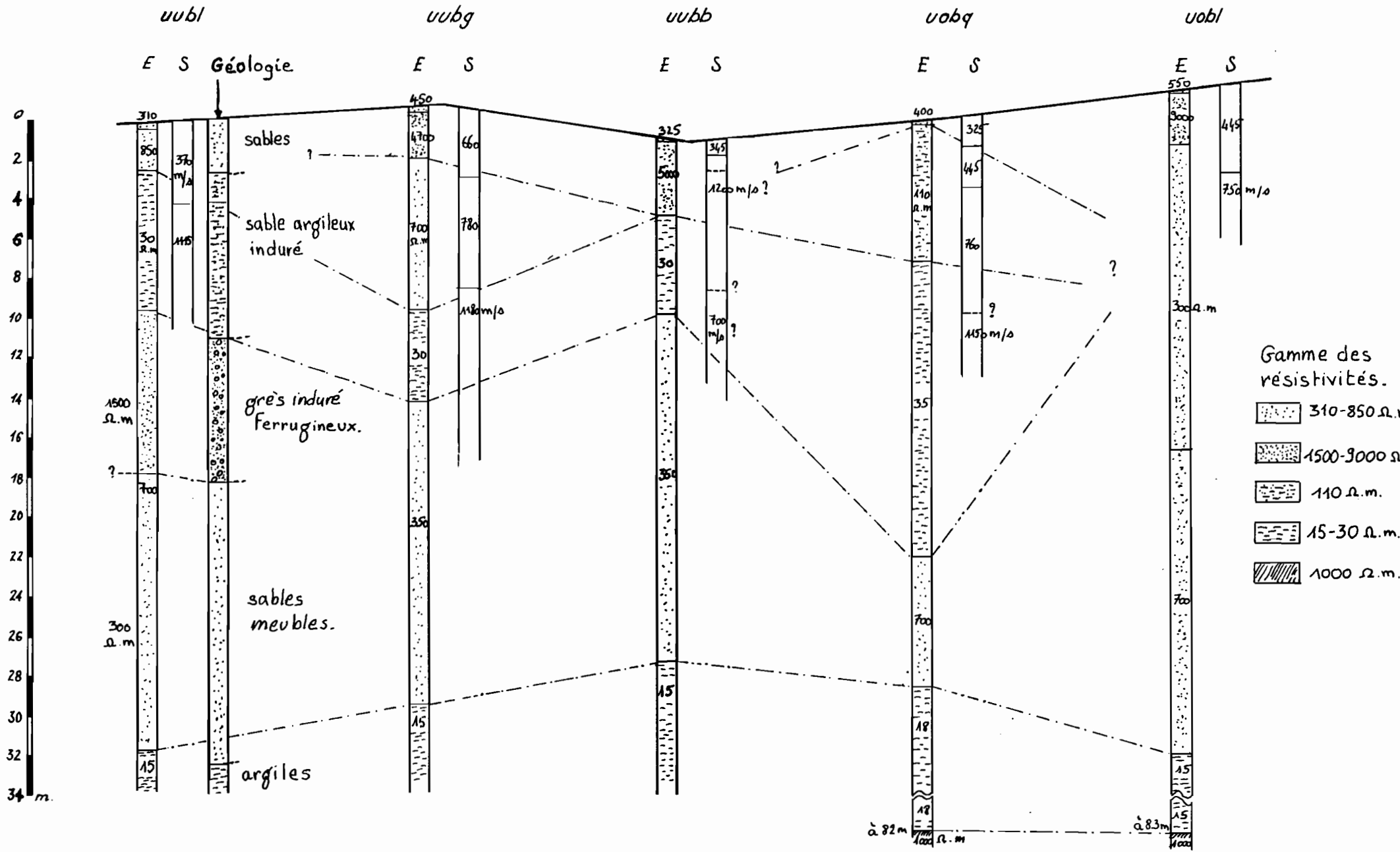
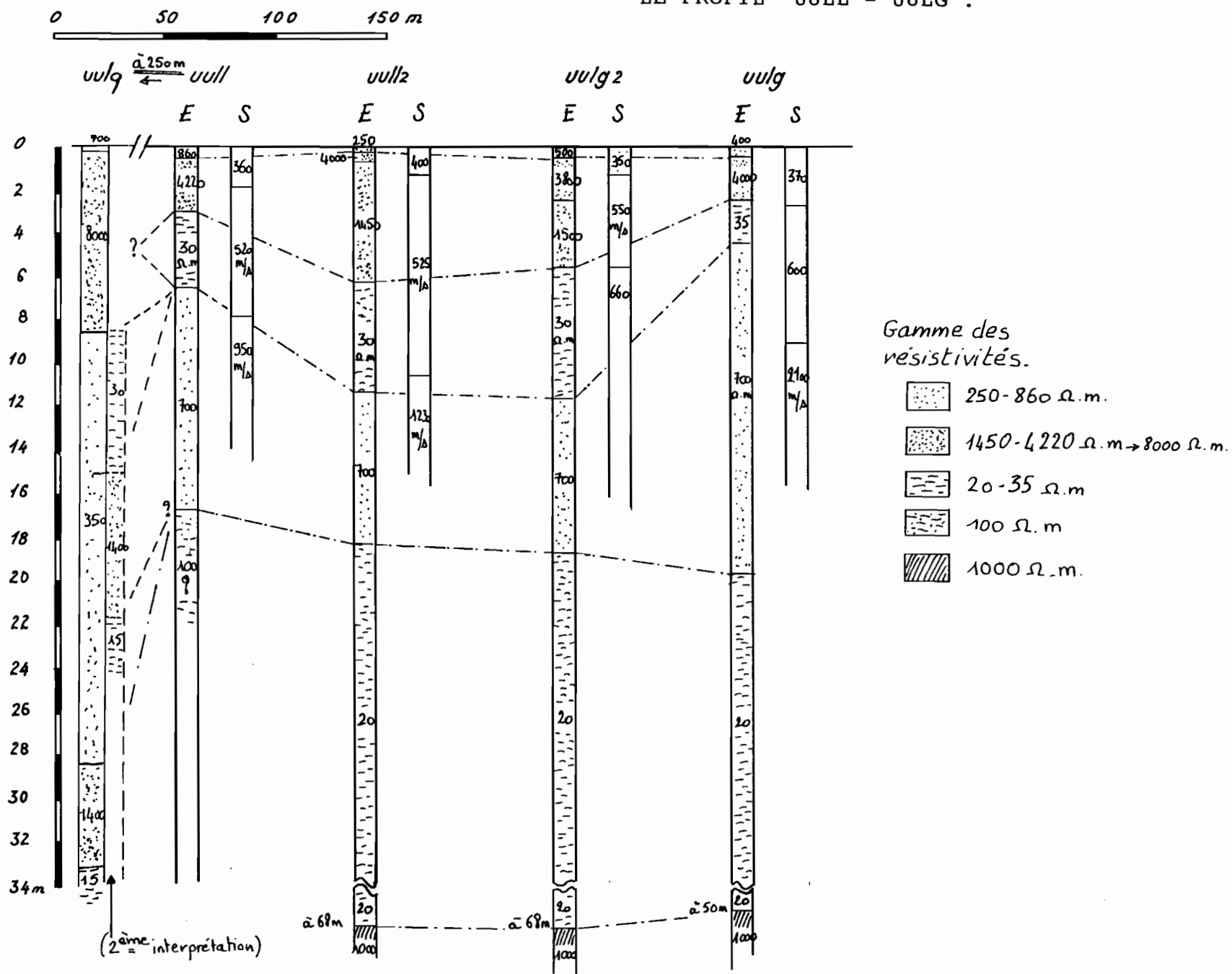


FIGURE 3-18 : ZONE 2 . RESULTATS DES ESSAIS GEOPHYSIQUES SUR LE PROFIL UULL - UULG .



On remarque que le sondage électrique ne peut pas distinguer les faciès gréseux indurés des sables meubles sous-jacents.

En effet, par le principe de l'équivalence, la courbe reste la même lorsqu'on remplace ce terrain de 700 ohm.m et de 22 mètres d'épaisseur par l'ensemble suivant:

- un premier terrain de 1500 ohm.m et de 8 mètres d'épaisseur, correspondant dans ce cas aux grès ferrugineux,

- un second terrain de 300 ohm.m et de 14 mètres d'épaisseur, correspondant aux sables meubles.

Les autres sondages électriques de la zone 2 ont été interprétés en utilisant les valeurs des résistivités trouvées précédemment.

Certains horizons résistants supplémentaires apparaissent en sub-surface (4000 à 9000 ohm.m) et correspondent probablement à des faciès de sables très secs, peut-être associés à un faciès latéritique (UUBG, UOBL, UULL à UULQ).

En profondeur, il n'est pas toujours possible de fixer une résistivité moyenne de 700 ohm.m pour l'ensemble grès-sables meubles (UUBG et UUBB). Dans ce cas, la résistivité vraie chute à 350 ohm.m, et le faciès grès ferrugineux est alors très peu épais ou même absent.

Le sondage UOBQ montre des terrains conducteurs très épais sous un recouvrement sableux peu épais, alors que les logs géologiques ne mentionnent que des sables. Le premier terrain a une résistivité de 110 ohm.m, et correspond probablement à un faciès sablo-argileux. Il est suivi d'un terrain de 35 ohm.m, correspondant à un faciès beaucoup plus argileux.

Dans le sondage UOBL au contraire, ces terrains conducteurs n'apparaissent plus, ou sont trop peu épais pour être distingués des sables.

Les variations latérales d'épaisseur des faciès argileux sont donc très importantes dans cette zone.

L'étude géologique montre que les sables argileux correspondent à des indurations. La méthode électrique permet de les repérer et de calculer leurs épaisseurs.

Ces épaisseurs sont déterminées avec une précision qui peut être estimée à environ 15 - 20% de l'épaisseur calculée.

b. Interprétation des traînés électriques:

Deux traînés électriques ont été réalisés entre les points UULL et UULG avec un pas de mesure de 10 mètres.

Les longueurs de ligne AB/2 de 10 et 20 mètres ont été choisies de manière à mettre en évidence la chute de la résistivité apparente des courbes de sondages correspondante au terrain conducteur sablo-argileux.

Les résultats sont présentés sur la figure 3-19.

On constate que les résistivités apparentes pour AB/2= 10 m sont très variables, entre 500 et 2000 ohm.m.

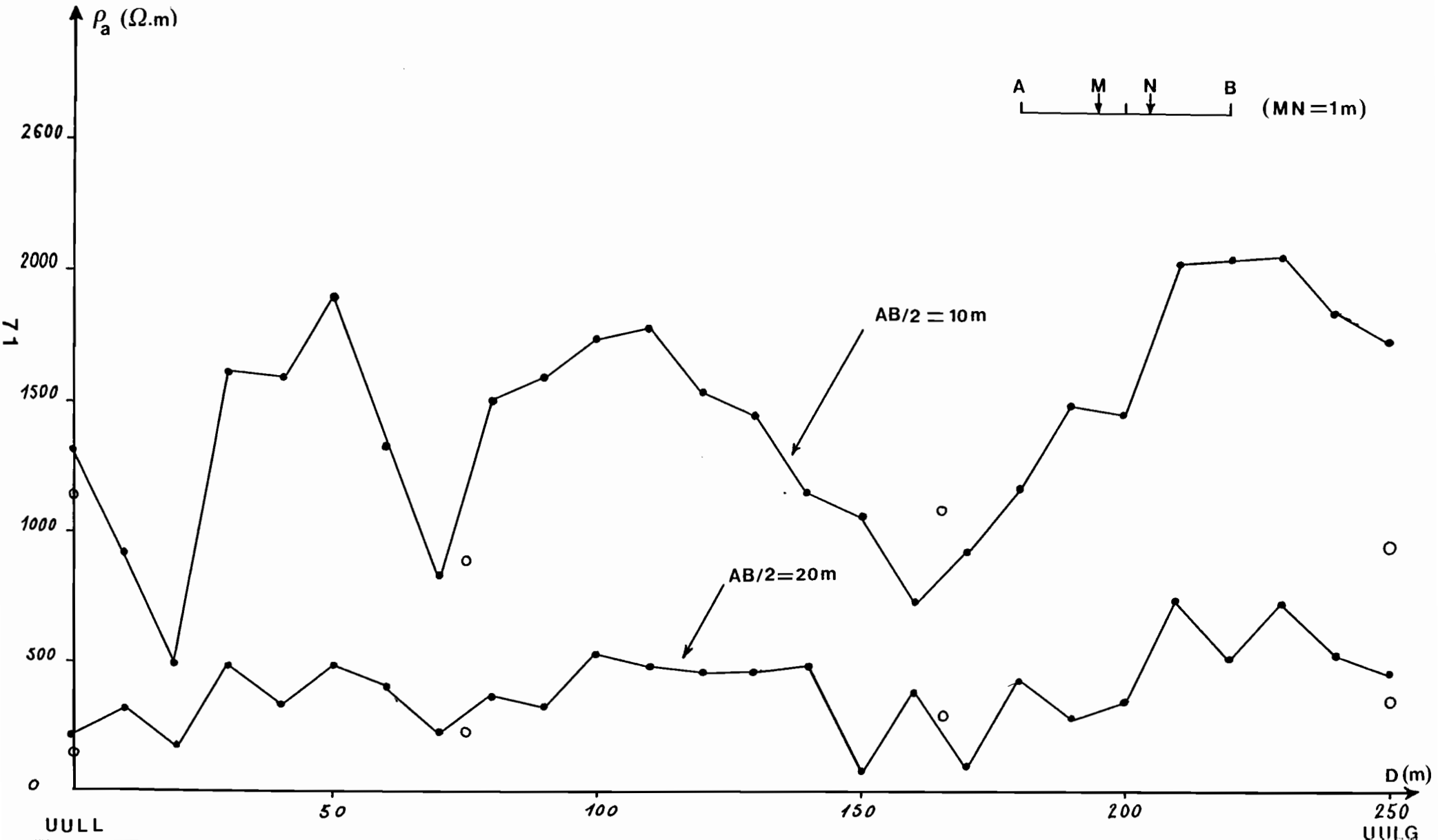
Les résistivités apparentes pour AB/2= 20 m sont systématiquement inférieures, et suivent la même variation mais de façon plus atténuée. Les écarts entre les courbes sont du même ordre de grandeur ou supérieurs à ceux constatés sur les courbes de sondages.

Ces résultats confirment la présence des terrains argileux repérés par les sondages électriques sur toute la longueur du profil.

Les cartes de résistivités apparentes issues de ces traînés seraient délicates à interpréter avec fiabilité, à cause des variations importantes des résistivités apparentes constatées en surface.

Si les traînés électriques sont capables de repérer les zones argileuses, ils n'apportent pas en revanche d'information en ce qui concerne les épaisseurs de ces faciès.

FIGURE 3-19 : ZONE 2 . RESULTATS DES TRAINES ELECTRIQUES ENTRE UULL ET UULG .



3.2.2.3. Résultats des essais sismiques.

Les résultats des essais sismiques sont présentés sous forme de dromochroniques réunies en annexe 3 et sous forme de logs sur les figures 3-17 et 3-18.

Les essais réalisés au sommet de la tranchée Béchon et à l'aplomb du forage carotté UUBL permettent de fixer les vitesses sismiques des deux premiers terrains:

- * celle des sables meubles éoliens: 370 - 500 m/s
- * celle du faciès des sables argileux indurés : 940 - 1115 m/s

Les autres essais sismiques de la zone mettent en évidence d'autres vitesses entre 500 et 780 m/s, correspondant probablement à des sables compactés (ou de latérite vacuolaire).

La comparaison entre les mesures électriques et sismiques est plus directe que pour la zone 1:

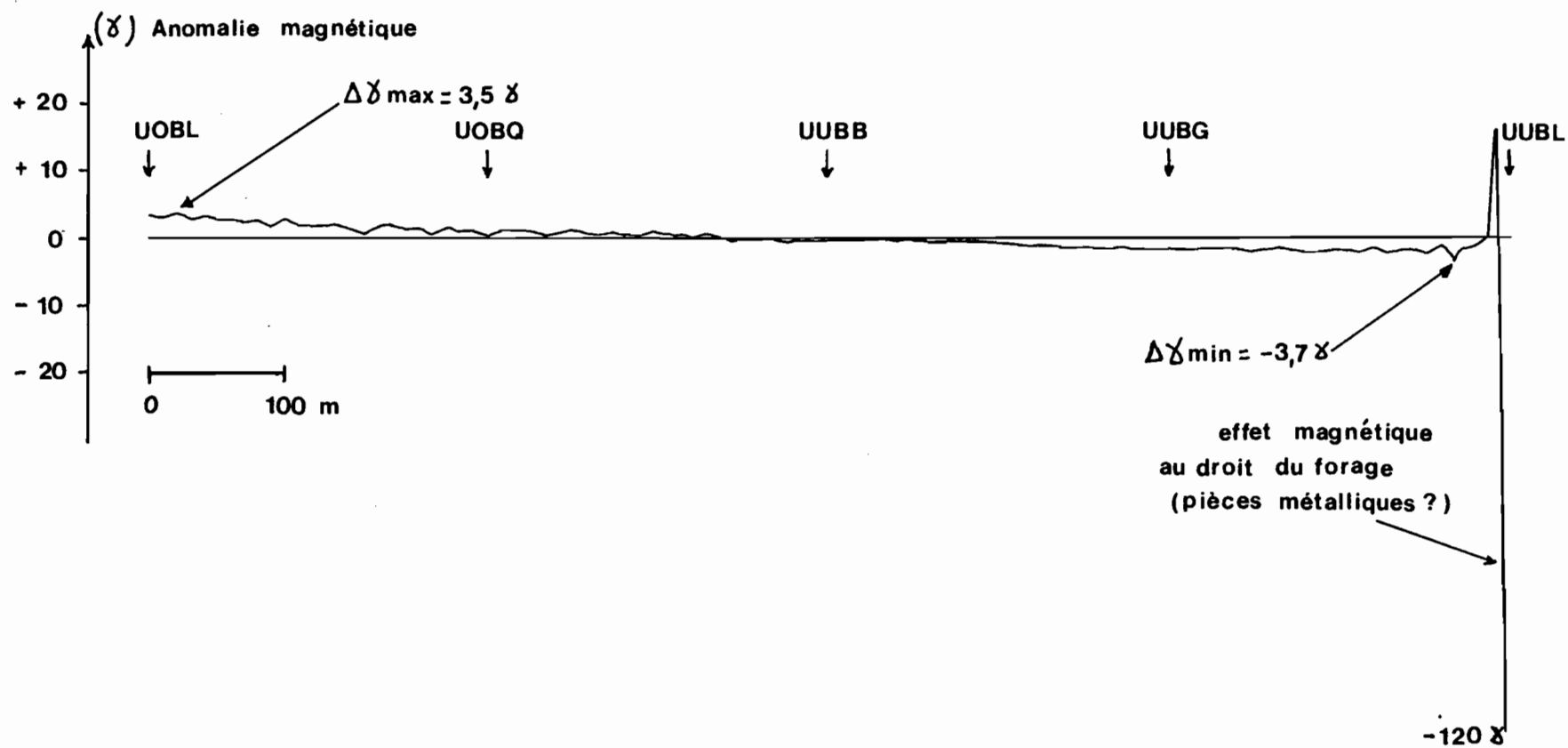
Les niveaux résistants de sub-surface présentent généralement des vitesses allant de 325 à 780 m/s.

Les niveaux conducteurs correspondent généralement à des vitesses élevées, comprises entre 1115 et 1180 m/s, du moins sur le profil UUBL à UOBL.

Sur le profil UULL à UULG, les niveaux conducteurs correspondraient plutôt à des vitesses de 500 à 600 m/s. Ces terrains seraient donc moins indurés. On passe ensuite à des vitesses plus élevées (de 940 à 2100 m/s), correspondantes à des compactations importantes des terrains concernés.

La méthode sismique apparaît donc comme un excellent moyen de compléter les mesures électriques pour évaluer le degré de compaction des terrains conducteurs, et de repérer les formations à vitesse sismique élevée comme les grès ferrugineux.

FIGURE 3-20 : ZONE 2 . PROFIL MAGNETIQUE ENTRE UUBL ET UOBL .



Pour cette zone comme pour la zone 1, il sera nécessaire de réunir des informations de type géotechnique sur les faciès argileux et gréseux.

3.2.2.4. Résultats de la méthode magnétique.

Les résultats du profil UUBL - UOBL, réalisé avec un pas de mesure de 10 mètres, sont présentés sur la figure 3-20.

Aucune anomalie magnétique significative n'est mise en évidence, si ce n'est à l'aplomb du forage carotté UUBL (présence de pièces métalliques).

La lente variation observée de +3,5 gammas à -3,7 gammas est probablement représentative des variations régionales du champ magnétique terrestre dans la zone des mesures.

La méthode magnétique n'est pas adaptée au repérage des indurations de la zone 2.

3.3. ESSAIS GEOPHYSIQUES SUR LA ZONE D'EXPLOITATION ACTUELLE

Quelques essais géophysiques ont été entrepris sur la zone d'exploitation actuelle (panneau II), dont les objectifs étaient:

- de déterminer la résistivité et la vitesse sismique du minerai phosphaté exploité (essais "MINERAI"),
- de mesurer la résistivité des indurations de type argileux parfois rencontrées par les excavateurs,

- de réaliser des essais dans une zone à priori sans indurations (essais "MINE").

Les résultats des ces différents essais sont réunis à la fin des annexes 2 et 3.

a.Mesures électriques:

Le minerai présente une résistivité d'environ 150 ohm.m, valeur qui chute à 50 ohm.m dès que celui-ci est noyé dans la nappe phréatique, nettement visible 5 mètres plus bas en fond de fouille.

les indurations de type argileux présentent une résistivité comprise entre 17 et 23 ohm.m.

Enfin, le sondage "MINE" présente, de la surface vers le bas:

- * un recouvrement de sables meubles (0,3 m.d'épaisseur): 800 ohm.m
- * un ensemble résistant de 7m.,correspondant à des sables friables et secs : 12200 ohm.m
- * un ensemble plus conducteur, qui peut être interprété de deux façons différentes:
 - a) un premier terrain de 350 ohm.m correspondant à des sables meubles sur 15 mètres, surmontant un terrain de 15 ohm.m de 20 mètres d'épaisseur,
 - b) un seul terrain de 20 ohm.m de 15 mètres d'épaisseur.
- * un terrain plus résistant, variant de 100 à 1000 ohm.m en fonction des interprétations précédentes.

L'interprétation donnée en a) semble plus réaliste car elle situe la couche phosphatée à au moins 22 mètres sous la surface.

L'interprétation b) situerait des sables argileux indurés dès 7 mètres de profondeur. Le sondage MINE ne serait pas dans ce cas représentatif d'une zone sans indurations argileuses. Ces sables contiennent, d'après l'étude géologique, environ 4% d'argile, ce qui est faible pour justifier une résistivité de 20 ohm.m.

b. Essais sismiques:

Les essais sismiques réalisés au même endroit montre des vitesses sismiques de 330 m/s en surface à 770 m/s pour la troisième couche à 4,8 mètres de profondeur. Ces résultats confirmeraient l'hypothèse a), et non la présence d'une induration de type argileux à vitesse sismique plus élevée.

Les vitesses sismiques calculées pour le minerai sont comprises entre 570 et 810 m/s. Ces vitesses sont probablement sous-estimées, car le minerai était dégagé et peut-être légèrement décomprimé en surface.

4. CONCLUSIONS GENERALES.

Les résultats géologiques bien que fragmentaires et à l'échelle de deux secteurs restreints permettent de constater que:

* l'induration apparait dans le recouvrement sableux sous forme de niveaux lenticulaires interstratifiés aux sables meubles;

* l'induration peut être soit de type latéritique par développement de niveaux silico-feralitiques, soit de type argileux par suite d'accumulation dans des zones privilégiées de la fraction silto-argileuse ;

* D'un point de vue génétique, quelques esquisses d'explication, à vérifier dans le cadre d'une étude géologique plus approfondie, peuvent être avancées.

i. L'induration du sable, en dehors du phénomène classique de cimentation siliceuse et de compaction sous le poids des sédiments, serait liée à un processus de précipitation d'ion FeII en FeIII, en environnement réducteur et basique. Les ions FeII seraient apportés par la nappe par lessivage des matériaux ferrifères sous-jacents (matériaux argileux).

ii. Le sable argileux consolidé semble résulter d'un processus de formation de sols dans des couloirs interdunaires. Ces paléosols, dont des témoins sont observés (débris végétaux et racines visibles dans la tranchée Béchon), seraient à l'origine de la fraction silto-argileuse décrite dans ces horizons. L'assèchement (exondation de ces couloirs par abaissement de la nappe phréatique) de cette fraction serait à l'origine de l'induration. Ce phénomène est comparable à ce qui se passe dans les interdunes des Niayes actuels. Le sable argileux présente globalement une gradation de la consolidation du sommet vers la base, liée à une augmentation de la fraction fine (UUBL, tranchée Béchon).

iii. L'induration de type latéritique peut avoir deux origines différentes :

.- terme très avancé du processus de précipitation du fer, décrit plus haut.

Ce phénomène expliquerait la latéritisation du haut de la pile affectant les niveaux sableux;

- terme ultime du processus bien connu de la ferallitisation en climat tropical. Ce processus, plus développé en zone 1, est liée probablement à une structure géologique du gisement caractérisée par un flanc ouest surélevé par rapport au flanc sud (secteur 2). Il affecte préférentiellement les niveaux inférieurs du recouvrement.

Les conclusions concernant l'emploi des méthodes géophysiques sont les suivantes:

Méthode électrique:

Les sondages permettent de définir les résistivités des principaux terrains.

Les faciès d'induration de type latéritique, grès ferrugineux ou silico-feral, superficiels et profonds, sont résistants (1500 - 13000 ohm.m). Ils ne peuvent pas toujours être détectés avec certitude, surtout s'ils sont peu épais. Ils sont généralement inclus dans d'autres terrains résistants (sables secs ou semi-indurés) dont les résistivités sont comparables.

Les faciès conducteurs de type sablo-argileux (15 - 20 ohm.m) sont bien repérés par les sondages électriques. La méthode permet d'évaluer leur variation latérale d'épaisseur avec une précision de l'ordre de 15 à 20%. Le degré d'induration de ces faciès ne pourra être vraiment déterminé qu'en utilisant la méthode sismique.

L'exécution de traînés électriques n'apporte que très peu d'informations exploitables.

Les traînés à double longueur de ligne permettent de repérer les faciès conducteurs sablo-argileux, mais ne fournissent aucune information sur leurs épaisseurs.

Les faciès résistants (latérite, sables indurés ou grès) peuvent se confondre avec le faciès résistant des sables secs.

Les traînés ne sont pas adaptés au repérage de ce type d'induration.

En résumé, la méthode électrique ne se révèle vraiment efficace que pour le repérage et l'évaluation des volumes des terrains sablo-argileux.

Méthode sismique:

Cette méthode permet de caractériser les vitesses sismiques des différents terrains.

Les faciès d'induration de type latérite vacuolaire présentent une faible vitesse sismique (540 m/s), qui ne permet pas de les distinguer de sables compactés.

Les faciès d'induration de type grès ferrugineux peuvent être repérés grâce à leurs vitesses sismiques élevées (>1000 m/s).

Les faciès argileux présentent des vitesses sismiques assez variables (700 - 1200 m/s), ce qui permet d'évaluer leur degré de compaction.

La profondeur d'investigation de la sismique-marteau est souvent insuffisante pour obtenir des informations sur l'ensemble du recouvrement.

L'existence de terrains à faible vitesse sismique sous des terrains à vitesse plus élevée peut gêner l'interprétation.

Dans ce cas, les dispositifs sismiques devront être suffisamment longs pour permettre une modélisation complète du recouvrement.

La méthode sismique est une méthode fiable pour le repérage de la plupart des indurations, celles-ci pouvant être définies comme des zones à vitesses sismiques élevées.

Les résultats obtenus avec les méthodes électrique et sismique doivent cependant être complétés par une corrélation entre les faciès repérés et des paramètres de type géotechnique (résistance à l'excavation).

Méthode magnétique:

La latérite vacuolaire est légèrement magnétique, mais pas suffisamment pour qu'elle soit détectée sous un recouvrement sableux supérieur à 1 mètre. Les autres types d'induration ne sont pas repérables.

La méthode magnétique, au sol ou aéroportée, n'est pas utilisable pour le repérage des indurations du recouvrement.

Les résultats des tests géophysiques prouvent que la méthode sismique, et dans une moindre mesure la méthode électrique, peut repérer les principales indurations, à l'exception du faciès de latérite vacuolaire.

5. RECOMMANDATIONS POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DU GISEMENT ET DES ZONES D'INDURATION:

A l'issue de cette étude géologique très ponctuelle et des tests géophysiques sur deux secteurs du gisement, les recommandations suivantes peuvent être proposées:

1. Il est souhaitable de procéder à des carottages sur l'ensemble des sites d'essais géophysiques. Les échantillons obtenus devront être analysés de façon à établir leur degré de résistance à l'excavation.

*Les forages devront dans la mesure du possible être conservés en l'état, si des études de diagraphies géophysiques sont envisagées (vitesse sonique, résistivité, etc...).

*Une étude géologique des carottes pourra être entreprise. Elle devrait permettre de confirmer la nature des indurations, d'analyser les pourcentages d'argiles et d'étudier la granulométrie. Les corrélations avec les paramètres géotechniques seront alors possibles.

* Les interprétations géophysiques retenues pour cette étude pourront être réexaminées grâce aux carottages.

2. D'autres méthodes géophysiques peuvent être testées. On peut proposer par exemple:

* Le radar géologique:

Cette méthode, qui mesure la constante diélectrique des terrains, devrait permettre le repérage de la latérite vacuolaire. On s'assurera cependant de disposer d'un appareillage qui utilise des fréquences assez basses (50-100 MHz par exemple) de manière à obtenir une bonne profondeur de pénétration. Le radar géologique sera moins efficace pour le repérage des niveaux argileux, car les ondes radar s'atténuent rapidement dans ce type de terrain.

* La méthode électromagnétique TDEM:

Cette méthode permet de connaître la distribution des résistivités du sous-sol, en réduisant les difficultés d'interprétation rencontrées pour les sondages électriques.

Son emploi sur le terrain est cependant plus difficile.

D'autres moyens de reconnaissance peuvent être envisagés.

*Des forages destructifs avec enregistrement de paramètres (vitesse de rotation, pression de l'outil, etc...).

*Des essais géotechniques, comme le pénétromètre dynamique.

*Des essais d'identification sur carottes de paramètres physiques tels que VL (vitesse de propagation des ondes longitudinales) par exemple.

Les résultats des tests géophysiques sont encourageants. Une étude complémentaire est nécessaire pour fixer la méthodologie géophysique adaptée à la reconnaissance de tous les types d'induration du recouvrement.

Les quelques résultats géologiques sur le secteur indiquent l'importance du phénomène d'induration. La diversité des types d'indurations révélés dans le gisement nécessite des études complémentaires sur d'autres secteurs du panneau, tant sur le plan sédimentologique que paléogéographique.

- BIBLIOGRAPHIE - GEOPHYSIQUE -

- ASTIER, J.L.** (1971): "Géophysique appliquée à l'hydrogéologie." Masson. Paris.
- BHATTACHARYA, P.K., PATRA, H.P.**(1968): "Direct Current Geoelectric Sounding.", Elsevier, Amsterdam, New York, London.
- DOBRIN, M.B., SAVIT, C.H.**(1988): "Introduction to Geophysical Prospecting.", Mc Graw-Hill, New-York.
- LASFARGUES, P.** (1957): "Prospection électrique par courants continus.", Masson, Paris.
- LASFARGUES, P.** (1966): "Magnétisme en géologie et prospection magnétique au sol.", Masson, Paris.
- KUNETZ, G.** (1966): "Principles of Direct Current Resistivity Prospecting.", Gebrüder Bornträger, Berlin.
- MATHIEZ, J.P., HUOT, G.** (1966): "Prospection géologique et recherches d'eaux souterraines. Exemples d'applications en Afrique occidentale.", Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques.
- MEYER DE STADELHOFEN, C.**(1991): " Applications de la géophysique aux recherches d'eau.", Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris.
- MOONEY, H.M.** (1973): "Handbook of Engineering Seismology.", Bison Instruments, Inc., Minneapolis.
- PARASNIS, D.S.** (1986): "Principles of Applied Geophysics.", Chapman and Hall, London, New York.

TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E., KEYS, D.A.(1976):

"Applied Geophysics.", Cambridge University Press, London, New York,

Melbourne.Second edition : 1990.Traduction en français de l'édition de

1976:"Prospection Géophysique." E.R.G, Maurecourt, France.

RAPPORT DE FIN D'ETUDE

REFERENCE : RAP /CONF. 001/92/CSPT

TITRE: Etude des niveaux d'induration du recouvrement du gisement de phosphate de Tobène (CSPT) : Méthodes Géologiques et Géophysiques (Sondages électriques, Sismique - Réfraction légère, Magnétisme au sol).

Le contenu du rapport cité en référence donne les résultats de l'exécution de la commande 40 DSP- 36549 du 17/08/92 de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba (CSPT^o) à l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université Ch. A. Diop de Dakar, portant objet: Mise en oeuvre des méthodes géophysiques (sismique réfraction, électrique et magnétisme dans le panneau de Tobène). La réalisation du travail a été faite par l'Institut des Sciences en collaboration avec le Département de Géophysique de l'ORSTOM de Dakar.

Ce Rapport est soumis sous la forme de deux volumes .

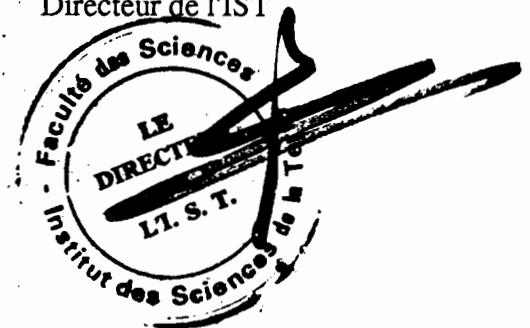
VOLUME I : RAPPORT, renferme les différents résultats d'interprétations et les conclusions générales de l'étude sur le recouvrement des phosphates sédimentaires de Tobène par les méthodes géologiques et géophysiques. Quelques recommandations pour accéder à une meilleure connaissance du gisement sont également donnés dans ce volume I.

VOLUME II: ANNEXES, renferme les annexes géologiques (coupes géologiques, descriptions et logs des sondages, courbes granulométriques) et géophysiques (courbes interprétées des sondages électriques, dromochroniques interprétées des essais sismiques et caractéristiques techniques des appareils).

