

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES
INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE

INSTITUT FRANCAIS DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION (ORSTOM) •
CENTRE EXPERIMENTAL DE RECHERCHE
ET D'ETUDE POUR L'EQUIPEMENT (CEREEQ)



N° d'ordre 0029/IST / 1991

MEMOIRE

présenté pour obtenir le grade

d'INGÉNIEUR - GÉOLOGUE DE CONCEPTION

par

Tamsir NDIAYE

MISE EN ŒUVRE DE METHODES GEOPHYSIQUES POUR LA PROSPECTION DE GRAVELEUX LATERITIQUES

soutenu le 21 décembre 1991 devant la commission d'Examen composée de :

MM.	O.	DIA	Président
	J.P.	MOURGUES	Rapporteur
	I.	BAGUIDI	Rapporteur
	M.	MAURICE	Examineur
	A.	DIA	Examineur
	M.	RITZ	Examineur

AVANT PROPOS

Ce mémoire que nous présentons a été réalisé dans les laboratoires de l'ORSTOM et du CEREEQ.

Le but de ce travail était d'expérimenter les méthodes de prospection géophysique pour la recherche de graveleux latéritiques au Sénégal.

Dans un souci de livrer une information assez complète, nous avons abordé l'utilisation de ce matériau dans les techniques routières.

En entreprenant ce travail, nous n'ignorions pas les difficultés qui pourraient se dresser à nous. Mais une première étude expérimentale surtout dans le domaine exploré, fourmille souvent d'embûches.

La réalisation de ce travail n'a été possible que grâce à l'attention de nombreuses personnes qui ont bien voulu nous apporter leur aide, leurs conseils et auxquelles nous tenons à exprimer ici notre très sincère reconnaissance.

Il s'agit de :

Monsieur MOURGUES et de Monsieur MAURICE, pour avoir bien voulu suivre notre travail avec une attention particulière.

Monsieur Ousseynou DIA et Abdoulaye DIA, pour tout ce qu'ils ont eu à faire pour nous.

Monsieur I. GBAGUIDI, pour sa grande disponibilité.

Messieurs Magatte F.K. NIANG et à Rémi, pour avoir bien accepté de nous accompagner sur le terrain.

Nous témoignons nos remerciements à tous nos frères :

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 : Localisation géographique des sites test.
- Fig. 1a : Schéma type d'un profil d'altération latéritique.
- Fig. 2 : Dispositif quadripôle linéaire et symétrique, (AMNB)
- Fig. 3 : Distribution d'un courant à partir d'un dipôle AB.
- Fig. 4 : Morphologie des lignes de courant en fonction de l'écartement des électrodes A et B.
- Fig. 5 : Syscal R₁. Résistivimètre utilisé pour les sondages électriques.
- Fig. 6 : Profil de résistivité avec une ligne AB mobile
- Fig. 7 : Déplacement des ondes sismiques dans les terrains.
- Fig. 8 : Sismographie à incrémentation de signal.
- Fig. 9 : Hodochrones des ondes longitudinales.
- Fig. 10 : Hodochrones dans le cas de 3 terrains
- Fig. 11 : Localisation des quatre sites test par rapport aux Routes Nationales.
- Fig. 12 : Localisation des sondages effectués à SEBIKOTANE.
- Fig. 13 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectués à SEBIKOTANE.
- Fig. 14 : Localisation des sondages effectuées à NDIENE.
- Fig. 15 : Coupe réalisée sur le front de taille de la carrière de NDIENE2 côté Est.
- Fig. 16 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectués à NDIENE.
- Fig. 17 : Coupes géologiques réalisées à partir des profils sismiques effectués à NDIENE.
- Fig. 18 : Localisation de sondages effectués à Keur Ibra Niane.
- Fig. 19 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectuées à K.I.N.
- Fig. 20 : Coupe géologique réalisée à partir du sondage sismique effectué à K.I.N.
- Fig. 21 : Localisation des sondages effectués à KADAM.
- Fig. 22 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectués à KADAM.
- Fig. 23 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages sismiques effectués à KADAM.

- Fig. 24 : Mesures faites sur le front de taille de la carrière de KADAM.
- Fig. 25 : Photo prise sur le côté SW du front de taille de la carrière de KADAM montrant le banc de grès quartzique.
- Fig. 26 : Coupe géologique synthétique à KADAM réalisée à partir du front de taille de la carrière de latérite.
- Fig. 27 : "Trainés" électriques effectués à KADAM.
- Fig. 28 : Courbe ρ_a , CBR.
- Fig. 29 : Courbe V, CBR.
- Fig. 30 : Courbe C, Wopt.
- Fig. 31 : Courbe V, Ip.

LISTE DES ABREVIATIONS

ρ_a	= Résistivité apparente
V	= Vitesse des ondes sismiques
CBR	= Californian Bearing Ratio (indice portant Californien)
W	= Teneur en eau
Wopt	= Teneur en eau optimum
γ_d	= Poids spécifique du graveleux sec
γ_h	= Poids spécifique du graveleux humide
Pw	= Poids de l'eau dans le graveleux
Ps	= Poids des grains solides du graveleux
Wp	= Limite de plasticité
WL	= Limite de liquidité
Ip	= Indice de plasticité
OPM	= Optimum Proctor Modifié
$\Omega.m$	= Ohm - mètre
Tr	= Onde réfléchie
Td	= Onde directe
Tc	= Onde cônica
T. SCHL	= "Traîné" Schlumberger
T.wen	= "Traîné" Wenner
RN	= Route Nationale
CEREEQ	= Centre Expérimental de Recherche pour l'Équipement
I.S.T.	= Institut des Sciences de la Terre
K.I.N.	= Keur Ibra NIANE

TABLE DES MATIERES

A - INTRODUCTION.....

B - PREMIERE PARTIE : APPROCHE THEORIQUE DU PHENOMENE DE LATERISATION

- 1.- Nomenclature des matériaux latéritiques.....
- 2.- Mécanismes de formation des latérites.....
 - 2.1.- Altération des roches et latéritisation.....
 - 2.1.1.- Décomposition des matériaux primaires.....
 - 2.1.2.- Latéritisation.....
 - 2.1.3.- Induration.....
- 3.- Classification des latérites.....
 - 3.1.- Les cuirasses latéritiques.....
 - 3.2.- Les latérites graveleuses.....
 - 3.3.- Les argiles latéritiques.....

C - DEUXIEME PARTIE : PRINCIPE DES METHODES DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE ET EXPLOITATION DES RESULTATS DES CAMPAGNES DE SONDAGE

- 1.- Généralités.....
 - 1.1.- Principe des mesures électriques.....
 - 1.2.- Les sondages électriques.....
 - 1.3.- Le "Trainé" électrique.....
 - 1.4.- Principe de la sismique réfraction.....
- 2.- Exploitation des données de terrain pour chaque site.....
 - 2.1.- Site de Sébikotane.....
 - 2.2.- Site de Ndiène.....
 - 2.3.- Site de Keur Ibra Niane (K.I.N.).....
 - 2.4.- Site de Kadam.....

3.- Définition d'une échelle de résistivité et de vitesse sismique pour les latérites étudiées.....

3.1.- Echelle de résistivité apparente des graveaux latéritiques.....

3.2.- Echelle de la vitesse sismique à travers les graveaux latéritiques.....

4.- Méthodes proposées pour une campagne de prospection géophysique.....

5.- Précision, limites et rendement des méthodes géophysiques de prospection géotechnique.....

5.1.- Sondage électrique.....

5.2.- Sismique réfraction

D - TROISIEME PARTIE : PROPRIETES GEOTECHNIQUES ET UTILISATION DES GRAVEAUX LATERITIQUES EN TECHNIQUES ROUTIERES

1.- Détermination des propriétés géotechniques des graveaux latéritiques.....

1.1.- Définition des paramètres physiques des graveaux et principe des essais d'identification.....

1.1.1.- La teneur en eau ($W\%$).....

1.1.2.- Poids spécifique du graveau sec.....

1.1.3.- Analyse granulométrique.....

1.1.4.- Les limites d'Atterberg.....

1.1.4.1.- Limite de plasticité (W_p).....

1.1.4.2.- Limite de liquidité (W_L).....

1.1.4.3.- Indice de plasticité (I_p).....

1.2.- Essai de comportement réalisé : essai CBR.....

2.- L'utilisation des graveaux latéritiques en technique routière

E - QUATRIEME PARTIE : ESSAI DE CORRELATION ENTRE LES PARAMETRES GEOTECHNIQUES ET GEOPHYSIQUES DES GRAVELEUX ETUDIES

- 1.- Commentaires des différentes courbes de corrélation.....
 - 1.1.- Courbe (ρ_a , CBR).....
 - 1.2.- Courbe (V, CBR).....
 - 1.3.- Courbe (V, W_{opt}).....
 - 1.4.- Courbe (V, I_p).....

F - Conclusion générale.....

G - Bibliographie.....

Annexes

Tableaux des mesures et courbes des sondages électriques
réalisés.....

Tableaux des mesures et des hodochrones des profils sismiques
effectués.....

INTRODUCTION

Dans les pays tropicaux comme le Sénégal, la latérite est en général disponible en abondance, mais dans bien des cas, sa répartition géographique sur le plan quantitatif est parfois qualitatif, n'est toujours pas adéquatement bien assurée.

Les situations sont courantes où l'accès aux gisements de latérite affleurant de qualité suffisante pour une utilisation en technique routière impose des distances de transfert déraisonnables.

Si l'on sait par ailleurs l'importance du transport sur le coût global des projets d'infrastructures routières, il peut s'avérer intéressant de faire recours à une prospection dans l'environnement immédiat du site à pourvoir.

Au Sénégal, la latéritisation marque la fin du continental terminal (vers la fin du pliocène).

La cuirasse ferrugineuse ainsi formée affleure largement à certains endroits.

Dans les autres parties du pays, elle est souvent couverte par une couche de sable plus ou moins épaisse.

Ainsi pour l'ouverture de carrières, on est souvent obligé de procéder à une campagne de prospection.

Jusqu'à présent, seule la méthode des puits a été utilisée au Sénégal dans la recherche des graveleux latéritiques.

Ce présent travail est axé sur la mise en oeuvre de méthodes géophysiques pour la prospection de matériaux routiers ; il s'agit essentiellement de :

- la méthode sismique légère (marteau) ;
- la méthode électrique (résistivité).

Il se compose de quatre grande parties :

- la première partie est consacrée au phénomène de latéritisation ;
- la deuxième partie concerne la présentation des résultats expérimentaux et leur interprétation ;
- la troisième partie porte sur l'utilisation des graveleux latéritiques en technique routière ;
- enfin la quatrième partie est un essai de corrélation entre les paramètres géotechniques et géophysiques des graveleux latéritiques étudiés.

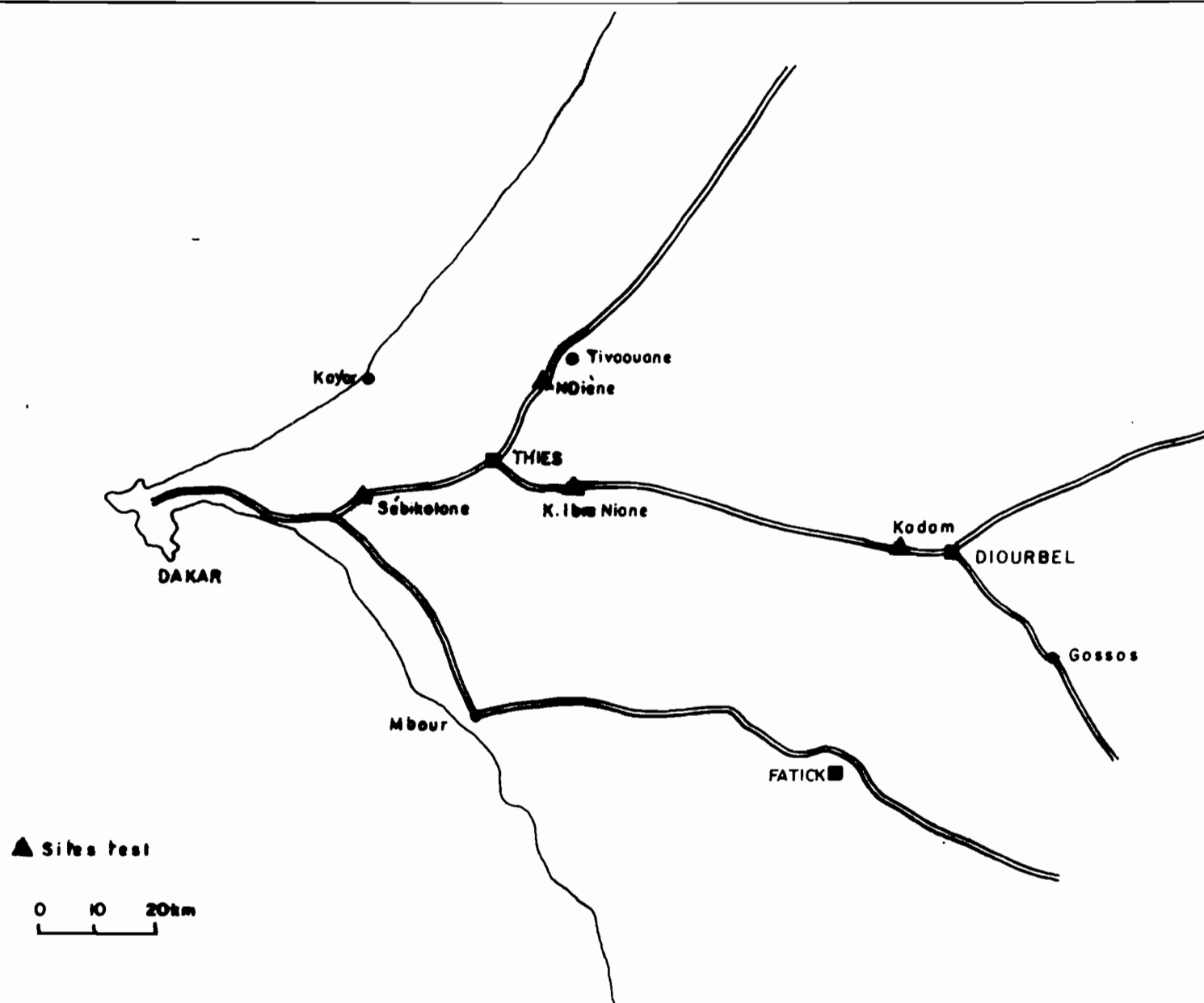


Fig. 1 : Localisation géographique des sites test.

PREMIERE PARTIE

**APPROCHE THEORIQUE DU
PHENOMENE DE LATERISATION**

1.- Nomenclature des Matériaux Latéritiques

Malgré l'abondante littérature sur les latérites, il n'existe pas une terminologie standard pour les décrire.

Les nombreuses tentatives de classifications ont connu des succès variables et surtout très localisés, tout simplement parce que les différents intervenants sont mus par des intérêts souvent très éloignés les uns des autres.

La grande diversité de définitions provient en partie du fait que les sols latéritiques ne s'apparentent pas à un type exclusif de roche mère, une époque géologique bien spécifique, encore moins à un mode de formation unique (Maignien, 1966).

Les conditions physico-chimiques tout au long du processus de formation ont une influence considérable sur la nature du produit final et, très souvent, elles sont hélas mal connues.

Le mot latérites qui vient étymologiquement du latin "later" signifiant brique fut pour la première fois introduit dans le langage scientifique en 1807 par un ingénieur anglais du nom de Buchanan pour désigner un matériau qu'à l'époque les Hindous utilisaient en construction immobilière (Gidigasu 1976).

Ce matériau était de nature ferrugineuse à structure poreuse mais surtout ayant la propriété de durcir lorsqu'il est exposé à l'air libre.

L'auteur a alors formulé une définition des latérites exclusivement basée sur cette propriété. Cette première approche qui avait un contenu essentiellement physique a fait autorité pendant une courte période pour être par la suite controversée et devoir céder le pas à d'autres fondées sur des caractéristiques morphologiques, chimiques ou minéralogiques.

Cette nouvelle orientation se consolidait au fil du temps, au fur et à mesure que les potentialités minières offertes par le matériau se confirmaient comme source éventuelle de minerais bauxitiques, manganifères, titanifères, etc...

2.- Mécanisme de formation des sols latéritiques

La condition première pour la formation d'un sol latéritique est l'existence d'un dépôt altéré de puissance suffisante, contenant des concentrations appropriées de fer et/ou d'alumine (Maignien, 1968). Les roches ignées ou métamorphiques ayant été formées sous les conditions thermiques et de pressions considérables ont acquis un état d'énergie interne élevée qui dans certains cas, a pu se dissiper par évolution thermodynamique, ou demeurer emprisonnée dans un état métastable.

L'altération latéritique est due à des processus physico-chimiques :

- dissolution
- oxydo-réduction
- hydrolyse

Il est bon de signaler que la "kaolinite" est identifiée comme étant le minéral argileux le plus courant dans les formations latéritiques.

2.1.- Altération des roches et latérisation

On reconnait trois étapes essentiellement dans le processus de formation des latérites :

- la décomposition des minéraux primaires
- la latérisation
- l'induration

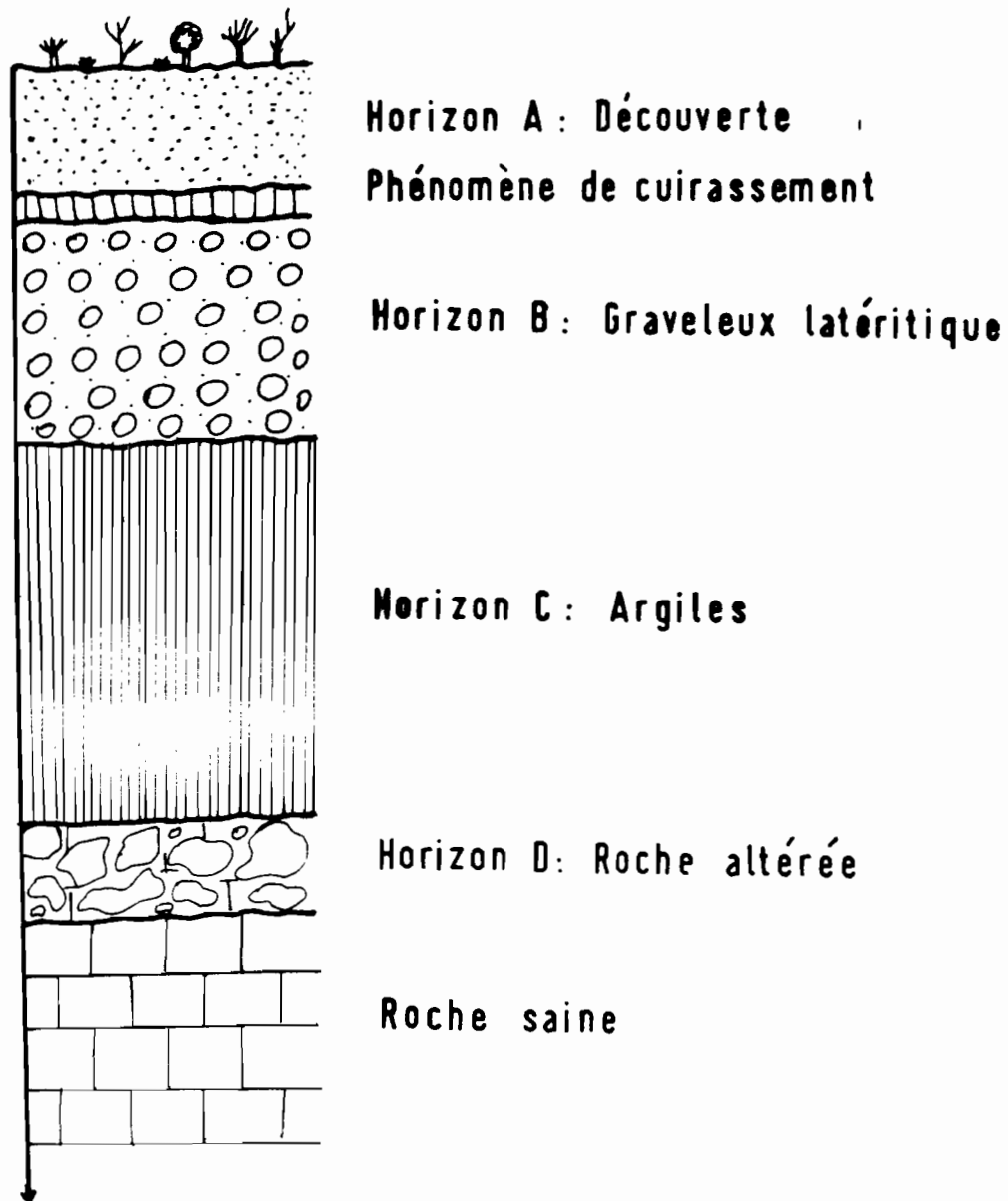


Fig:1a - Schéma type d'un profil d'altération latéritique

Précision qu'en règle générale, les feldspaths donnent des résidus riches, en alumine tandis que les ferromagnésiens tels que les pyroxènes, les amphiboles etc... donnent lieu à de riches concentrés en oxydes ferriques.

Signalons enfin que la dislocation de la structure des minéraux primaires peut aussi se réaliser par oxydation ou par carbonation.

2.1.2.- Latérisation

Le phénomène de formation des latérites se traduit par une accumulation des éléments sesquioxides (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2) contenus dans les résidus d'altération.

Cette accumulation peut se faire de façon relative (élimination des substances solubles par action de l'eau de percolation) ou absolue (les sesquioxides proviennent par migration d'une source extérieure).

Le premier mode d'accumulation affecte beaucoup plus l'alumine, même si quelque fois, elle est partiellement lessivée. Le deuxième mode lui, s'applique plutôt au fer.

Dans un cas comme dans l'autre, l'établissement d'un courant d'eau à travers la zone altérée est une condition nécessaire.

Lorsque la silice subsiste sous forme de quartz, sa stabilité s'accroît beaucoup, mais demeure inférieure à celle des sesquioxides étant entendu que tout cela se produit au voisinage du point de neutralité.

Ce matériel est surtout présent dans les latérites lorsque la roche mère est hautement quartzifère, comme le granite.

La présence de quartz est un signe distinctif des latérites ferrugineuses par opposition à celles riches en alumine où il est souvent absent.

Il faut dire que la grande stabilité reconnue aux sesquioxydes n'est pas absolue, ils n'ont une solubilité très liée au pH de l'environnement aqueux. Ce qu'on peut affirmer sans équivoque, c'est qu'un pourcentage élevé de sesquioxydes (Al_2O_3 et/ou Fe_2O_3) demeure le seul dénominateur commun à toutes les latérites.

Celle-ci peuvent par ailleurs renfermer des concentrations importantes de quartz ou d'argile (Kaolinite en particulier) dont les proportions relatives sont influencées par le type de roche mère et les conditions locales de drainage.

2.1.3.- L'induration

L'induration correspond à un état à partir duquel la latérite acquiert une consistance telle que sous des conditions normales de pH, cette dernière n'est plus détruite par l'environnement aqueux.

Elle se réalise par déshydratation partielle ou complète des mélanges riches en sesquioxydes qui étaient auparavant dans un état colloïdal amorphe. Certes l'induration a été identifiée sur des latérites alumineuses, mais il semblerait que le phénomène s'associe beaucoup plus aux latérites ferrugineuses. Les substances ferriques jouent un rôle primordial dans le processus d'induration. En effet, les colloïdes ferriques essentiellement constitués de limonites ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) se réorganisent par dessiccation pour évoluer vers une structure cristalline de mieux en mieux affirmée, où le fer apparaîtra ensuite sous forme de goethite $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{OH})$ et ultimement d'hématite (Fe_2O_3).

3.- Classification des latérites

Le rapport silice sur alumine ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) dans la fraction colloïdale a été initialement proposé comme base de classification. Mais ce critère comme on peut le constater, néglige l'importance des oxydes de fer (Fe_2O_3) qui sont pourtant des éléments jugés essentiels dans le processus d'induration d'une latérite au sens du BUCHANAN.

Aussi par la suite, on a fait une extension de la définition en introduisant le rapport silice sur sesquioxydes : (Si_2O_3) ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$). A partir de ce rapport, une classification a été proposée. Elle a été également abandonnée, car ce rapport classe dans les latérites, le minerai de fer et la bauxite;

La classification que nous retiendrons est celle qui considère la latérite en tant que matériau de construction. De ce fait, le vocable "latérite" peut désigner trois types de matériaux différents :

- les cuirasses latéritiques ;
- les latérites graveleuses ;
- les argiles latéritiques.

3.1.- Les cuirasses latéritiques

Elles correspondent à un niveau formé d'une croûte très indurée de couleur brune à noire à structure vacuolaire et ayant souvent l'aspect d'une scorie.

Ce niveau se caractérise à la base par l'apparition de pseudopisolithes très résistantes. Celles-ci sont d'ailleurs utilisées au Sénégal parfois :

- en moellons taillés pour la construction de bâtiments et d'édifices divers ;
- pour la fabrication de gabions ou "de blocage", la construction de hérissons, de murs de protection au niveau des plages.

3.2.- Les latérites graveleuses

On les appelle communément des tout-venant latéritiques. Elles sont composées d'une fraction graveleuse noyée dans une matrice argileuse. Cette fraction graveleuse peut être formée soit :

- par des pisolithes ;
- par des concrétions cavernueuses.

Les gisements de latérites gravillonnaires du Sénégal présentent fréquemment un pourcentage de blocs et boules pouvant atteindre 30 à 60 % du volume total.

Les latérites graveleuses proviennent toujours du démantèlement de la cuirasse.

3.3.- Les argiles latéritiques

Elles sont sous-jacentes aux latérites graveleuses. Sur le plan pratique, nous rangeons également dans cette catégorie de matériaux, les argiles plus ou moins graveleuses présentant un pourcentage de fines supérieur à 50 %.

Remarque :

Pour la suite de cette étude, le terme "latérite" sous-entendra qu'il s'agit de latérites graveleuses qui en fait est pratiquement le seul type utilisable couramment en matériau de chaussée.

DEUXIEME PARTIE

**PRINCIPE DES METHODES DE PROSPECTION
GEOPHYSIQUE ET EXPLOITATION DES
RESULTATS DES CAMPAGNES DE SONDAGE**

I - GENERALITES

I.1.- Principe des mesures électriques

La méthode des résistivités différencie les terrains par leur plus ou moins grande conductibilité. On injecte le courant électrique dans le sol par un circuit AB et on mesure une différence de potentiel entre deux électrodes MN situées autour du centre du segment AB (fig. 2).

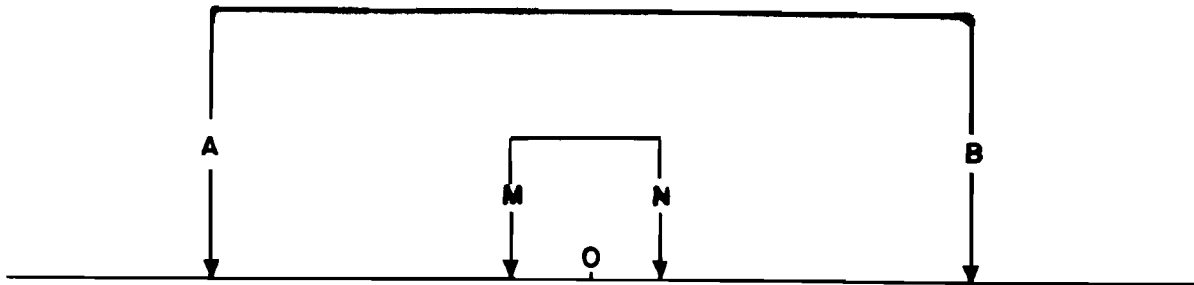


Fig. 2 : Dispositif quadripôle linéaire et symétrique, (AMNB)

La connaissance de la différence de potentiel ΔV , de l'intensité du courant I , et de la géométrie du dispositif AMNB appelé ^{di}quadripôle, permet de calculer la résistivité moyenne d'un certain volume de terrain situé autour de l'axe AB et qu'on symbolise par un point sur la verticale du centre du dispositif AMNB.

La profondeur d'investigation dépend de la longueur AB, de la résistivité du terrain et de la distribution des résistivités en fonction de la verticale.

Lorsque AB devient grand, l'influence des terrains superficiels s'estompe (fig. 4).

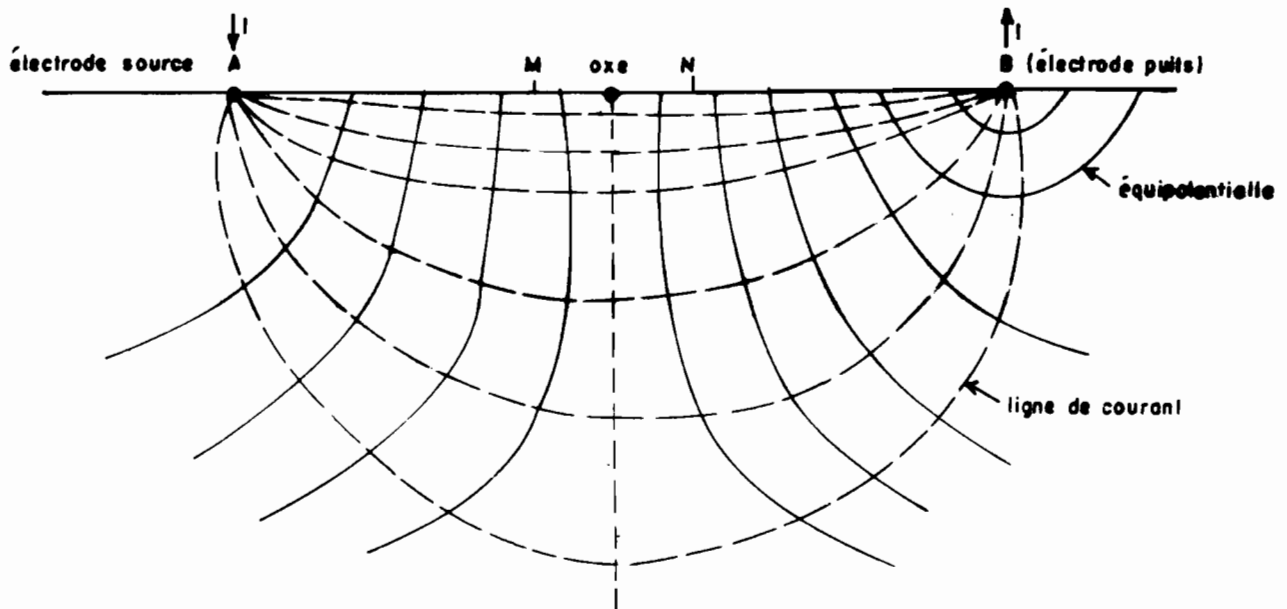


Fig. 3 : Distribution d'un courant à partir d'un dipôle AB.

En injectant du courant dans le terrain, il existe tout un espace en profondeur ~~balayé par les équipotentiels et les lignes de courant qui sont perpendiculaires (fig. 3).~~ *parcouru par les équipotentiels et les lignes de courant qui sont perpendiculaires (fig. 3).*

Pour une résistivité uniforme, les lignes de courant gardent la même morphologie quelque soit la distance AB, ce qui explique d'ailleurs que plus l'écartement entre A et B est grand, plus la profondeur d'investigation augmente (fig. 4).

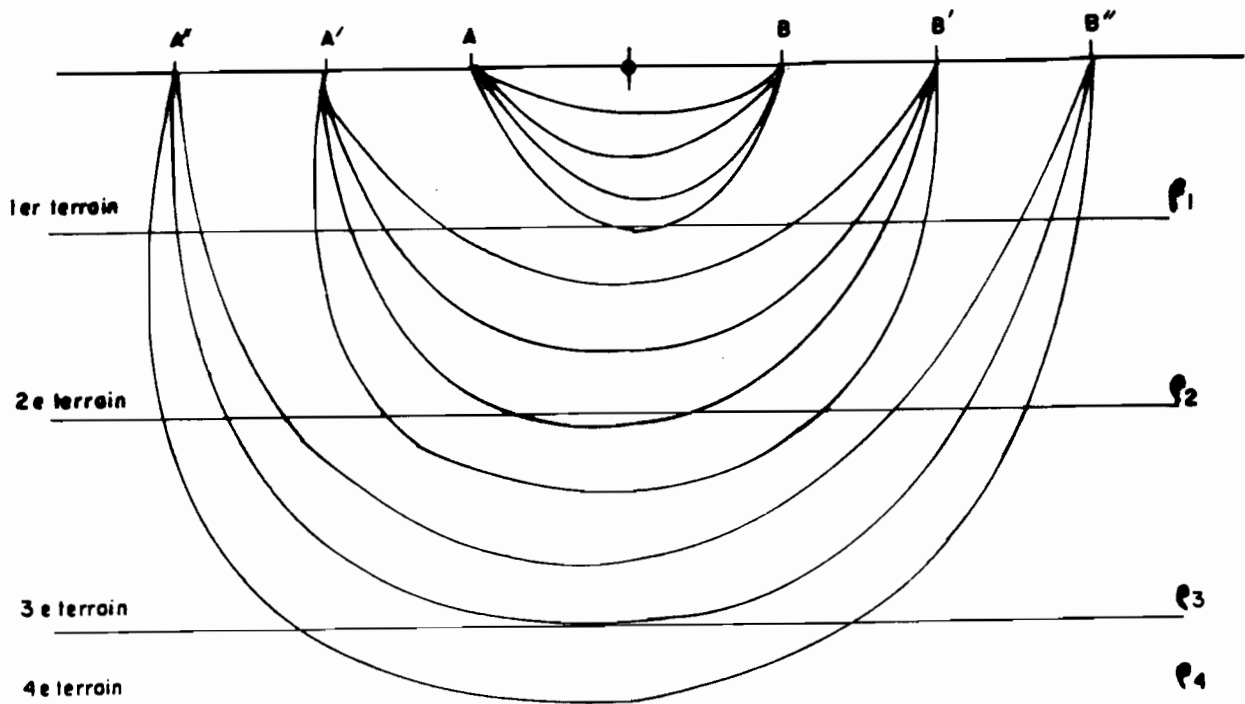


Fig. 4 : Morphologie des lignes de courant en fonction de l'écartement des électrodes A et B.

I.2.- Les sondages électriques

On fait varier la longueur AB de 1 m à x mètres, ~~x dépendant du problème posé~~, et suivant un pas de mesure croissant.

Pour chaque longueur de AB, on mesure I et ΔV . En appliquant la loi d'Ohm $\left(i = \frac{dI}{dS} = \frac{I}{S}\right)$ avec $s = 1/2$ sphère à l'espace séparant deux équipotentiels

entre lesquelles existe une tension ΔV , où $-dV = \frac{\rho_a dr I}{2 \pi r^2}$ avec r la distance laquelle on mesure le potentiel et ρ_a la résistivité apparente du terrain.

En intégrant nous obtenons

$$V = \frac{\rho_a I}{2\pi r} + \text{constante} \quad (1)$$

Dans le cas du dispositif quadripôle, l'équation (1) nous permet donc de calculer le potentiel aux points M et N, ce qui donne :

$$V_M = \frac{\rho_a I}{2\pi} \left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} \right) + \text{constante}$$

$$V_N = \frac{\rho_a I}{2\pi} \left(\frac{1}{NA} - \frac{1}{NB} \right) + \text{constante}$$

En faisant la différence, la constante d'intégration disparaît, ce qui est d'ailleurs un des avantages de ce dispositif et on obtient finalement :

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{\rho_a I}{2\pi} \left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right) \quad (2)$$

De l'équation (2), nous tirons la résistivité apparente qui est ici le paramètre recherché.

$$\rho_a = \frac{\Delta V \times 2\pi}{I} \cdot \frac{1}{\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB}} \quad (3)$$

on pose $K = \left(\frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB}} \right)$ et l'équation

devient $\rho_a = \frac{K \cdot \Delta V}{I} \quad (3')$

Le facteur K ne dépend que de la position relative des quatre électrodes ; il est appelé "coefficient géométrique" du dispositif de mesure.