Fait à Dakar le 08/09/92

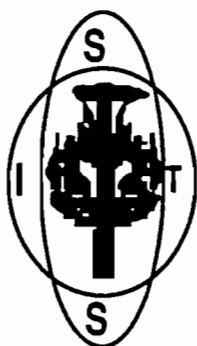
Mr. Abdoulaye DIA

Directeur de l'IST



**INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
UNIVERSITE CH. ANTA DIOP**

ORSTOM
INSTITUT FRANCAIS
DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION



Dossier /0002-92-IST-CSPT ; V/C 40DSP- 36549

RAP/CONF.001/92/CSPT

**ETUDE DES NIVEAUX D'INDURATION DU RECOUVREMENT DU
GISEMENT DE PHOSPHATE DE TOBENE (CSPT): METHODES
GEOLOGIQUES ET GEOPHYSIQUES (Sondages électriques, Sismique
Réfraction légère, Magnétisme au sol).**

VOLUME II

ANNEXES

**M. SYLLA
M. SAMB**

**M.DESCLOITRES
M.RITZ**

----- DAK/09/92 -----

Institut des Sciences de la Terre
Faculté des Sciences et Techniques,
Université Ch. A. Diop
BP 5396 Dakar - Fann SENEGAL
Tel. 250443 . Fax . 25.28.83

Laboratoire de Géophysique
ORSTOM
BP. 1386 Dakar SENEGAL
Tél. 32.34.80

ANNEXES

ANNEXE 1 : ETUDE GEOLOGIQUE . _____ 3

ANNEXE 2 : COURBES INTERPRETEES DES SONDAGES
ELECTRIQUES. _____ 33

ANNEXE 3 : DROMOCHRONIQUES INTERPRETEES DES
ESSAIS SISMIQUES. _____ 47

ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES APPAREILS. _____ 57

ANNEXES 1: ETUDE GEOLOGIQUE :

<u>ANNEXE 1.1</u>	<u>: COUPES GEOLOGIQUES</u>	<u>4</u>
<u>ANNEXE 1.2</u>	<u>: DESCRIPTIONS ET LOGS DES SONDAGES CAROTTES TN1 ET TN2</u>	<u>23</u>
	<u>DU SECTEUR 1</u> : (d'après K. Kane et T. Ndiaye, Subdiv. Géologie - Sondages, CSPT)	
<u>ANNEXE 1.3</u>	<u>: COURBES ET RESULTATS D'ANALYSES GRANULOMETRIQUES</u>	<u>27</u>

ANNEXE 1.1 : COUPES GEOLOGIQUES

Secteur 1

Coupes T : Sud Ouest - Nord Est :

T.1.1 T.1.2 T.1.3 T.1.4 T.1.5

Coupes H : Ouest - Est

H.1.1 H.1.2 H.1.3 H.1.4 H.1.5

Secteur 2

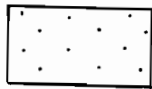
Coupes T : Sud Sud Ouest - Nord Nord Est

T.2.1 T.2.2 T.2.3

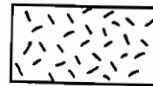
Coupes H : Nord Ouest - Sud Est

H.2.1 H.2.2 H.2.3 H.2.4 H.2.5

L E G E N D E



Sable meuble



Phosphate hors couche



Sable consolidé induré



Argile



Latérite

PL

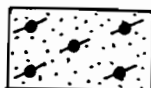
Passage latéral : de faciès



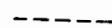
Sable argileux



Altitude (m)