La valeur de K va donc varier suivant qu'on utilise la méthode Schlumberger (où la distance AB est grande par rapport à la distance MN petite) ou la méthode Wenner (où $MN = AB/3$).

a) Valeur de K dans la méthode Schlumberger

nous avons
$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right)}$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{MB - MA}{MA \cdot MB} - \frac{NB - NA}{NA \cdot NB}}$$

et comme AB est très grand par rapport à MN,

nous pouvons considérer que $MA \cdot MB = NA \cdot NB \approx \left(\frac{AB}{2} \right)^2$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{MN}{(AB/2)^2} - \frac{-MN}{(AB/2)^2}} = \frac{\pi}{\frac{MN}{(AB/2)^2}}$$

$$K = \frac{\pi AB^2}{4 MN} = \frac{AB^2 \times \pi}{4 \times MN} \Leftrightarrow \boxed{K = \left(\frac{AB}{2} \right)^2 \frac{\pi}{MN}}$$

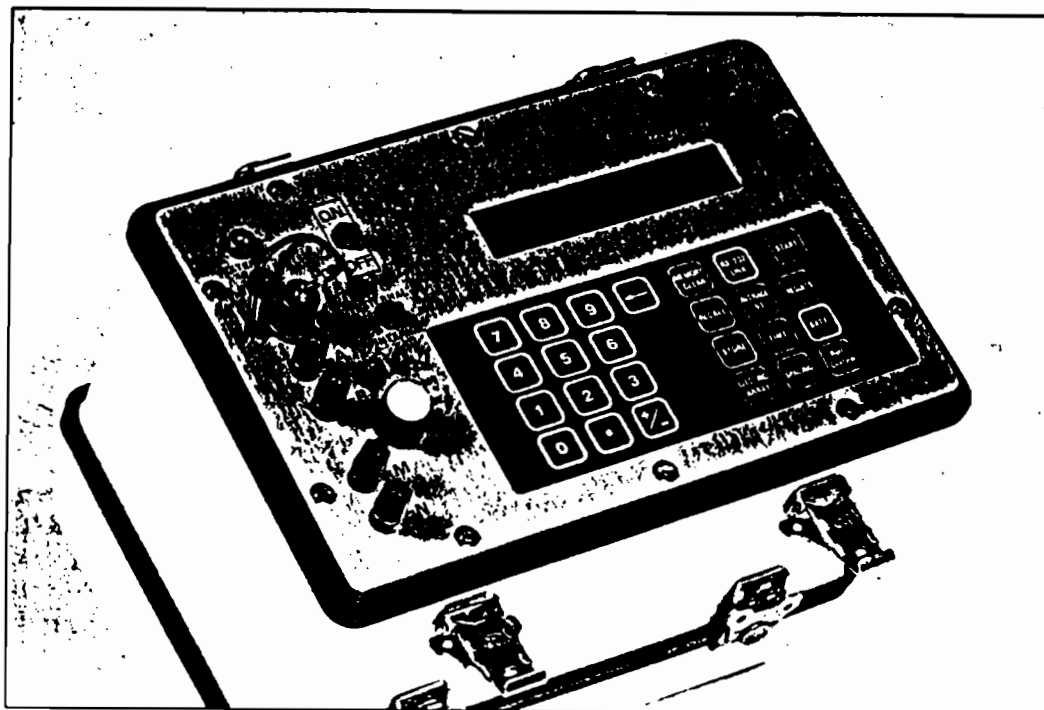
b) Valeur de K dans la méthode de Wenner

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB}}$$

mais comme $MN = AB/3$

nous avons
$$K = \frac{2\pi}{\frac{3}{AB} - \frac{1,5}{AB} - \frac{1,5}{AB} + \frac{3}{AB}}$$

$$K = \frac{2\pi}{3/AB} \Rightarrow \boxed{K = 2/3 \pi \cdot AB}$$



SYSCAL R1

Fig. 5 : Syscal R1. Résistivimètre utilisé pour les sondages électriques.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL DE MESURE

Le SYSCAL R1 est contenu dans un boîtier antichoc étanche au ruissellement (Fig. 5). Le boîtier comprend, outre le couvercle supérieur, la partie centrale qui contient la face avant et la partie électronique, et la partie inférieure qui contient les piles d'alimentation.

La face avant comprend :

- * un bouton Marche/Arrêt (ON/OFF) ;
- * un clavier de fonctions (12 touches) permettant de choisir les paramètres nécessaires à la mesure, d'effectuer une mesure, de lire les résultats, de les stocker ;
- * un clavier numérique (13 touches) permettant d'introduire des données (n° de station, longueur de lignes...) ;
- * un afficheur alphanumérique de deux lignes, pour l'affichage des questions du menu, et des résultats ;
- * quatre bornes pour la connection des électrodes (A et B : électrodes d'émission de courant ; M et N : électrodes de réception) ;
- * un commutateur de tension de sortie à quatre position (10-30 V, 55 V, 110 V, 220 V) ;
- * une sélection de source Interne/Externe,
- * deux bornes pour la connection d'une source externe (10-30 V) ;
- * une prise pour la liaison série (transfert des données).

A chaque fois que nous faisons varier $AB/2$, l'appareil de mesure nous donne la valeur de la résistivité apparente ρ_a directement, car étant programmé pour effectuer les calculs (fig. 5).

On arrive ainsi à déterminer une courbe ρ_a en fonction de $AB/2$ qui est le document objectif soumis à l'interprétation et appelé courbe de sondage électrique de terrain.

L'interprétation d'un sondage électrique n'est significative que dans le cas d'un terrain tabulaire horizontal au sein duquel les diverses couches sont homogènes et ne présentent surtout pas de variations latérales de résistivité.

Naturellement dans la pratique, ces conditions ne sont jamais parfaitement réalisées.

Le principe de l'interprétation consiste à trouver une courbe modèle superposable à la courbe de terrain. La forme de cette courbe dépend du rapport des résistivités des terrains traversés. (annexes)

I.3.- Le "trainé" électrique

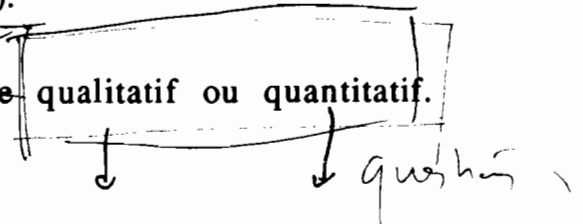
Le dispositif utilisé est un quadripole AMNB rectiligne et symétrique. Pour déterminer la longueur AB la mieux adaptée au problème à résoudre, il est nécessaire de prendre en considération l'épaisseur et la résistivité des terrains fournies par quelques sondages électriques répartis sur toute la zone à prospector. La longueur AB/2

devra correspondre à l'abscisse de $R = f(AB/2)$ dans une partie où ρ_a est variable. Ceci afin de distinguer les variations de résistivité entre les terrains de résistivité différente.

Un "trainé" électrique consiste à réaliser un certain nombre de points de mesure alignés avec une longueur de ligne AB constante. On peut ainsi tracer un profil de résistivité qui donne la résistivité apparente d'une certaine tranche de terrain. Les variations latérales de cette résistivité seront interprétées en fonction des connaissances géologiques. L'espacement des mesures ou "pas" est déterminé en fonction de la nature du problème posé, de la finesse d'investigation désirée ; l'espacement optimum serait évidemment égal à la longueur de la ligne MN. On pourrait parfois même le faire plus petit que la ligne MN pour avoir encore plus de précision (fig. 6).

L'interprétation d'un "trainé" peut être qualitative ou quantitative.

parmi
AB qui compte



elle est qualitative quand ?

Elle est qualitative lorsqu'il s'agira de traduire par un profil des résistivités apparentes le résultat des mesures. C'est presque toujours la démarche adoptée pour exploiter les données d'un "trainé" électrique.

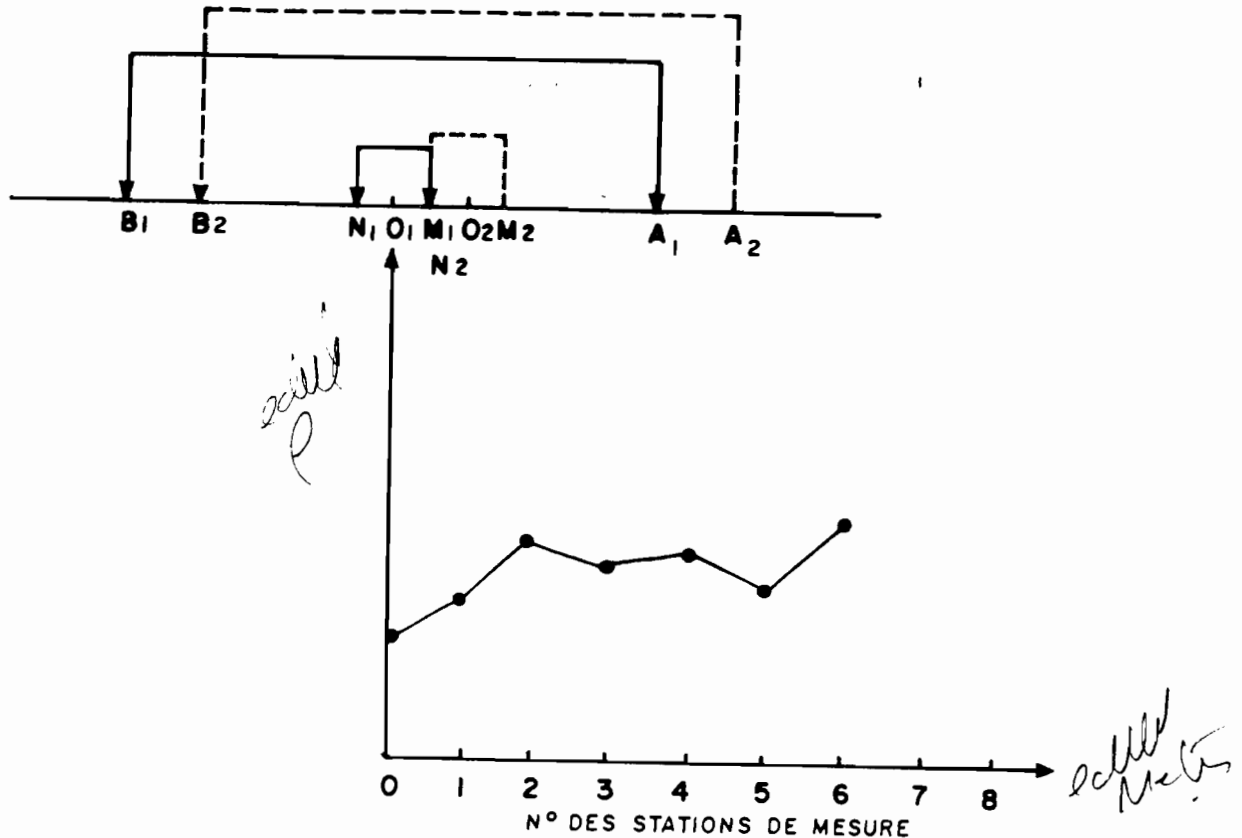


Fig. 6 : Profil de résistivité avec une ligne AB mobile

les variations de ρ sont dues à la présence de couches de résistivité différente (caractères pseudo-quantitatifs) ou à la présence de variations locales de faciès (qualitatif).

I.4.- Le principe de la sismique réfraction

La sismique est fondée sur l'étude comparative des vitesses de propagation des ondes dans les différentes couches de terrain.

La loi de réfraction des ondes passant d'un milieu de vitesse V_1 à un milieu de vitesse V_2 est la suivante

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}$$

i_1 = angle d'incidence

avec

i_2 = angle de réfraction

réflexion de l'onde coupe de la surface
 L'angle de ~~réflexion total~~ est donné par l'équation *faut*

$$\sin i = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{avec } i = \text{angle de réflexion}$$

$$i_2 = 90^\circ$$

faut

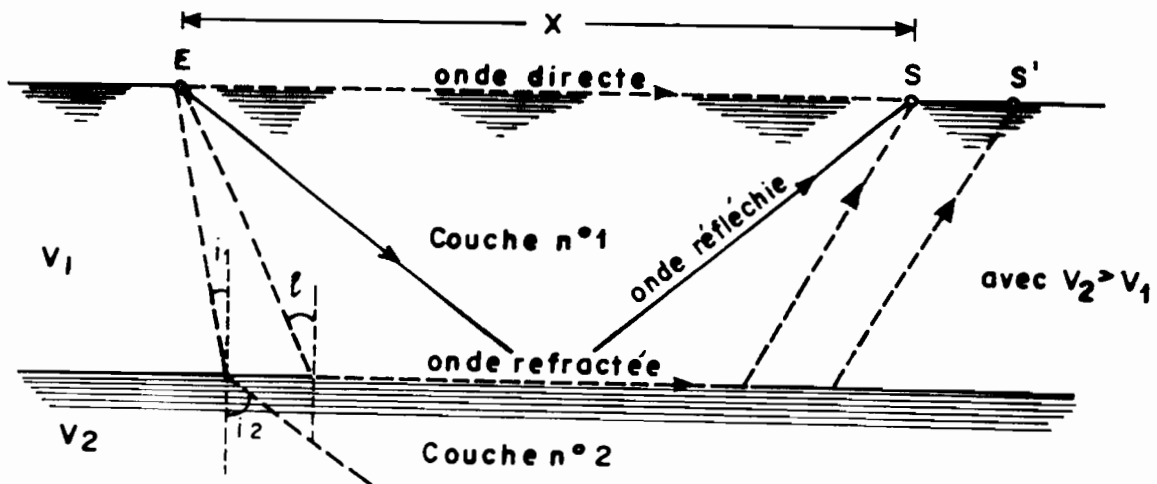


Fig. 7 : Déplacement des ondes sismiques dans les terrains.

Tout ~~ébranlement~~ *le* produit des ondes sismiques qui se propagent dans les milieux suivant les lois de l'élasticité. On distingue 2 types d'ondes définies par les déformations élastiques qui les caractérisent :

- les ondes P (ondes premières) correspondent à une déformation longitudinale (dilatation et compression dans la même direction que la propagation) ;

- les ondes S (ondes secondaires) correspondent à une déformation transversale, la vibration est dans ce cas orthogonale à la direction de propagation. En général, elles ne sont pas utilisées *en prospection*.

A proximité du point de ~~tri~~ *choc*, la première onde qui atteint le ~~sismographe~~ *sismographe* est l'onde directe.

figure

SISMOGRAFO AD INCREMENTO DI SEGNALE MOD. LCM-4

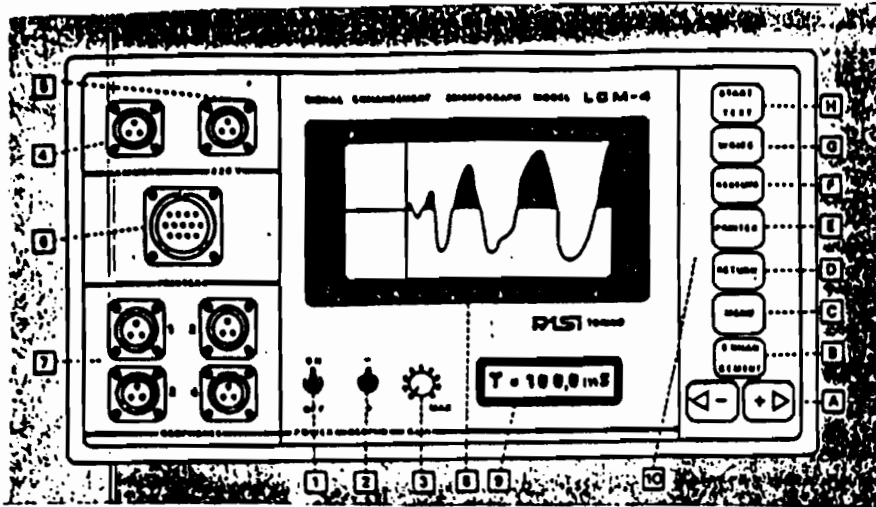


Fig. 8 : Sismographe à incrémentation de signal.

Cette onde directe se propage dans le terrain (1) dans le temps $t_d = \frac{x}{V_1}$, x étant la distance parcourue entre la source et la géophone (fig. 7).

Lorsque la vitesse des ondes est plus grande dans la couche (2) que dans la couche (1), ce qui est le cas le plus général, il existe une onde réfractée qui se propage parallèlement à l'interface à la partie supérieure de la couche (2) (fig. 7). C'est-à-dire suivant les conditions de l'angle limite. Cette onde réfractée est appelée onde cône et son temps de propagation t_c est :

$$t_c = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cos i}{V_1}$$

Quand l'onde sismique se réfléchit sur la surface de séparation entre les milieux (1) et (2) de sorte que l'angle d'incidence soit égale à l'angle de réflexion, nous avons une onde réfléchie (fig. 7). Cette onde, n'est pas utilisée en sismique réfraction. L'utilisation de ce type d'ondes est l'objet d'une autre méthode de prospection sismique ~~pas courante~~ qui est la sismique réflexion. Son temps de propagation t_r est de :

$$t_r = \frac{\sqrt{4h^2 + x^2}}{V_1}$$

Dans la pratique, on étudie par ailleurs les relations entre

until
l'onde directe et l'onde réfléchie, afin d'identifier les caractéristiques de propagation des ondes qui se déplacent vers les points de mesure des ondes P.

Pour exploiter les résultats d'un profil sismique, il faut interpréter la courbe $t = f(x)$

(t = temps de propagation de l'onde ;

x = distance parcourue par l'onde entre la source et la géophone)

Cette courbe est appelée hodochrone ou dromochronique (fig. 9).

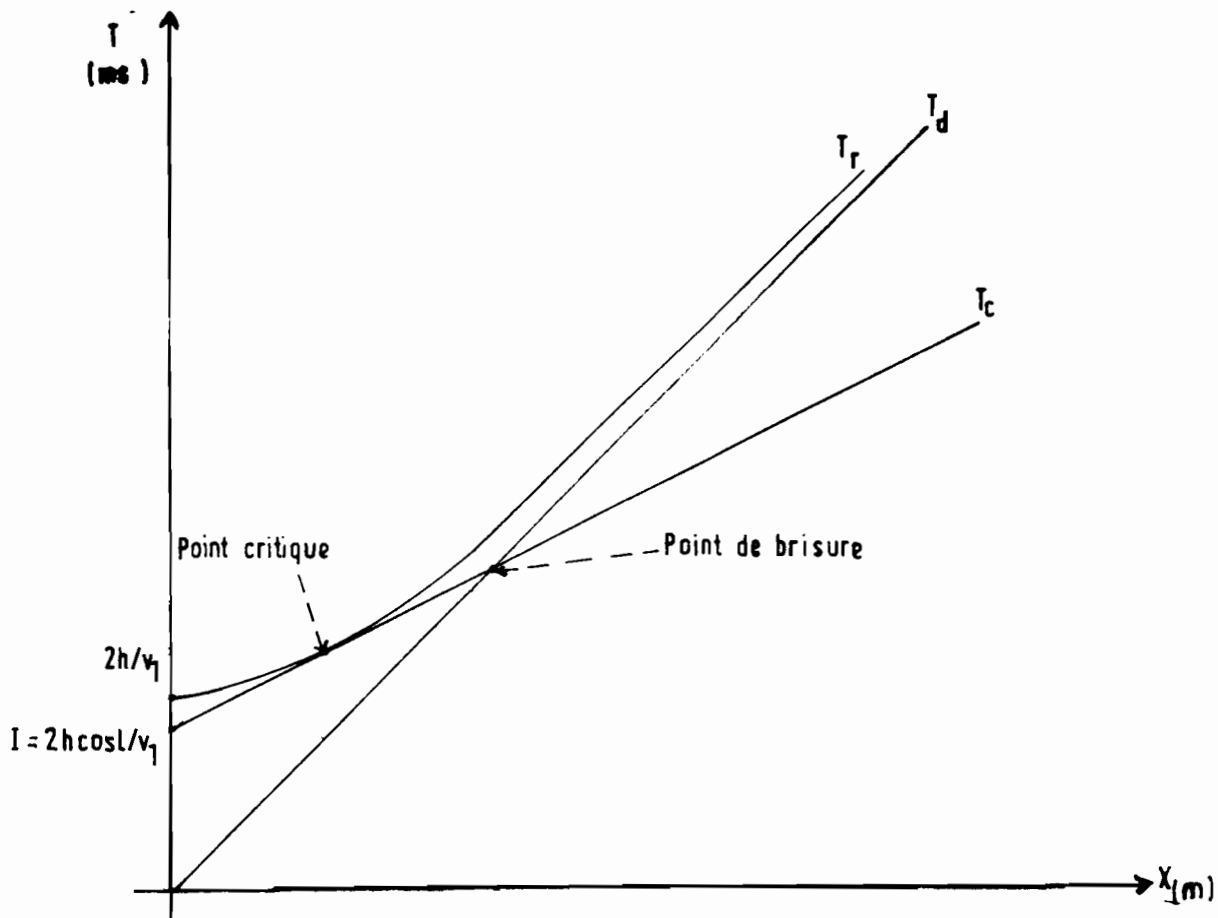


Fig. 9 : Hodochrone des ondes longitudinales

On remarque (fig. 9) que :

- l'hodochrone de l'onde directe est une droite de pente $1/v_1$;
qui passe par l'origine
- l'hodochrone de l'onde réfléchie devient une droite asymptotique à t_d quand x devient grand ;
on remarque que l'onde réfléchie est la même que l'onde directe
- l'hodochrone de l'onde conique est une droite affine de pente $1/v_2$

$\left(\frac{1}{v_2} \right)$

et dont l'ordonnée à l'origine est égale à $\frac{2 h \cos l}{V_1}$ qui est une constante indépendante de la distance appelée intercept (I).

Si on ne considère que la première arrivée, les points de brisure permettent de passer d'un terrain à un autre, chacun étant caractérisé par les hodochrones de pente $1/V_1$, $1/V_2$ et $1/V_3$ (fig. 10).

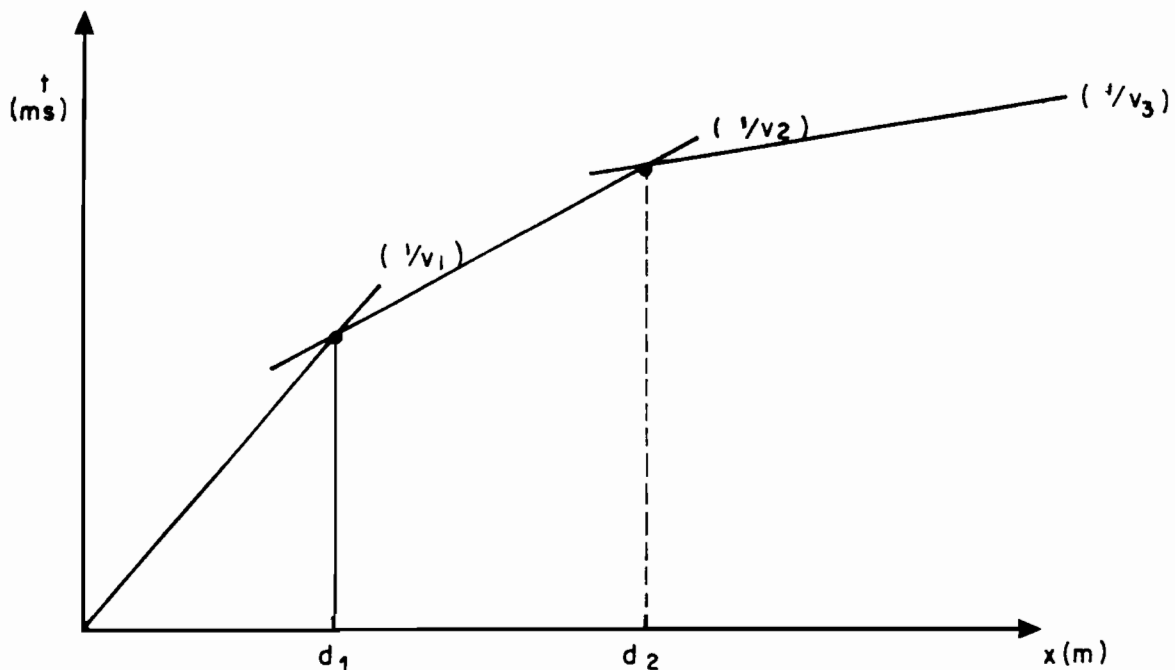


Fig. 10 : Hodochrones dans le cas de 3 terrains

Au point de brisure, nous avons $t_d = t_c$

Si d_1 est l'abscisse du point de brisure, nous pouvons écrire, la relation :

$$\frac{d_1}{V_1} = \frac{d_1}{V_2} + \frac{2 h \cos l}{V_1} \quad \Rightarrow \quad d_1 \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = \frac{2 h \cos l}{V_1}$$

$$\text{Comme } \cos l = \sqrt{1 - \sin^2 l} = \sqrt{\frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{V_2^2}} \quad \text{puisque } \sin l = V_1/V_2$$

Signature

En remplaçant Cosl par sa valeur, nous pouvons trouver l'épaisseur du premier terrain h_1 .

avec valeur empirique

$$h_1 = \frac{d_1}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Dans le cas de trois terrains, l'épaisseur du deuxième terrain est donné par la relation :

$$h_2 = \left(5/6 \ h_1 + \frac{d_2}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} \right) - h_1$$

d_2 étant l'abscisse du deuxième point de brisure.

2 - EXPLOITATION DES DONNEES DE TERRAIN POUR CHAQUE SITE

Durant toute la campagne de prospection, nous avons choisi de faire nos sondages autour de carrières de latérites déjà exploitées ou en cours d'exploitation.

Cette démarche présente l'avantage de fournir des valeurs de référence grâce aux documents du CEREEQ (prospection par puits et études géotechniques).

Aussi quatre sites test ont été prospectés (fig. 11) :

- SEBIKOTANE dans la région de Dakar ;
- NDIENE dans la région de Thiès ;
- KEUR IBRA NIANE dans la région de THIES ;
- KADAM dans la région de Diourbel.

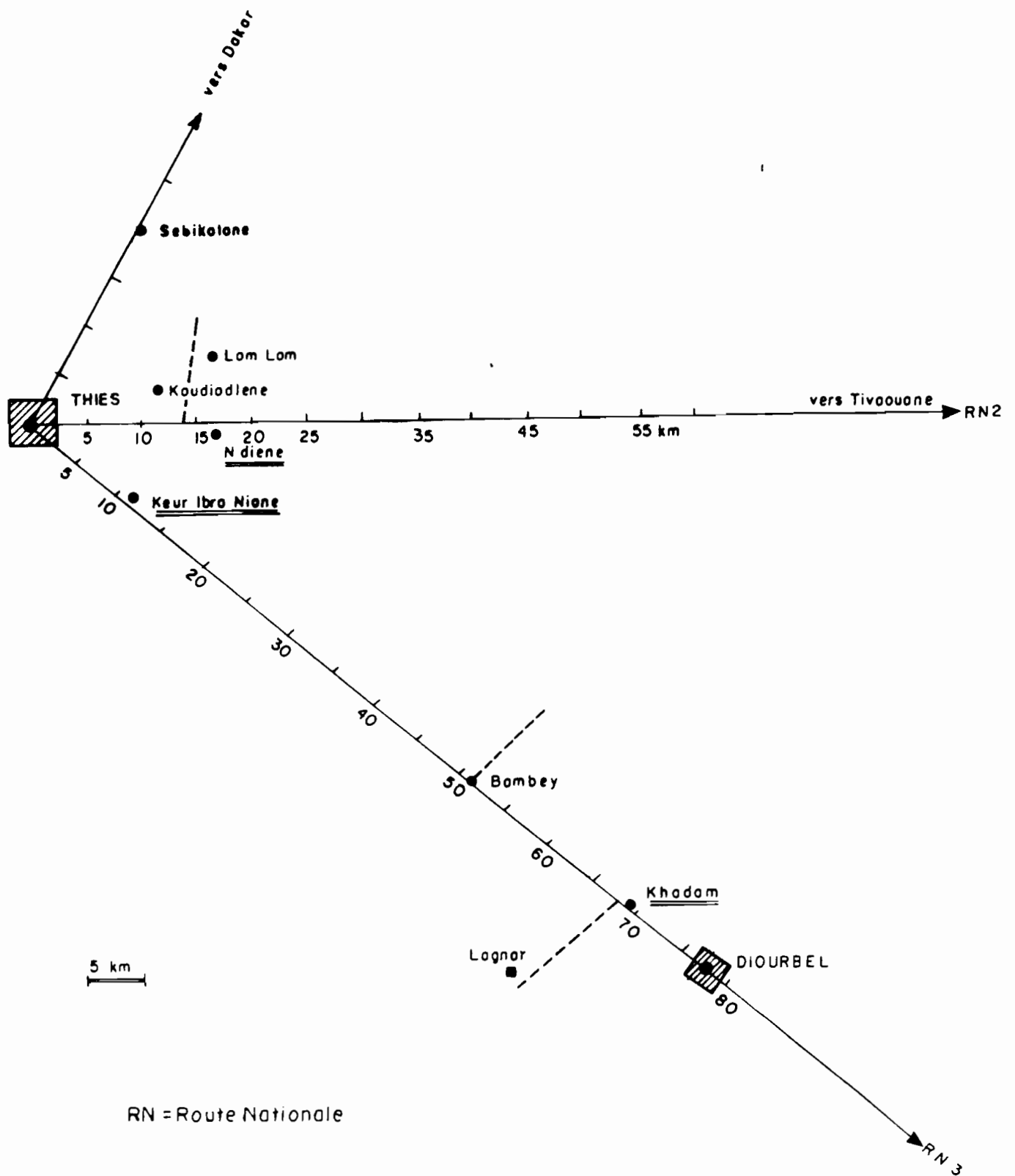


Fig. 11 : Localisation des quatre sites test par rapport aux Routes Nationales.

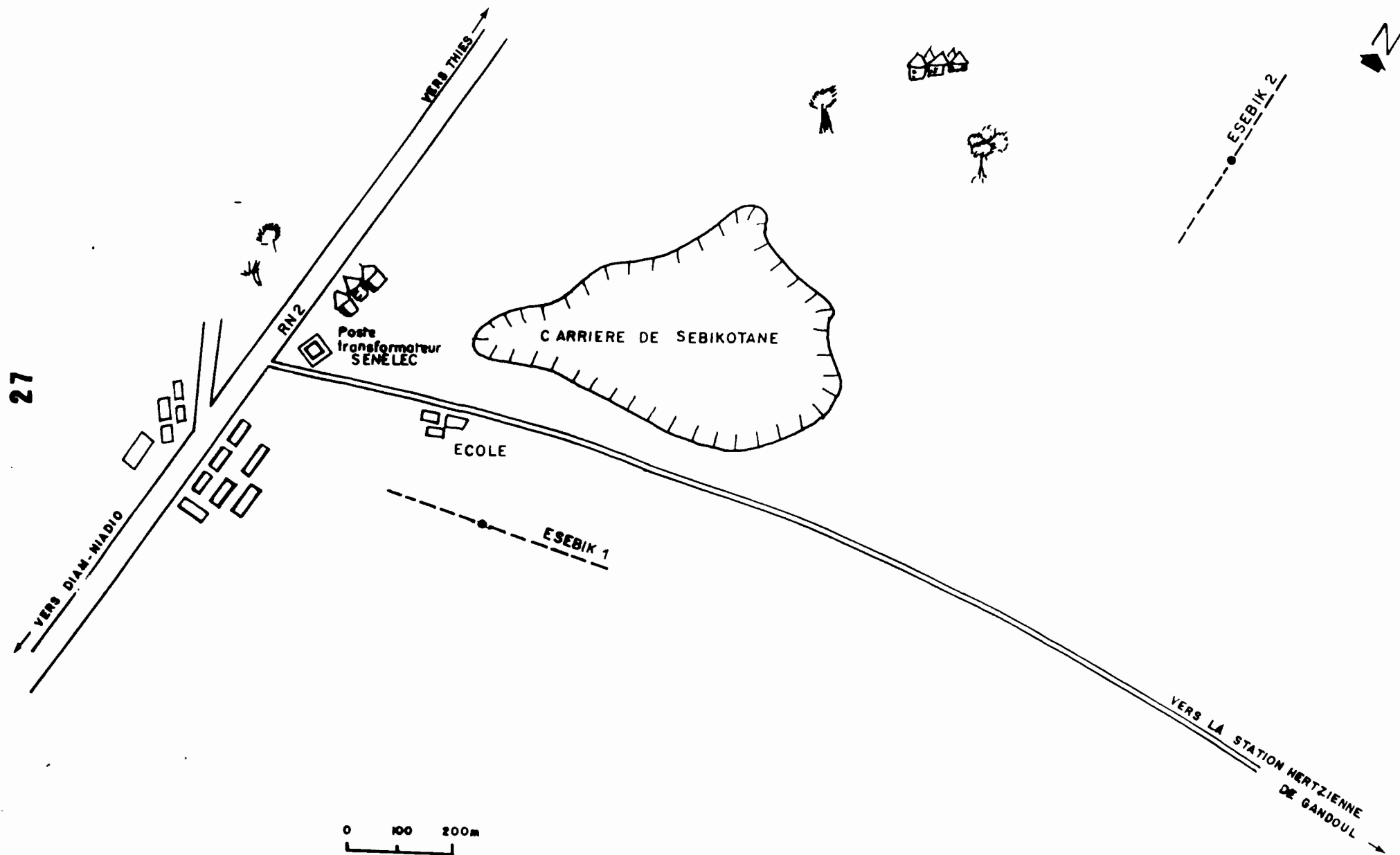


Fig. 12 : Localisation des sondages effectués à SEBIKOTANE

2.1. - Site de SEBIKOTANE

SEBIKOTANE est située sur la RN₂ à 20 km de Thiès (fig. 11). Son paysage de bas-fonds et de petites collines est la conséquence de mouvements tectoniques qui sont d'ailleurs à l'origine de la formation du horst de Ndiass. Sur ce site, deux sondages électriques ont été effectués (fig. 12) à deux points ayant une différence d'altitude d'environ 25 m.

Les 2 courbes de sondages SEBIK₁ CO et ESEBIK₂ révèlent 4 terrains de résistivités différentes. Leur interprétation a donné les résultats mentionnés sur les tableaux I et II.

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	800	0,25
2	4000	2
3	180	1
4	3000	

Tableau I : Résultats de SEBK₁CO

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	1300	3
2	130	4
3	1950	14
4	585	

Tableau II : Résultats de ESEBIK₂

D'après les logs de sondage donnés par le CEREEQ à la suite de ses prospections par puits de 1974 et 1984 et d'après nos propres observations à partir du front de taille de la carrière de latérite de SEBIKOTANE, nous avons pu définir la nature géologique de chaque terrain (fig. 13).

Nous remarquons ici que la dénivellation entre les deux points où les sondages ont été réalisés n'a aucune influence sur la variation de l'épaisseur de la latérite, tout dépend de la puissance de la roche mère qui a été latéritisée. La différence d'altitude est simplement due à un décalage de compartiments à la suite de mouvements tectoniques.