Silico féral



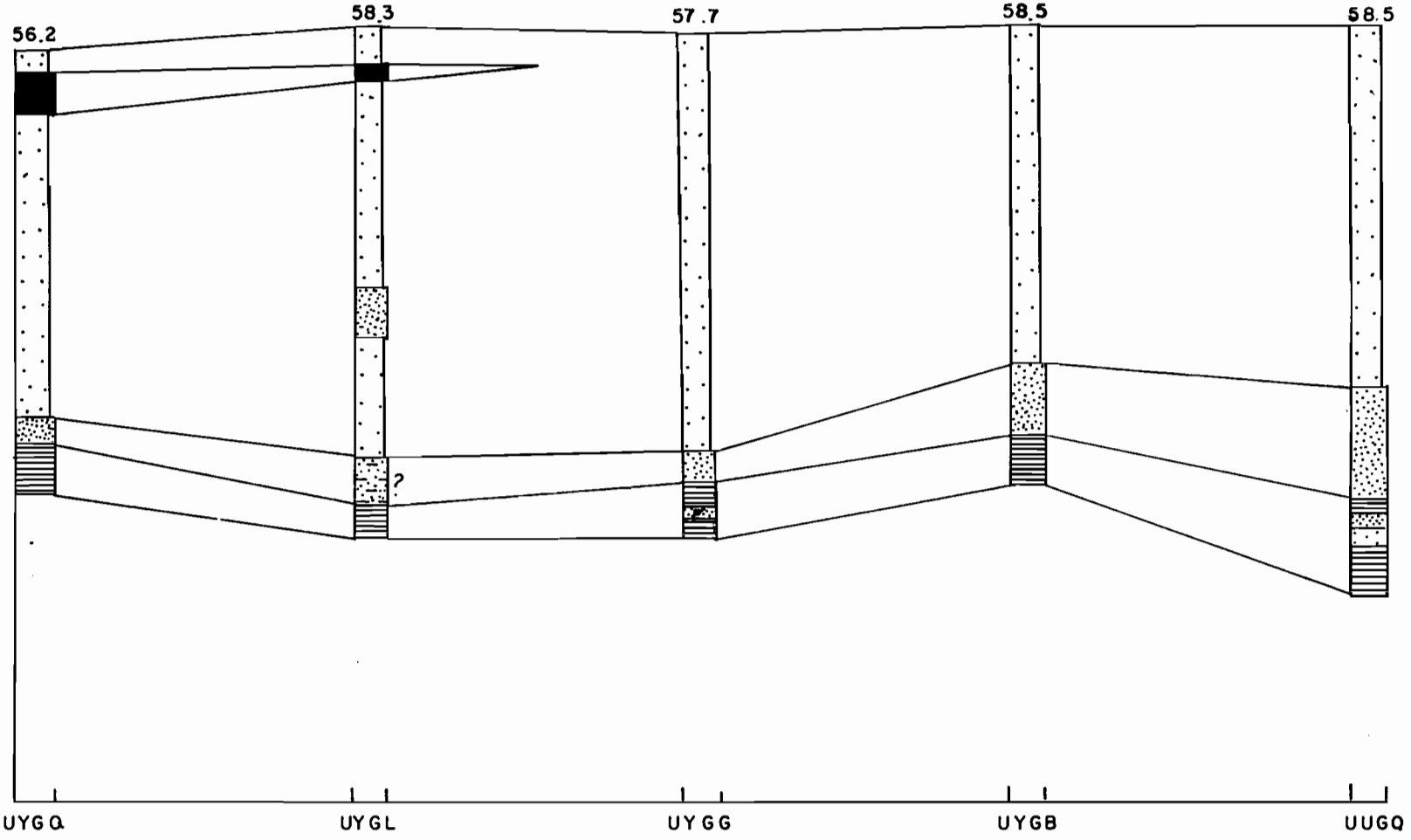
Limite indéterminée

Echelle { verticale : 1/500
 { horizontale : 1/5000

SW

T I-1

NE



5

T 1-2

SW

NE

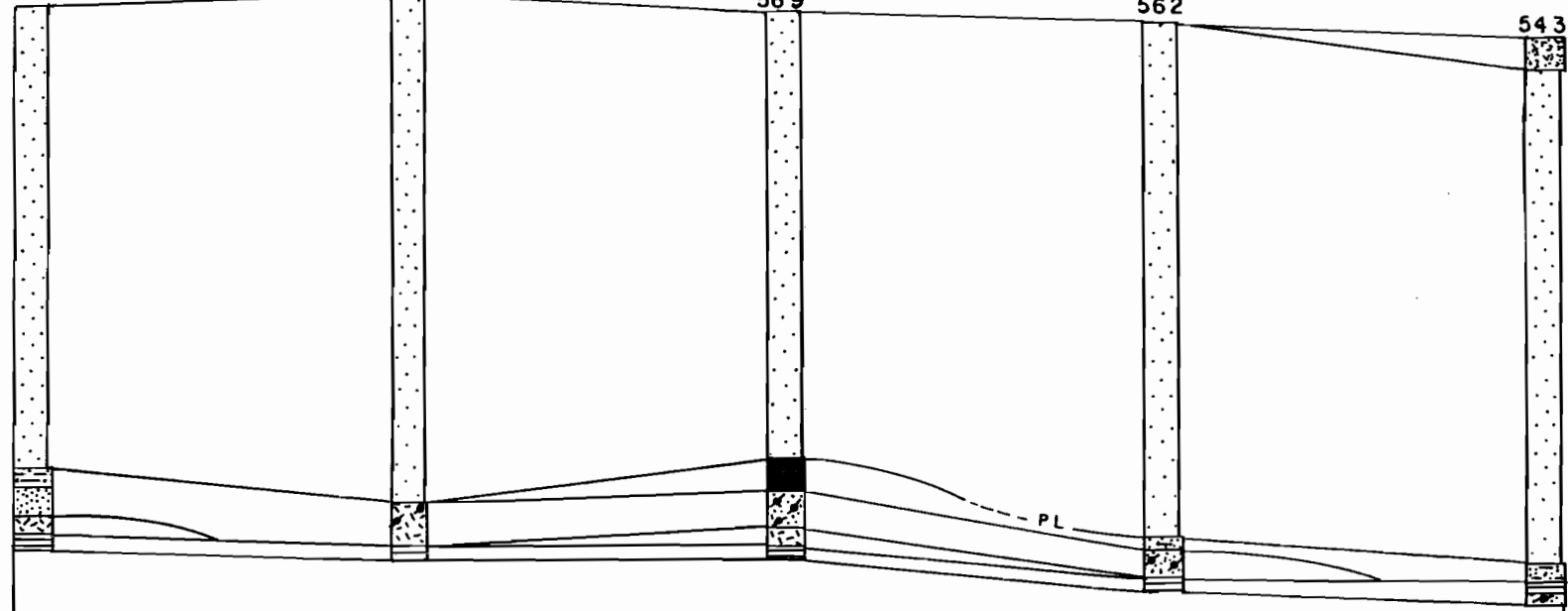
576

563

569

562

543



UYLQ

UYLL

UYLG

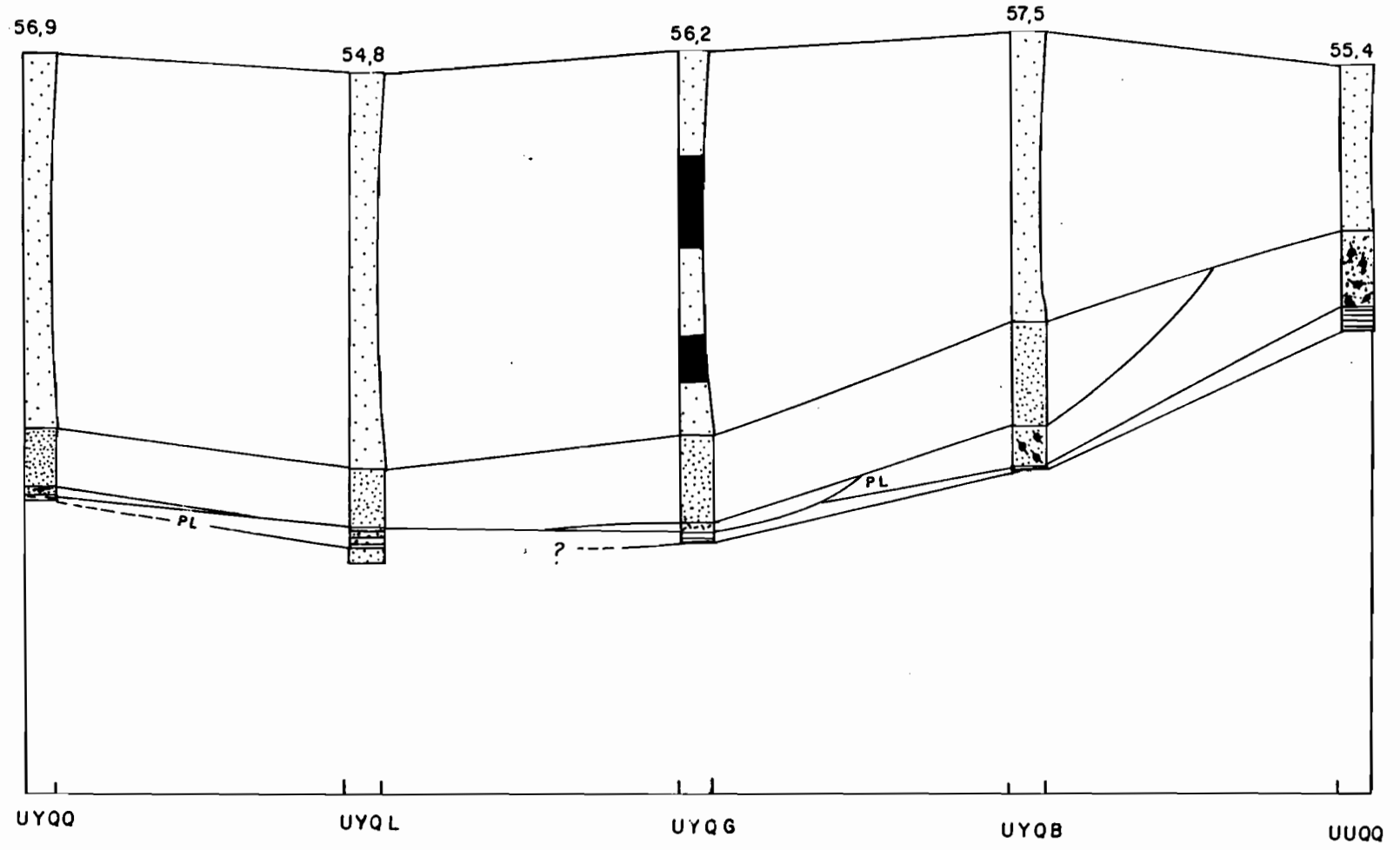
UYLB

UULQ

T 1-3

SW

NE

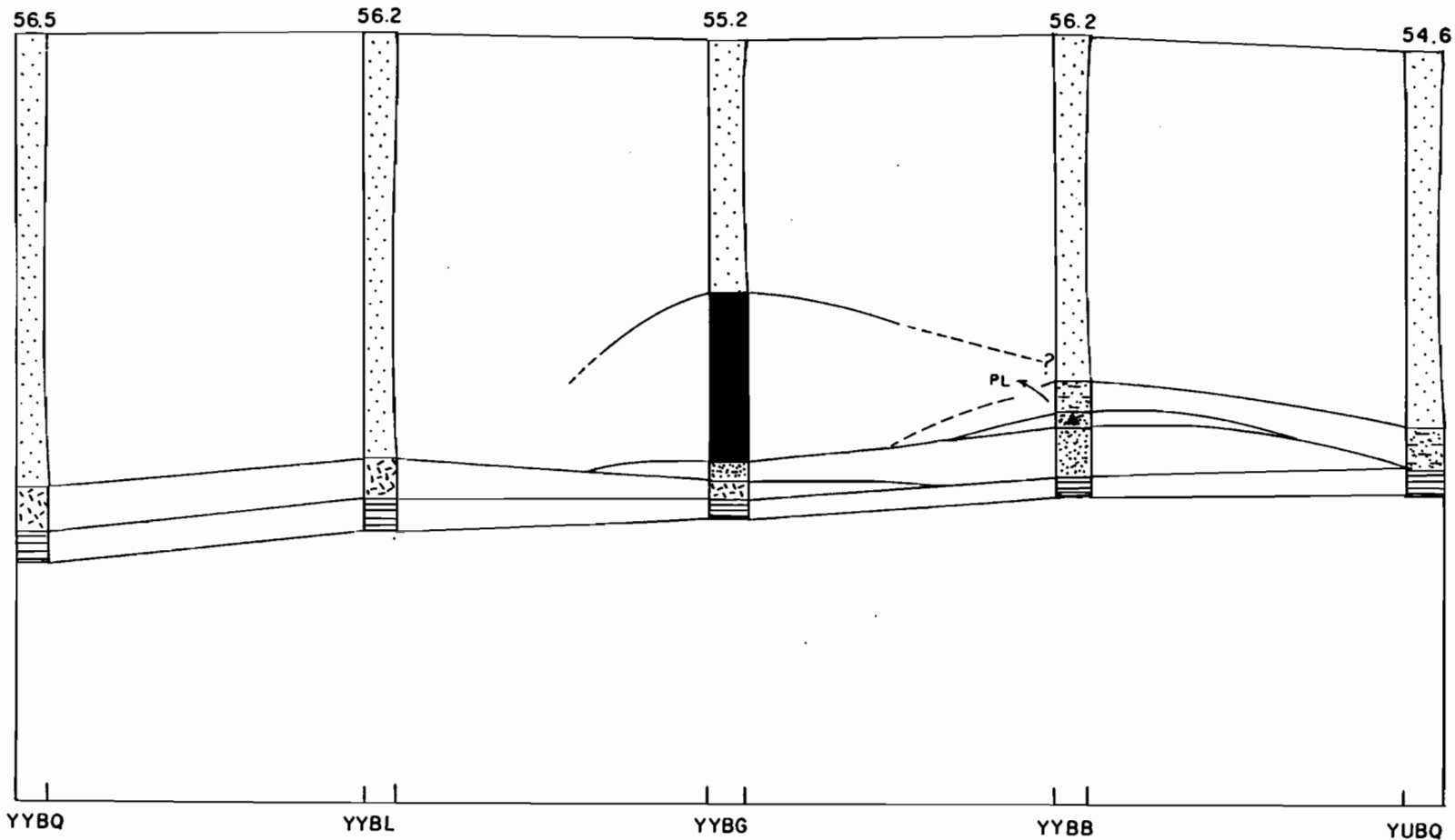


7

SW

T 1-4

NE



8

SW

T I-5

NE

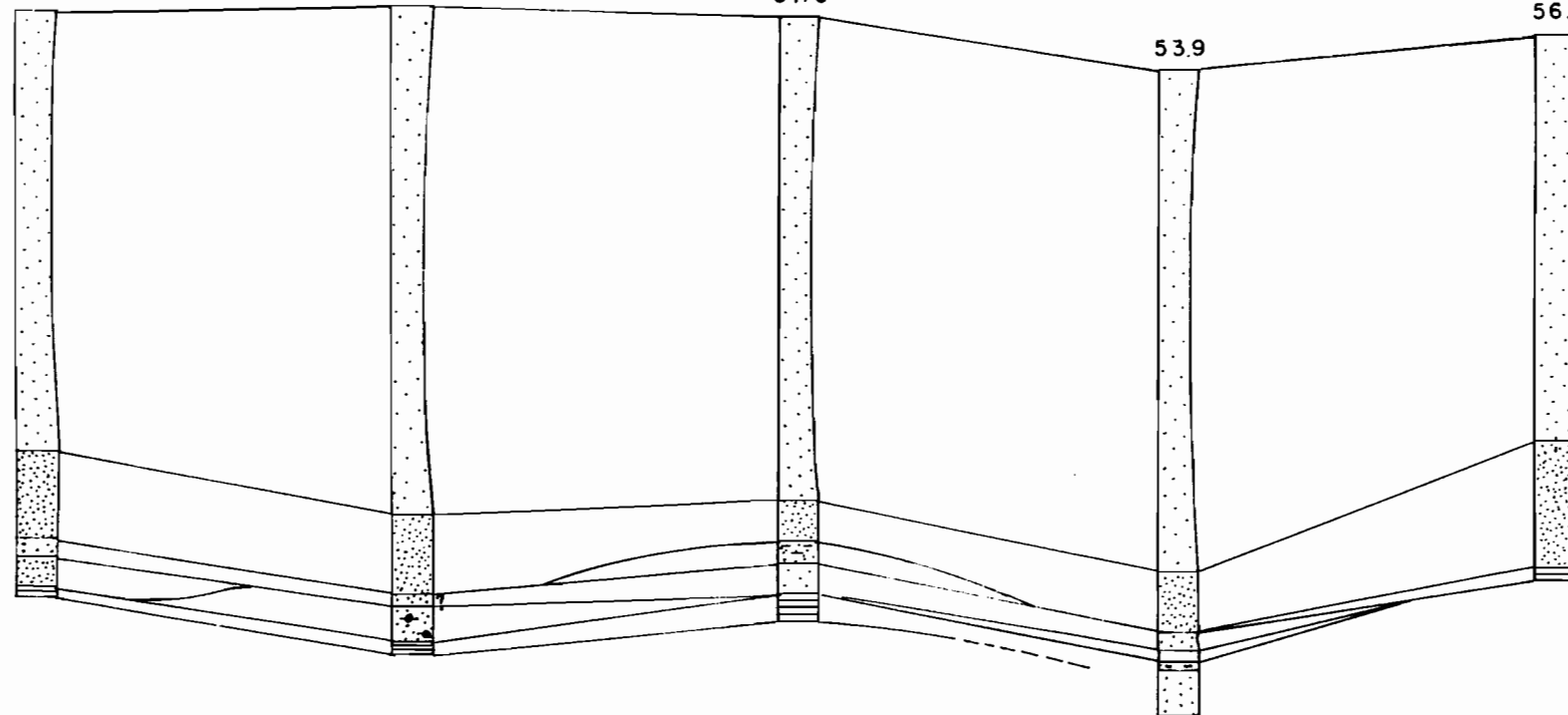
58.0

58.1

57.6

53.9

56.2



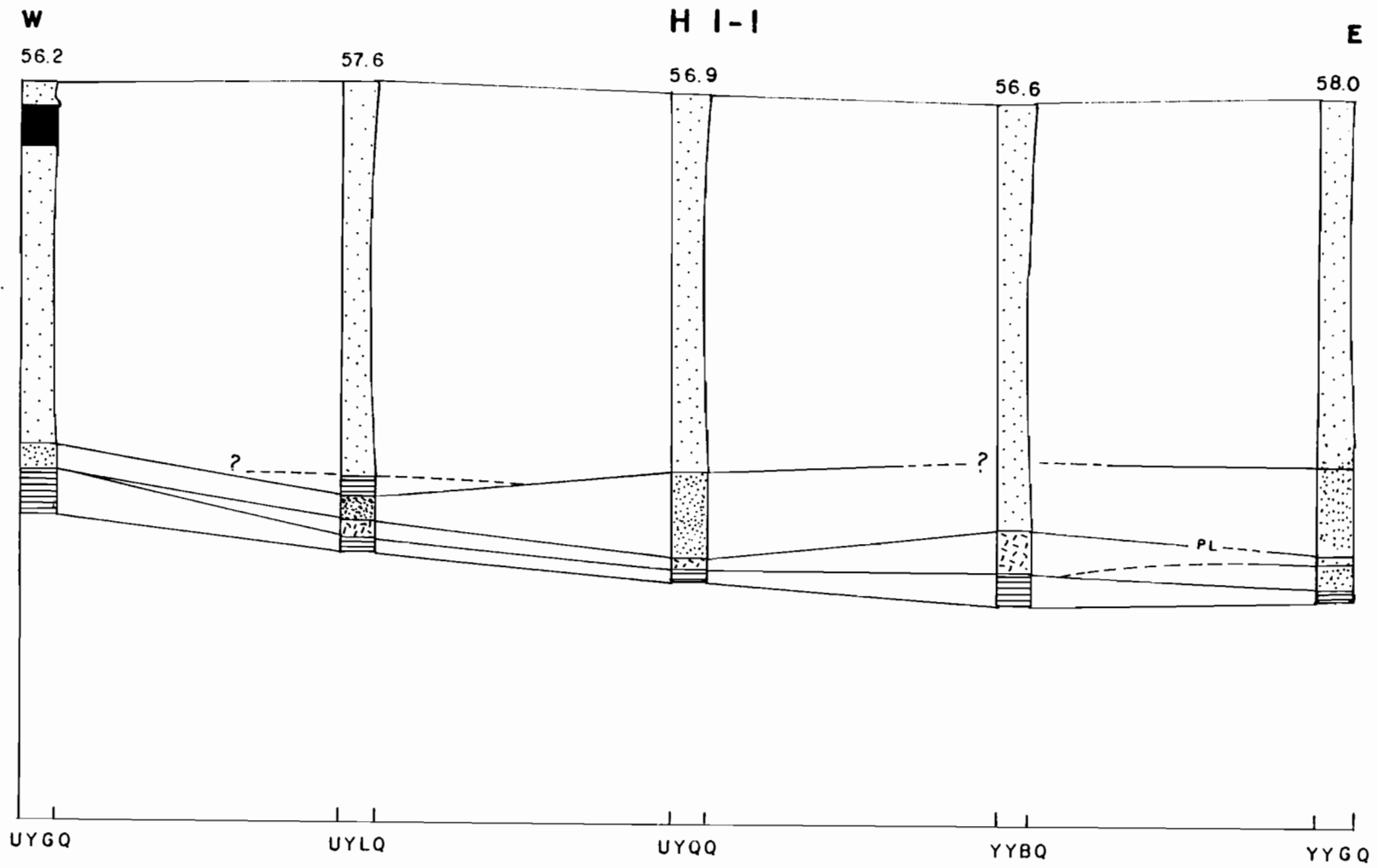
YYGQ

YYGL

YYGG

YYGB

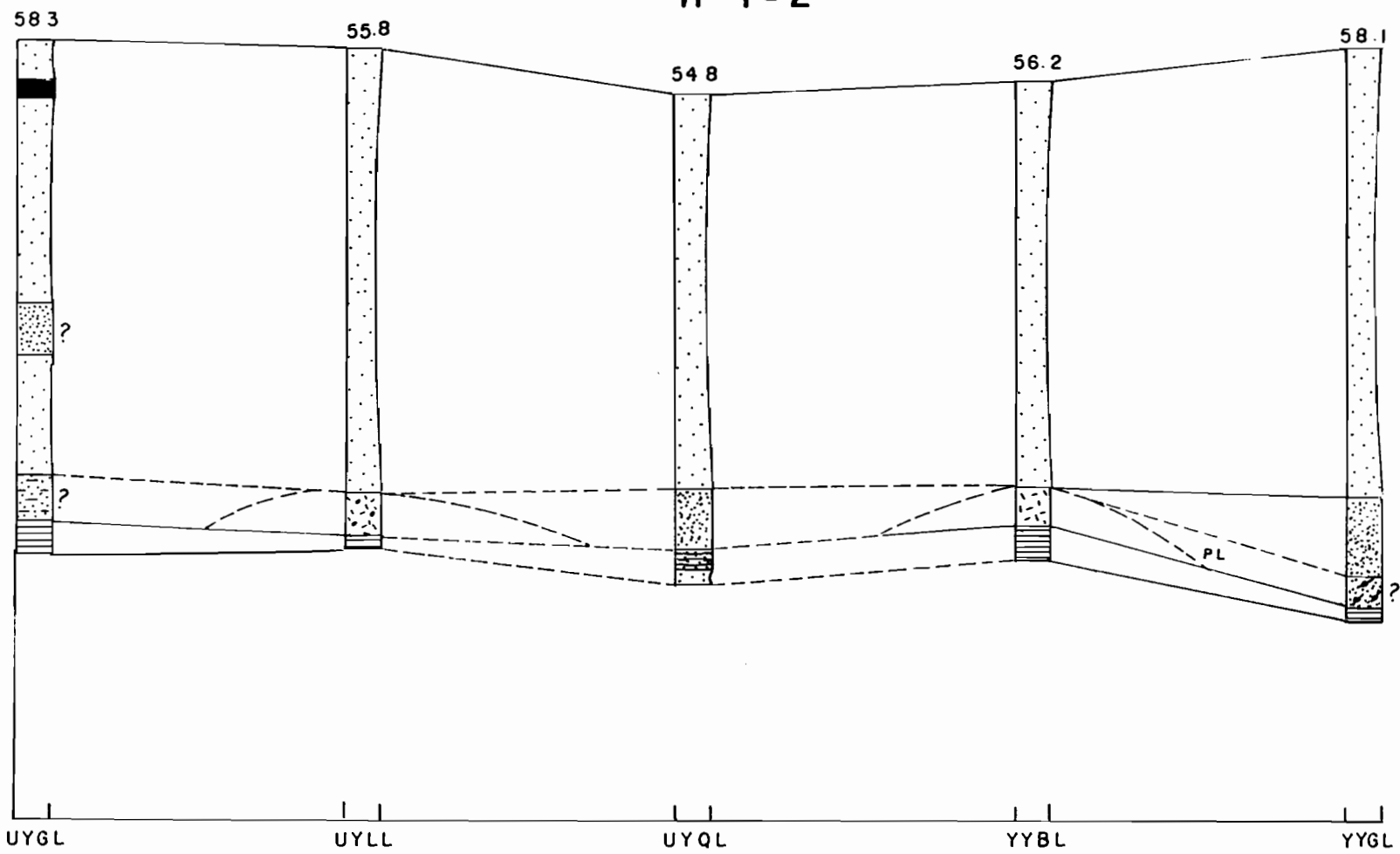
YUGQ



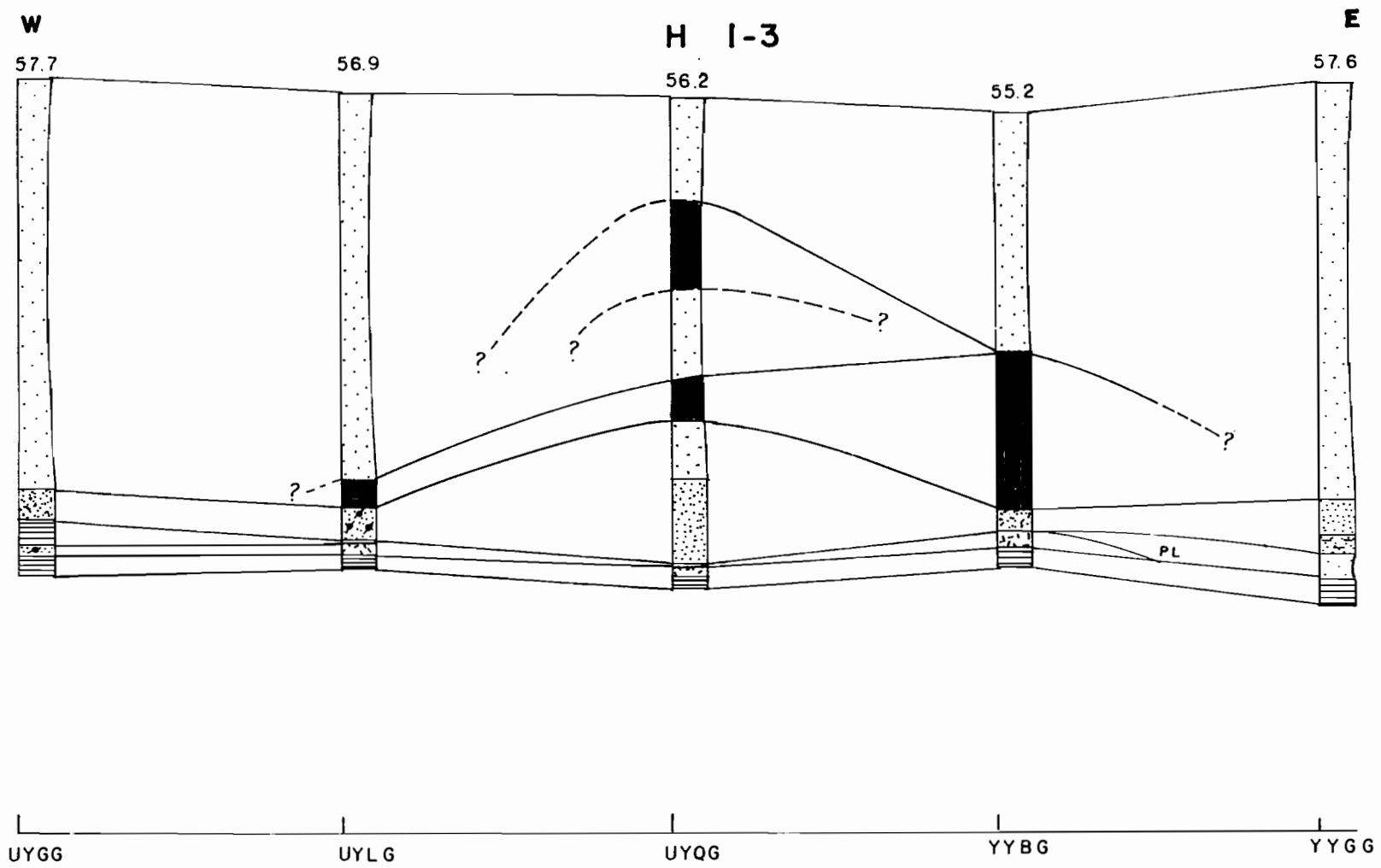
W

H 1-2

E



11



W

H 1-4

E

58.5

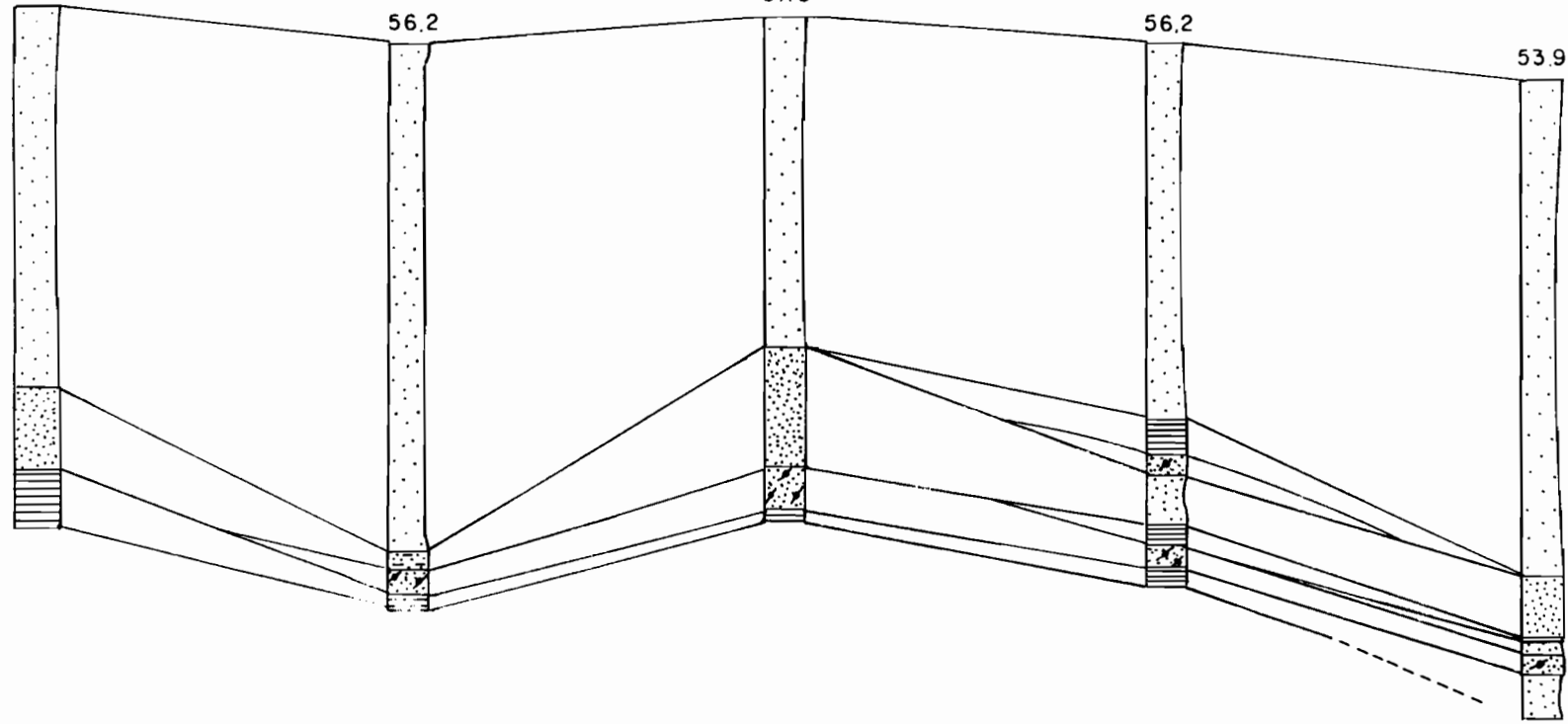
56.2

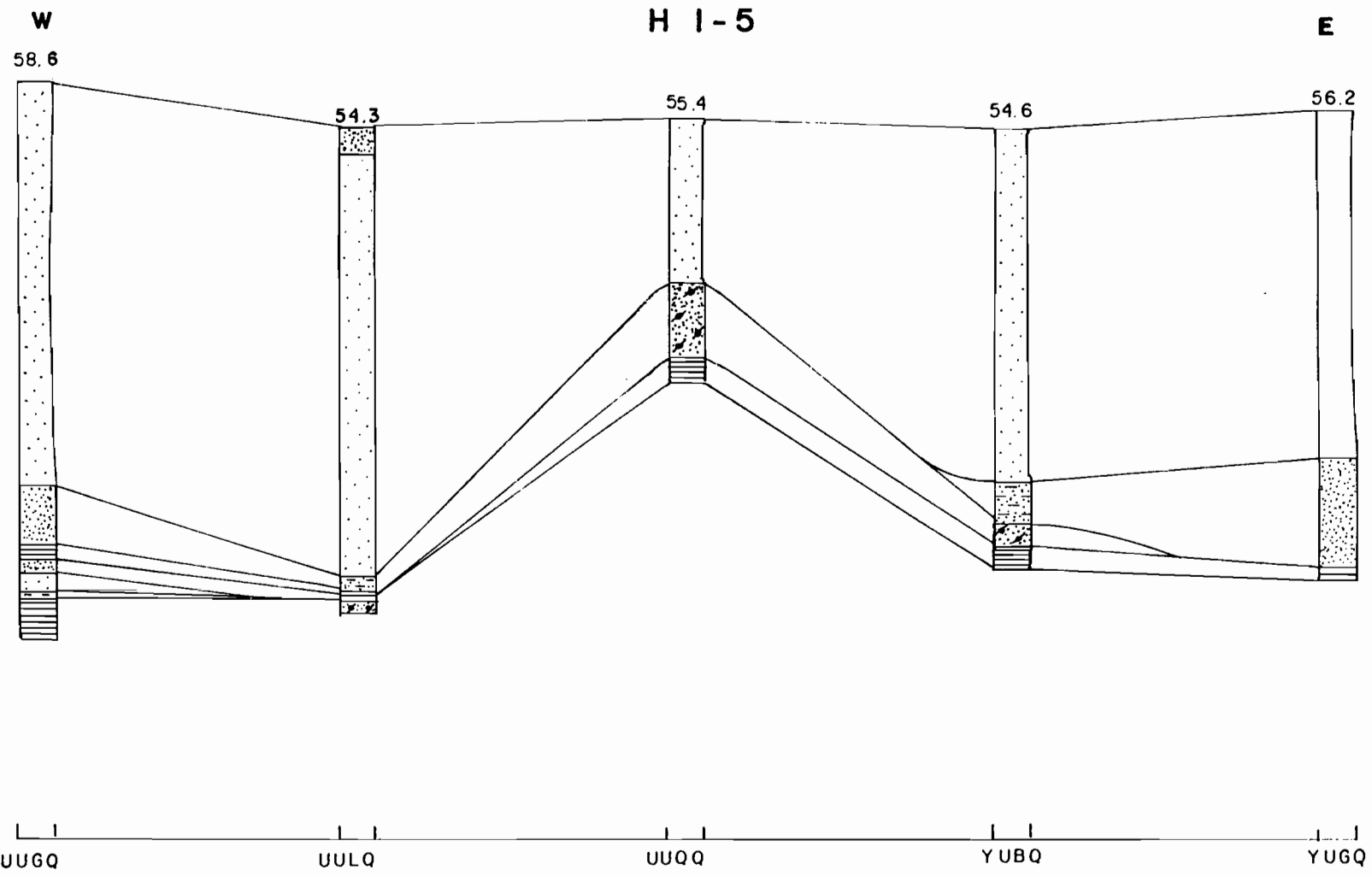
57.5

56.2

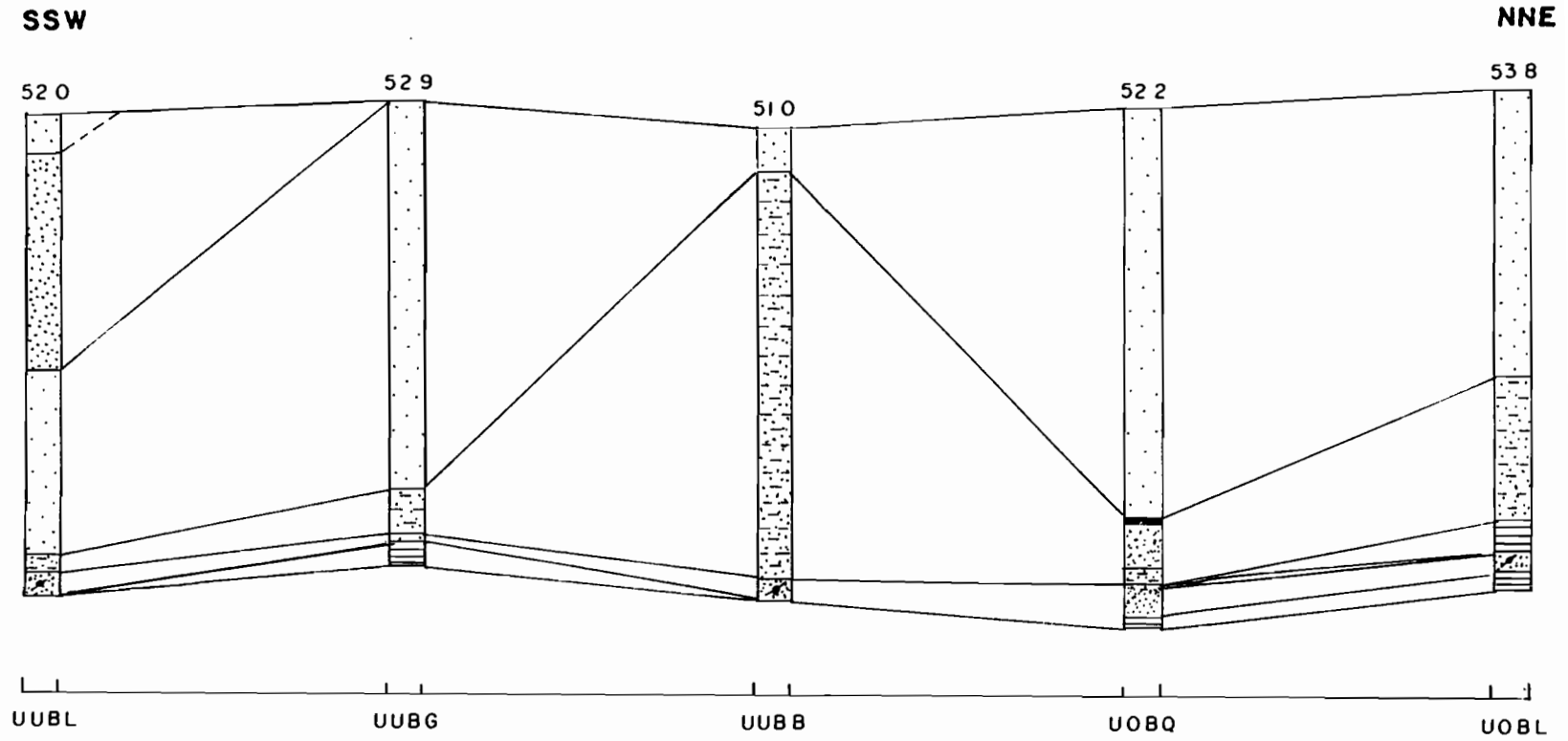
53.9

UYGB UYLB UYQB YYBB YYGB





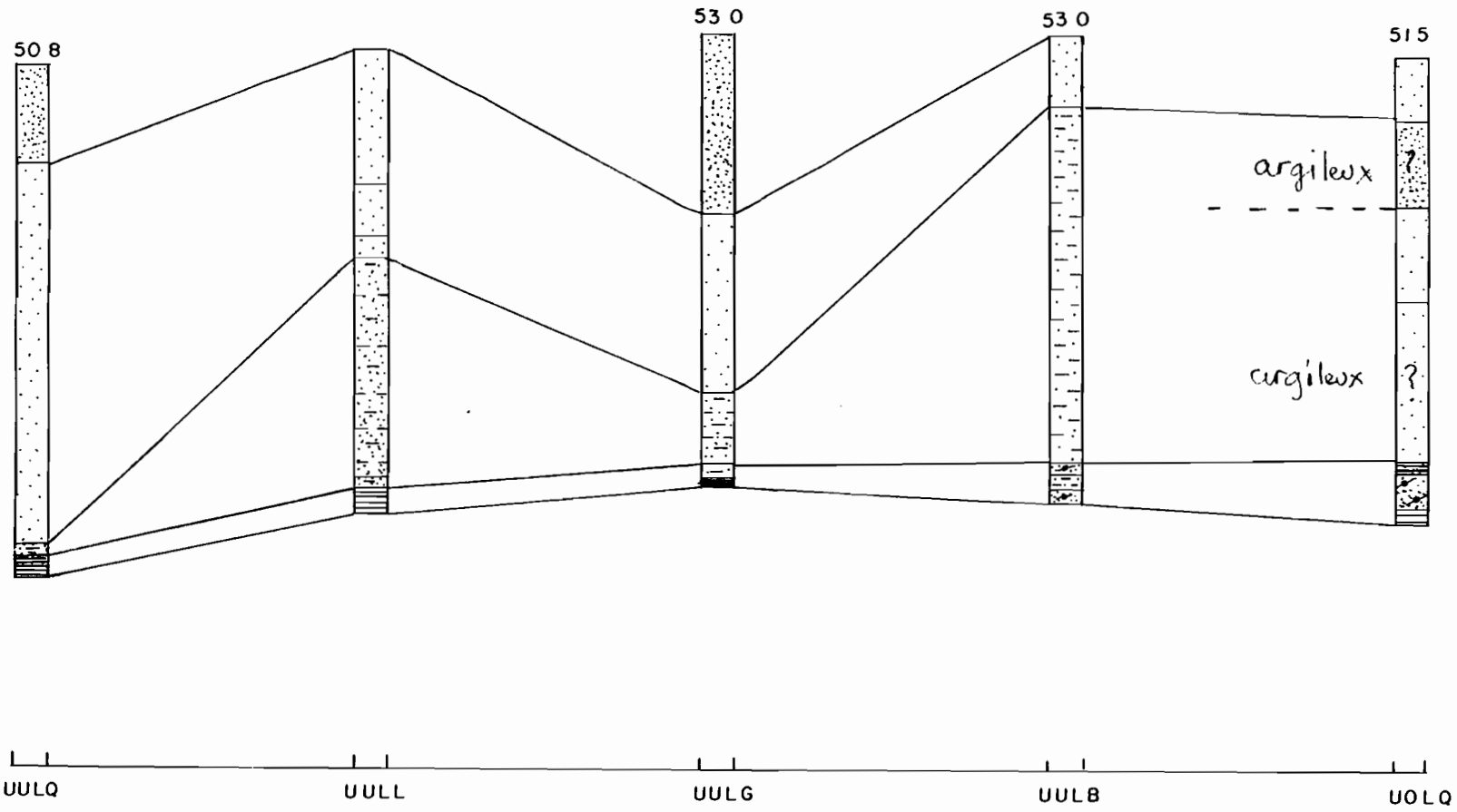
T 2-1



T 2-2

SSW

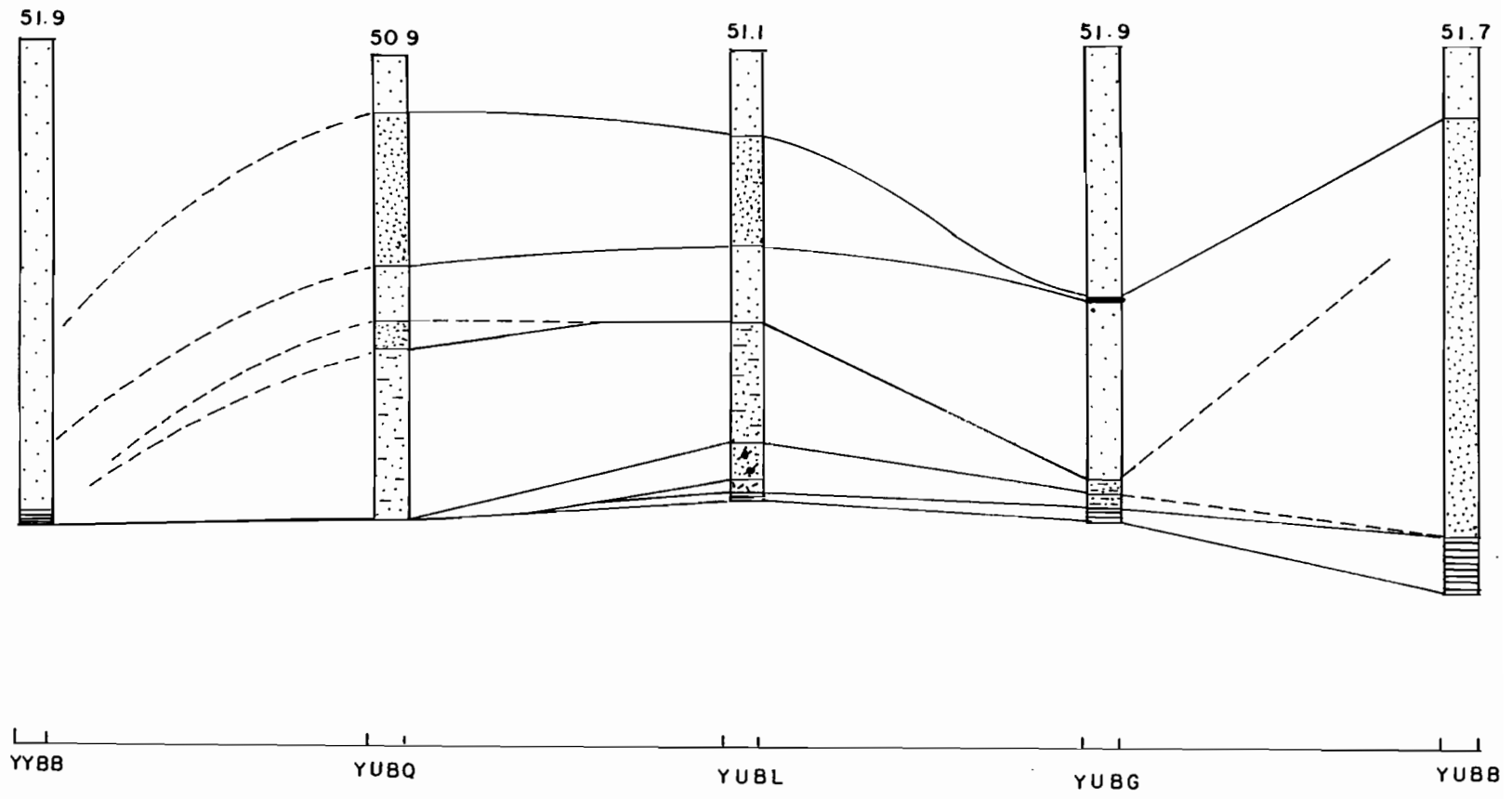
NNE



T 2-3

SSW

NNE



17

H 2 - 1

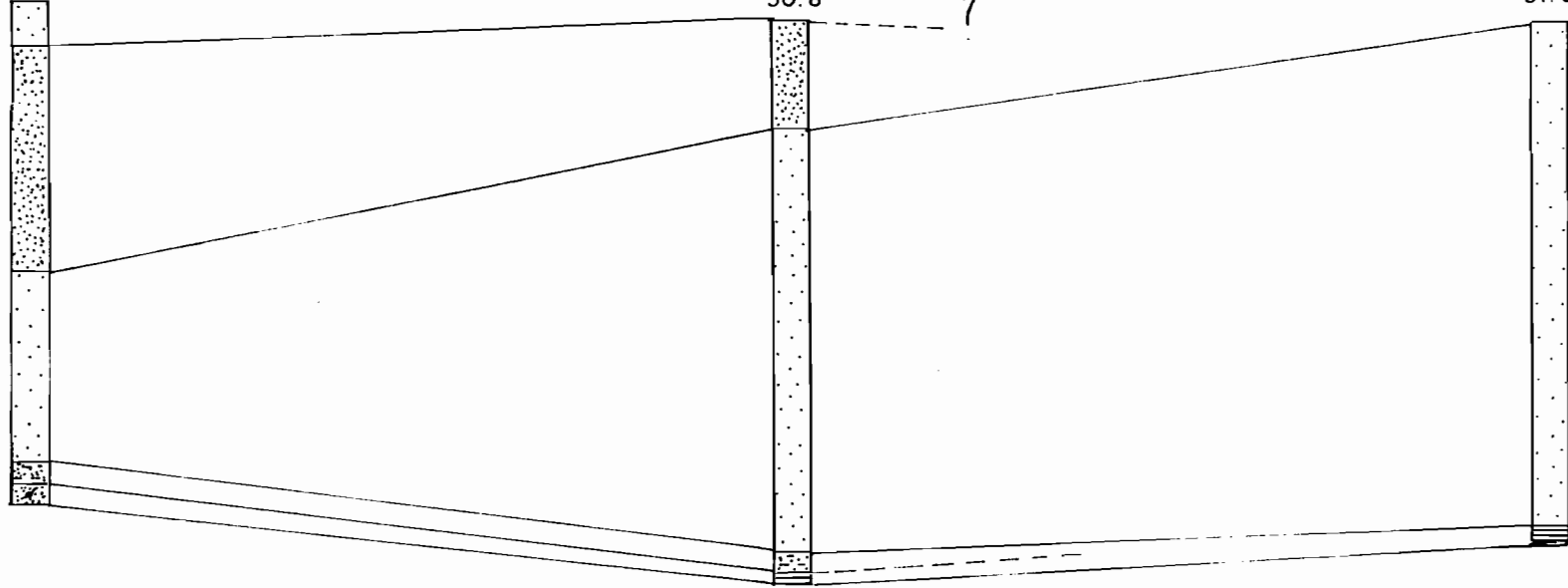
NW

SE

52.0

50.8

51.9



UUBL

UULQ

YYBB

H 2-2

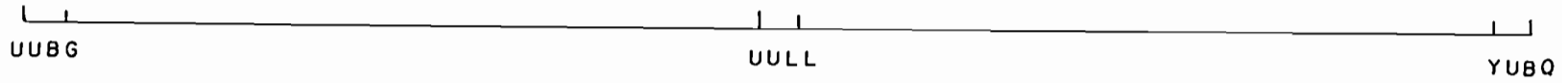
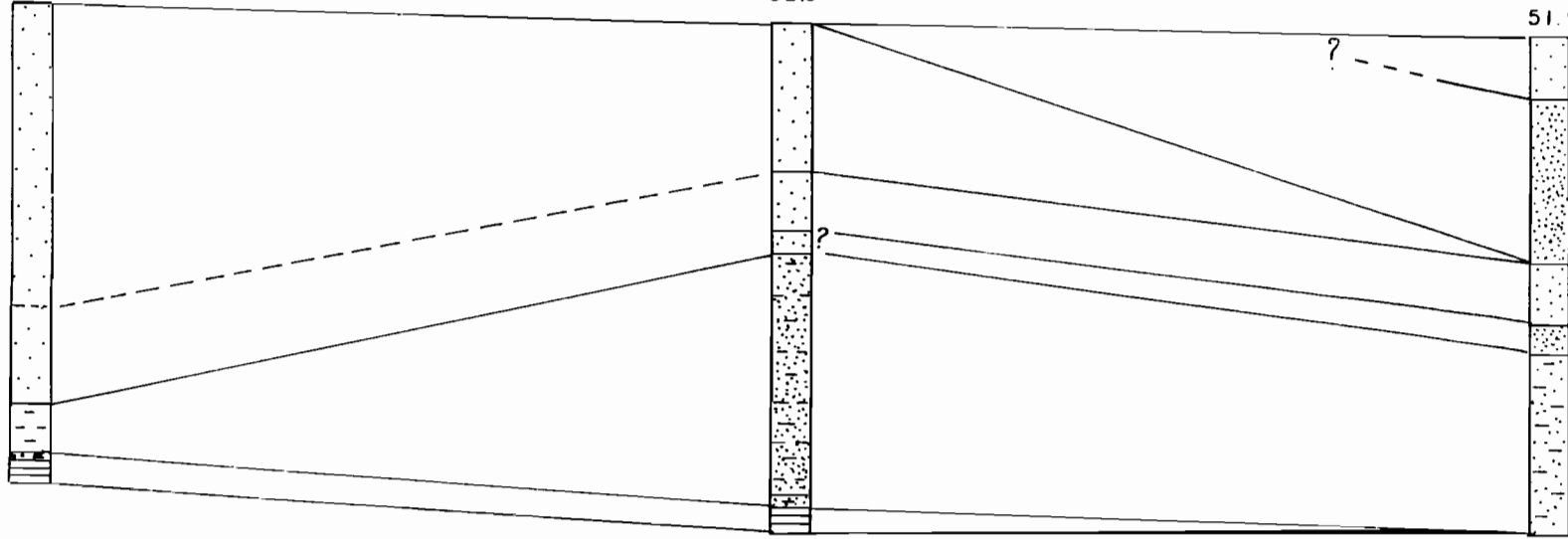
NW

52.9

52.5

SE

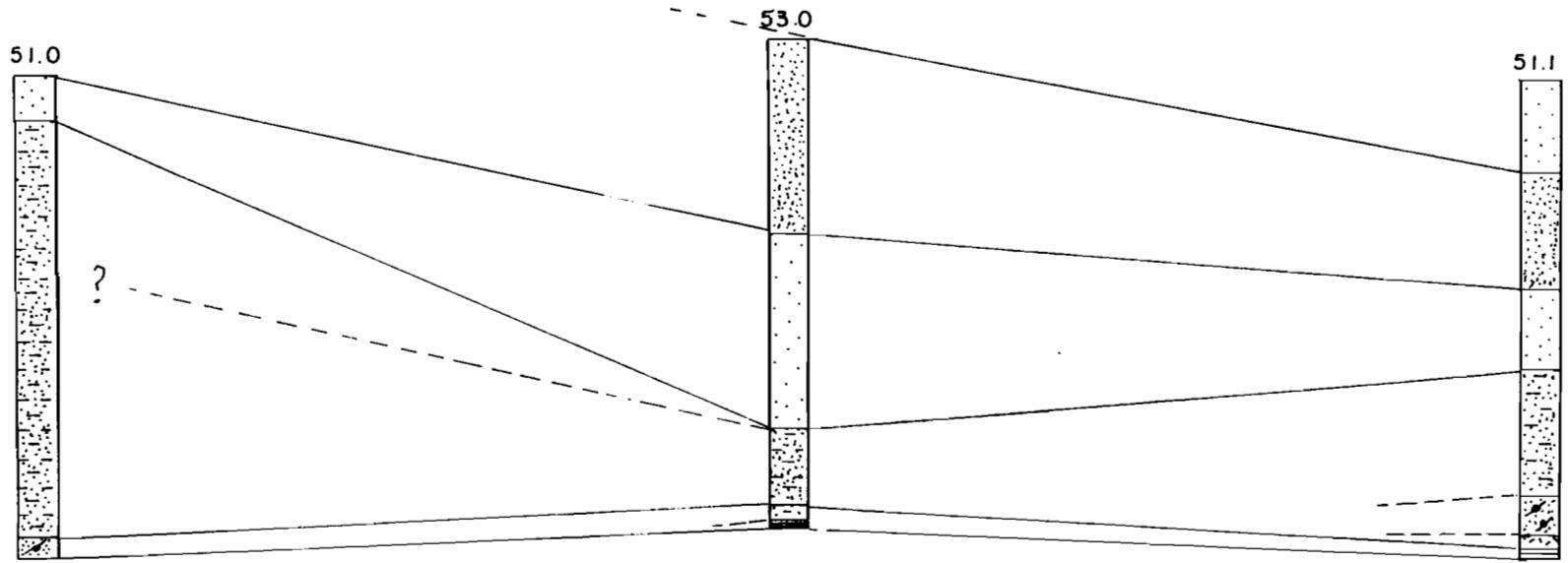
51.9



H 2-3

NW

SE



UUBB

UULG

YUBL

H 2 - 4

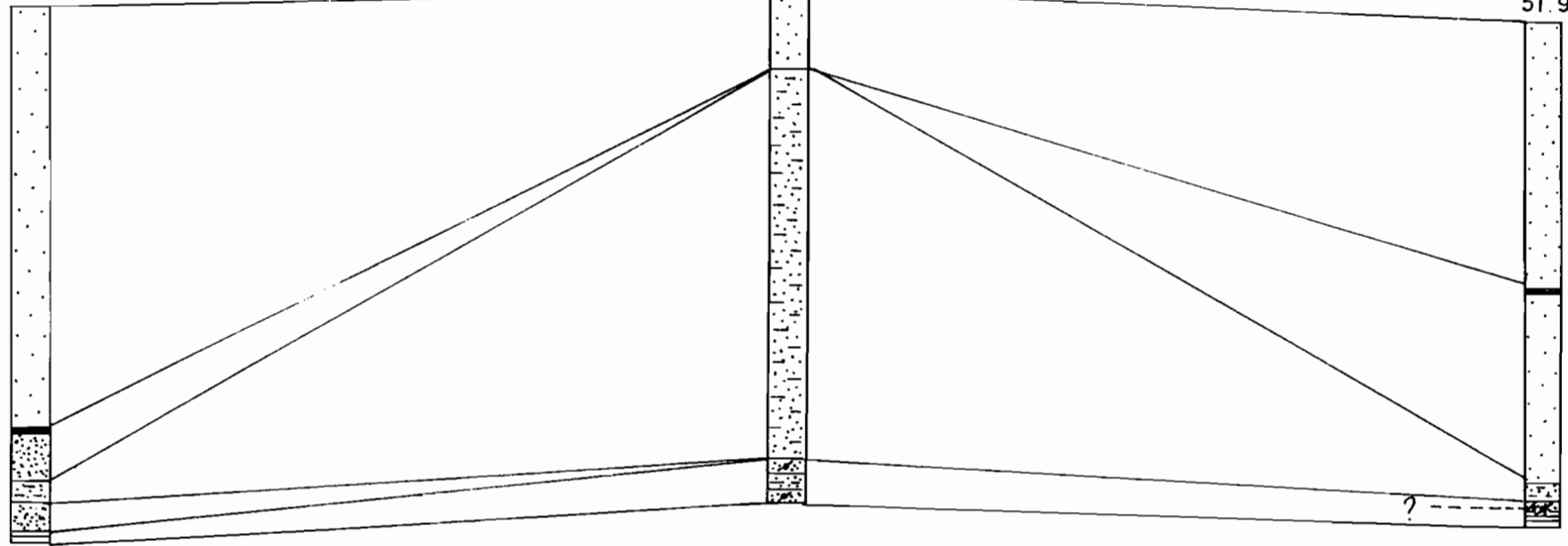
NW

SE

52.2

53.0

51.9



21

UOBQ

UULB

YUBG

H 2-5

NW

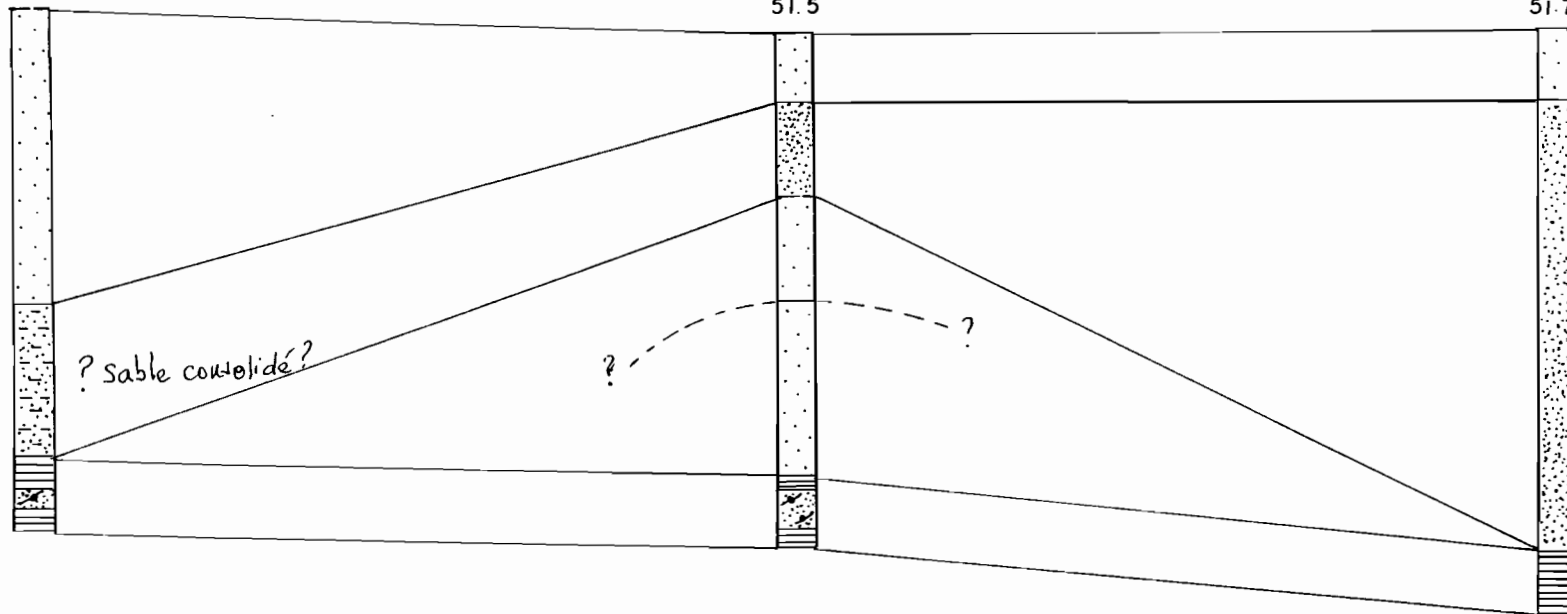
SE

53.8

51.5

51.7

22



UOBL

UOLQ

YUBB

ANNEXE 1.2 : DESCRIPTIONS ET LOGS DES SONDAGES CAROTTES TN1 ET TN2
DU SECTEUR 1 : (d'après K. Kane et T. Ndiaye, Subdiv. Géologie - Sondages, CSPT)

Sondage TN1

0 - 1 m : sable meuble riche en débris végétaux, de couleur sombre tirant vers le noir.

1 - 4 m : sable éolien meuble de couleur grise à gris sombre. Présence de petits blocs de latéritoïdes vacuolaires et très indurés, de couleur rouille.

4 - 9 m : sable en début de grésification, semi-induré, renfermant des ferromagnésiens sous forme de concrétions.

9 - 10 m : idem avec une oxydation plus prononcée et des concrétions ferralitiques plus fréquentes. L'induration est moyenne et la granulométrie est légèrement plus hétérogène que celle des faciès du dessus.

10 - 15 m : idem à induration légèrement plus évoluée. Les concrétions ferromagnésiennes sont plus nombreuses et plus consolidées.

15 - 20 m : sable meuble à semi consolidé de couleur rougeâtre, riche en oxydes de fer et ferromagnésiens à granulométrie très hétérogène; faciès faiblement argileux.

20 - 23 m : sable à granulométrie plus homogène, de couleur claire, moins induré que la faciès du dessus.

23 - 27 m : sable meuble à grains grossiers, avec un bon classement granulométrique, la couleur est brune, avec quelques minces couches noirâtres (titane?)

27 - 33 m : sable meuble gris cendre, poudreux avec un très mauvais classement granulométrique allant des arénites aux silts; quelques interlits minces d'argiles et de matières organiques.

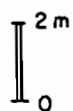
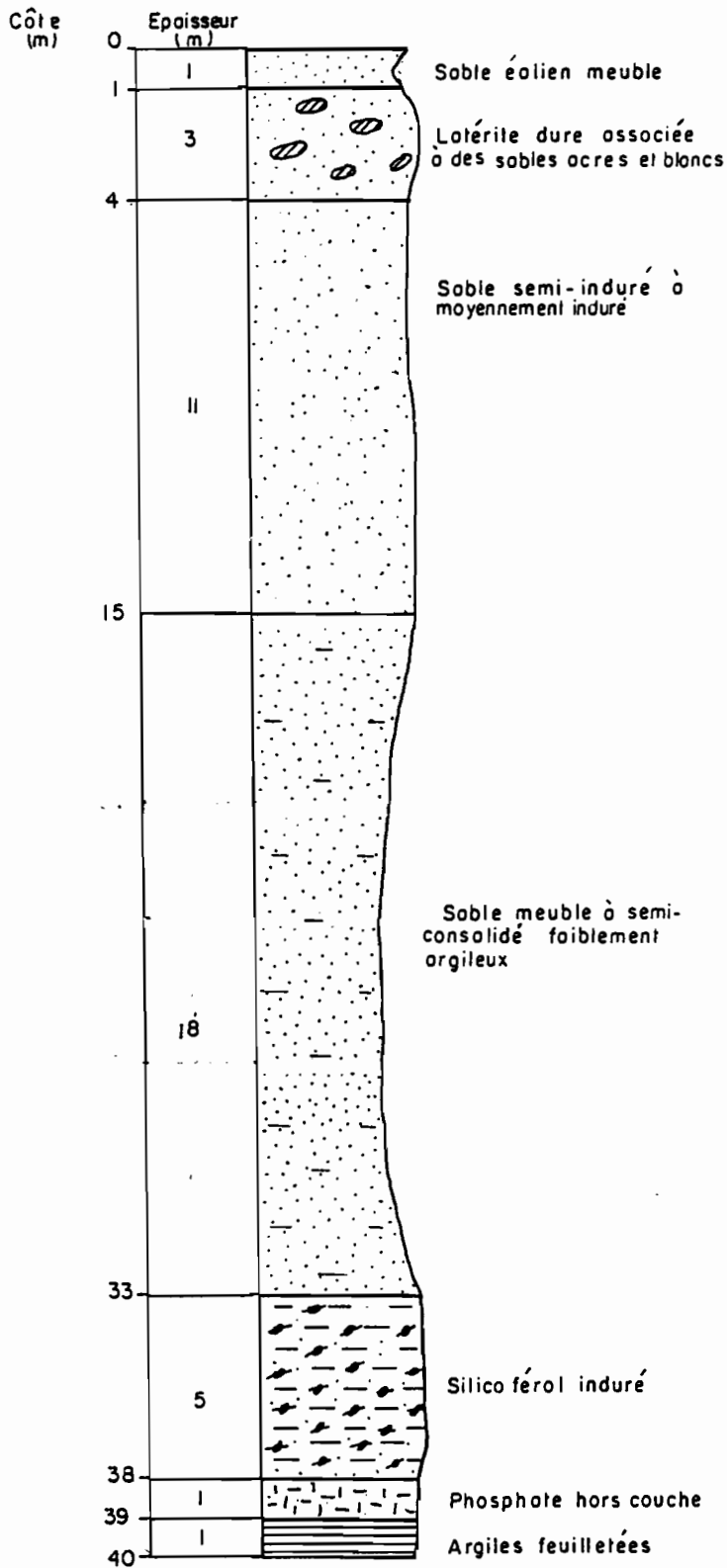
33 - 38 m : silico-ferallitique induré à nombreuses inclusions phosphatées. Couleur blanchâtre tirant vers le beige.

38 - 39 m : minerai hors couche avec lits d'argiles.

39 - 40 m : argiles feuilletées à traces de rouilles.

.../...

TN 1



Sondage TN2

0 - 2 m : sable meuble sombre à noirâtre, riche en débris végétaux

2 - 4 m : sable éolien meuble de couleur noire. Présence de quelques débris latéritiques centimétriques.

4 - 5 m : sable meuble rougeâtre à nombreux débris de latérite, de granulométrie très hétérogène et de faciès légèrement argileux.

5 - 6 m : sable rougeâtre argileux, de granulométrie assez homogène.

6 - 8 m : sable blanchâtre, homogène et friable.

8 - 10 m : sable faiblement consolidé, grésification primaire noirâtre à faciès riche en matières organiques.

10 - 11 m : sable faiblement consolidé avec présence de minces couches titanifères.

11 - 15 m : sable induré siliceux avec alternance de passées noires et rouilles.

15 - 21 m : sable latéritique induré, rougeâtre à roux-brun. L'induration est croissante en profondeur et on note des inclusions détritiques terrigènes.

21 - 24 m : idem avec une oxydation plus importante donnant le plus souvent des concrétions ferromagnésiennes (semi-indurés).

24 - 26 m : sable peu consolidé, couleur beige à jaunâtre à bon classement granulométrique.