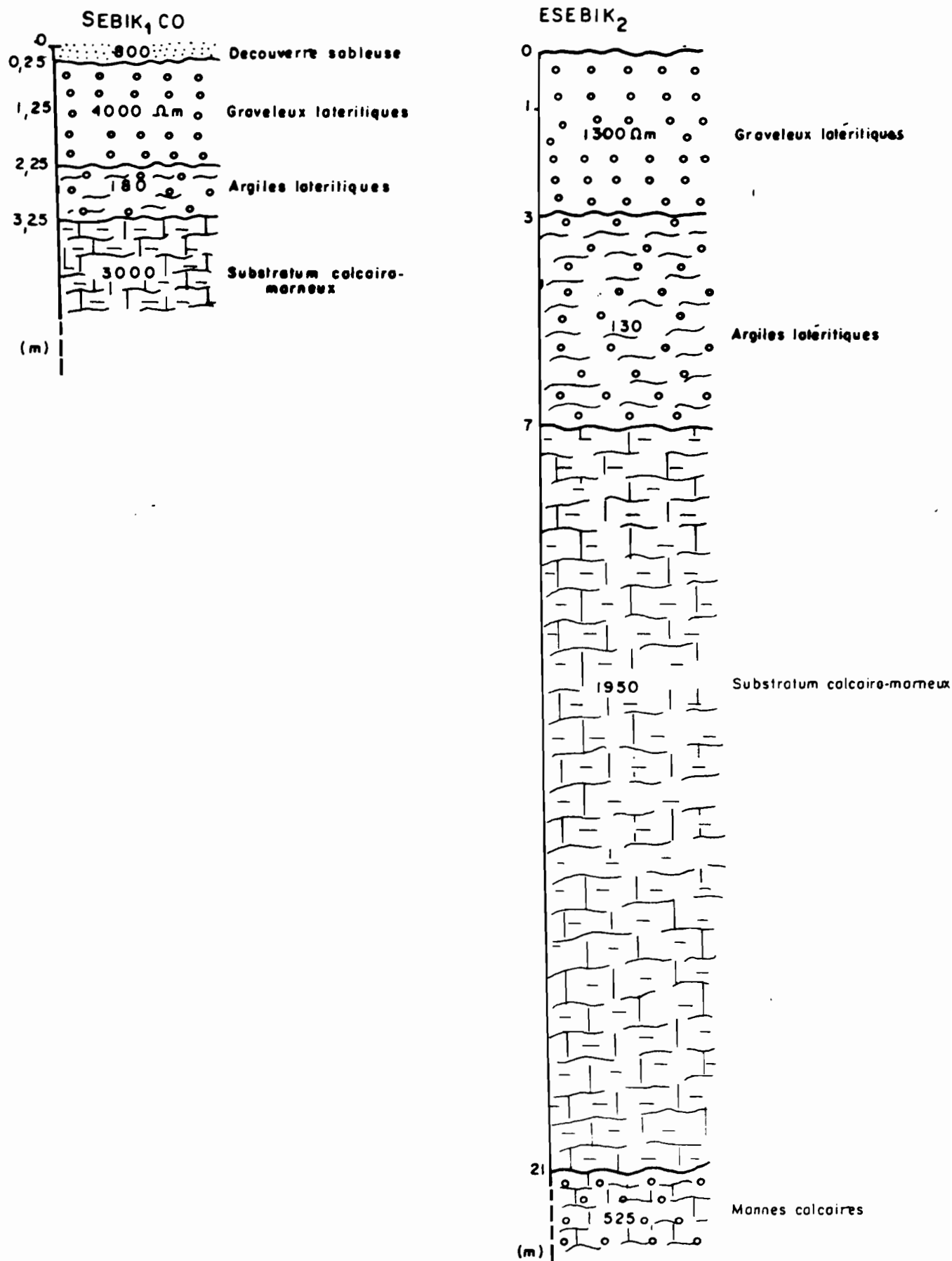


Fig. 13 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectués à SEBIKOTANE

Une comparaison des épaisseurs avec les valeurs de références données par le CEREEQ à la suite des prospections par puits réalisées en 1974 et 1984, confirme bien nos résultats.

	Epaisseur de la découverte (en m)	Epaisseur de latérite (m)
Résultats du CEREEQ 1974/1984	0,10 à 0,50	1,10 à 2,90
Prospection Géoph. oct./1991	0,25	2 à 3

Tableau III : Comparaison des épaisseurs trouvées à SEBIKOTANE avec les résultats du CEREEQ.

31

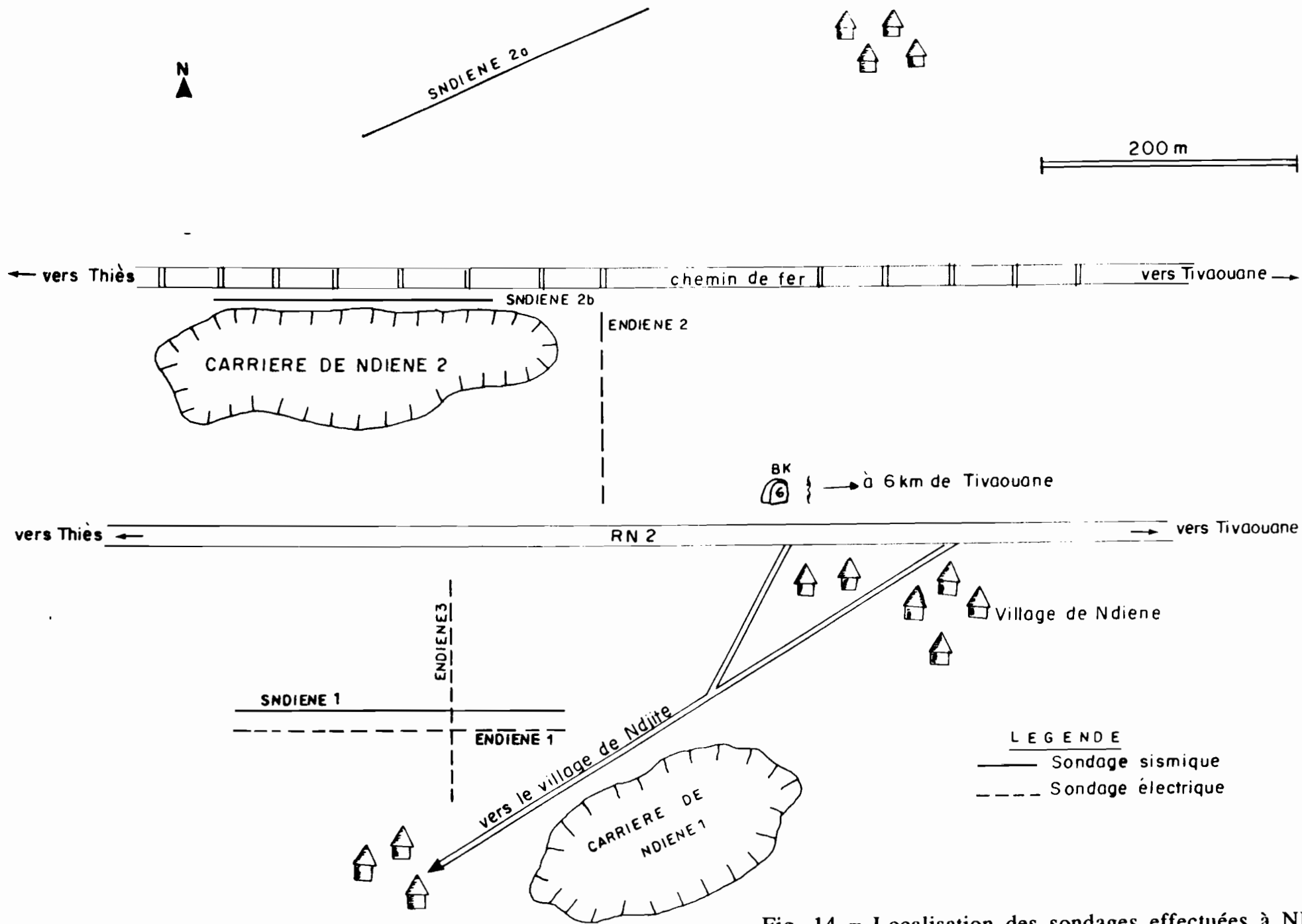


Fig. 14 = Localisation des sondages effectuées à NDIENE

2.2.- Site de NDIENE

Le village de NDIENE se situe sur la RN₂ à 6 km de Tivaouane (fig. 11).

Sur ce site, trois sondages électriques et trois profils sismiques ont été effectués (fig. 14).

Le sondage ENDINE₁ a donné comme résultat, des points tellement dispersés qu'il nous a été impossible de tracer une courbe de sondage, par conséquent, il est impossible de trouver un modèle pour une interprétation quantitative.

Ceci est dû très certainement au fait que nous avons de mauvais contacts à cause de la sécheresse des terrains. Il y a eu beaucoup de difficultés de mise en place pour les mesures. Les intensités étaient faibles et il fallait parfois arroser les piquets AB pour faciliter l'injection du courant. Cependant qualitativement, nous remarquons qu'il y a, au moins trois terrains de résistivités différentes. Ceci est confirmé par le sondage ENDIENE₃ réalisé au même endroit, mais après la saison des pluies. Les profils sismiques ont aussi tous révélés l'existence de trois terrains à NDIENE (fig. 15 et 16). Le profil sismique SNDIENE_{2b} effectué directement sur la cuirasse latéritique, a montré l'existence de deux niveaux de graveleux latéritiques. Un niveau ferrallitique exploitable d'après le CEREEQ et un niveau alumineux avec de gros blocs et des moellons qui est inutilisables (fig. 17).

L'interprétation quantitative des courbes de sondage électrique et des dromochroniques des profils sismiques effectuées sur le site de NDIENE a donné les résultats mentionnés sur les tableaux (IV, V, VI, VII et VIII).

N° du terrain	ρ_a ($\Omega.m$)	e.(m)
1	400	1,8
2	90	2
3	2000	1

Tableau IV : Résultats de ENDIENE₂

N° du terrain	ρ_a ($\Omega.m$)	e.(m)
1	500	1,5
2	325	6
3	1300	2
4	28	31
5	2000	

Tableau V : Résultats de ENDIENE₃

J'ai corrigé avec ENDIENE

N° du terrain	V. m/10 ⁻³ s	e.(m)
1	0,32	0,80
2	0,80	3
3	1,00	/

Tableau VI : Résultats de SNDIENE₁

N° du terrain	V m/10 ⁻³ s	e.(m)
1	0,50	1,15
2	0,80	1,47
3	1,50	/

Tableau VII : Résultats de SNDIENE_{2a}

N° du terrain	V. m/10 ⁻³ s	e.(m)
1	0,51	1,5
2	1,04	6,21
3	1,87	/

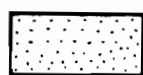
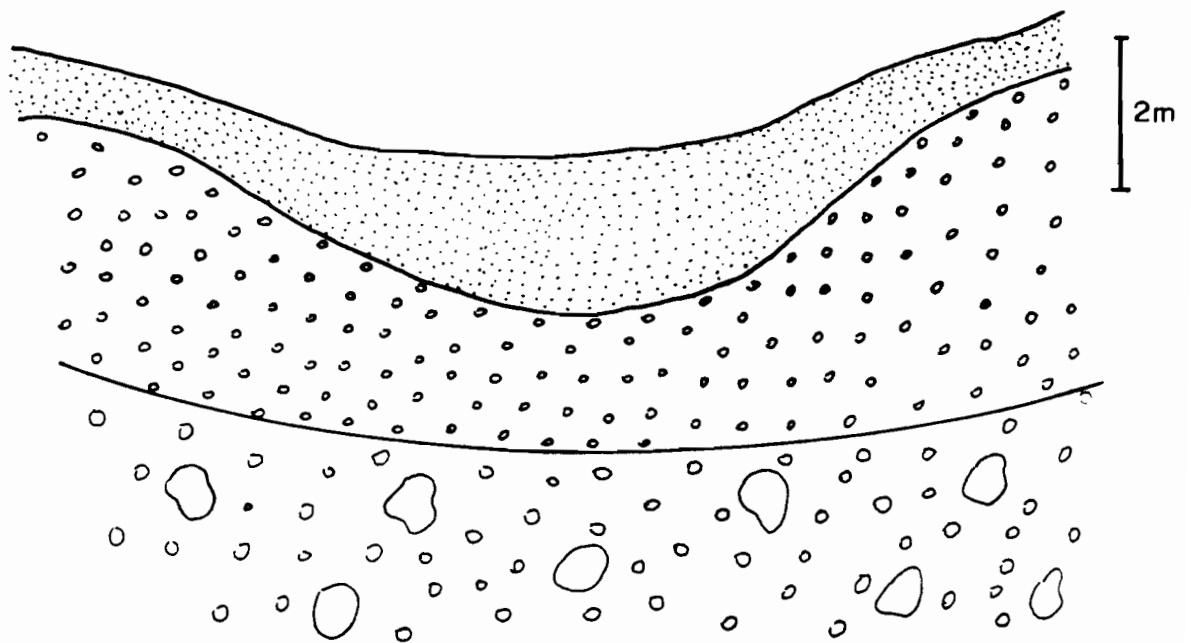
Tableau VIII : Résultats de SNDIENE_{2b}

En tenant compte des informations sur la lithologie fournies par le plan minéral sénégalais, les résultats du CEREEQ (1979 et 1984) la coupe réalisé par C. MONCIARDINI (1966) dans la zone et surtout nos observations à partir des fronts de taille des carrières (fig. 15), nous avons pu identifier la nature géologique de chaque terrain (fig. 16 et 17).

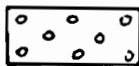
Au niveau de ce secteur de NDIENE, les sondages électriques ENDIENE₁ et ENDIENE₃ effectués sur le même endroit mais à des saisons différentes, nous ont permis de vérifier que la qualité du sondage est nettement meilleure quand celui-ci est réalisé pendant l'hivernage ou juste après. Cela s'explique par le fait que les contacts sont plus francs quand les terrains sont humides et le courant y est mieux conduit.

S'il y a une intensité suffisante on ne peut minimiser les contacts, le problème en saison sèche est le suivant :

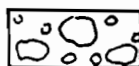
Certains zones très riches présentent une résistance très élevée d'autres zones qui ont pu conserver une certaine humidité relative conduisant à l'augmentation aléatoire de ces valeurs résistives conduisant à introduire une déformation importante des lignes de courant et par conséquent des équipotentielles - Ainsi ce que l'on mesure entre Mer N (DN) n'a plus rien d'uniforme rapporté à la structure verticale de couches horizontales homogènes



couverture de sable à épaisseur très variable
entre 0,30m à 1,5m



couche de graveleux latéritique jugée exploitable par
le CEREEQ (1^{er} niveau ferrallitique)



couche de graveleux latéritique jugée non exploitable à cause
de la présence de gros blocs et de moellons inutilisables
(2^e niveau alumineux)

Fig. 15 : Coupe réalisée sur le front de taille de la carrière de NDIENE2
côté Est.

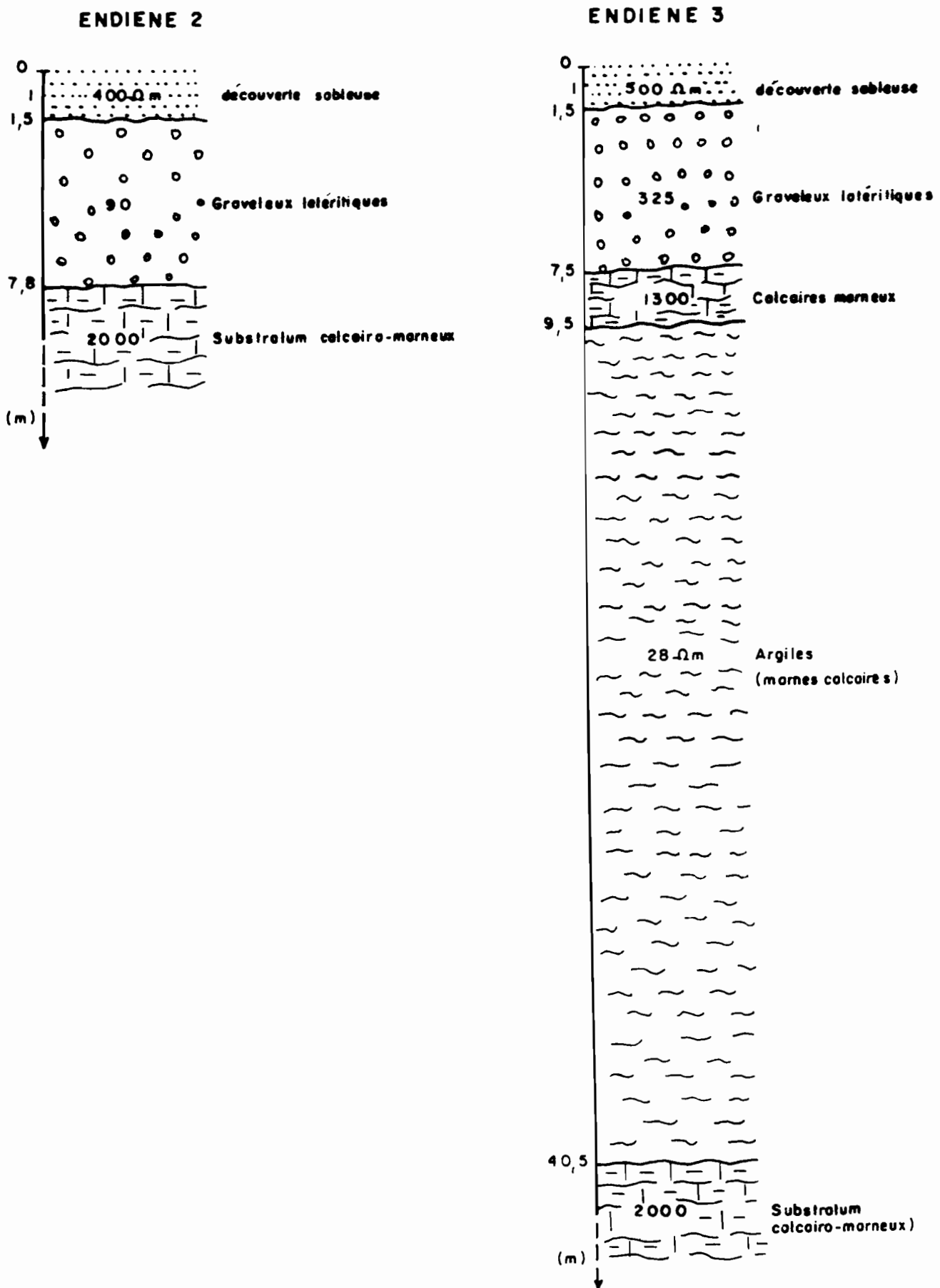


Fig. 16 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectués à NDIENE.

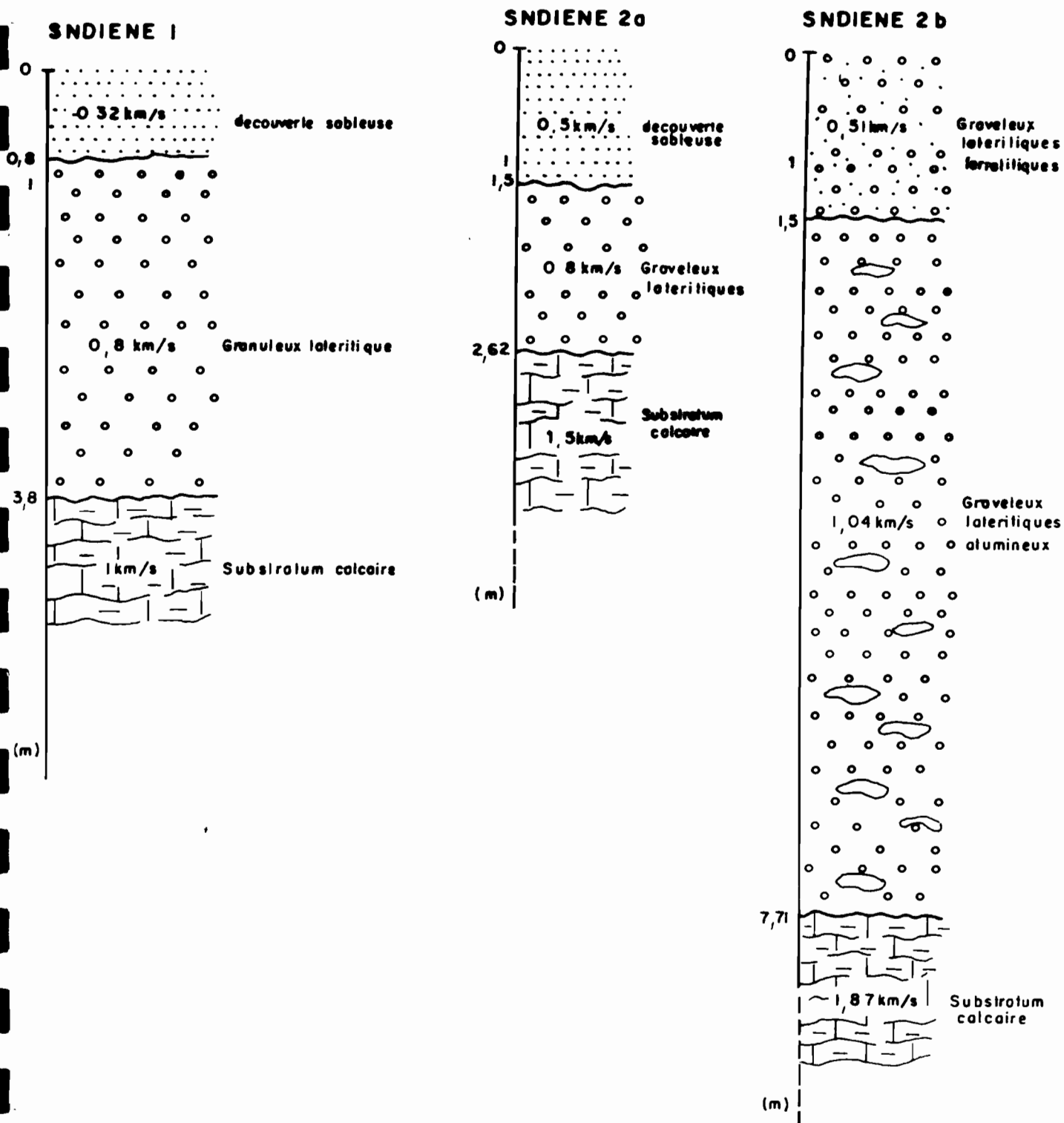


Fig. 17 : Coupes géologiques réalisées à partir des profils sismiques effectués à NDIENE.

Une comparaison des épaisseurs avec des valeurs de référence données par le CEREEQ à la suite d'une prospection par puits réalisée à NDIENE en 1979 et 1984, montre que nos estimations sont plus optimistes quant à la puissance de la couche de graveleux latéritiques.

	Epaisseur de la découverte (en m)	Epaisseur des graveleux (m)
Résultats du CEREEQ (79/84)	0,25 à 1,70	0,85 à 1,70
Prospection géophysique (1991)	0,80 à 1,80	1,47 à 6

Tableaux IX : Comparaison des épaisseurs trouvées à NDIENE avec les résultats du CEREEQ.

On peut remarquer ici que les valeurs de l'épaisseur de la découverte sont dans l'ensemble cohérentes, par contre au niveau de la puissance de la couche de graveleux latéritiques, il y a un écart important qui peut s'expliquer par le fait qu'au niveau du CEREEQ, (ils) n'ont retenu en définitive que l'épaisseur de la couche de latérite exploitable c'est-à-dire ayant les qualités géotechniques requises pour une utilisation dans les travaux routier.

car
la
latérite
n'est
pas
exploitable

La coupe réalisée sur le front de taille de la carrière de NDIENE2 montre bien que la puissance totale de la latérite dépasse bien les estimations du CEREEQ fig. 15).

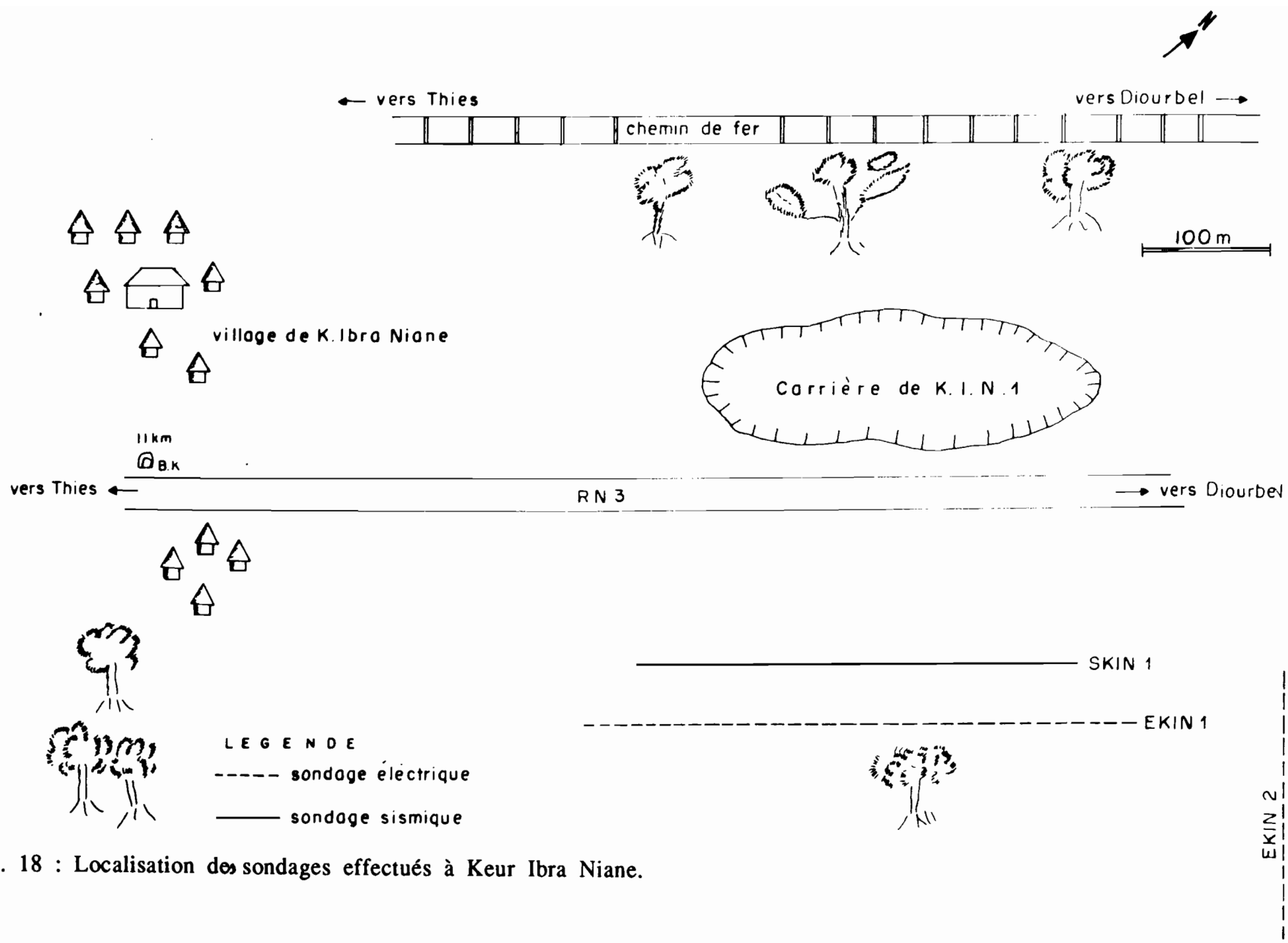


Fig. 18 : Localisation des sondages effectués à Keur Ibra Niane.

2.3.- Site de Keur Ibra NIANE (KIN)

Le village de Keur Ibra NIANE (KIN) se situe à 11 km de la ville de Thiès sur la RN₃ (fig. 11).

Sur ce site, deux sondages électriques et un profil sismique ont été effectuées (fig. 18).

Le sondage EKIN₁ et le profil SKIN₁ ont été réalisés directement sur la cuirasse latéritique très indurée. Nous avons eu d'énormes difficultés pour mettre en place les piquets de sondage. Ceci nous a obligés d'ailleurs à faire deux essais aussi bien en électrique qu'en sismique.

Le sondage EKIN₂ par contre, a été effectué dans de meilleures conditions, parce qu'il y avait la présence d'une découverte de sable et le terrain était encore mouillé par les dernières pluies de l'hivernage finissant. L'interprétation quantitative des courbes de sondage et des hodochrones des profils sismiques a donné les résultats mentionnés sur les tableaux X, XI et XII.

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	2500	3,3
2	6000	6,6
3	875	/

Tableau X : Résultats de EKIN₁

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	1000	1
2	3500	2,6
3	60	40
4	525	/

Tableau XI : Résultats de EKIN₂

N° du terrain	V $m/10^{-3} s$	e.(m)
1	0,5	0,90
2	1,5	/

Tableau XII : Résultats de SKIN₁

En plus des résultats du CEREEQ (1984), les sondages SIF n° 5, 6 et 7 à 17, donnés par le plan minéral sénégalais ajoutés à nos observations de terrains, nous ont permis de trouver la nature géologique de chaque terrain (fig. 19).

Les sondages E_{KIN1} et E_{KIN2} donnent des valeurs d'épaisseur de latérites très cohérentes. Mais en comparant les résultats de l'électrique avec ceux de la sismique (S_{KIN1}), nous constatons un écart trop important (fig. 19 et 20). Il pourrait provenir de mauvais contacts lors de la réalisation du profil sismique qui a eu lieu en saison sèche. Malheureusement, nous n'avons pas eu les moyens matériels de reprendre ce profil aussitôt après la saison des pluies pour contrôler.

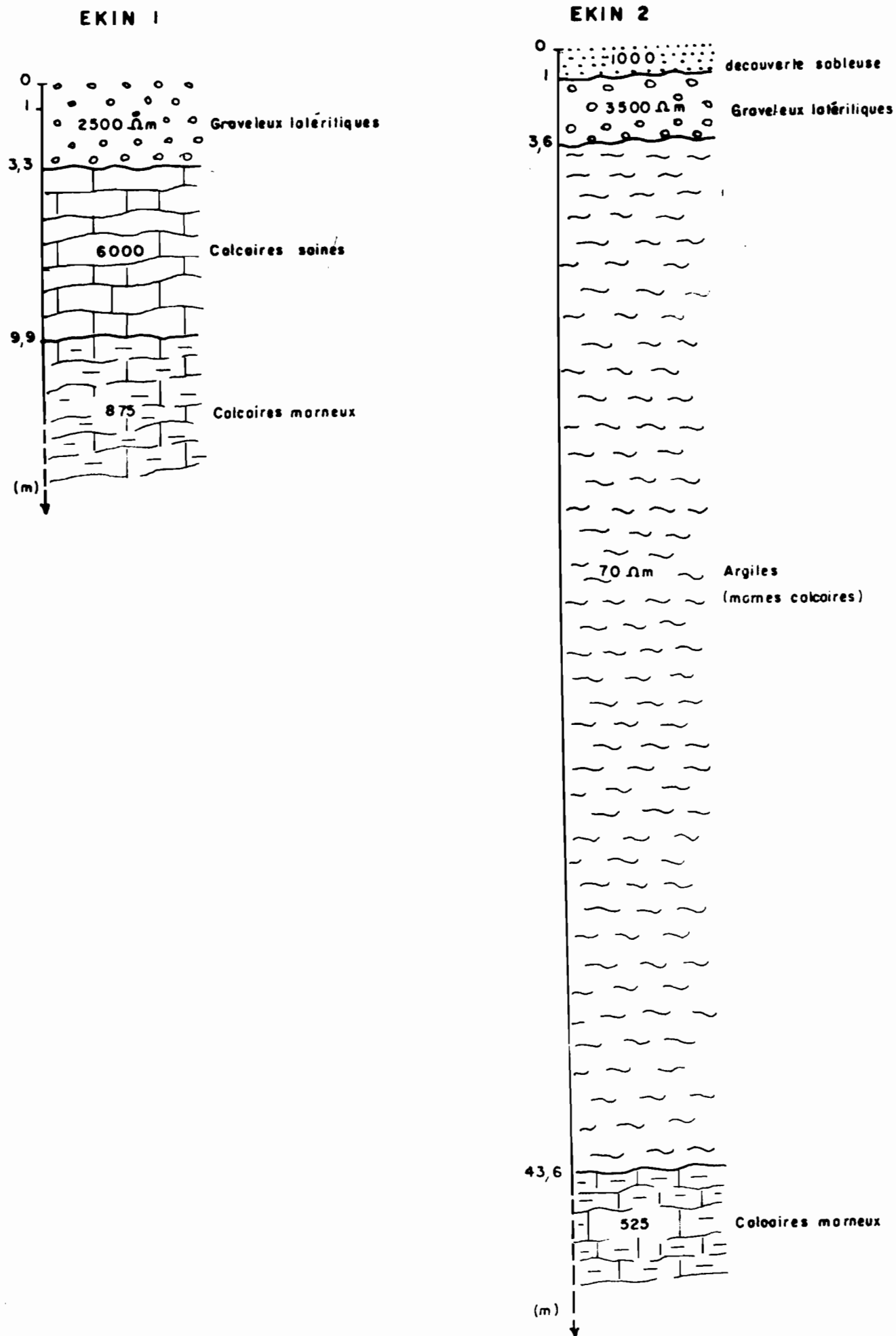


Fig. 19 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectuées à K.I.N.

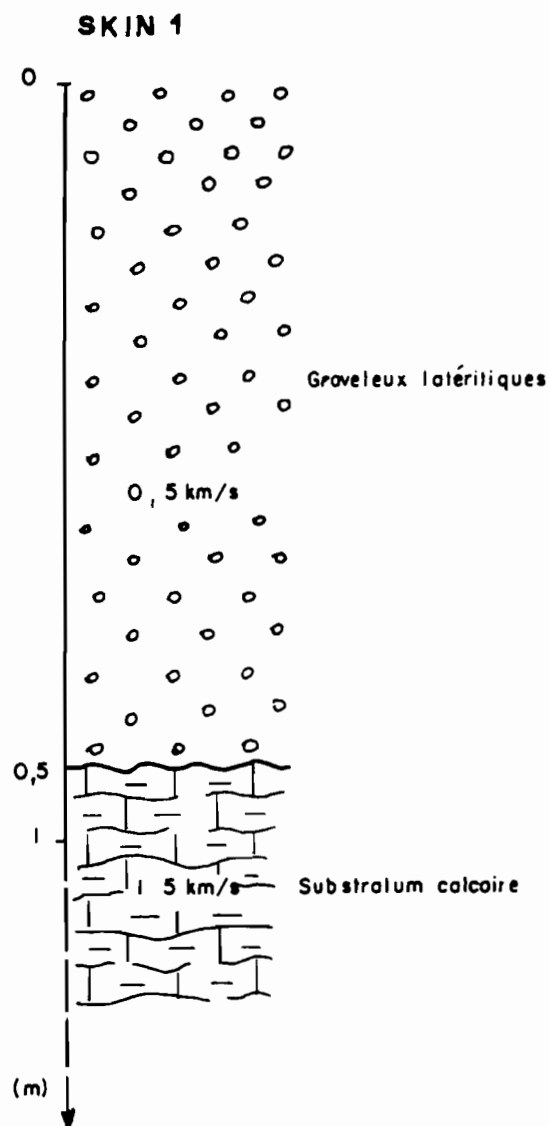


Fig. 20 : Coupe géologique réalisée à partir du sondage sismique effectué à K.I.N.

Une comparaison des épaisseur avec des valeurs de référence données par le CEREEQ à la suite d'une prospection par puits réalisée en 1984, montre une légère différence.

Ceci peut s'expliquer par les variations importantes des épaisseurs de la découverte sableuse et de la couche de graveleux observables en faisant le tour du front de taille de la carrière.

	Epaisseur de la découverte (en m)	Epaisseur des graveleux (m)
Résultats du CEREEQ (1984)	0,3 à 2	0,80 à 2
Prospection géophysique (1991)	1	0,9 à 3,3

Tableau XIII : Comparaison des épaisseurs trouvées à Keur Ibra Niane avec les résultats du CEREEQ.