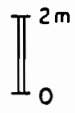
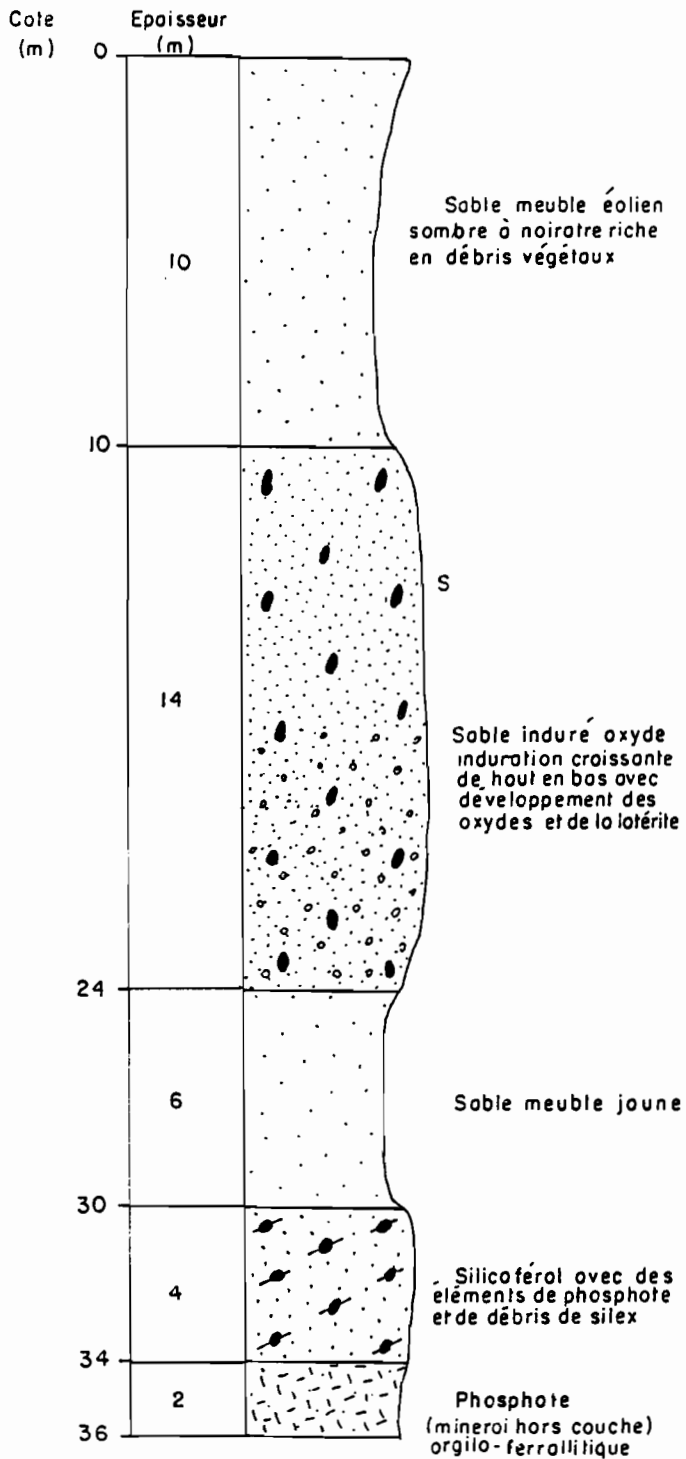
26 - 27 m : idem, plus meuble.

27 - 30 m : sable faiblement consolidé propre et presque sans inclusions, jaunâtre.

30 - 34 m : silico-féral blanchâtre à blanc laiteux avec quelques débris phosphatés et débris de silex, très induré et très compact.

34 - 36 m : faciès phosphaté (minerai hors couche) avec quelques inclusions argilo-ferallitiques et des détritiques terrigènes.

TN 2



ANNEXE 1.3 : COURBES ET RESULTATS D'ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Abréviations :

T1 : Tranchée T1 (secteur 1)

UUBL : Sondage carotté (secteur 2)

GII.1 : Front de taille 1 de la zone de décapage actuel KMF (07/08/92)

GII.2 : Front de taille 2 de la zone de décapage actuel KMF (07/08/92)

$dm = \text{diamètre moyen des grains} = (Q16 + Q50 + Q84)/3$

avec Q16 : maille du tamis au travers duquel passe 16% poids du produit

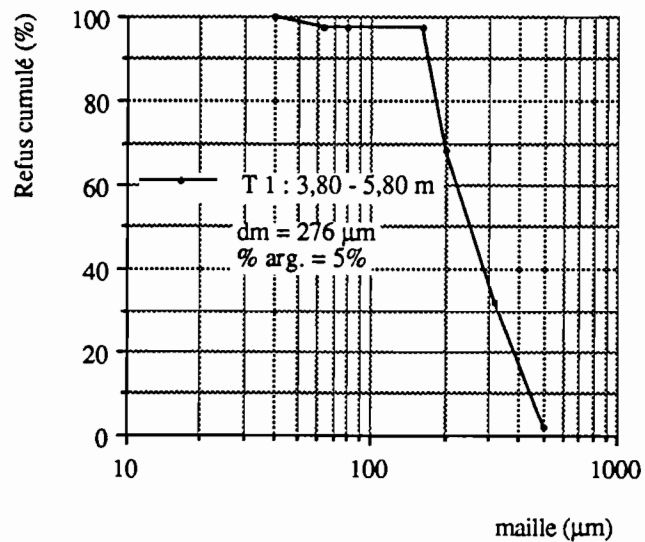
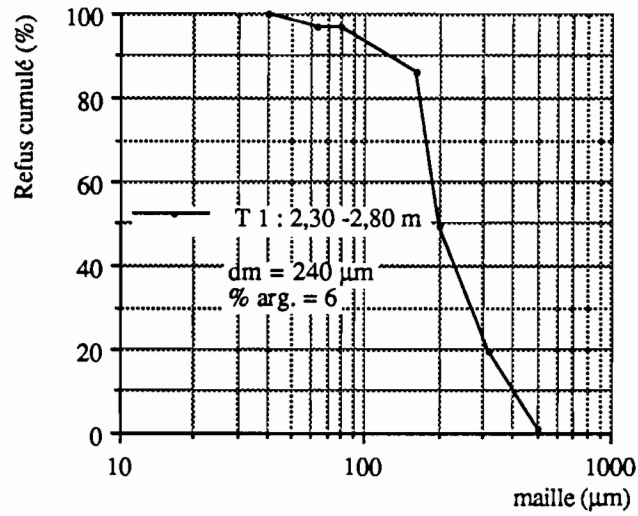
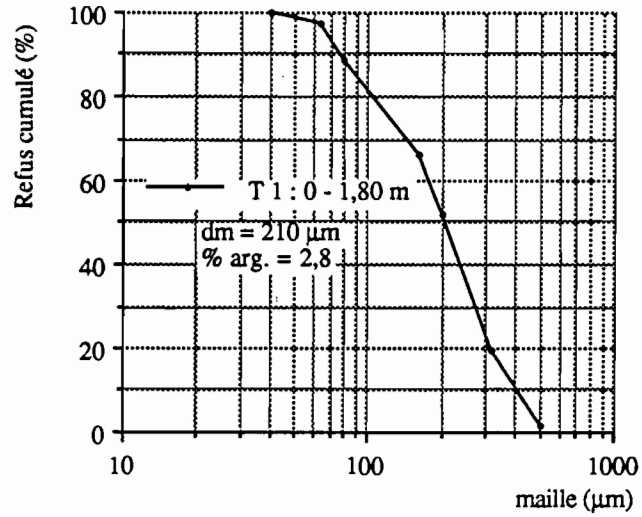
Q50 : maille du tamis au travers duquel passe 50% poids du produit

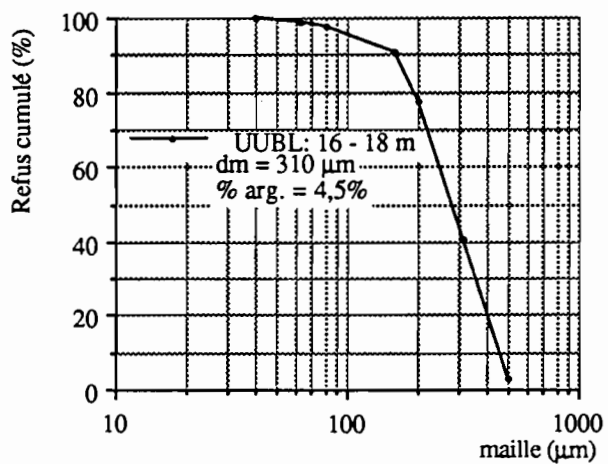
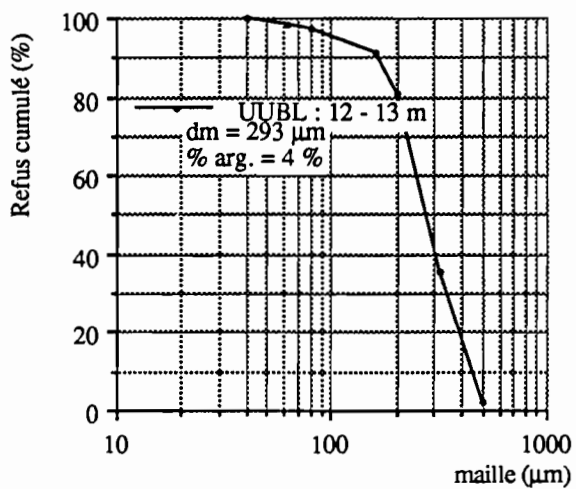
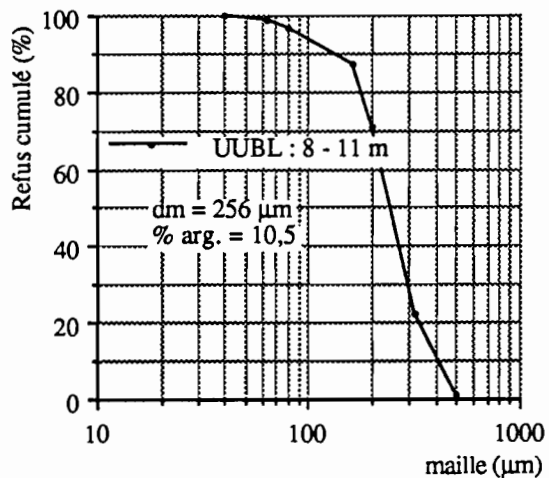
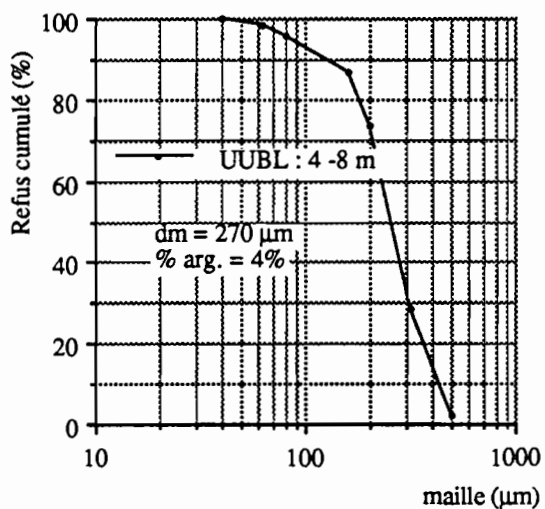
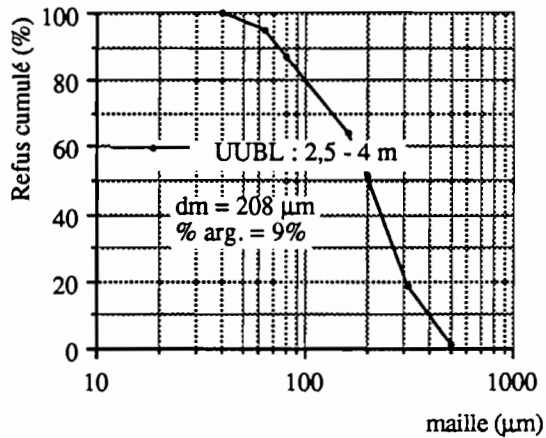
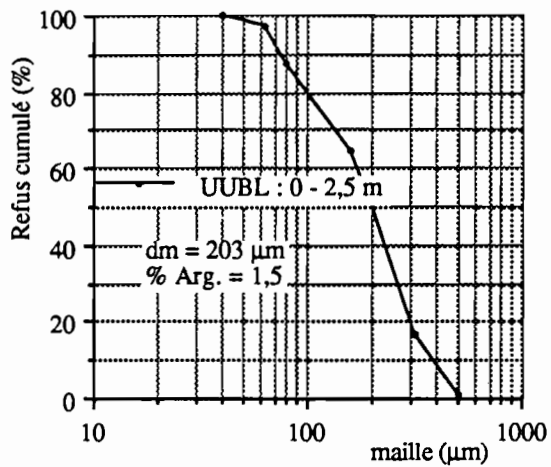
Q84 : maille du tamis au travers duquel passe 84% poids du produit

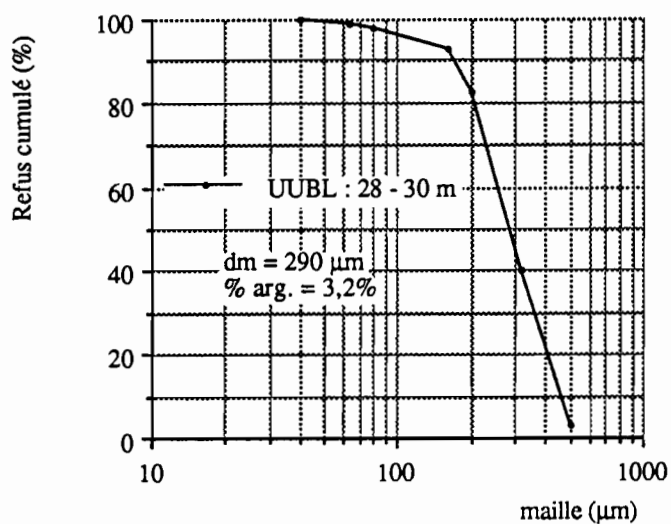
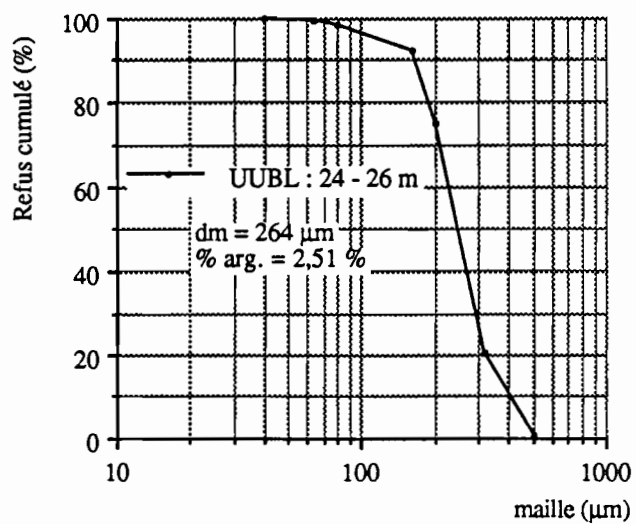
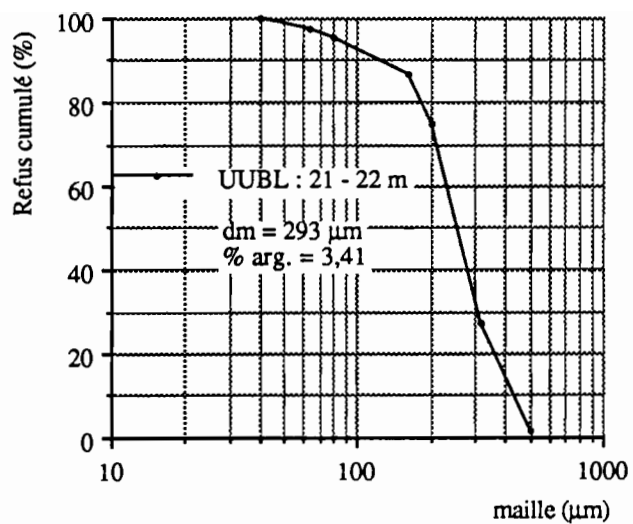
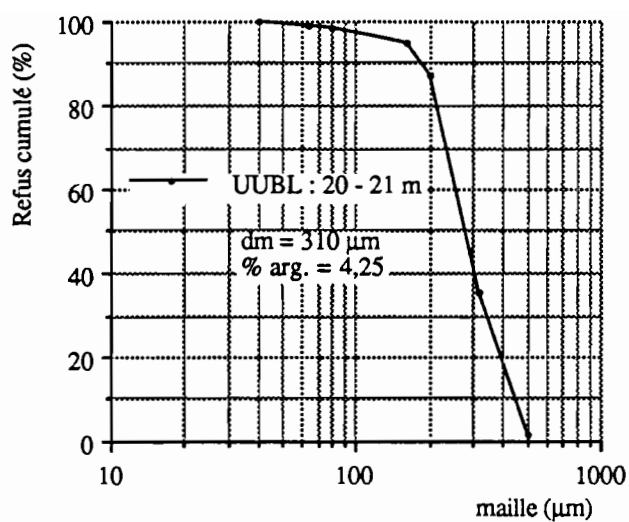
% arg. = pourcentage de la fraction silto-argileuse (< 40 μm)

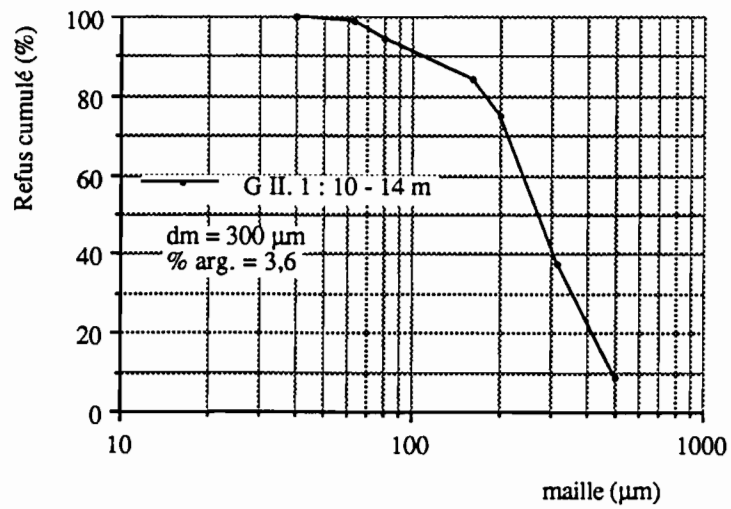
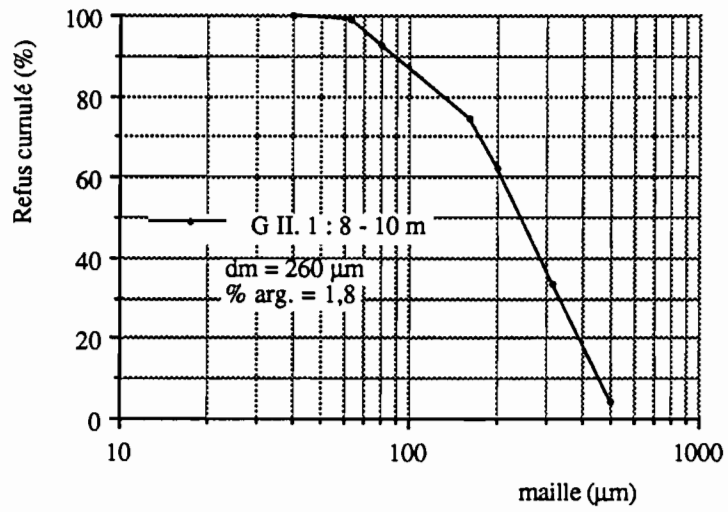
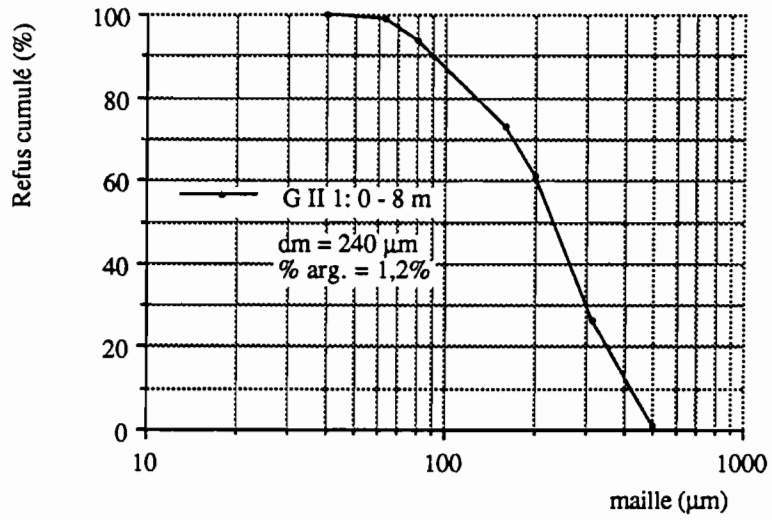
obtenu par lavage du brut au tamis de 40 μm

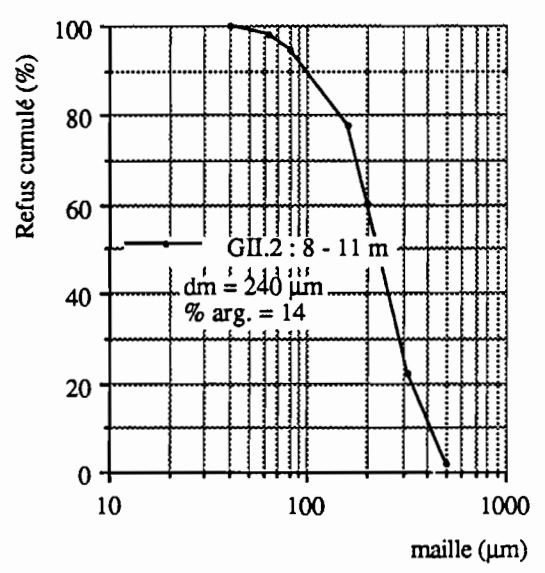
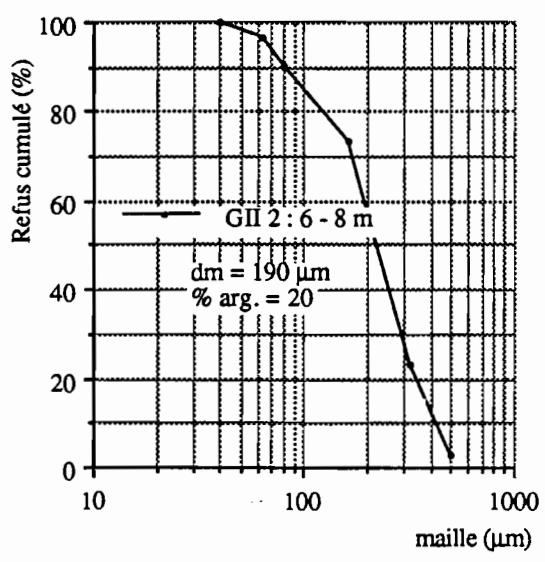
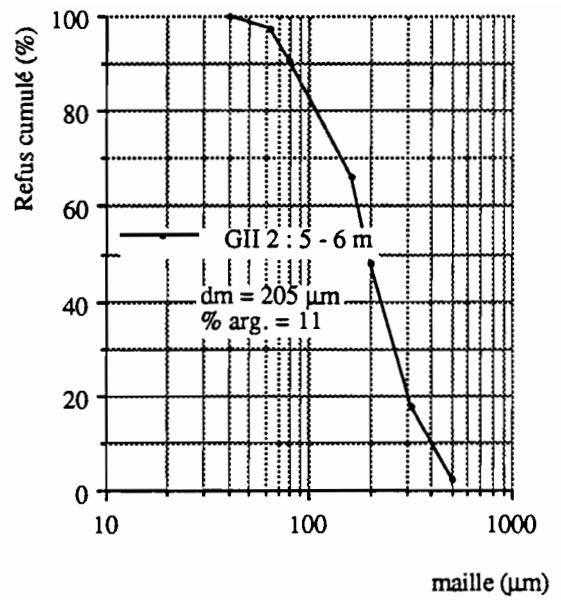
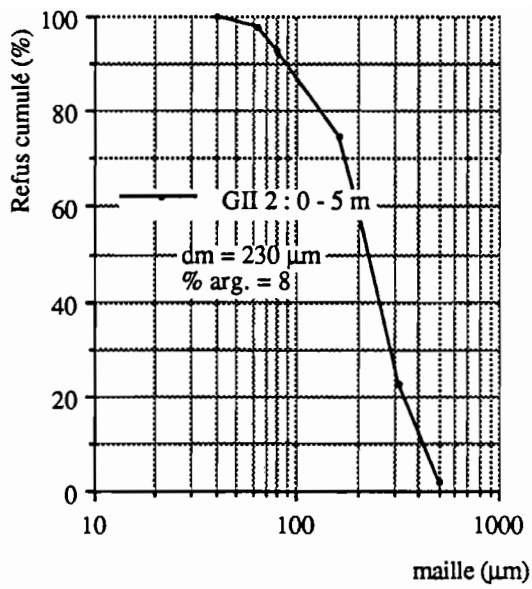
NB : d_m = diamètre moyen
 $= (Q_{16} + Q_{50} + Q_{84})/3$
 $\% \text{ arg.} = \% \text{ poids fraction silto-argileuse } (< 40\mu\text{m})$











ANNEXE 2

COURBES INTERPRETEES DES SONDAGES ELECTRIQUES

Les courbes de sondages électriques sont tracées avec une échelle logarithmique.

L'axe des abscisses représente les longueurs de ligne $AB/2$, en mètres.

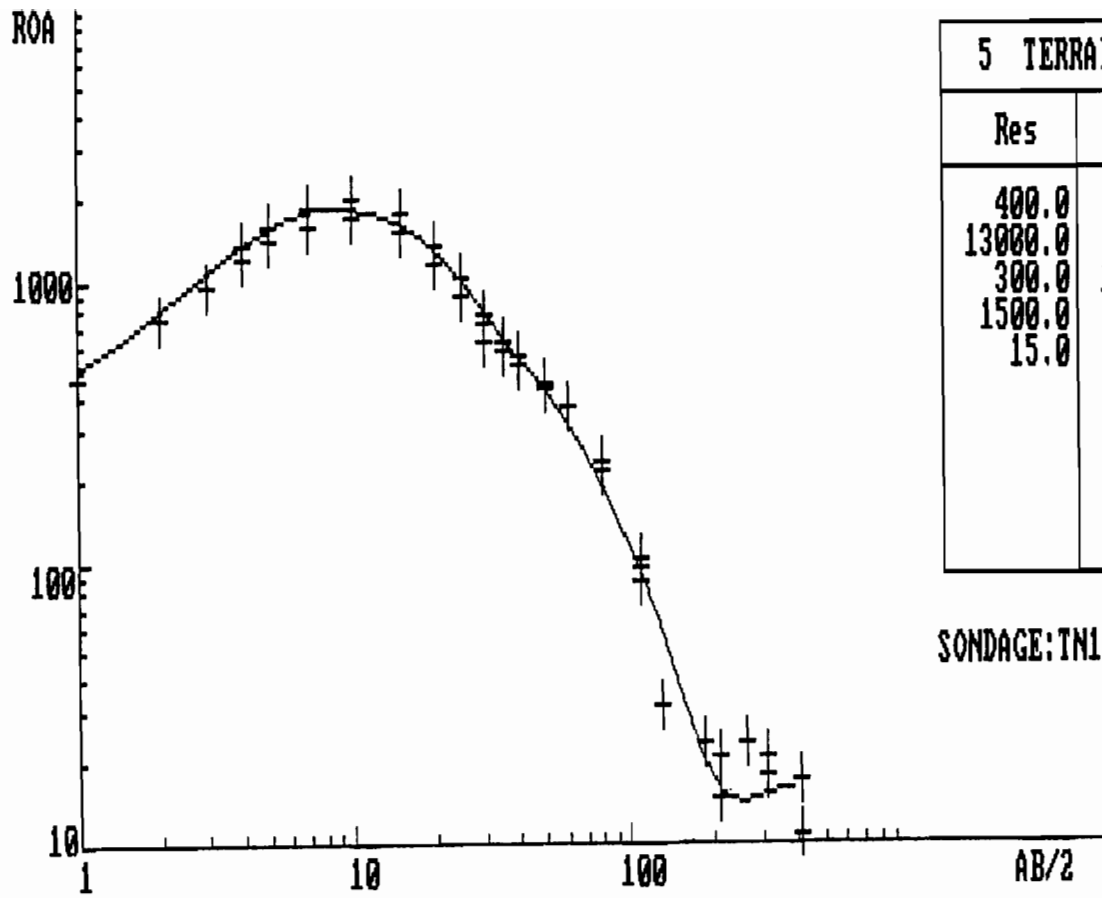
L'axe des ordonnées représente ROA, la résistivité apparente, exprimée en ohm.m.

Les mesures expérimentales sont représentées par des croix (parfois un rectangle lorsque ces valeurs sont incertaines).

L'interprétation est notée dans le tableau en haut à droite. La colonne Res est la résistivité vraie proposée, en ohm.m.

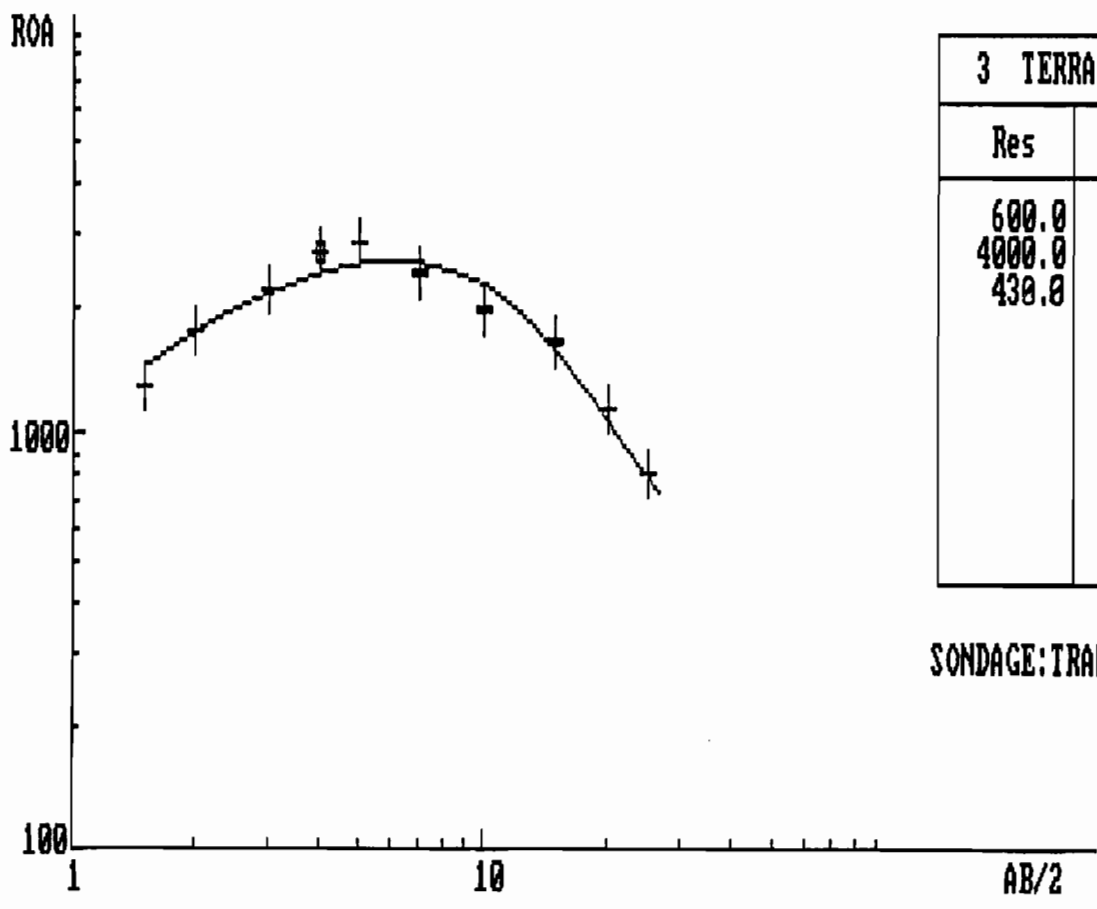
La colonne Ep est l'épaisseur proposée des terrains, en m.

La courbe en traits continus correspond au résultat du calcul du modèle du tableau.