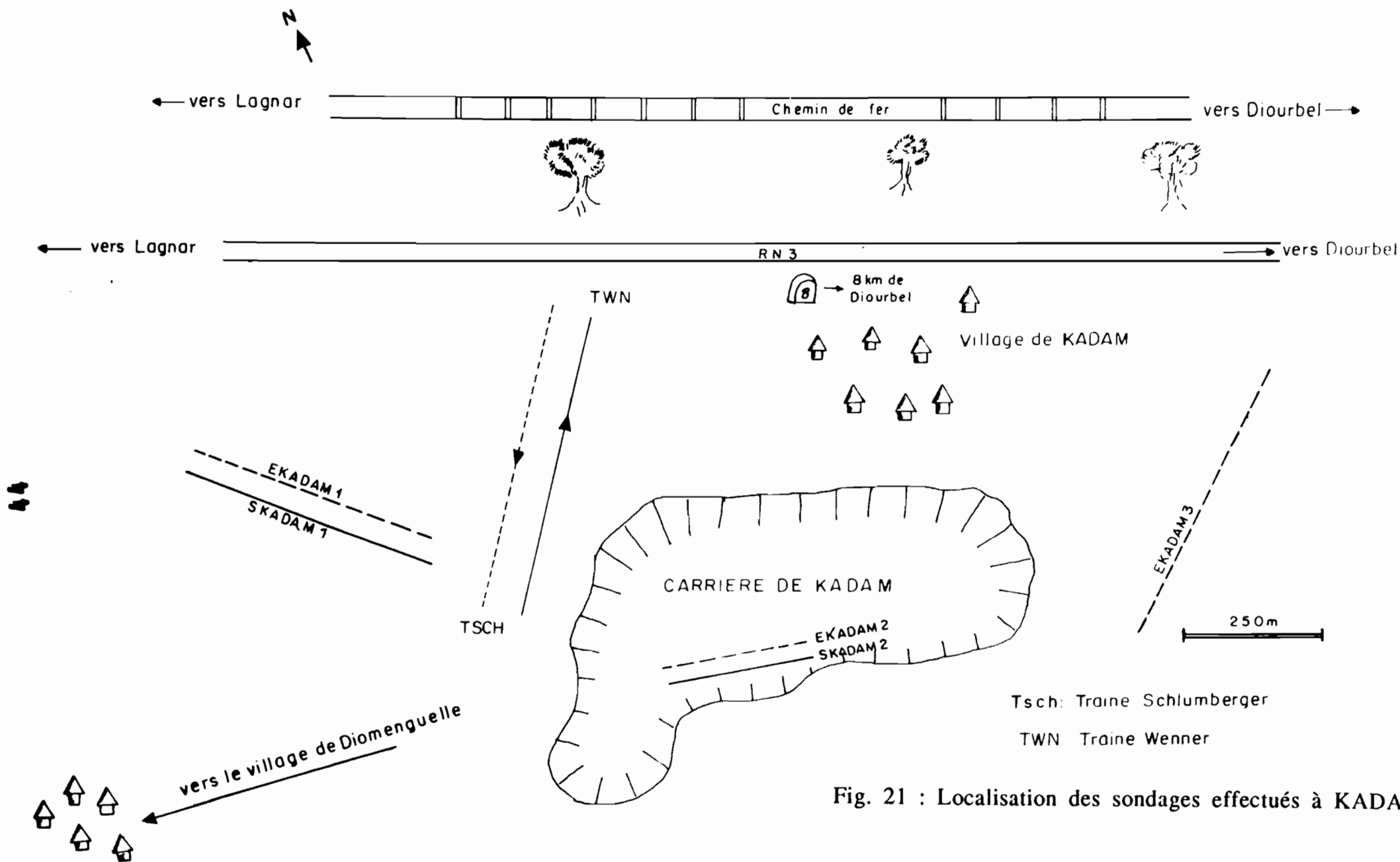


Fig. 21 : Localisation des sondages effectués à KADAM.

2.4.- Site de KADAM

Le village de KADAM est situé à 8 km de Diourbel sur la RN₃ (fig. 11), dans la Communauté rurale de Lagnar.

Sur ce site, nous avons effectué :

- trois sondages électriques ;
- deux profils sismiques ;
- et deux "trainés" électrique (fig. 21).

L'interprétation des courbes de sondages et des hodochrones a donné les résultats mentionnés sur les tableaux XIV, XV, XVI, XVII et XVIII.

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	400	0,55
2	120	2,5
3	1200	/

Tableau XIV : Résultats de EKADAM₁

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	120	1,4
2	1350	3
3	90	/

Tableau XV : Résultats de EKADAM₂

N° du terrain	ρ_s ($\Omega.m$)	e.(m)
1	270	0,8
2	88	5,2
3	1920	2,5
4	40	/

Tableau XVI : Résultats de EKADAM₃

N° du terrain	V_s $m/10^{-3} s$	e.(m)
1	0,4	0,70
2	0,6	4,6
3	1,5	/

Tableau XVII: Résultats de SKADAM₁

N° du terrain	V $m/10^{-3} s$	e.(m)
1	0,55	2,1
2	1,8	/

Tableau XVIII: Résultats de SKADAM₂

A partir des courbes de sondages électriques, EKADAM₁ et EKADAM₃, nous remarquons que les modèles ont la même allure jusqu'au troisième terrain et que EKADAM₃ révèle un quatrième terrain. Ceci confirme le fait que quand les terrains sont humides, l'investigation est plus facile et plus précise. Néanmoins, la méthode reste bien valable en saison sèche et les résultats du sondage EKADAM₁ nous le montre comparé à ceux de EKADAM₃.

EKADAM₂ réalisé en saison sèche dans le fond de la carrière, donne une courbe qui épouse la même forme que celle de EKADAM₃ si on fait abstraction de la partie représentant la découverte.

D'après la coupe réalisée par la société des pétroles du Sénégal en janvier 1960, d'après les résultats de sondage du CEREEQ (1963), mais aussi et surtout d'après nos observations de terrains à partir du front de taille de la carrière et des déblais d'un puits creusé à 200 m environ, nous avons pu identifier la nature géologique de chaque terrains (fig. 22 et 23).

A partir des coupes des fig. 22 et 23, nous remarquons que l'épaisseur de la découverte est peu variable (0,55 à 0,8 m). Par contre les sondages EKADAM₁, EKADAM₃ et SKADAM₁, SKADAM₂, montre^{nt} une grande variabilité des valeurs de l'épaisseur de la couche de graveleux.

Des mesures faites tout autour du front de taille de la carrière de KADAM confirment bien cette variation de la puissance de la latérite (fig. 24).

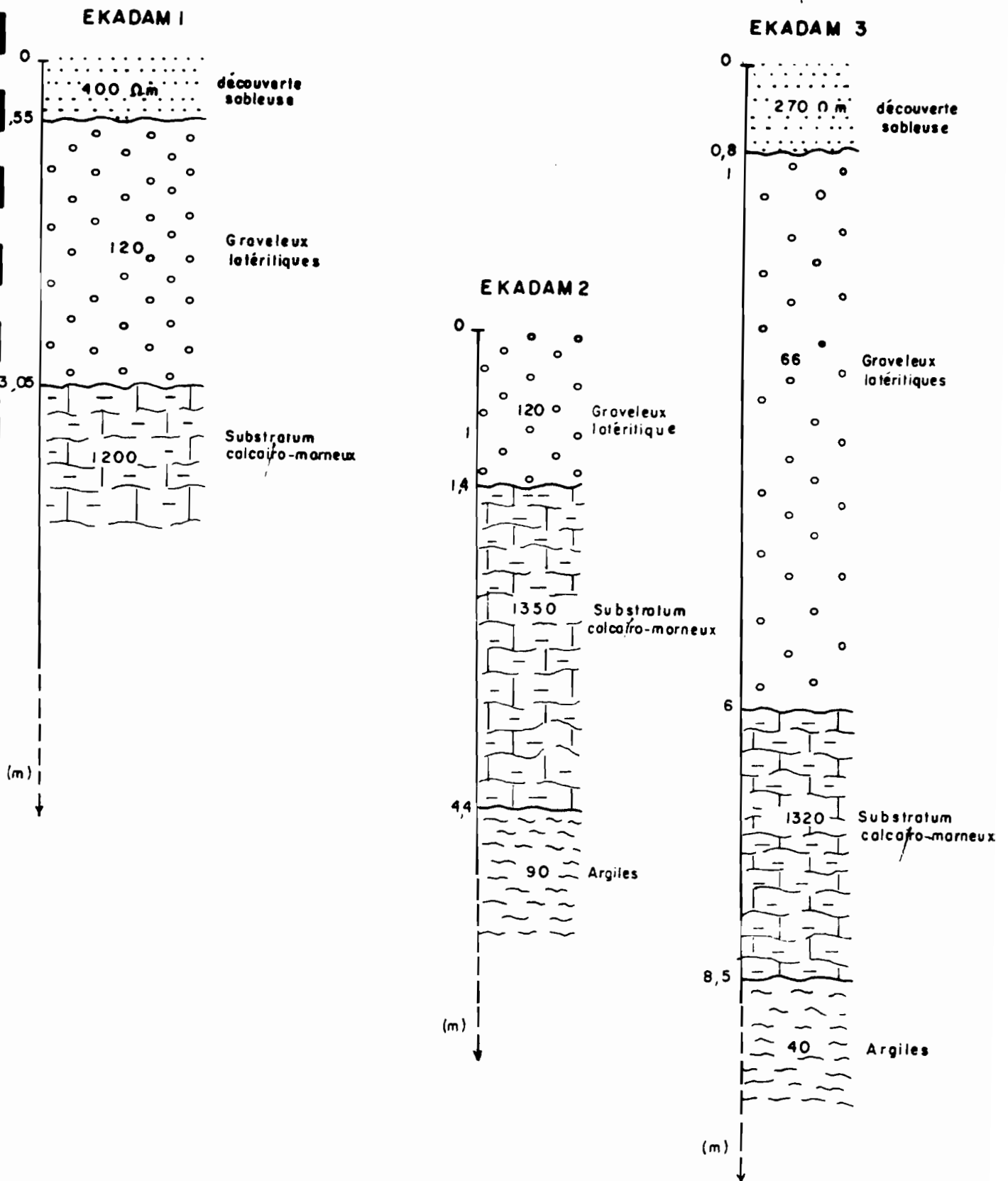


Fig. 22 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages électriques effectués à KADAM.

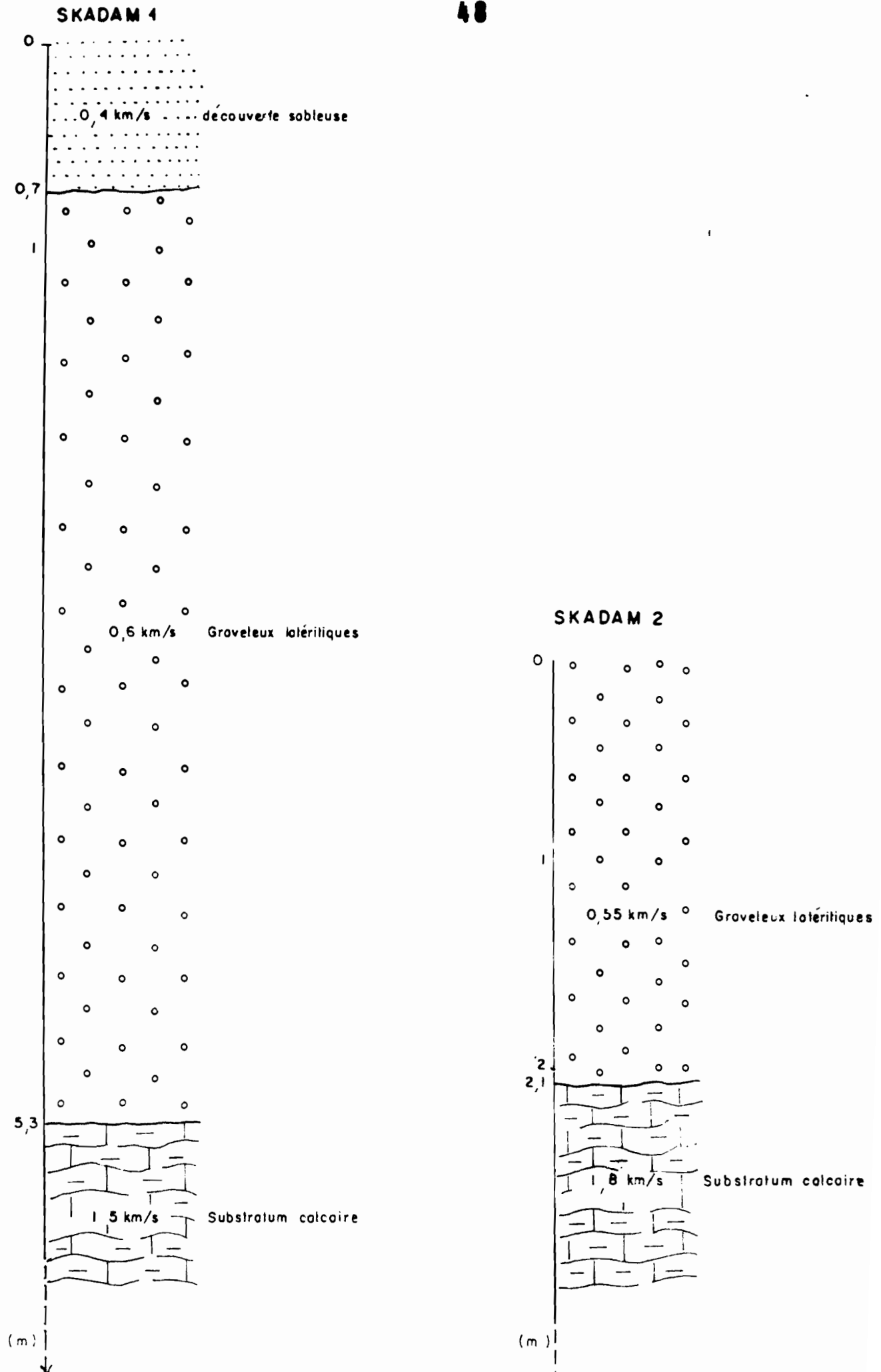


Fig. 23 : Coupes géologiques réalisées à partir des sondages sismiques effectués à KADAM

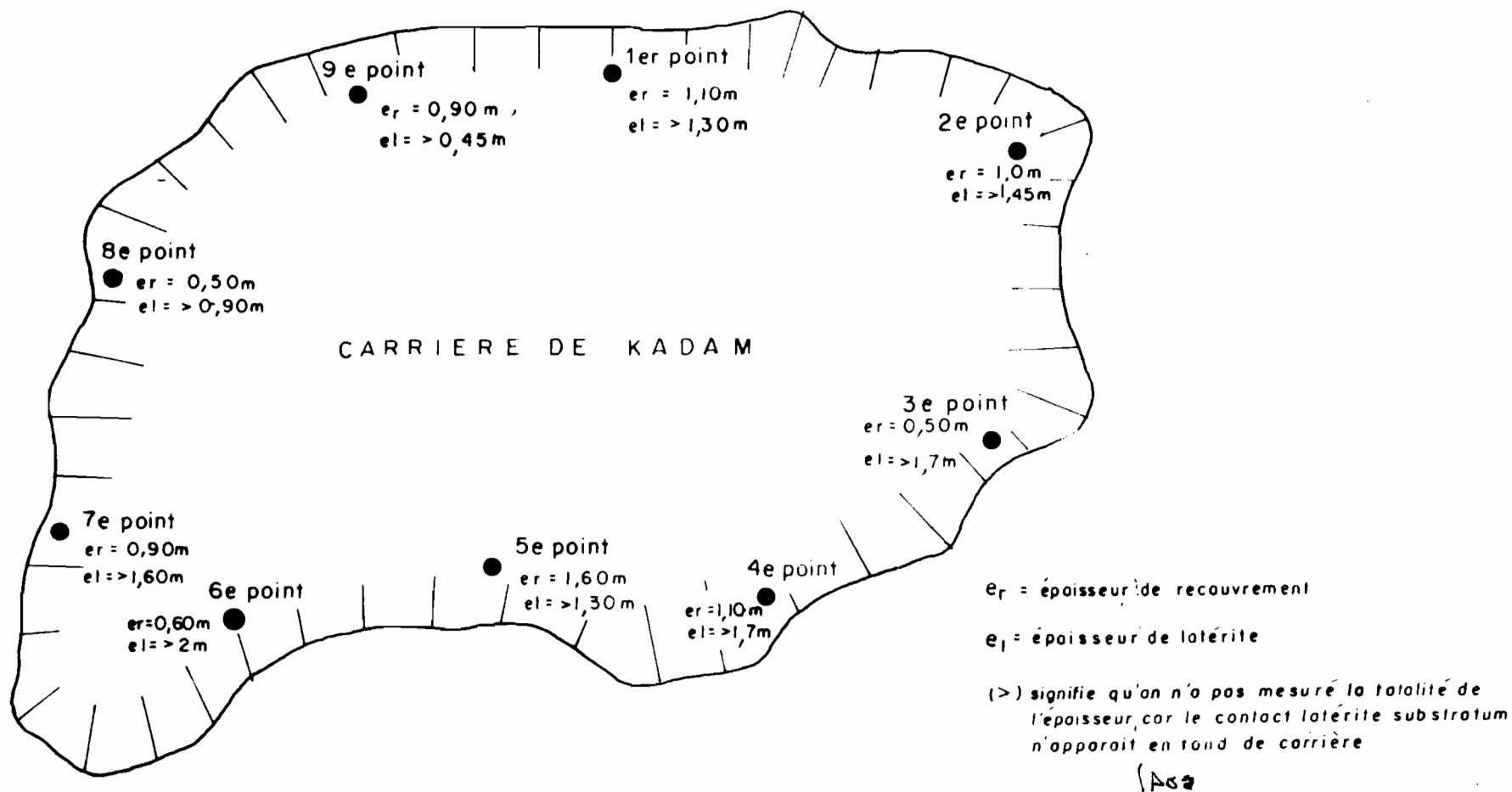


Fig. 24 : Mesures faites sur le front de taille de la carrière de KADAM.

Les valeurs des épaisseurs de découverte et de graveleux données par le CEREEQ à la suite d'une prospection par puits réalisée en 1963 sur ce site, nous permet de faire une comparaison.

	Epaisseur de la découverte (en m)	Epaisseur des graveleux (m)
Résultats du CEREEQ (1963)	1,10	1,70
Prospection géophysique (1991)	0,55 à 0,80	2,50 à 5,20

Tableau XIX : Comparaison des épaisseurs trouvées à KADAM avec les résultats du CEREEQ.

En analysant ce tableau XIX, nous remarquons comme précédemment que les valeurs de l'épaisseur de la découverte sont sensiblement les mêmes pour les deux méthodes.

Couche Les épaisseurs de la couche de graveleux latéritiques trouvées par les méthodes géophysiques sont *donner* toujours plus importantes parce que parfois le CEREEQ ne donne que l'épaisseur de la latérite jugée exploitable. Dans le cas présent, il y a deux niveaux de latérite séparée par un bancs de grès quartzique discontinu (fig. 25). Le CEREEQ a donné l'épaisseur du premier niveau de graveleux latéritiques qui était déjà suffisant pour les travaux à faire surtout qu'une exploitation du deuxième niveau pourrait poser des difficultés à cause de ce banc très dur. L'épaisseur de ce premier niveau de graveleux fait environ 2 m (fig. 25 et fig. 26), et serait donc parfaitement comparable à la valeur donnée par le CEREEQ.