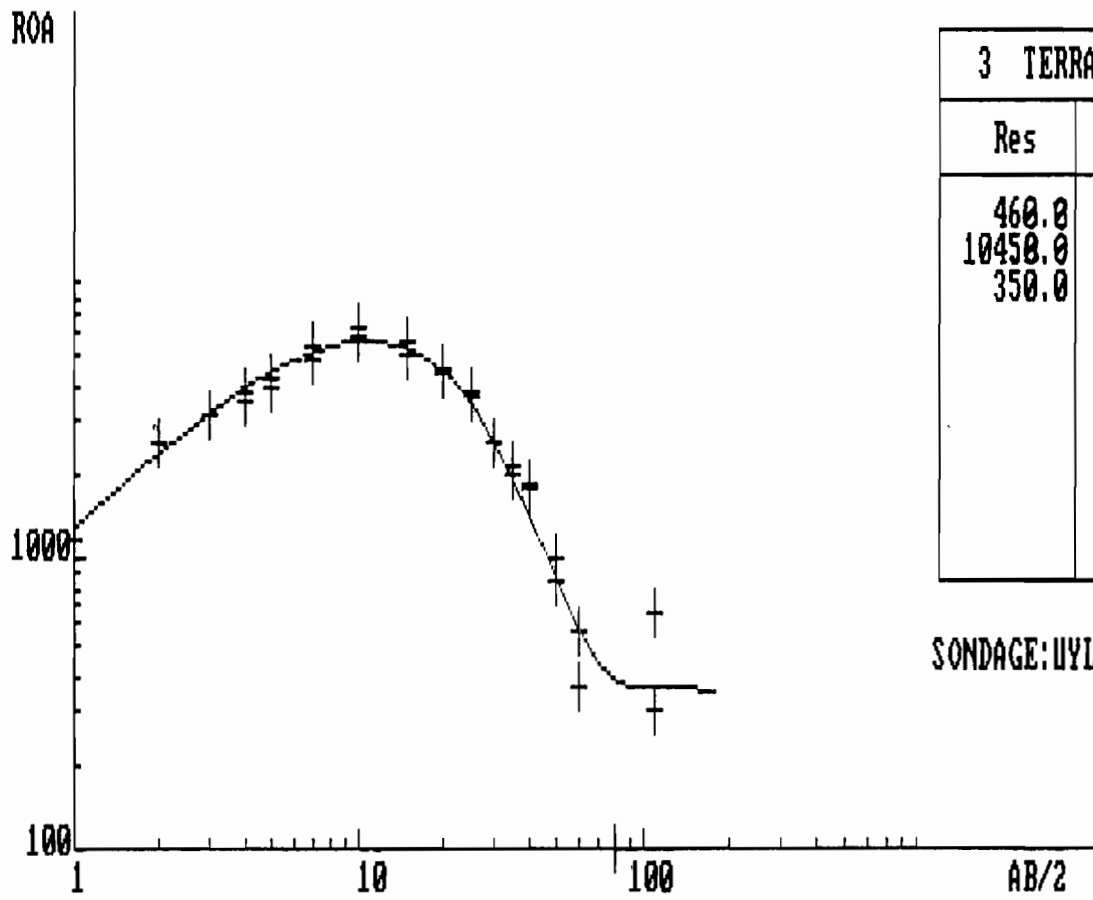
5 TERRAINS	
Res	Ep
400.0	0.9
13000.0	1.4
300.0	10.0
1500.0	7.5
15.0	

SONDAGE: TN1-35



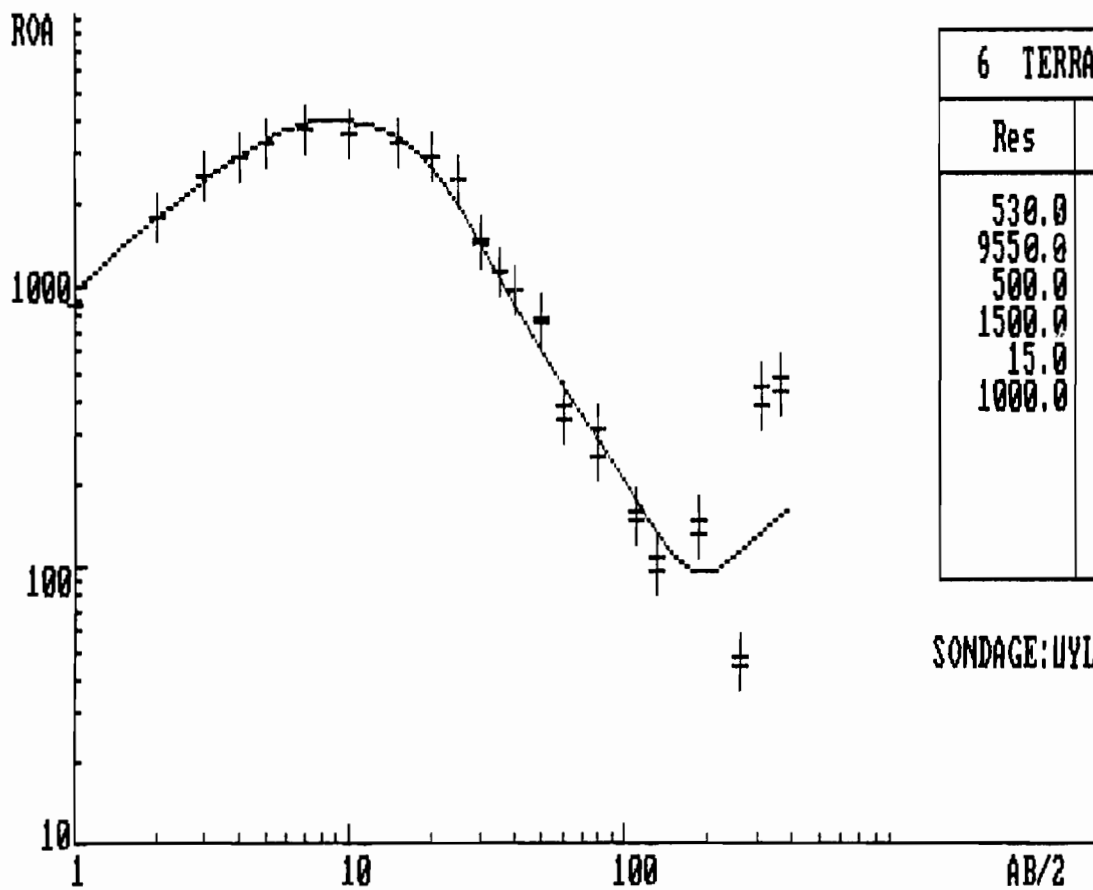
3 TERRAINS	
Res	Ep
600.0	0.4
4000.0	4.5
430.0	

SONDAGE: TRAN-ROI



3 TERRAINS	
Res	Ep
460.0	0.3
10450.0	7.1
350.0	

SONDAGE: UYLQ



6 TERRAINS	
Res	Ep
530.0	0.5
9550.0	4.3
500.0	20.0
1500.0	7.0
15.0	30.0
1000.0	

SONDAGE: UYLL

ROA

1000

100

1

10

AB/2

3 TERRAINS	
Res	Ep
400.0	0.4
13000.0	2.0
500.0	

SONDAGE: TRAN-2

ROA

1000

100

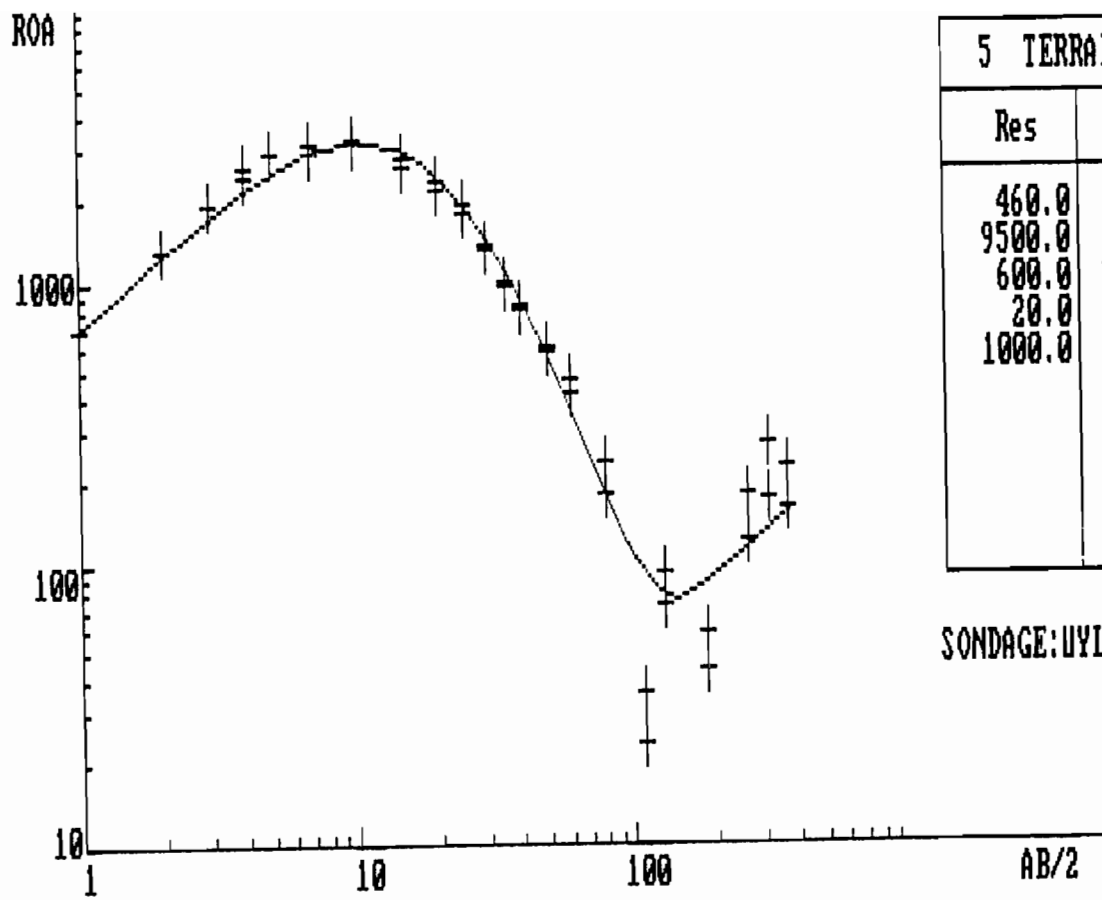
1

10

AB/2

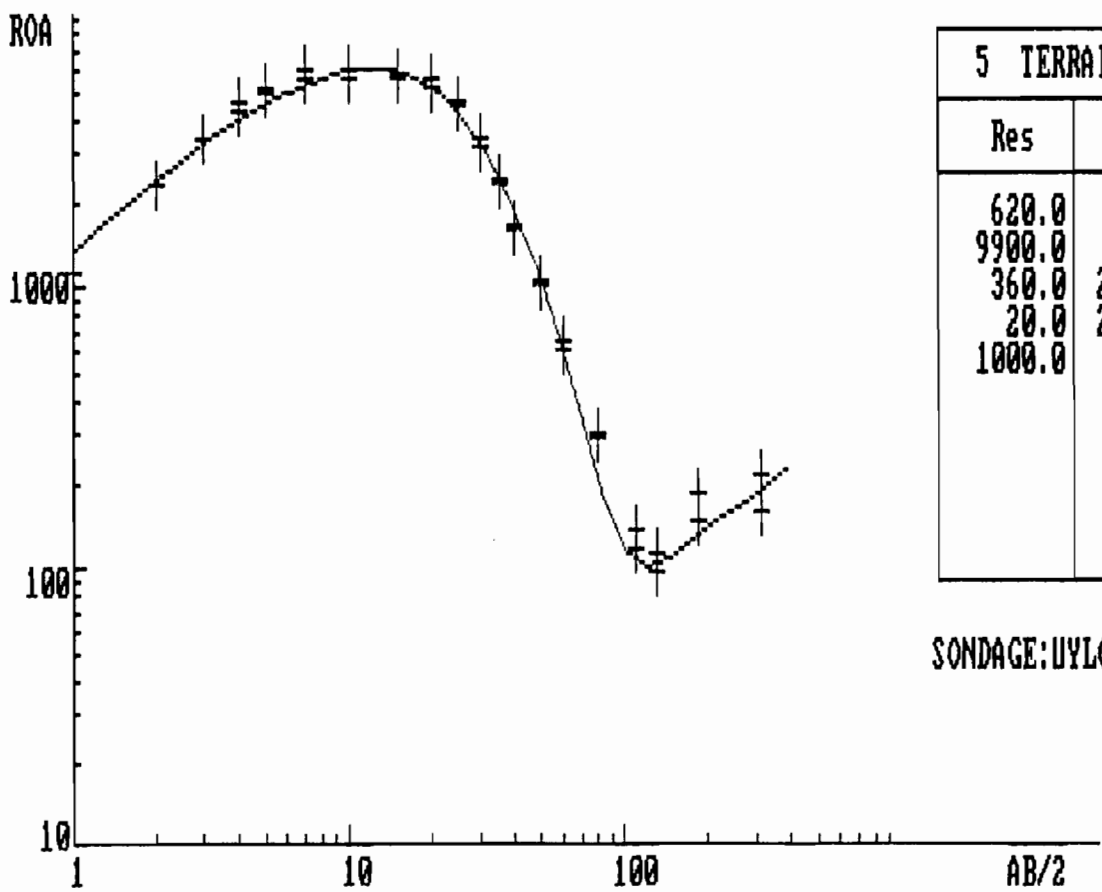
3 TERRAINS	
Res	Ep
410.9	0.3
13000.0	2.3
300.0	

SONDAGE: TN1



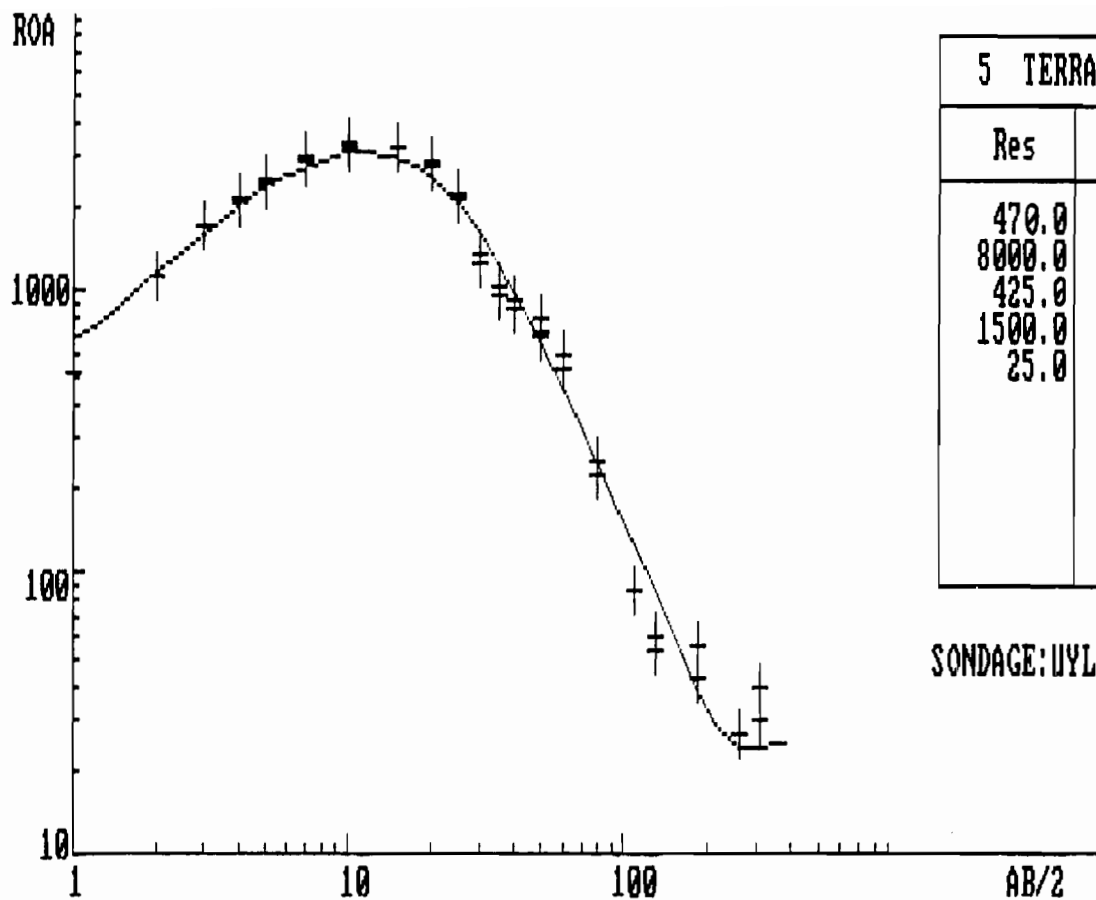
5 TERRAINS	
Res	Ep
460.0	0.6
9500.0	3.7
600.0	25.0
20.0	40.0
1000.0	

SONDAGE:UYLL2



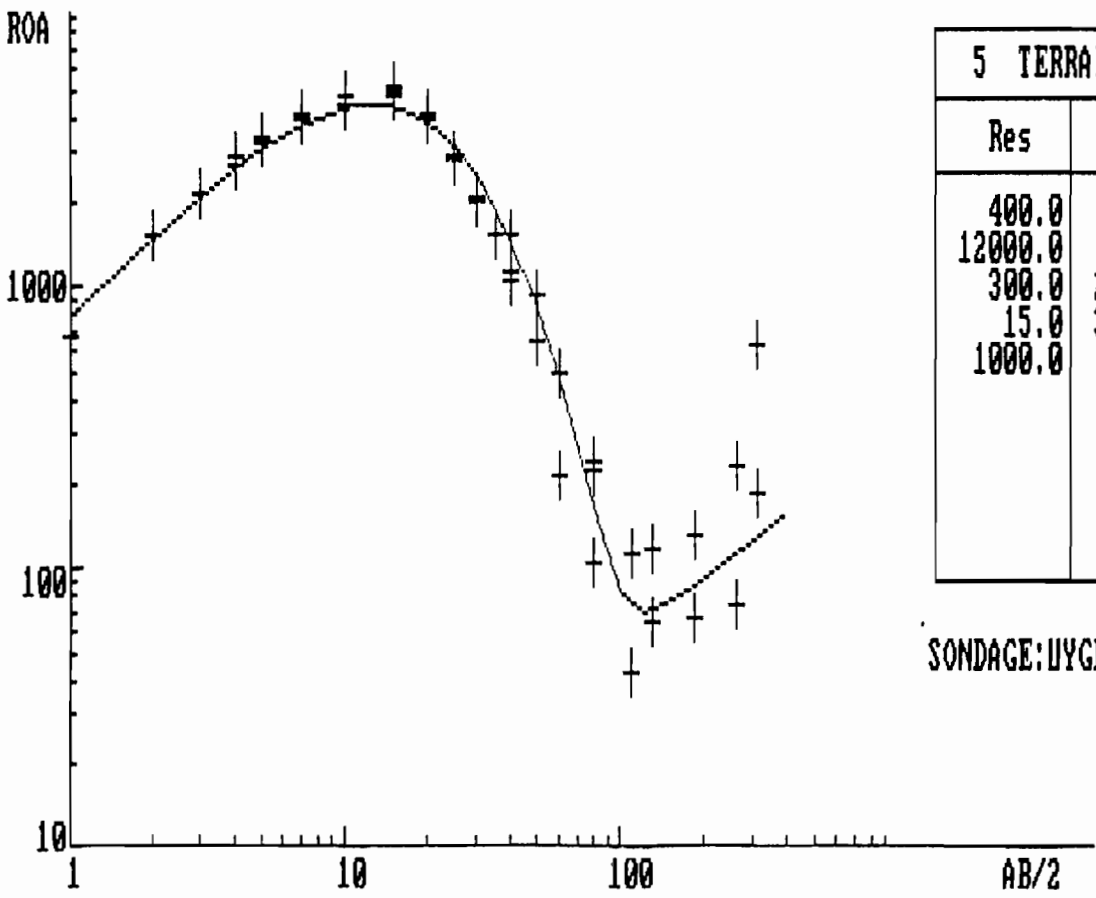
5 TERRAINS	
Res	Ep
620.0	0.4
9900.0	9.0
360.0	25.0
20.0	25.0
1000.0	

SONDAGE:UYLG2



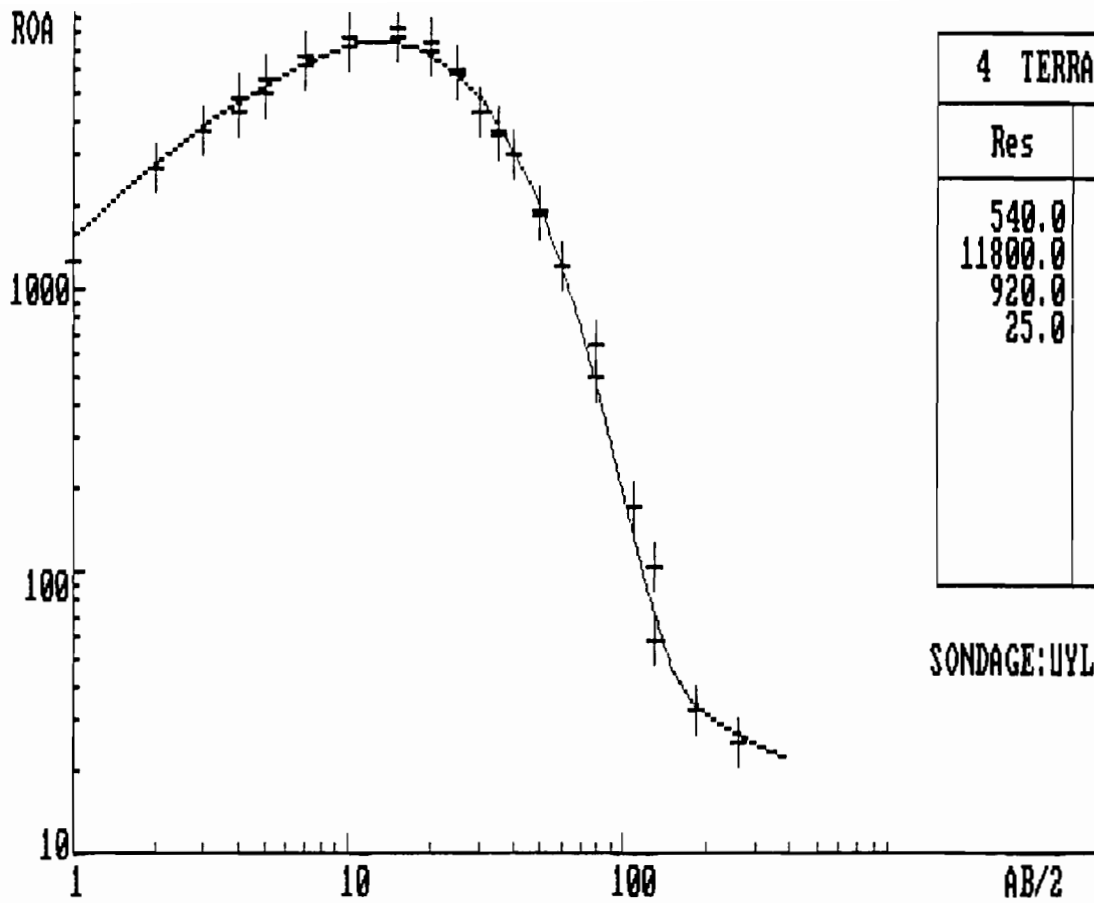
5 TERRAINS	
Res	Ep
470.0	0.7
8000.0	5.0
425.0	20.0
1500.0	5.0
25.0	

SONDAGE:UYLG



5 TERRAINS	
Res	Ep
400.0	0.5
12000.0	5.5
300.0	25.0
15.0	30.0
1000.0	

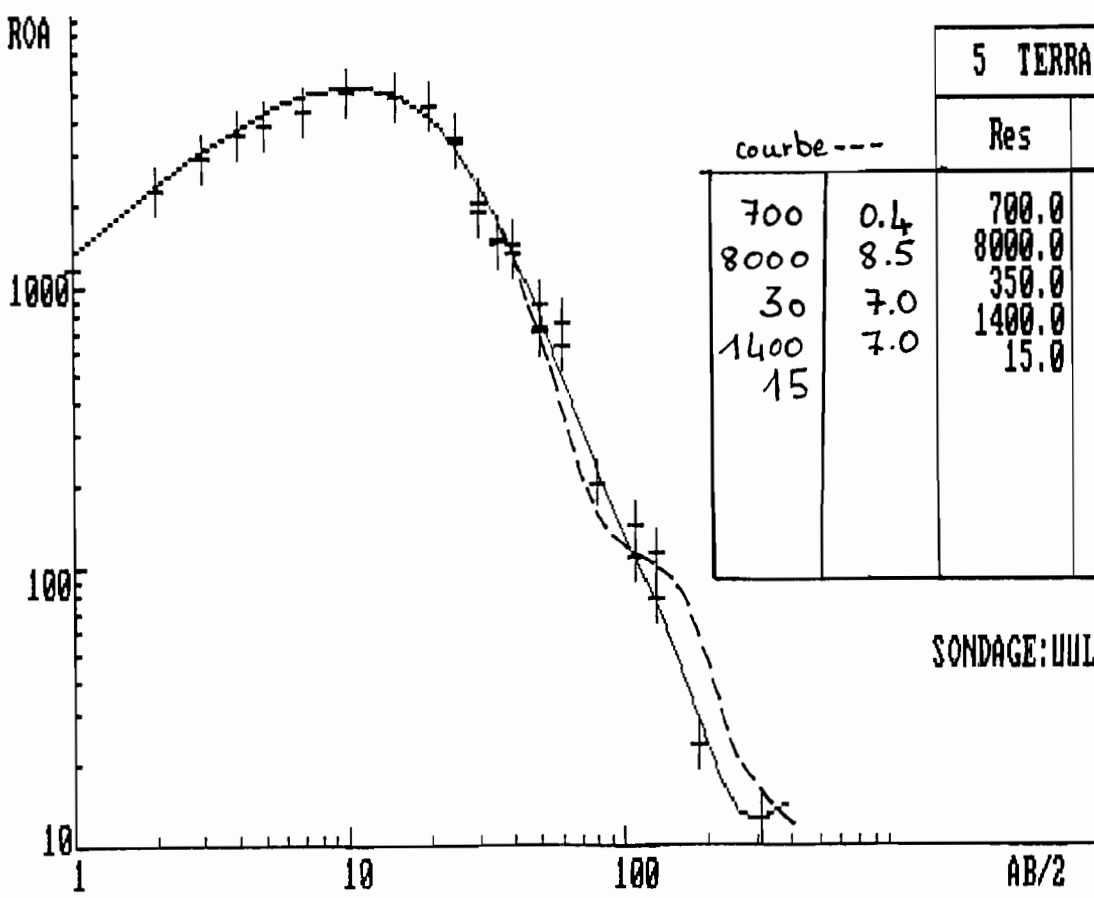
SONDAGE:UYGB



4 TERRAINS	
Res	Ep
540.0	0.3
11800.0	10.0
920.0	25.0
25.0	

SONDAGE:UYLB

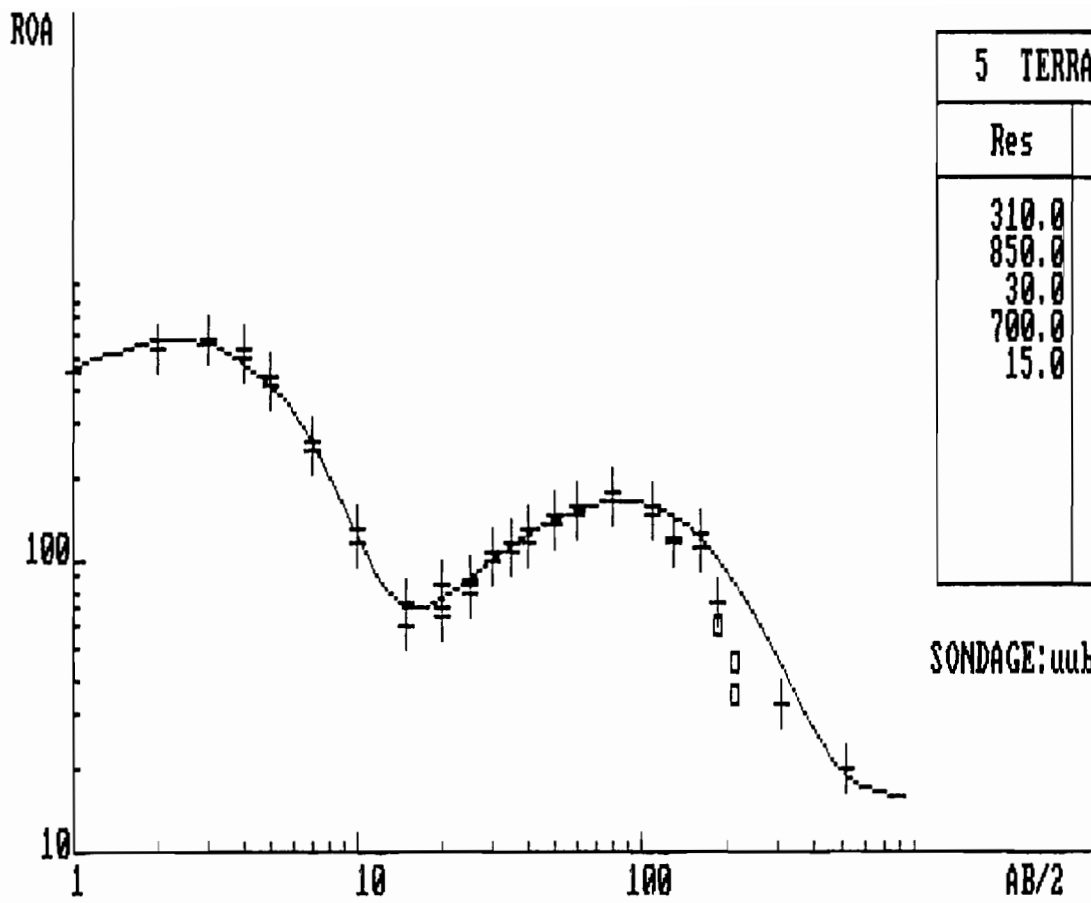
ZONE 2



courbe---		5 TERRAINS	
		Res	Ep
700	0.4	700.0	0.4
8000	8.5	8000.0	8.5
30	7.0	350.0	20.0
1400	7.0	1400.0	5.0
15		15.0	

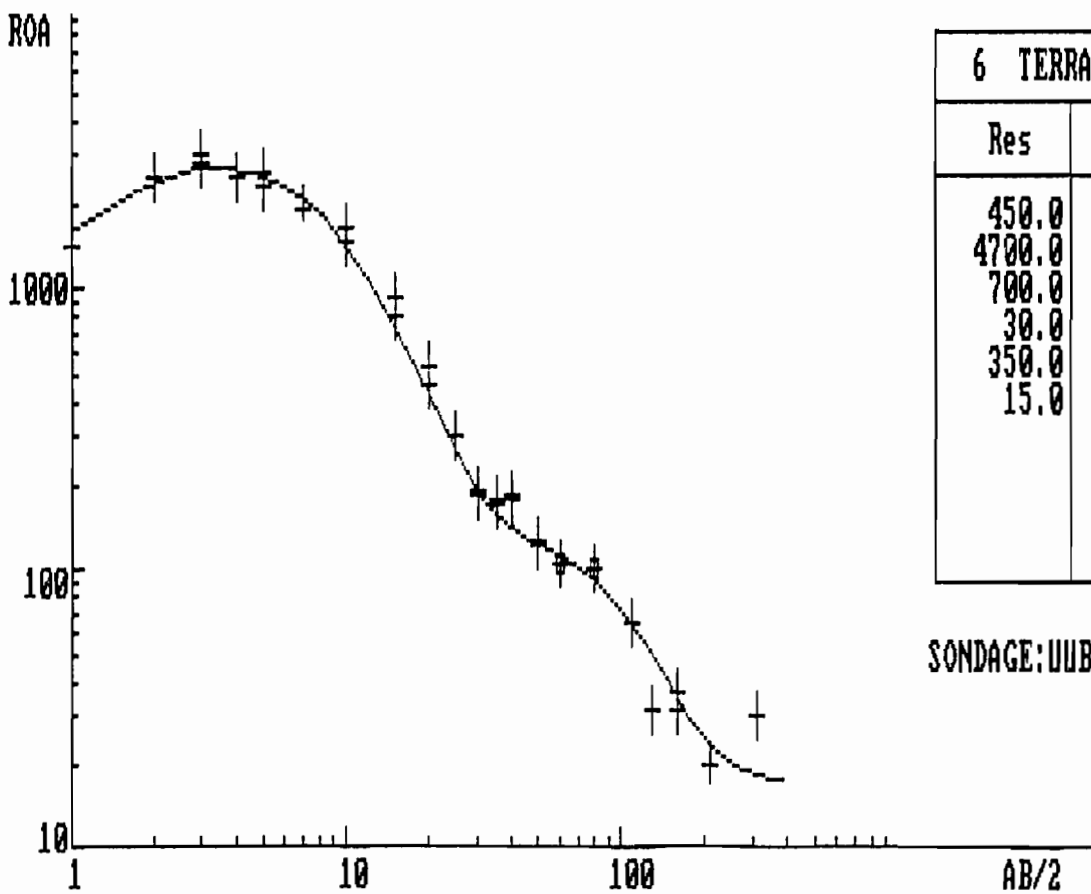
← courbe —

SONDAGE:UULQ



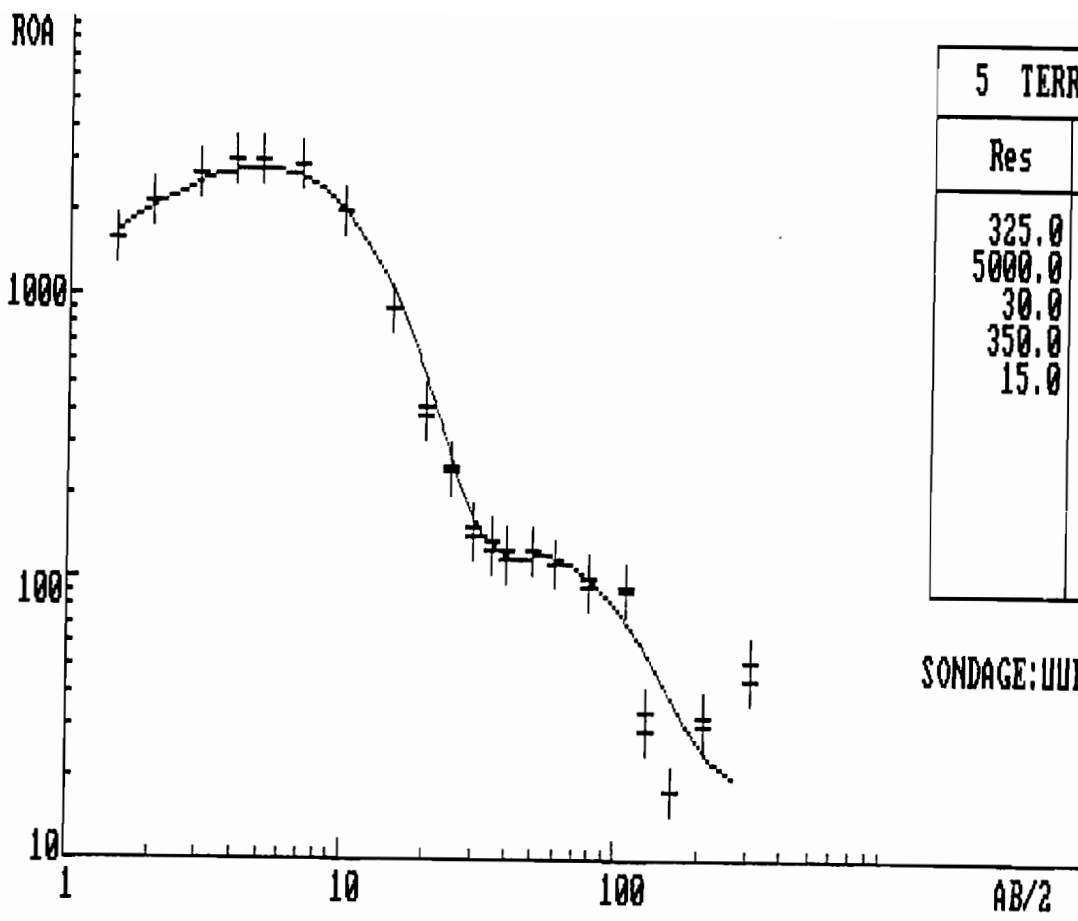
5 TERRAINS	
Res	Ep
310.0	0.4
850.0	2.0
30.0	7.0
700.0	22.0
15.0	

SONDAGE:uubl



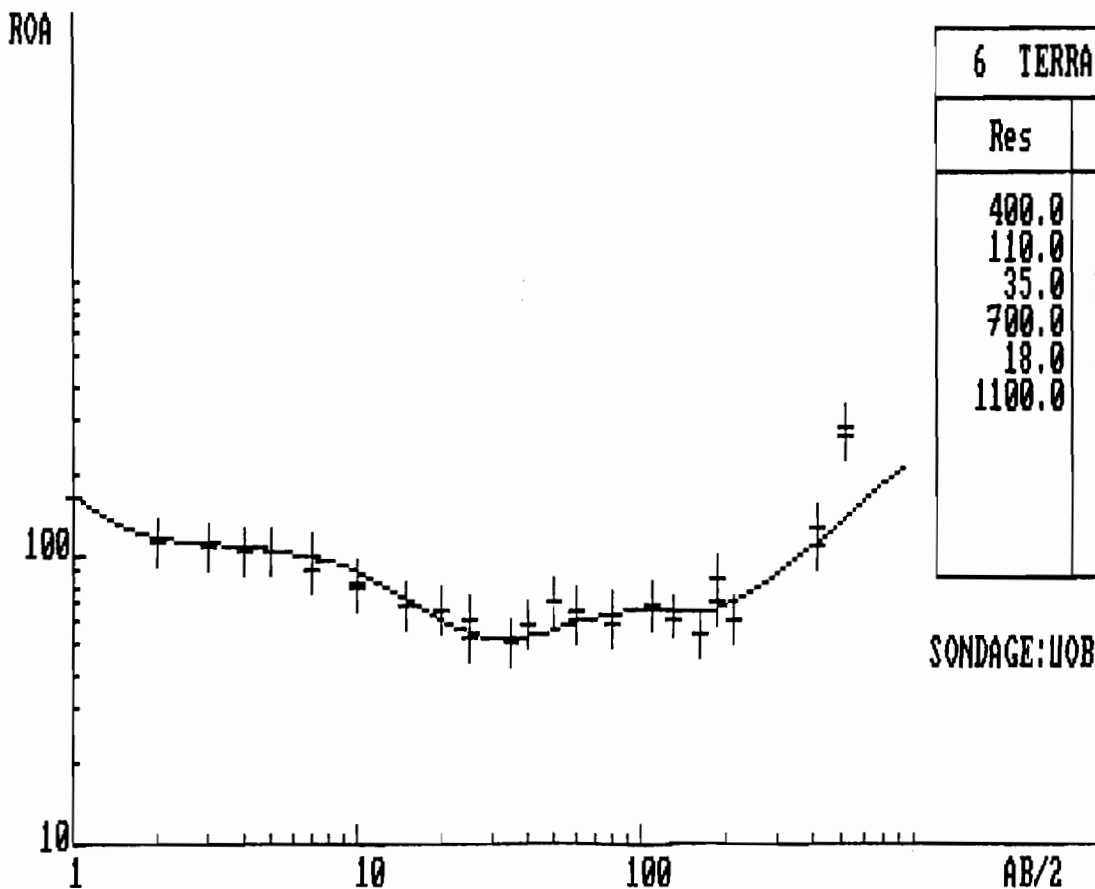
6 TERRAINS	
Res	Ep
450.0	0.2
4700.0	2.2
700.0	7.5
30.0	4.5
350.0	15.0
15.0	

SONDAGE:UUBG



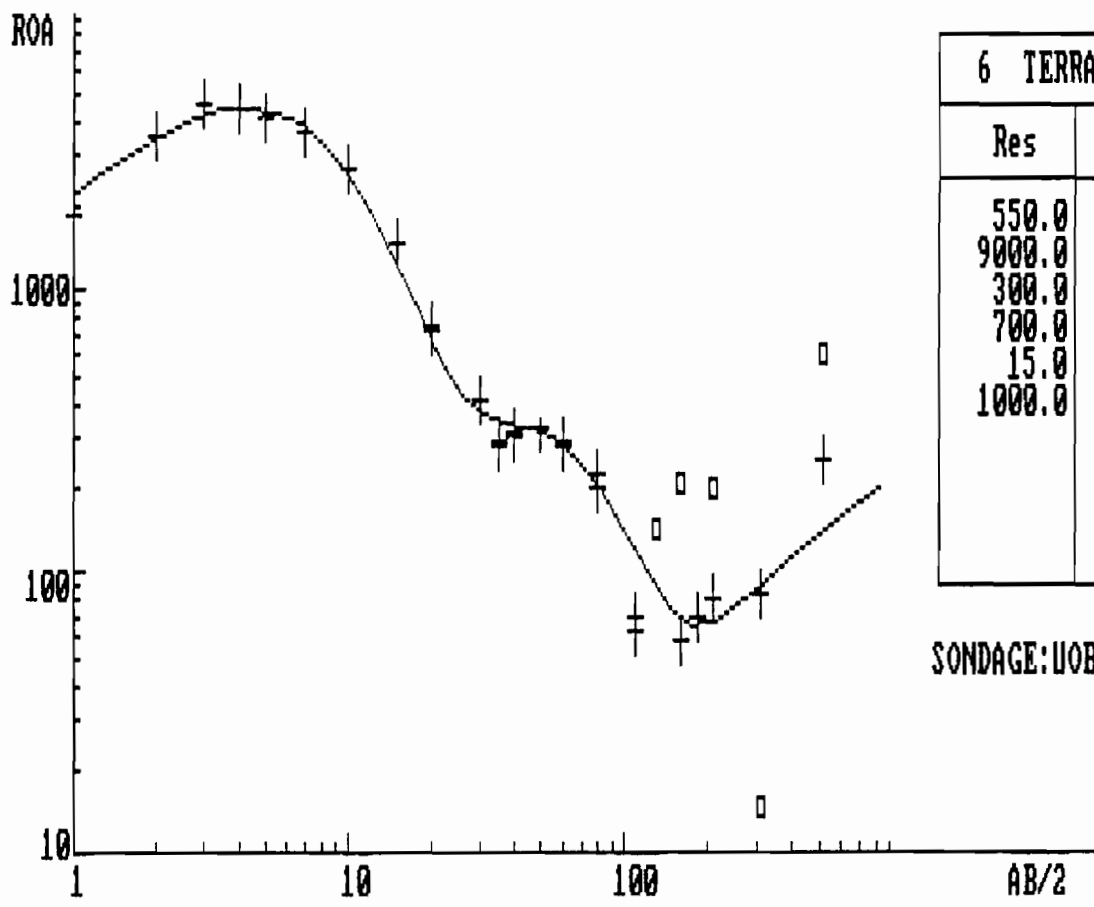
5 TERRAINS	
Res	Ep
325.0	0.2
5000.0	3.6
30.0	5.0
350.0	17.0
15.0	

SONDAGE: UUBB



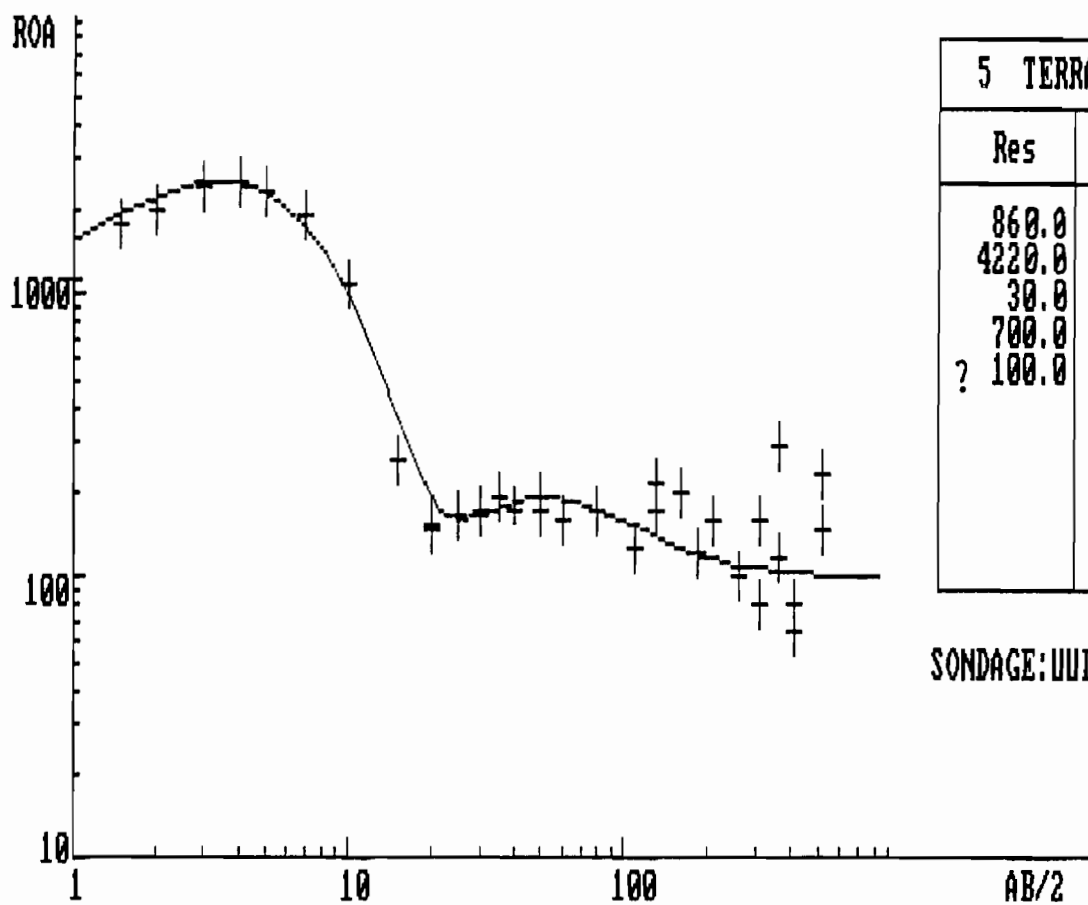
6 TERRAINS	
Res	Ep
400.0	0.3
110.0	7.0
35.0	20.0
700.0	6.0
18.0	50.0
1100.0	

SONDAGE: UOBQ



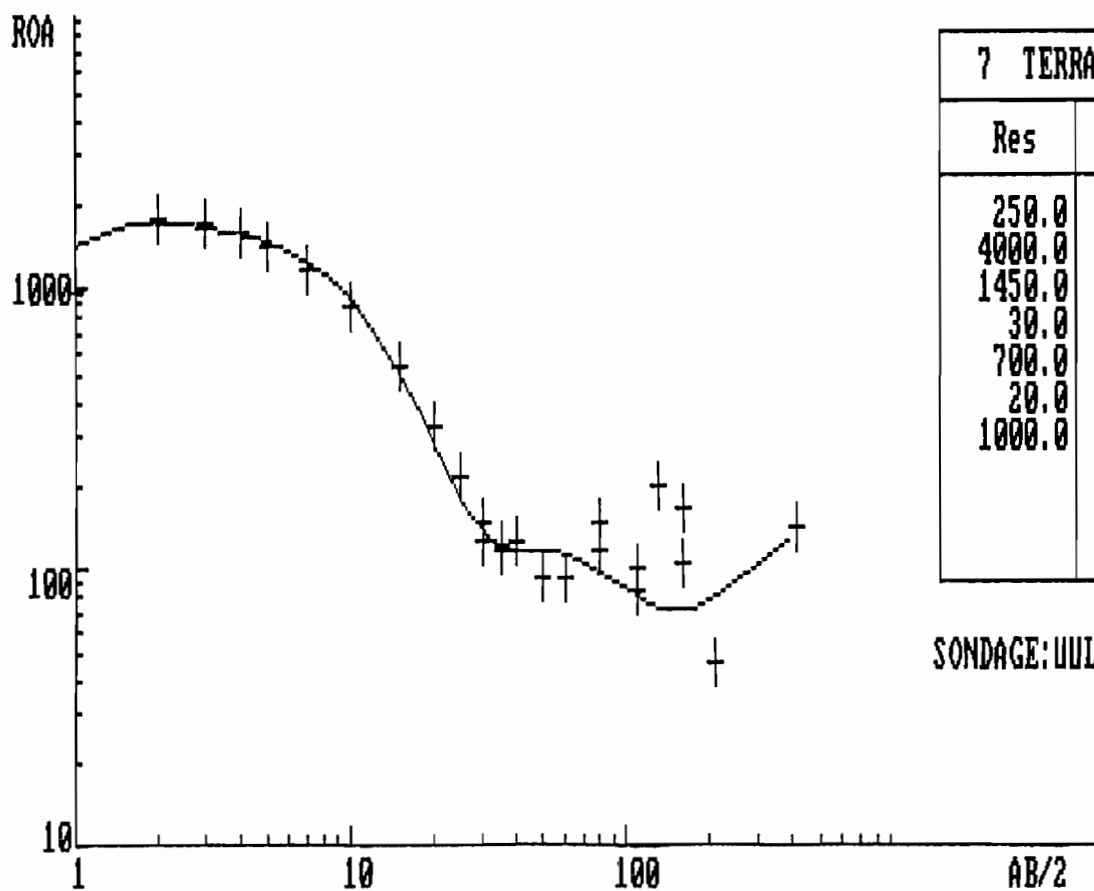
6 TERRAINS	
Res	Ep
550.0	0.2
9000.0	2.5
300.0	15.0
700.0	15.0
15.0	50.0
1000.0	

SONDAGE: UOBL



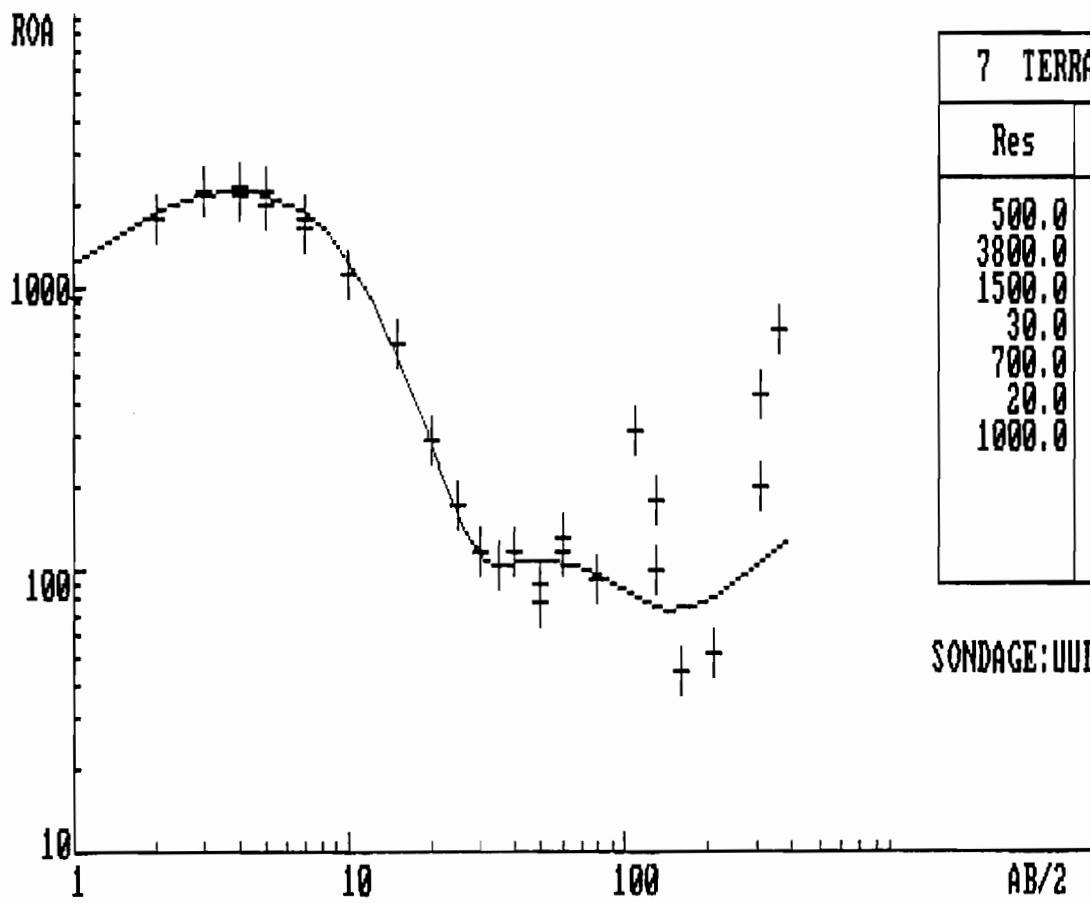
5 TERRAINS	
Res	Ep
860.0	0.4
4220.0	2.5
30.0	3.5
700.0	10.0
? 100.0	

SONDAGE:UULL



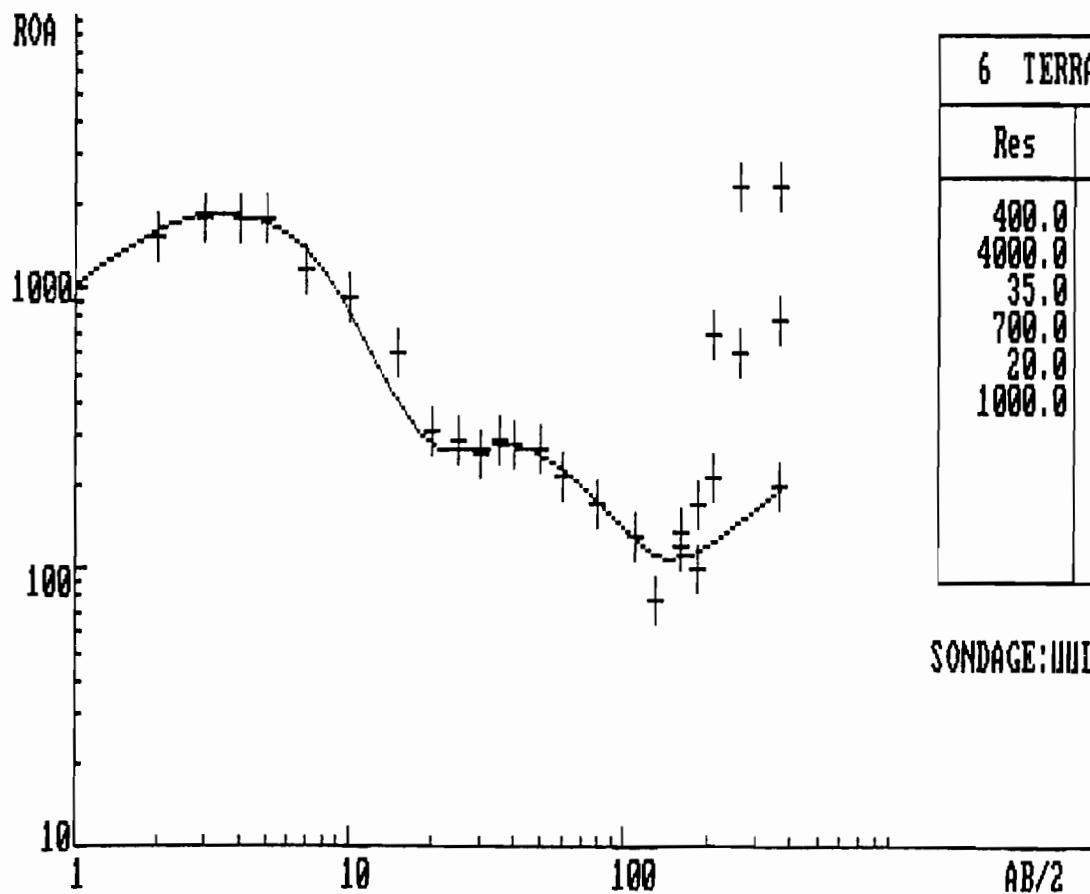
7 TERRAINS	
Res	Ep
250.0	0.1
4000.0	0.4
1450.0	5.5
30.0	5.0
700.0	7.0
20.0	50.0
1000.0	

SONDAGE:UULL2



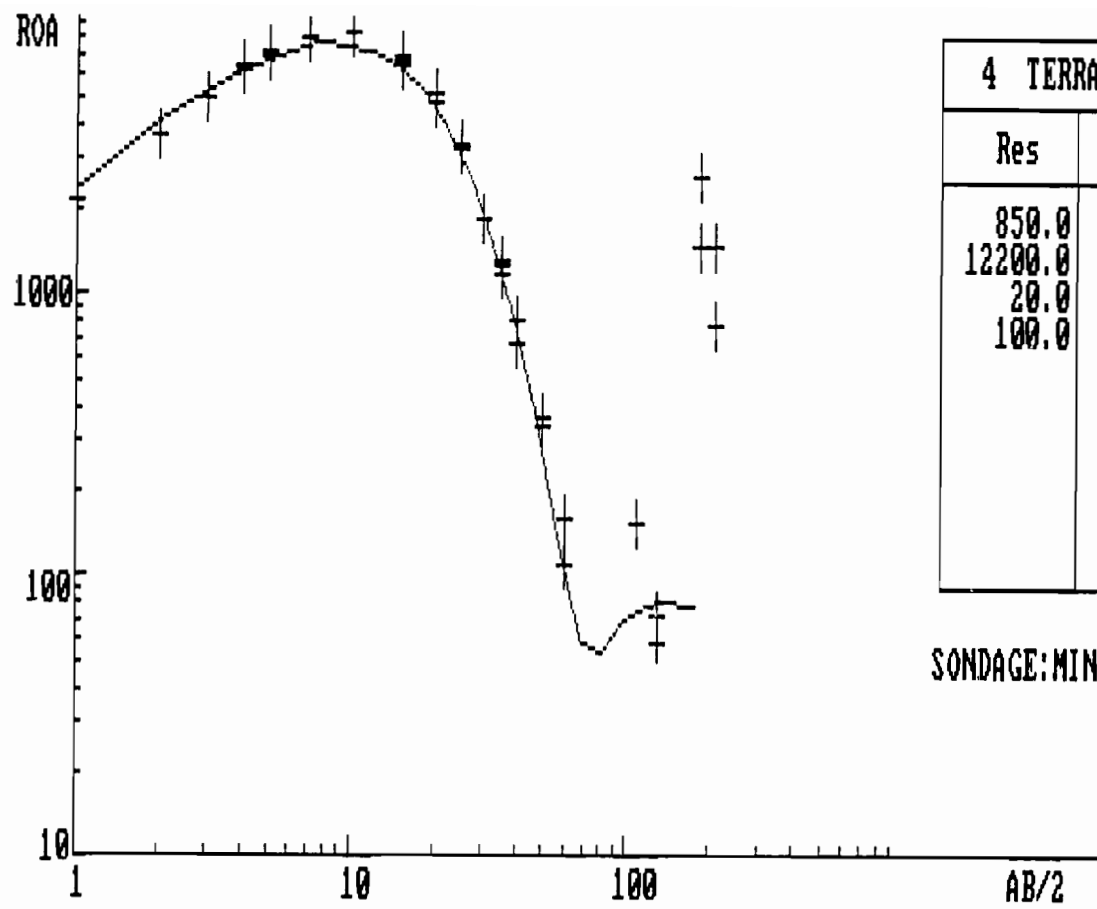
7 TERRAINS	
Res	Ep
500.0	0.3
3800.0	2.0
1500.0	3.0
30.0	6.0
700.0	7.0
20.0	50.0
1000.0	

SONDAGE: UULG2



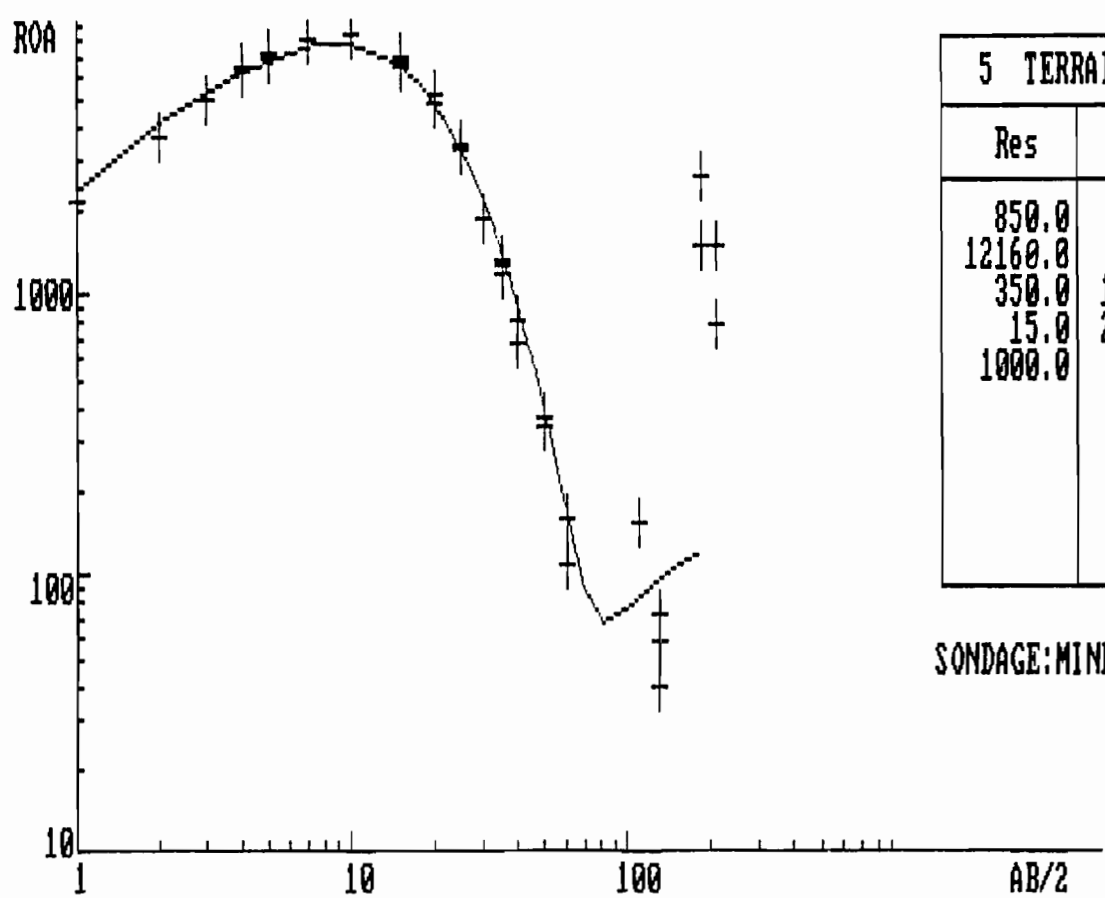
6 TERRAINS	
Res	Ep
400.0	0.3
4000.0	2.0
35.0	1.8
700.0	15.0
20.0	30.0
1000.0	

SONDAGE: UULG



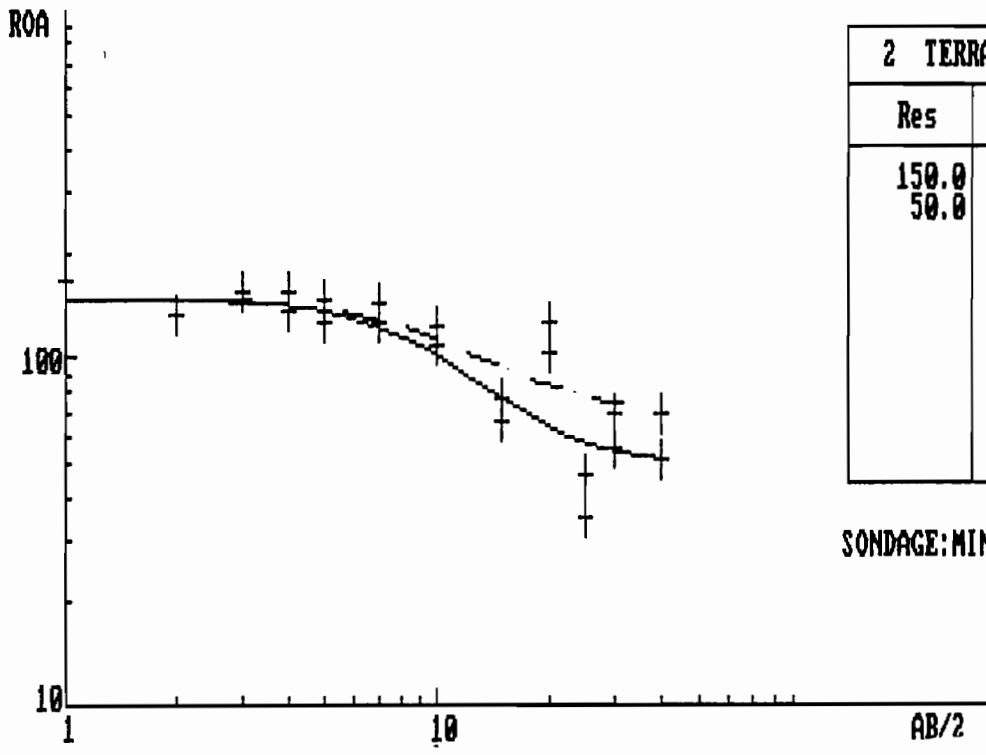
4 TERRAINS	
Res	Ep
850.0	0.3
12200.0	7.0
20.0	15.0
100.0	

SONDAGE: MINE



5 TERRAINS	
Res	Ep
850.0	0.3
12160.0	7.0
350.0	15.0
15.0	20.0
1000.0	

SONDAGE: MINE



2 TERRAINS	
Res	Ep
150.0	5.0
50.0	

SONDAGE: MINERAL

ANNEXE 3

DROMOCHRONIQUES INTERPRETEES DES ESSAIS SISMIQUES

Les lectures des temps d'arrivée des ondes sismiques sont reportées sur des graphiques temps-distance (les dromochroniques).

L'axe des abscisses représente la distance entre le point de choc et la position du géophone, en m.

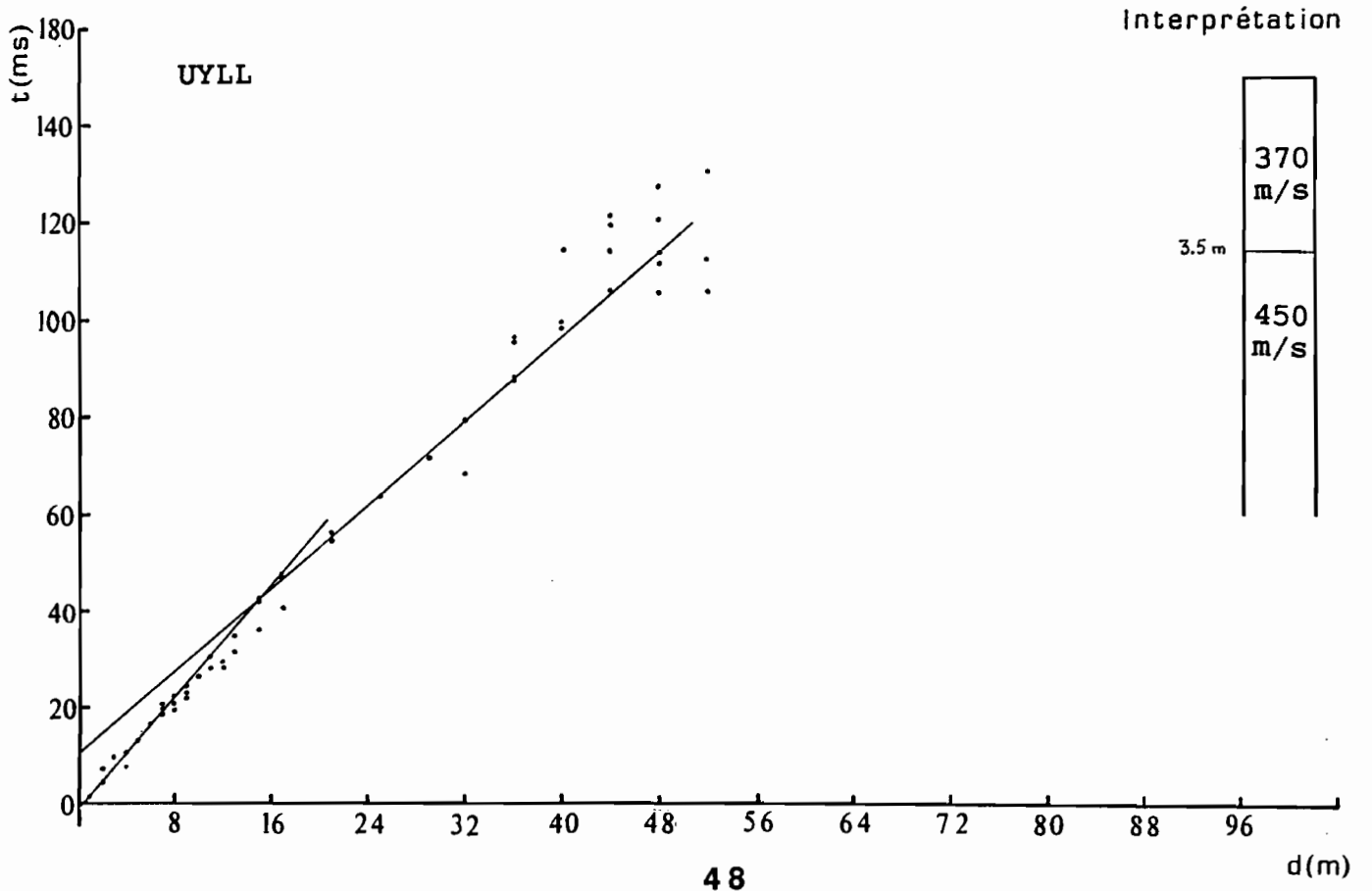
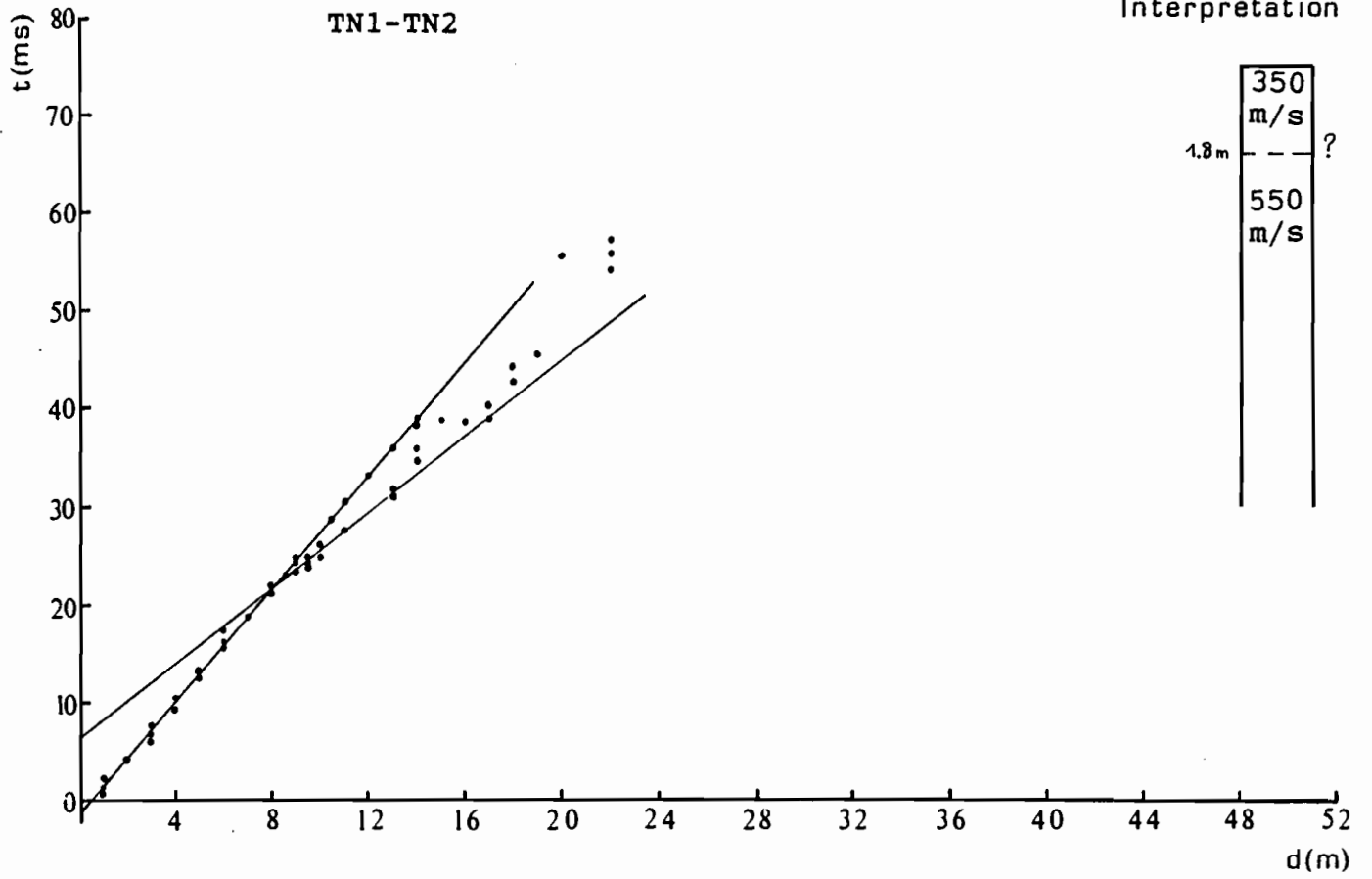
L'axe des ordonnées représente l'écart entre l'instant du choc et l'instant où l'onde la plus rapide (directe ou réfractée) parvient au géophone. Cet écart est en ms.

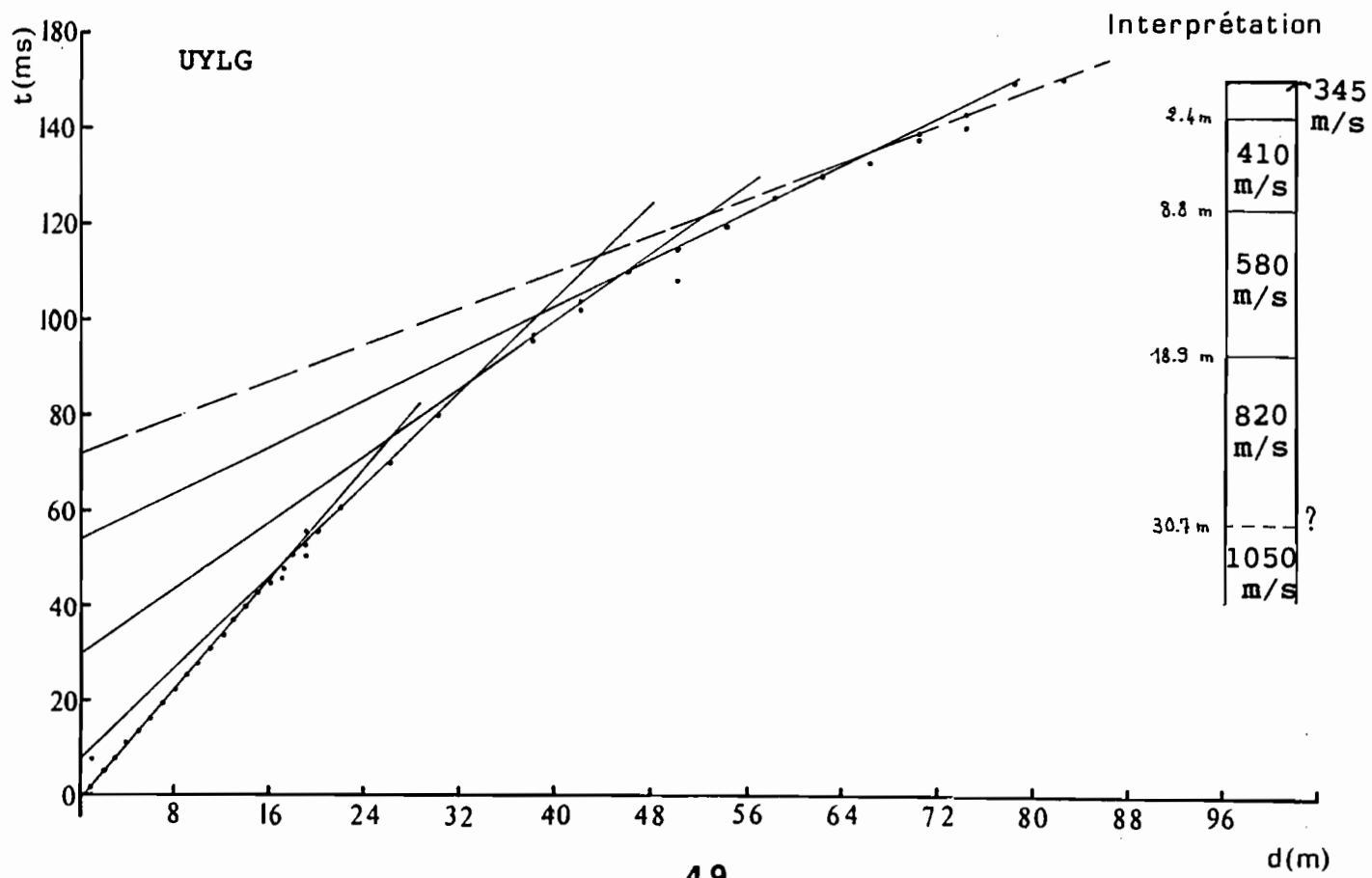
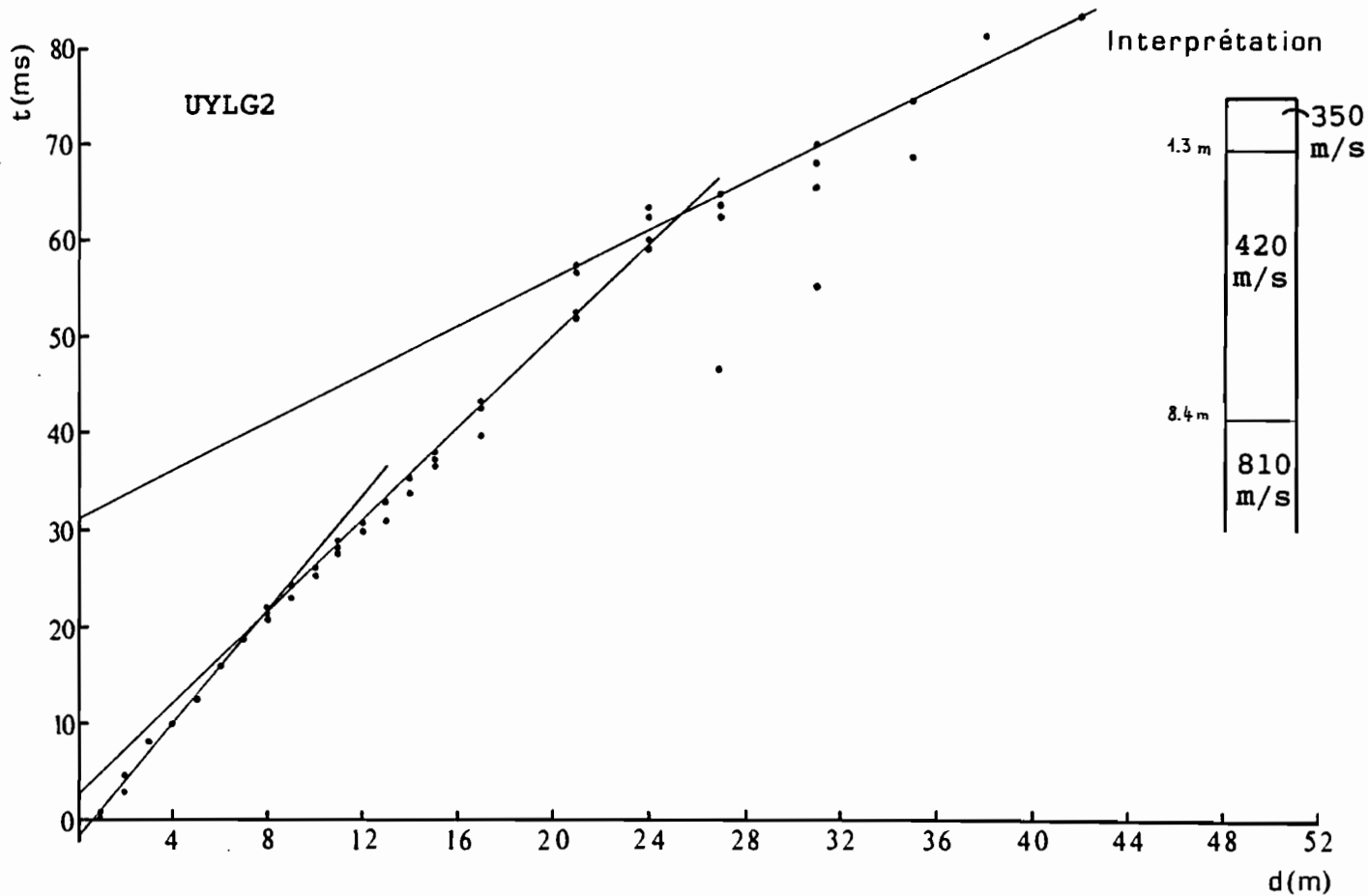
Lorsque les temps d'arrivée de plusieurs phases successives ont pu être mesurés, ceux-ci sont reportés sur le graphique.

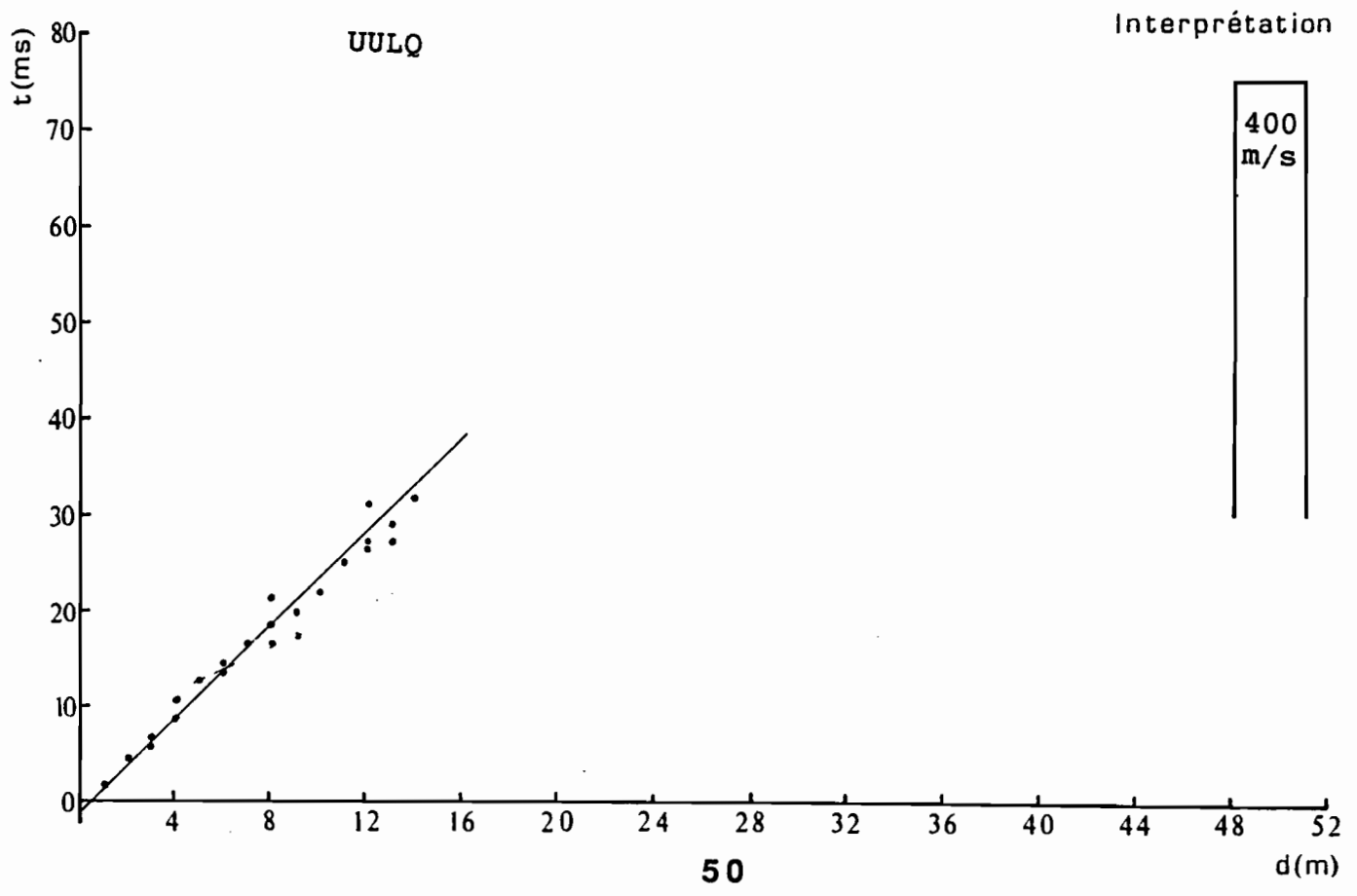
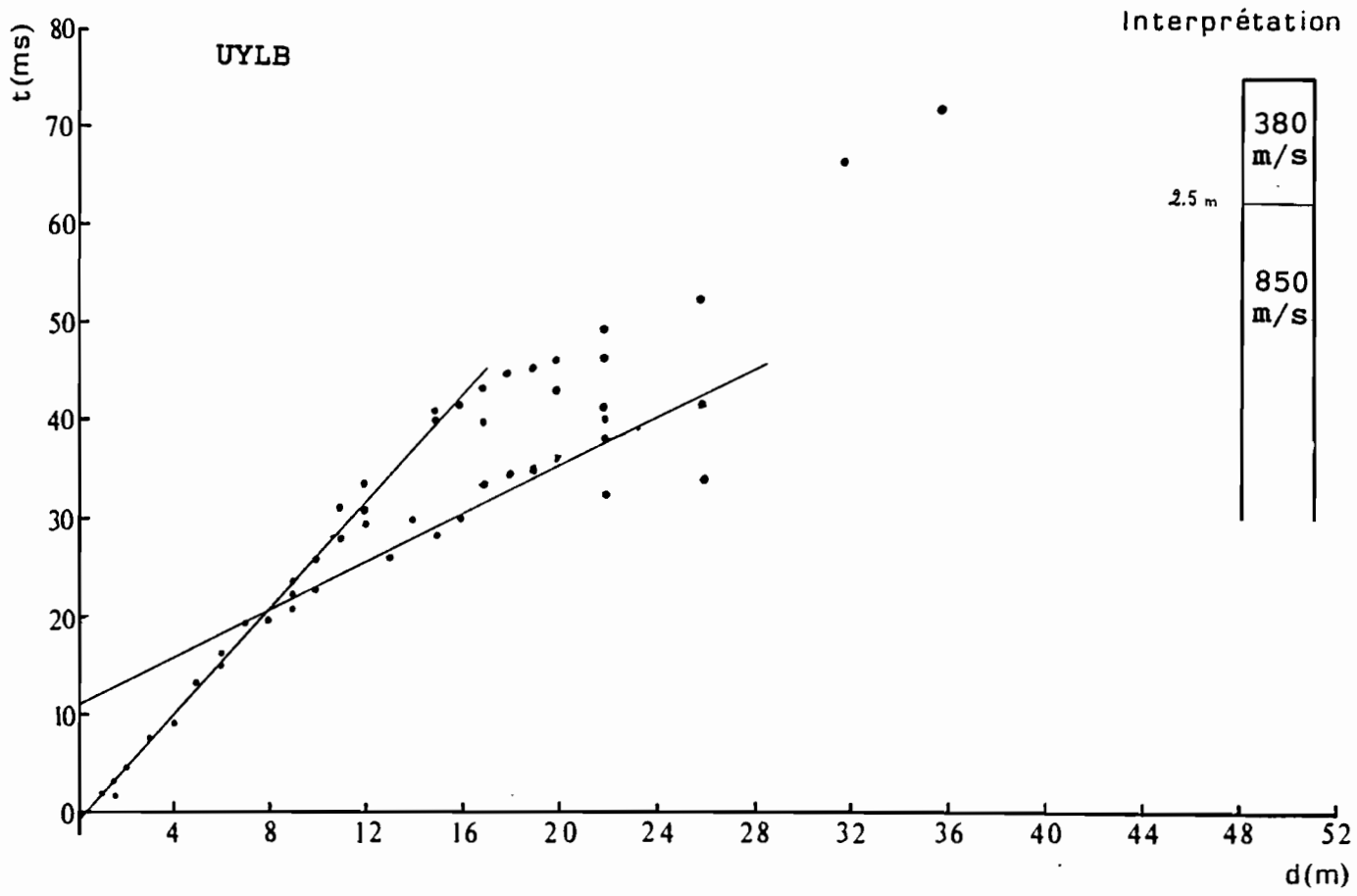
L'interprétation est représentée sous forme de log en haut à droite de la dromochronique:

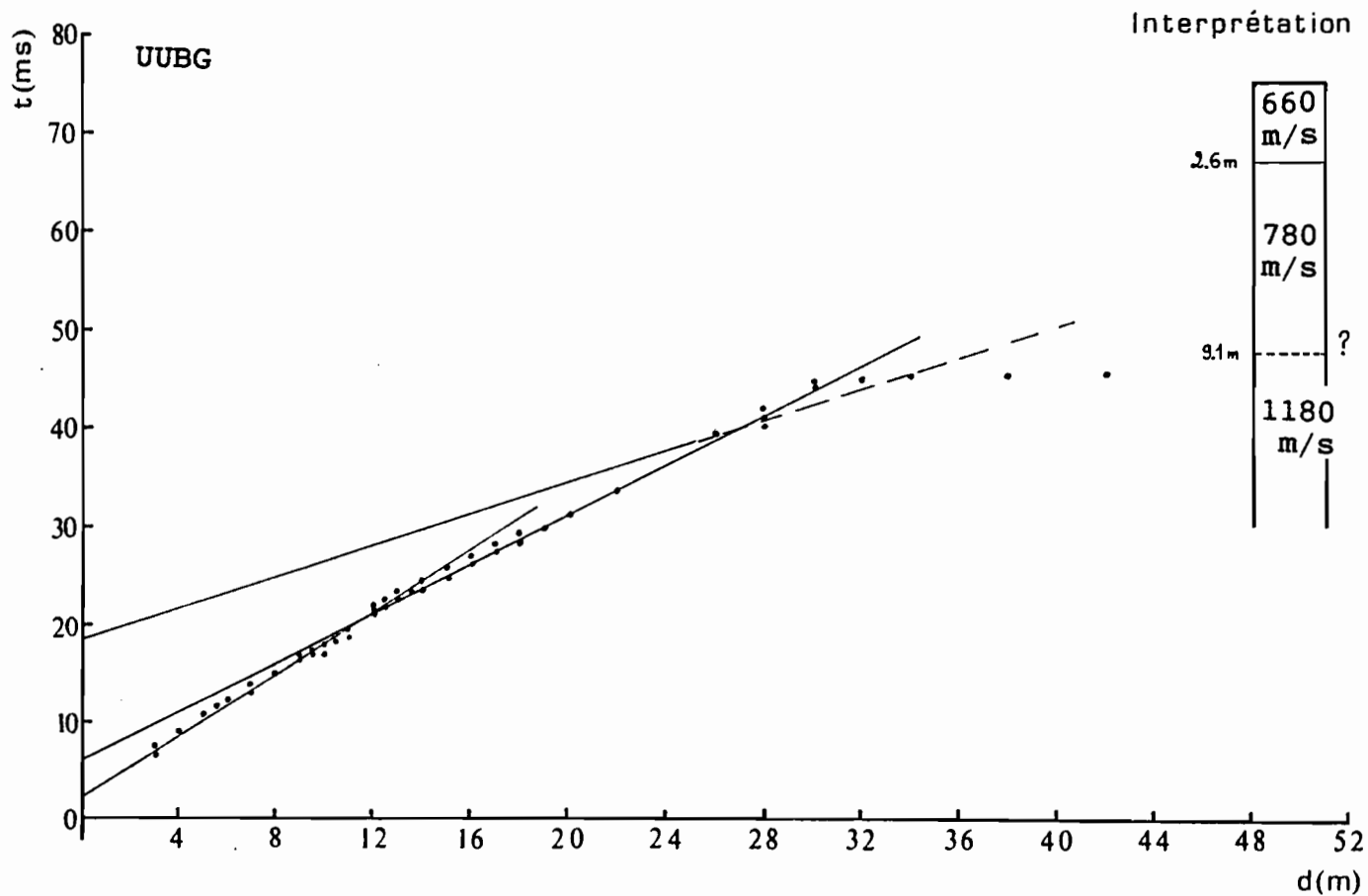
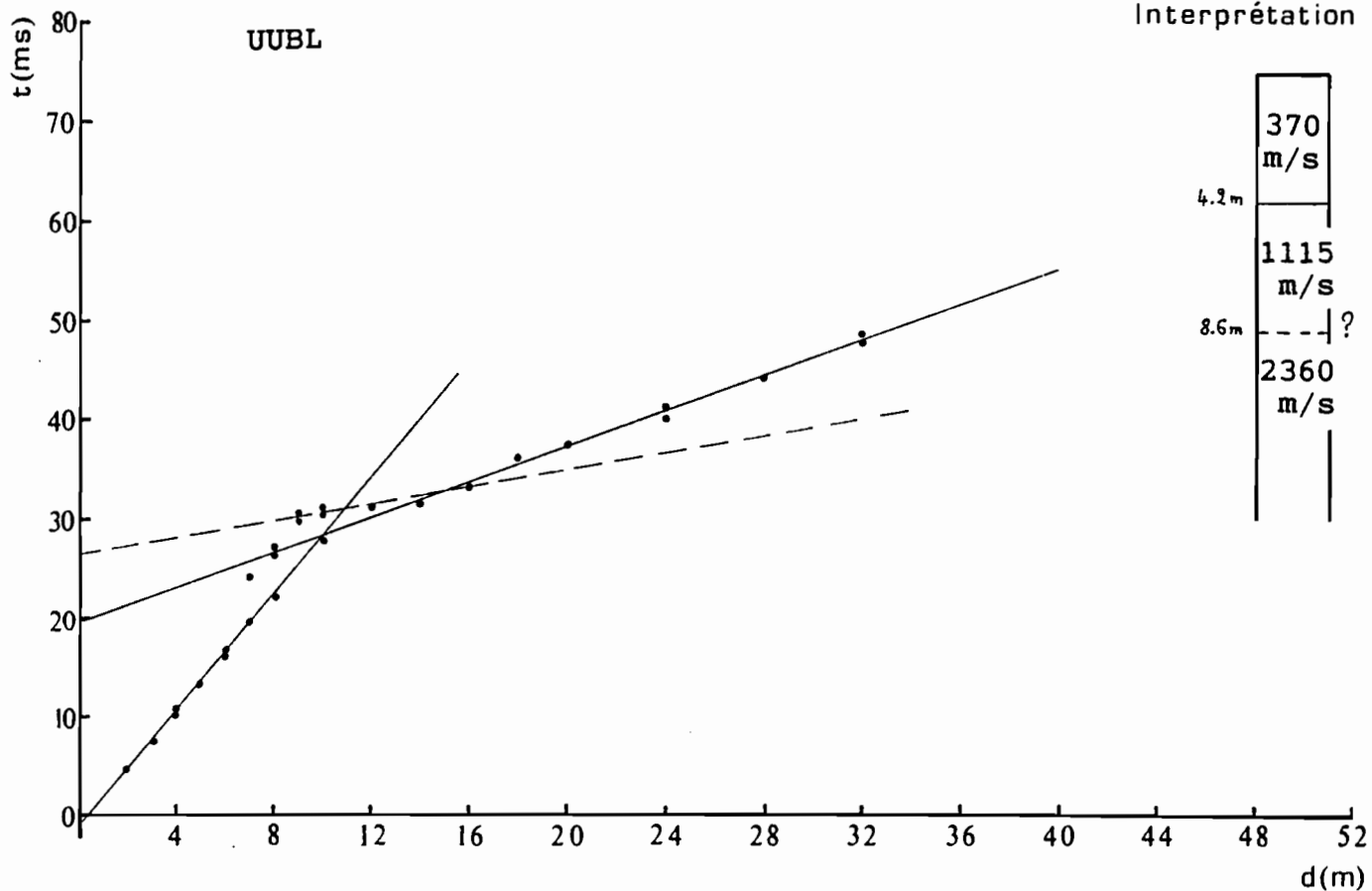
Les vitesses sismiques correspondent à l'inverse des pentes des droites tracées sur le graphique.

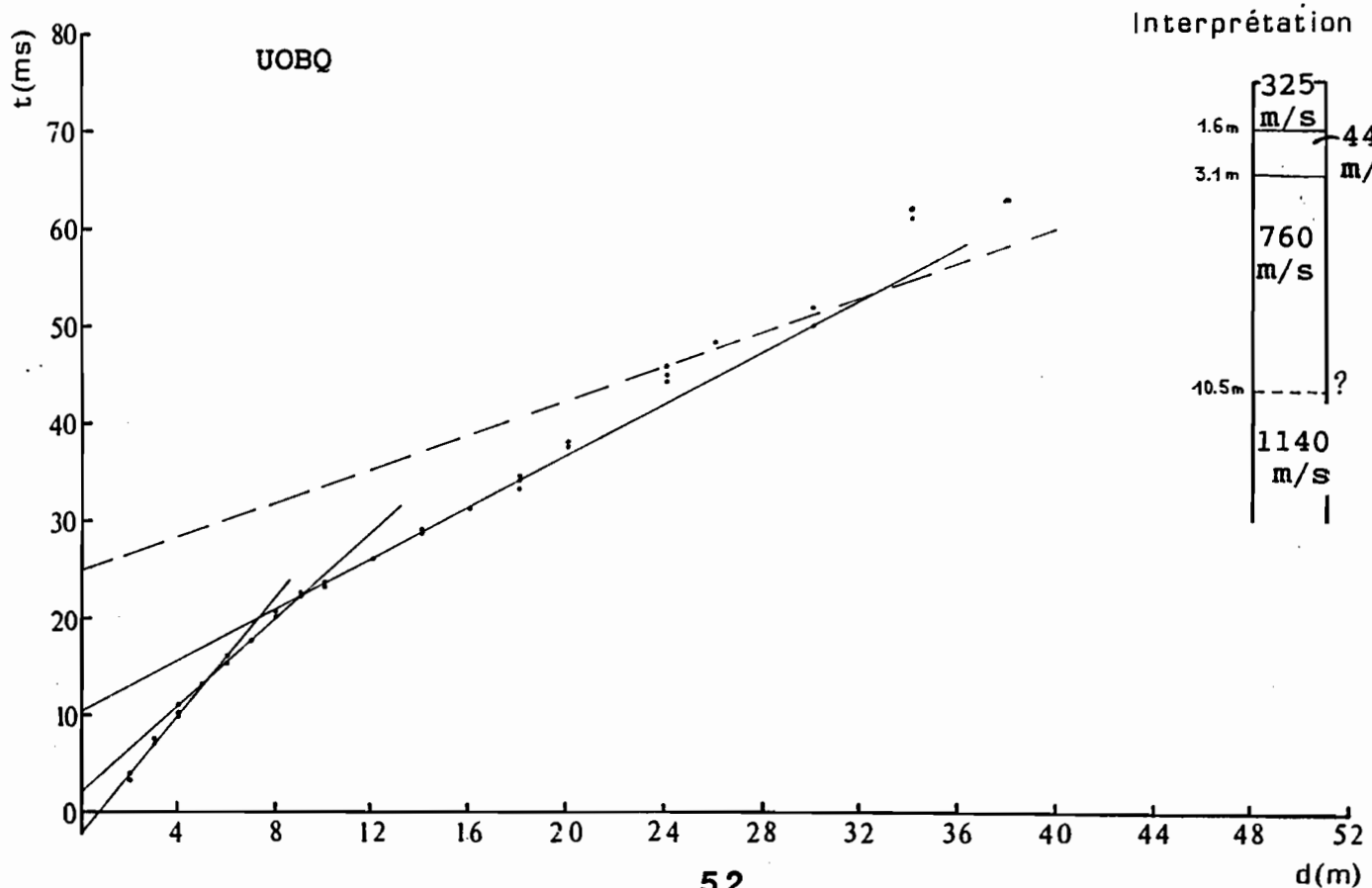
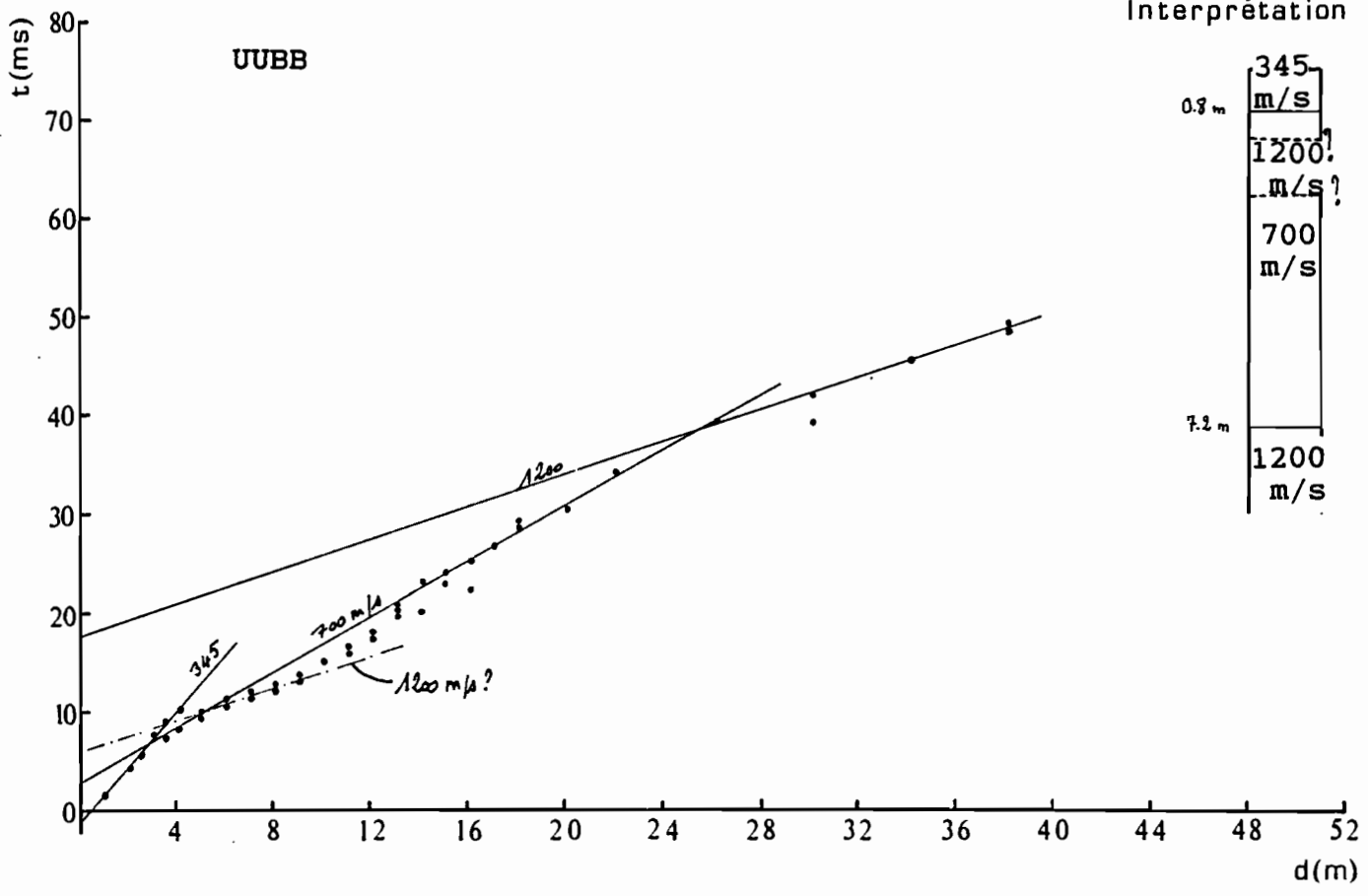
Les profondeurs des interfaces sont calculées à partir de "l'intercept time", qui est l'intersection de ces droites avec l'axe des ordonnées (cf chapitre 3.1).

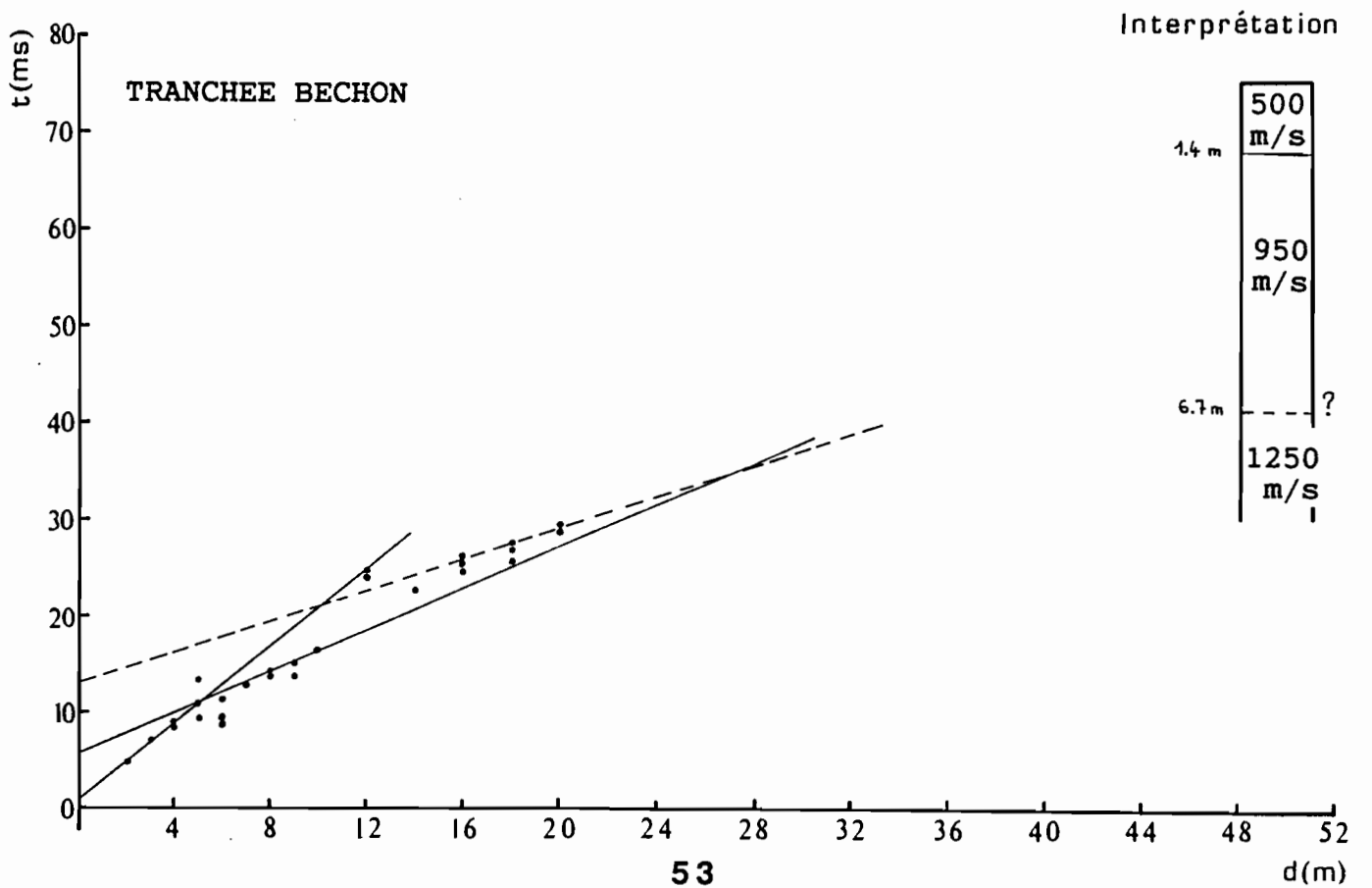
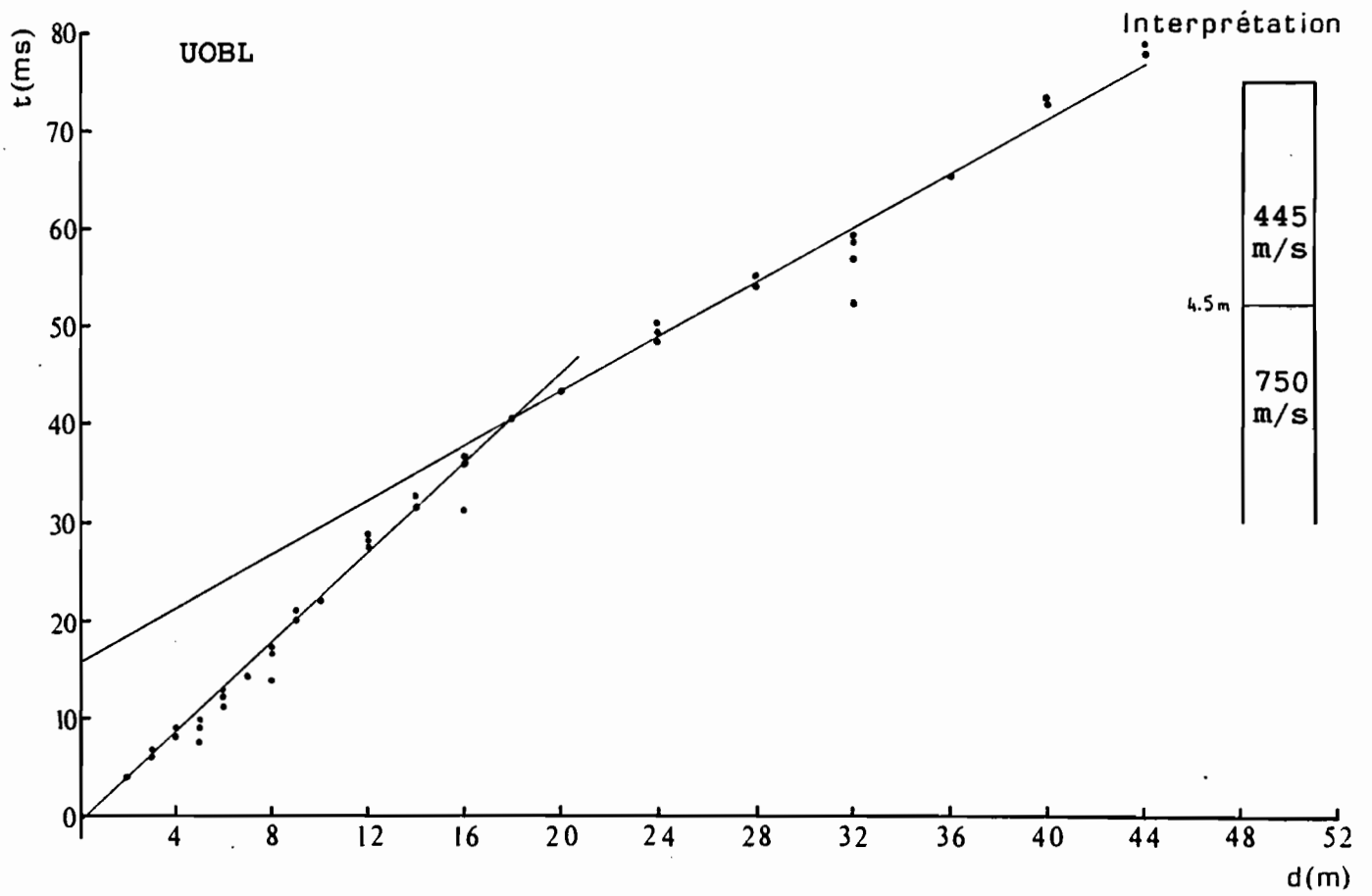


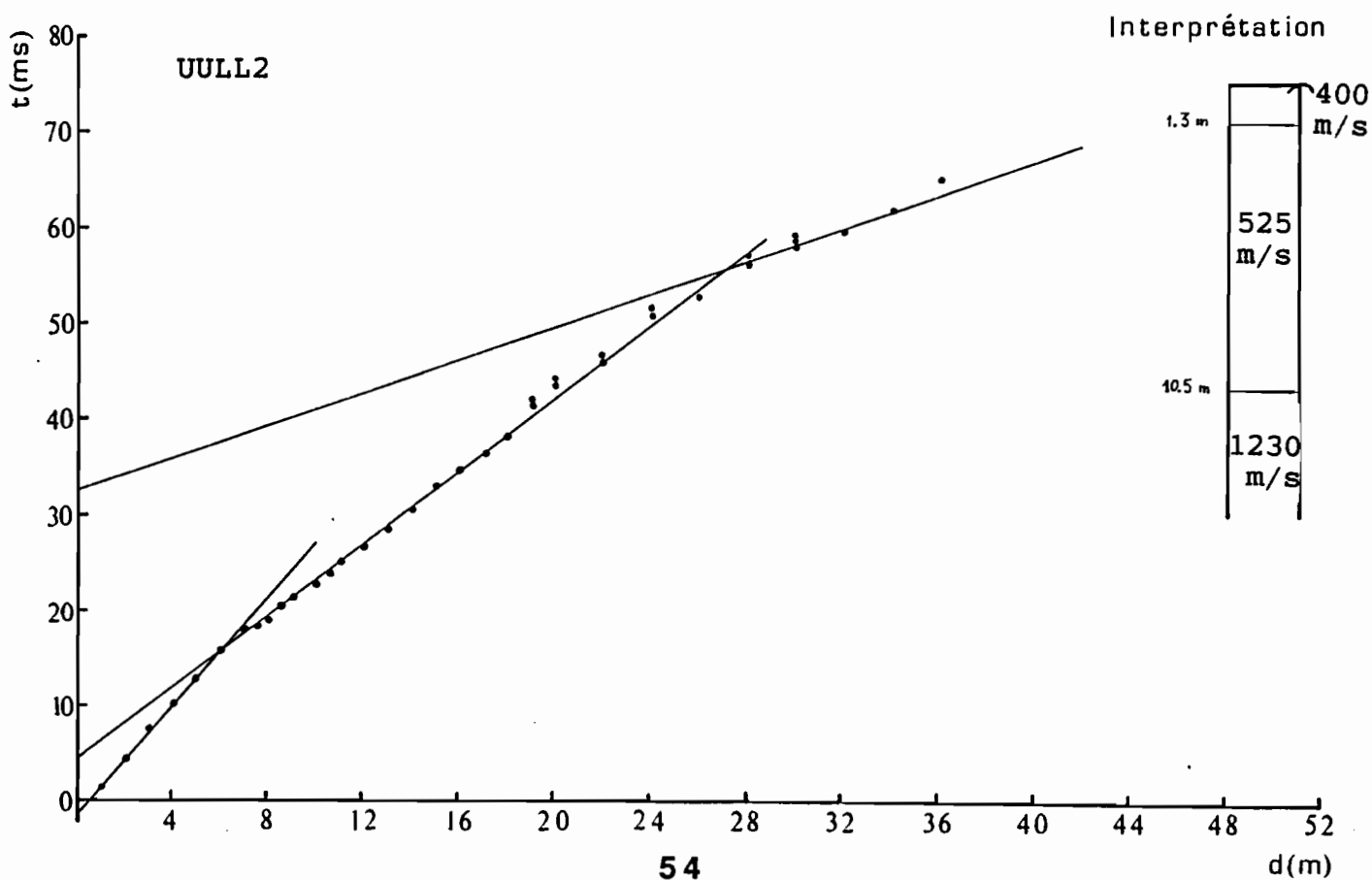
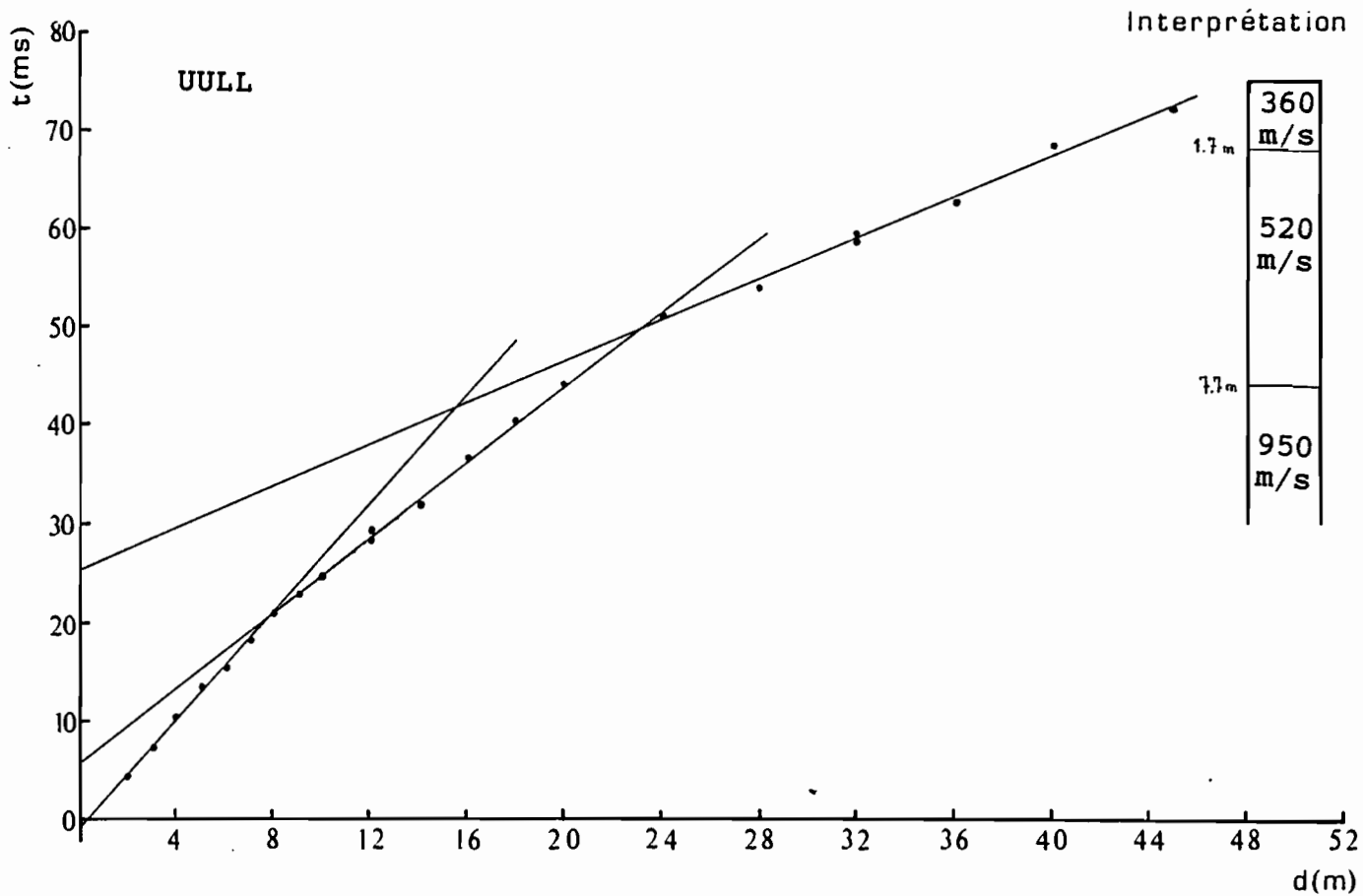


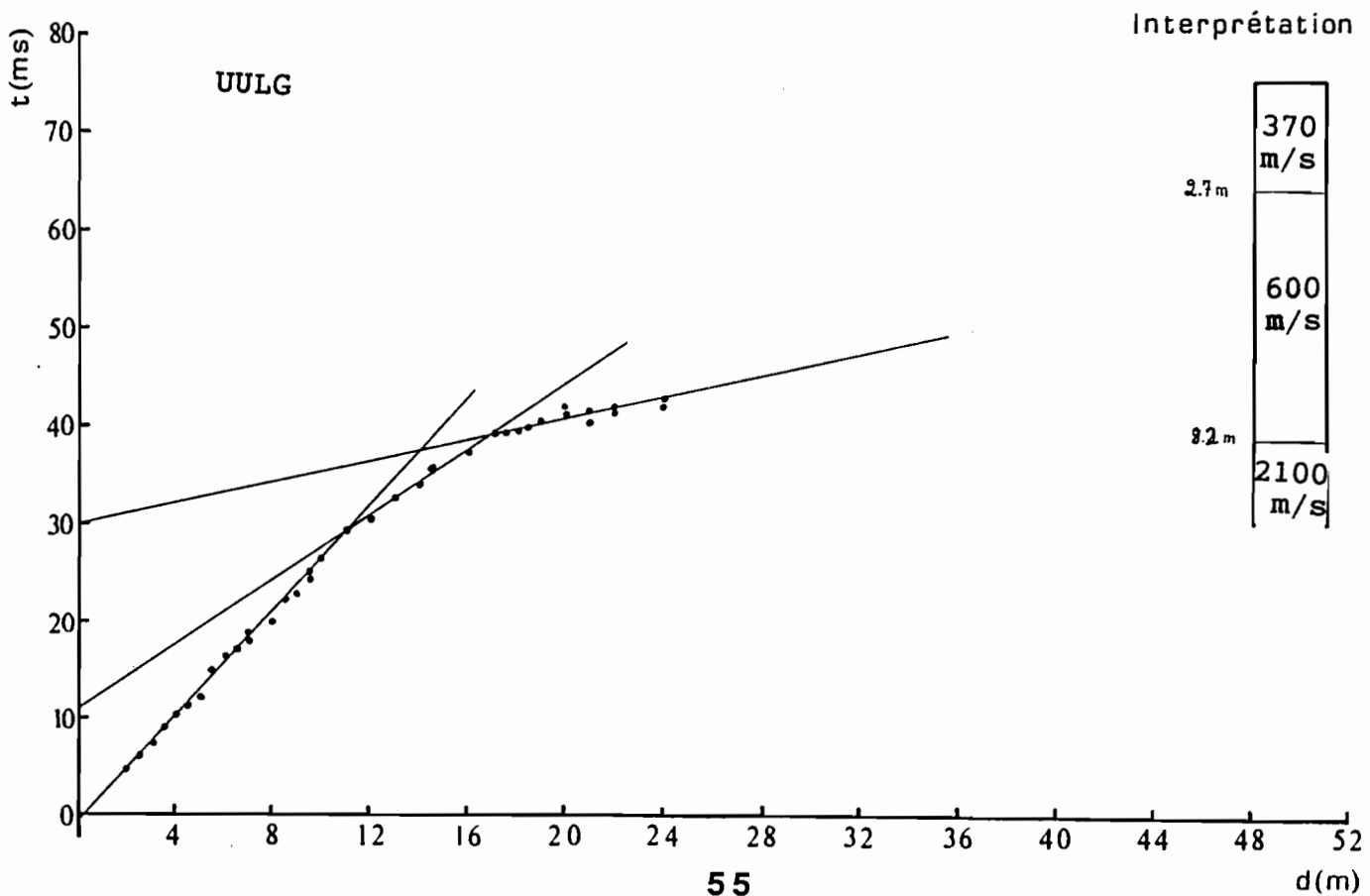
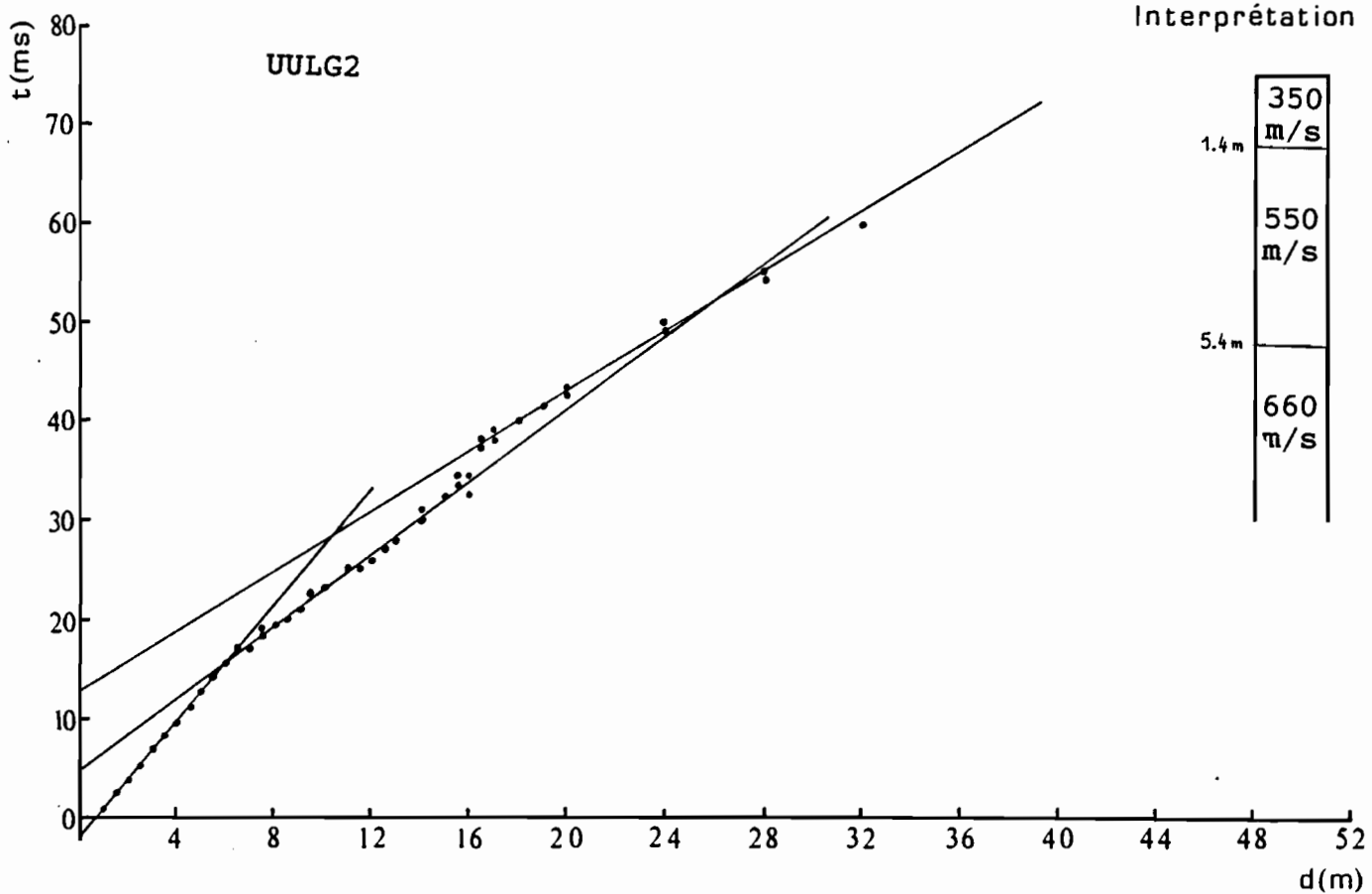


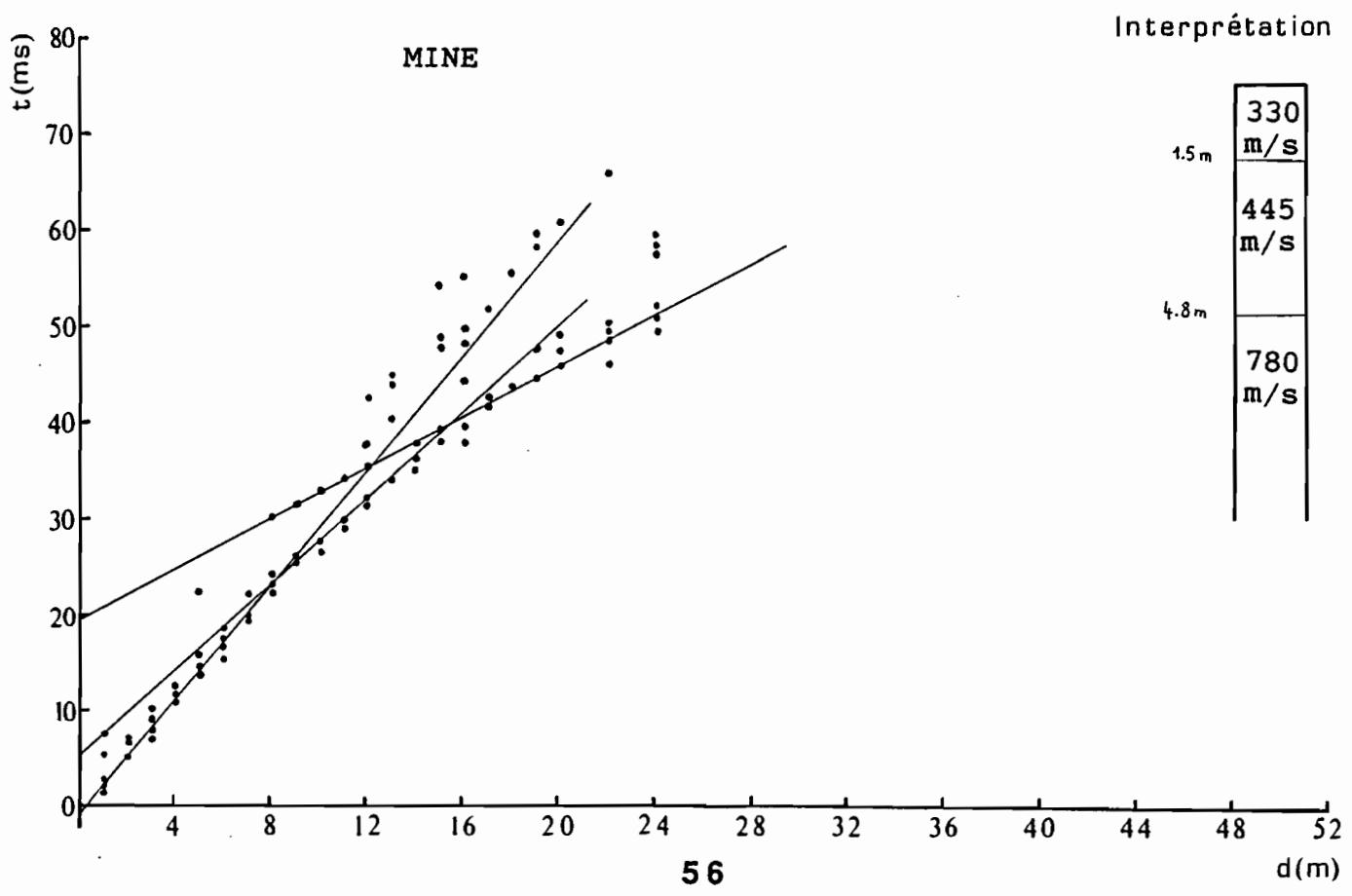
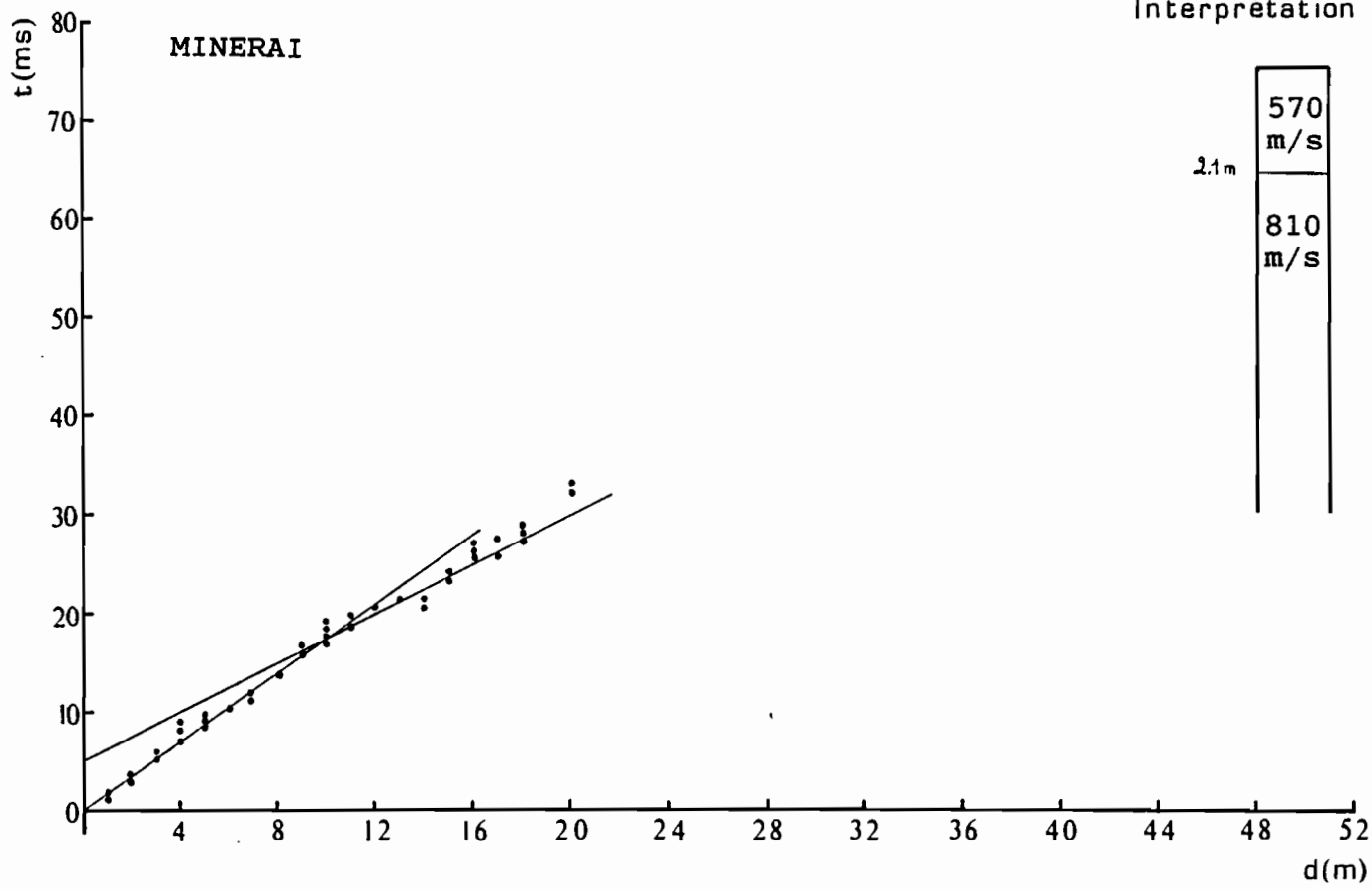












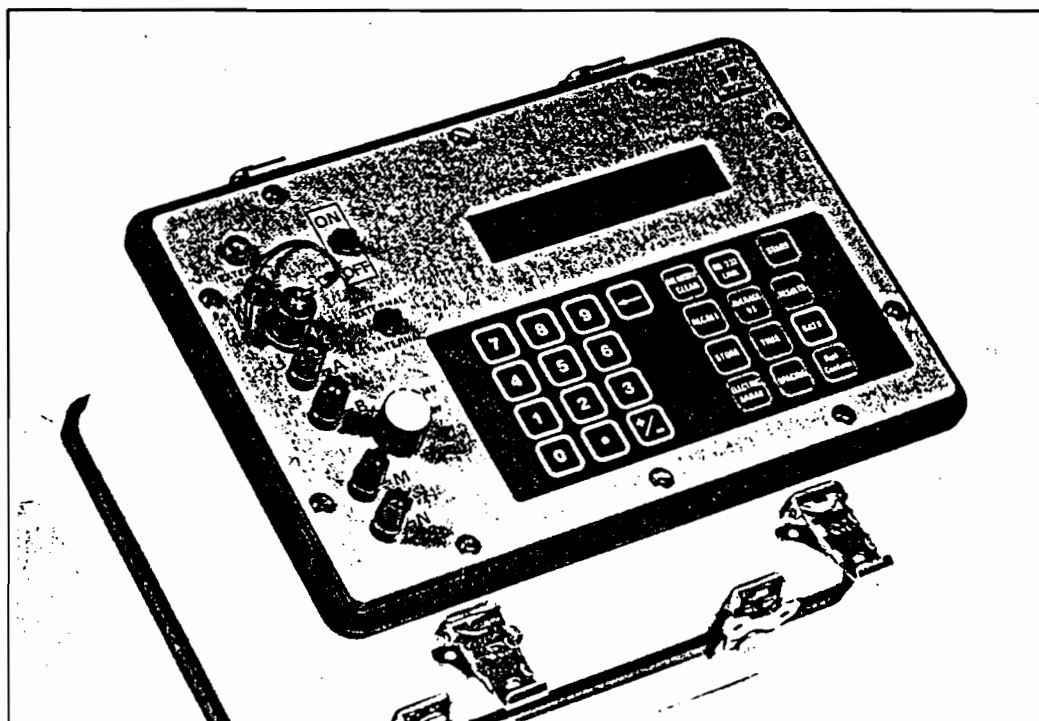
ANNEXE 4

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES APPAREILS

RESISTIVIMETRE, BRGM "SYSCAL R1".

MAGNETOMETRE A PROTON, GEM SYSTEMS INC. "GSM - 19".

SISMOGRAPHE A SOMMATION DE SIGNAUX, "MOD. LCM - 4".



SYSCAL R1

Résistivimètre
pour le Génie Civil et l'Hydrogéologie

SPECIFICATIONS

PARAMETRES MESURES :

- . Mesure et affichage du courant injecté, de la tension mesurée, de la Polarisation Spontanée.
- . Accumulation des mesures, affichage du nombre de cycles.
- . Calcul et affichage de la résistivité apparente.
- . Stockage numérique des données (capacité = 800 points).
- . Liaison série pour transfert des données à une imprimante ou un ordinateur.

SPECIFICATIONS DE LA PARTIE EMETTEUR :

- * Puissance maximale : 40 w.
- * Tension et intensité maximales :
 - 55 V, 720 mA
 - 110 V, 360 mA
 - 220 V, 180 mA
- * Intensité :
 - résolution : 100 μ A
 - Précision : typ. 0.3 %, max 1 % de -20 °C à +50 °C pour un temps d'injection de 2000 ms.
- * Forme d'onde carrée (+,-), avec choix de la durée d'injection (250, 500, 1000, 2000ms).
- * Source d'alimentation interne : douze piles de 1.5V (taille D) ou accumulateurs rechargeables.
- * Une batterie externe (10 à 30V) peut être connectée au SYSCAL R1.
- * La tension de la source d'alimentation (interne ou externe) peut être appliquée aux électrodes d'émission.
- * Un signal sonore signale lorsque la source (interne ou externe) doit être changée.
- * Un disjoncteur thermique coupe l'injection de courant si la température devient trop importante.

SPECIFICATIONS DE LA PARTIE RECEPTEUR.

- * Impédance d'entrée : 1 megaohm.
- * Protection contre les surtensions d'entrée.
- * Gamme de tension d'entrée : 0 à 4 V.
- * Compensation automatique de PS (-1V à +1V) avec correction de dérive linéaire jusqu'à 1 mV/s.
- * Filtrage des fréquences secteur 50 et 60Hz meilleur que 80 dB.
- * Tension
résolution : 10 μ V
précision : typ. 0.3 %, max 1 % de -20 °C à +50 °C pour
un temps d'injection de 2000 ms.
- * Un mode récepteur seul est disponible, en option, pour pouvoir utiliser l'appareil avec un émetteur plus puissant.

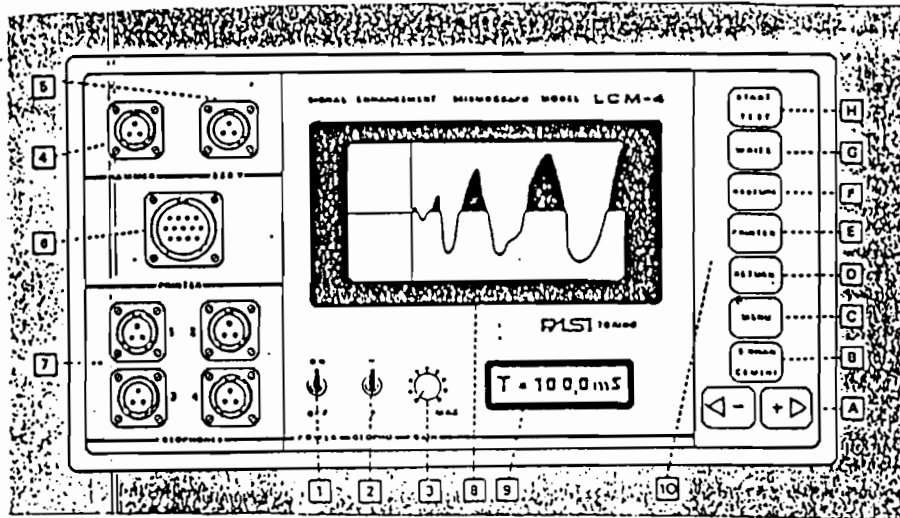
SPECIFICATIONS GENERALES.

- * Boîtier étanche au ruissellement.
- * Dimensions : 31 x 22 x 28 cm
- * Poids : 7,2 kg sans piles ; 9,5 kg maximum avec piles.
- * Température de fonctionnement : -20 °C à +50 °C.
- * Température de stockage : -40 °C à +80 °C.
- * Alimentation de la partie électronique :
six piles de 1.5 V (taille D) ou accumulateurs rechargeables. Un test des piles est effectué par l'appareil.
- * Alimentation de la partie puissance : source interne ou externe (voir spécification Emetteur).

INSTRUMENT SPECIFICATIONS

Magnetometer/Gradiometer

Resolution:	0.01 nT (gamma), magnetic field and gradient
Accuracy:	0.2 nT over operating range
Range:	18,000 to 150,000 nT, 80 overlapping steps automatic tuning, requiring initial set-up.
Gradient Tolerance:	Over 10,000 nT/meter
Operating interval:	3 seconds minimum, faster optional. Readings initiated by keyboard depression, external trigger or F, or carriage return via RS-232-C.
Input/Output:	6 pin weatherproof connector, RS-232C, and (optional) analog output.
Power Requirements:	12v 200 mA peak (during polarization), 30 mA standby. 400mA peak in gradiometer mode.
Power Source:	Internal 12v, 1.9 Ah sealed lead-acid battery standard, others optional. An External 12V power source can also be used.
Battery Charger:	Input: 110/220 VAC, 50/60 Hz and/or 12VDC (optional). Output: 12V dual level charging.
Operating Ranges:	Temperature: -40 °C to +60 °C. Battery Voltage: 10.0 V minimum to 15V maximum. Humidity: up to 90% relative, non condensing.
Storage Temperature:	-50°C to +65°C
Dimensions:	Console: 223 x 69 x 240mm Sensor staff: 4 x 450mm sections Sensor: 170 x 71mm dia Weight: Console 2.1 kg, Staff 0.9kg, Sensors 1.1kg each.



SISMOGRAPHE A INCREMENTATION DE SIGNAL

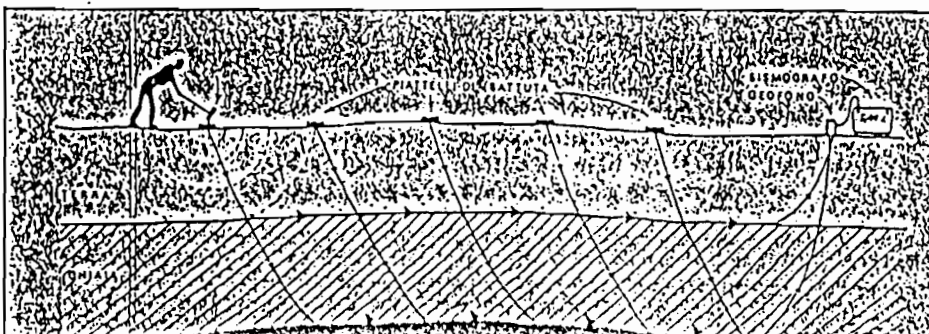
I DESCRIPTION DE L'APPAREIL

1. Interrupteur d'alimentation
2. Interrupteur de changement de polarité du géophone
3. Potentiomètre de gain du géophone
4. Connecteur du câble du marteau
5. Connecteur du câble de charge (220 V)
6. Connecteur de sortie imprimante
7. Connecteur des géophones selectionables par touches
8. Ecran de visualisation du signal, du curseur avec indication du canal et de la base de temps utilisée
9. Affichage du temps et des diverses fonctions
10. Bloc de commande

II DESCRIPTION DES TOUCHES DE COMMANDES

- A. Touche -/+
- de positionnement du curseur lorsque en (9): CHANNEL N.
 - d'imposition du retard - (9): DELAY
 - de selection de la base de temps écran (9): RECORD **
 - de déplacement du curseur (9): T= mS
- B. Touche de sommation du signal (ENHANCEMENT)
- C. Touche d'entrée des diverses fonctione (MENU), (9): Channel, Delay, Record
- D. Touche de retour à la fonction temps (RETURN), (9): T=
- E. Touche de commande du transfert des donnees sur imprimante PRINTER
- F. Touche de rappel des mémoires des canaux RESTORE
- G. Touche de prédisposition de l'instrument à la mesure WRITE
- H. Touche de commande d'enregistrement du bruit de fond START TEST

BASE DE TEMPS: 25 50 100 200 400 800 1600 mS
 CODE ECRAN: 1 2 3 4 5 6 7



RAPPORT DE FIN D'ETUDE

REFERENCE : RAP /CONF. 001/92/CSPT

TITRE: Etude des niveaux d'induration du recouvrement du gisement de phosphate de Tobène (CSPT) : Méthodes Géologiques et Géophysiques (Sondages électriques, Sismique - Réfraction légère, Magnétisme au sol).

Le contenu du rapport cité en référence donne les résultats de l'exécution de la commande 40 DSP- 36549 du 17/08/92 de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba (CSPT) à l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université Ch. A. Diop de Dakar, portant objet: Mise en oeuvre des méthodes géophysiques (sismique réfraction, électrique et magnétisme dans le panneau de Tobène). La réalisation du travail a été faite par l'Institut des Sciences en collaboration avec le Département de Géophysique de l'ORSTOM de Dakar.

Ce Rapport est soumis sous la forme de deux volumes .

VOLUME I : RAPPORT, renferme les différents résultats d'interprétations et les conclusions générales de l'étude sur le recouvrement des phosphates sédimentaires de Tobène par les méthodes géologiques et géophysiques. Quelques recommandations pour accéder à une meilleure connaissance du gisement sont également donnés dans ce volume I.

VOLUME II: ANNEXES, renferme les annexes géologiques (coupes géologiques, descriptions et logs des sondages, courbes granulométriques) et géophysiques (courbes interprétées des sondages électriques, dromochroniques interprétées des essais sismiques et caractéristiques techniques des appareils).

Fait à Dakar le 08/09/92

Mr. Abdoulaye DIA

Directeur de l'IST