Fig. 25 : Photo prise sur le côté SW du front de taille de la carrière de KADAM montrant le banc de grès quartzique.

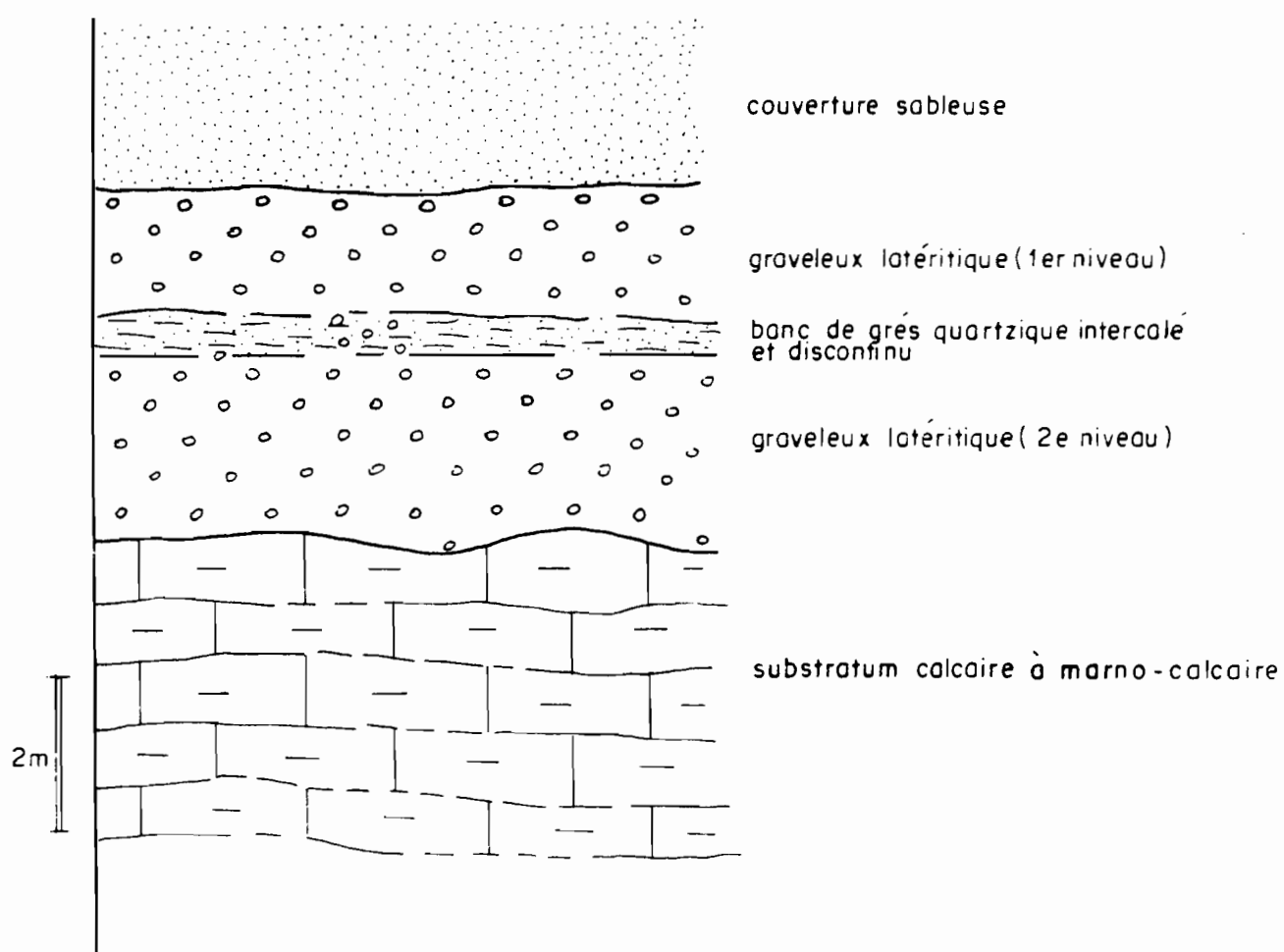


Fig. 26 : Coupe géologique synthétique à KADAM réalisée à partir du front de taille de la carrière de latérite.

* Les "trainés" électriques

Les deux "trainés" électriques ont été réalisés parallèlement et sur le même endroit.

Pour le "trainée Wenner (T.Wen), nous avons $AB/3 = 4$ m.

Pour le "trainé" Schlumberger (T SchL), nous avons choisi $AB/2 = 15$ m et $MN/2 = 2$ m.

Ces paramètres ont été choisis en fonction des données des sondages réalisés sur le site. A KADAM, le mur de la couche de graveleux se situerait au maximum à 6,2 m. Comme pour un "trainé" la profondeur d'investigation varie entre $AB/20$ et $AB/4$, les valeurs de $AB/3$ (Wenner) et $AB/2$ (Schlumberger) choisies permettent en principe de rendre compte de l'extension de la couche de graveleux latéritiques à partir des variations latérales des résistivités.

En faisant une interprétation qualitative des courbes obtenues, on remarque des maxima et des minima aussi bien pour le Wenner que le Schlumberger (fig. 27). Les variations latérales sont plus marquées sur le profil Schlumberger (pic) puisque l'investigation concerne une tranche de terrain plus importante ($AB = 30$ m alors que Wenner $AB = 12$ m). Les maxima et minima correspondraient à des augmentations ou diminutions de l'épaisseur de graveleux latéralement. Il serait dès lors intéressant pour mieux optimiser les résultats d'une prospection géophysique dans le secteur, d'établir une carte des résistivités. Ceci permettrait de faire plus facilement une localisation plus juste des meilleurs gisements en tenant compte des paramètres profondeurs, puissance et extension latérale.

fe

effectuer un essai d'interprétation
sur épaisseur au la base

Wenner ($AB = 12$ m) relatif reconnaître graveleux
Schlumberger ($AB = 30$ m) relatif graveleux / ~~aspect profond~~
marques

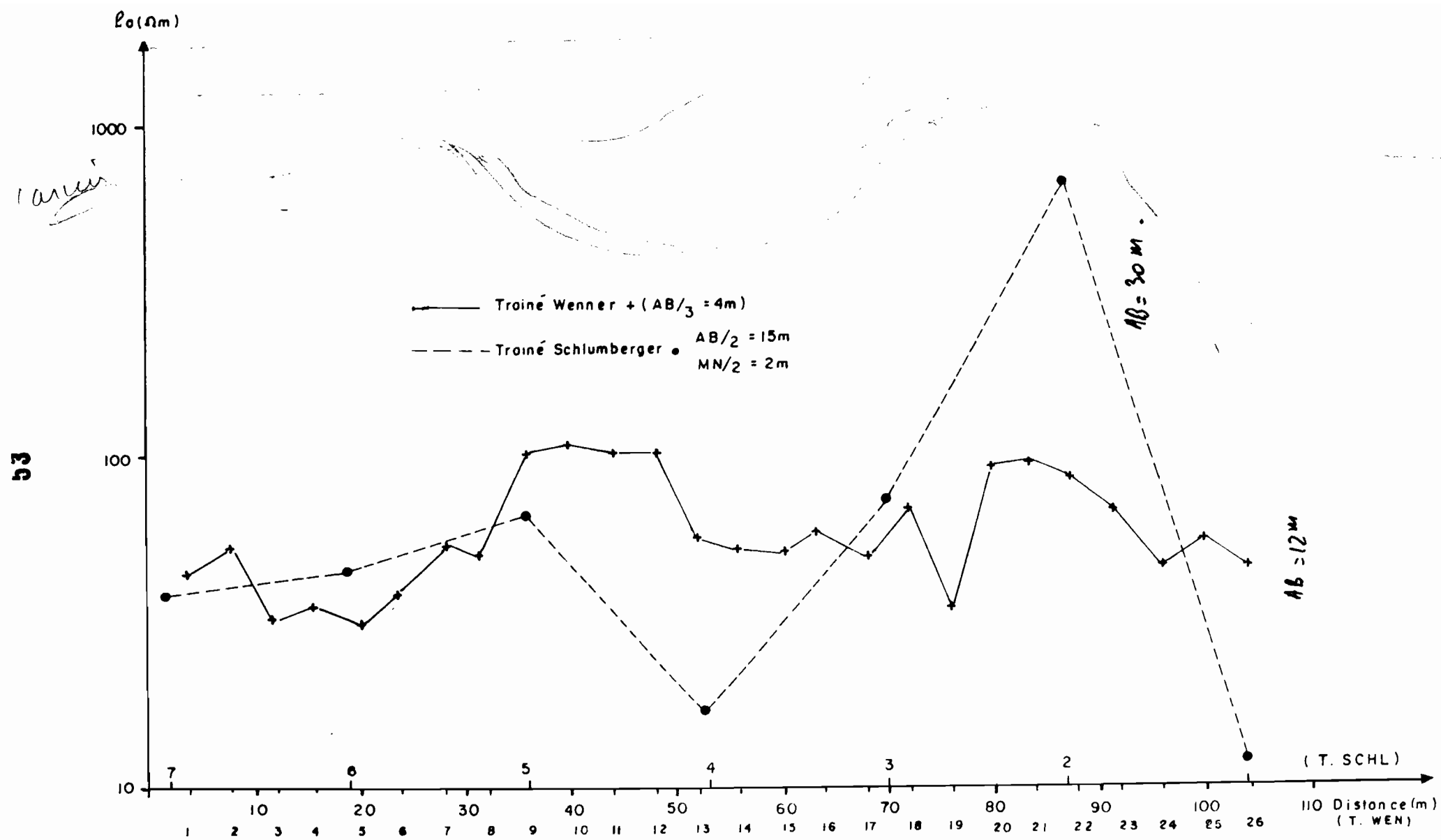


Fig. 27 : "Trainés" électriques effectués à KADAM.

3 - DEFINITION D'UNE ECHELLE DE RESISTIVITE APPARENTE ET DE VITESSE SISMIQUE POUR LES LATÉRITES ETUDIÉES

3.1.- Echelle de résistivité apparente des graveleux latéritiques

Sondage électrique	SEBIK ₁ CO	ESEBIK ₂	ENDIEN E2	ENDIEN E3	EKIN ₁	EKIN ₂	EKADA M1	EKADA M2	EKADA M3
ρ_a ($\Omega.m$)	4000	1300	90	325	2500	3500	120	120	66 (88)

12000 800

400

500

1000

400

Tableaux XX : Synthèse des ρ_a trouvées au niveau des sites test pour les graveleux.

D'après le professeur SAWADOGO (cours IST.2 1989), la résistivité apparente des latérites de zone tropicale varierait de 100 $\Omega.m$ à 3.000 $\Omega.m$. Nous remarquons que toutes nos valeurs sont bien encadrées dans cet intervalle à l'exception de deux qui ne sont d'ailleurs pas loin des extrêmes.

3.2.- Echelle de la vitesse sismique à travers les graveleux latéritiques étudiés

Profil sismique	SNDIENE ₁	SNDIENE ₂	SNDIENE ₂	SKIN ₁	SKADAM ₁	SKADAM ₂
V (m/10 ⁻³ s)	0,80	0,80	0,51 1,04	0,50	0,60	0,55

0,8

0,32

0,51

0,4

Tableau XXI : Synthèse des vitesses sismiques à travers les graveleux des sites test.

Malheureusement nous n'avons eu aucun document donnant des valeurs de vitesse sismique à travers les latérites pour pouvoir comparer avec les valeurs de vitesse trouvées à la suite de notre étude. D'après les résultats expérimentaux, nous pouvons estimer que la vitesse moyenne se situerait entre 0,8 m/10⁻³s et 0,5 m/10⁻³ s.

4 - METHODE PROPOSEE POUR UNE CAMPAGNE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Une bonne campagne de prospection géophysique doit comporter au moins les quatre grandes phases suivantes :

1°) Phase de reconnaissance générale. Elle consiste :

- à étudier toute la documentation sur la région (forages effectués, carrières exploitées...) ;
- à étudier la géologie de la région, sa morphologie et sa topographie ;
- à faire des observations directes sur le terrain. Cette étape nous permet d'avoir grossièrement une idée sur la nature et l'organisation des différentes couches de terrain.

2°) Phase d'étalonnage

L'étalonnage s'effectuera sur des affleurements ou des carrières situées le plus proche possible de la zone à prospecter.

Etant donné que les graveleux latéritiques représentent un matériau trop hétérogène, les résistivités et les vitesses sismiques sont très variables et peuvent être fonction de la teneur en eau, de la granulométrie, de la plasticité, de la fraction argileuse...

Il est donc préférable de faire l'étalonnage des mesures sur un grand nombre d'échantillons (sites) ce qui permettrait d'avoir une fourchette de valeurs caractéristiques de la couche de graveleux latéritiques.

3°) Prospection s.s.

C'est seulement après les deux premières phases que la prospection proprement dite peut débuter.

* Si on suppose l'élément et on veut voir son extension, on réalise des profils (trainés) ou des cartes de potentiel.

* Si le but est exploratoire, on réalise des "trainés" sur x km avec sondage tous les km par exemple.

* On peut aussi effectuer des sondages suivant une maille et faire des corrélations pour déterminer l'extension et la puissance du gisement recherché.

4°) ~~Sondage~~ de contrôle

Il est préférable quelque soit la fiabilité de la méthode utilisée de terminer une campagne de prospection géophysique par l'examen direct des sols en place à partir de deux tranchées ou puits.

Le choix entre tranchée et puits sera fonction des engins et outils disponibles, de l'homogénéité et du modelé superficiel du terrain.

Outre la possibilité de faire les études d'ensemble du terrain, ce procédé permet d'extraire des échantillons appropriés pour les différents essais géotechniques de laboratoire.

5 - PRECISION, LIMITES ET RENDEMENT DES METHODES GEOPHYSIQUES DE PROSPECTION

5.1.- Sondages électriques

La précision de l'investigation par les méthodes électriques est essentiellement liée aux facteurs suivants :

- contraste des caractéristiques physiques des couches à différencier (rapport des résistivités) ;
- horizontalité des couches ;
- épaisseur suffisante par rapport à la profondeur.

Théoriquement, la méthode n'a pas de limite, il suffit de donner à la ligne AB une longueur suffisante. On sera seulement limité par la puissance de l'appareillage.

Le rendement de la méthode est fonction elle, de trois facteurs principaux :

- la profondeur d'investigation recherchée et la maille imposée ;
- le type d'appareillage ;
- le nombre de membres de l'équipe et leur habileté.

5.2.- Sismique réfraction

Cette méthode est aujourd'hui très employée et permet de résoudre de nombreux problèmes courant aux faibles profondeurs.

La précision de la méthode dépend presque exclusivement de la sensibilité de l'appareillage. Il faudrait avant toute mesure, bien régler le bruit de fond pour pouvoir mieux déceler le temps d'arrivée des premières ondes qui en fait sont les plus importantes à relever pour l'interprétation des hodochrones.

Le rendement de la méthode est très intéressant, car les appareillages légers sont en général mis en oeuvre par une équipe de fonctionnement composée d'un opérateur et deux manoeuvres.

REMARQUES

On peut rencontrer des difficultés de mise en oeuvre quand les terrains sont trop secs, par conséquent, il serait préférable d'effectuer les sondages pendant l'hivernage ou alors juste après les dernières pluies. Les contacts seraient nettement meilleurs et le contraste de résistivité amélioré.

L'interprétation est très délicate et peut même parfois devenir très complexe du fait surtout que les correspondances entre faciès géophysiques et faciès géologiques ne sont pas biunivoques.

m. Legu...

TROISIEME PARTIE

**PROPRIETES GEOTECHNIQUES ET
UTILISATION DES LATERITES EN
TECHNIQUES ROUTIERES**

1.- Détermination des propriétés géotechniques des graveleux latéritiques

C'est dans les travaux routiers que l'utilisation des graveleux latéritiques est la plus répandue. Les caractéristiques géotechniques les plus importantes pour ce type de matériau sont :

- la granularité ;
- les limites d'atterberg ;
- l'optimum Proctor ;
- et la portance CBR.

Il faut signaler par ailleurs qu'au Sénégal, d'importantes études ont été menées pour la construction de bâtiments en sol latéritique stabilisée à la chaux ou au ciment.

Dans le but d'établir une corrélation entre les paramètres géophysiques (résistivité et vitesse sismique) et les caractéristiques physiques et mécaniques des graveleux latéritiques, quelques essais d'identification et de comportement ont été réalisés sur des échantillons prélevés au niveau des quatre sites test (NDIENE, KIN, KADAM et SEBIKOTANE).

Les résultats des analyses faites dans les laboratoires du CEREEQ et de l'ENSUT, sont consignés dans le tableau XXIIa.

1.1.- La teneur en eau (W %)

La teneur en eau d'un graveleux est le rapport entre le poids d'eau et le poids des grains solides d'un certain volume après séchage à l'étude à 105°C jusqu'à un poids constant.

Elle s'exprime en pourcentage

$$W \% = \frac{P_w}{P_s} \times 100$$

P_w = poids de l'eau

P_s = poids des grains solides

L'essai est réalisé sur des échantillons représentatifs.

En général, on procède à plusieurs déterminations de la teneur en eau sur un échantillon et on prend la valeur moyenne appelée teneur en eau optimum (W_{opt}).

1.1.2.- Poids spécifique du graveleux sec

Le poids spécifique est défini par le rapport poids sur volume.

Pour la réalisation de l'essai, on prélève un échantillon de volume connu et immédiatement on le pèse pour obtenir son poids.

Le rapport poids sur volume donne le poids spécifique du graveleux humide.

L'échantillon est ensuite placé à l'étude et on pourra ainsi déterminer sa teneur en eau ($W\%$). Le poids spécifique du graveleux sec (γ_d) sera alors donné par la relation :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + w}$$

1.1.3.- Analyse granulométrique

Elle se propose de définir la répartition des grains constitutifs d'un sol par classe de taille en utilisant le tamisage mécanique pour les grains supérieurs à 0,1 mm ou la sédimentométrie pour les particules inférieures à 0,1 mm.

Nous savons que la latérite a une structure concrétionnaire.

Elle se réalise par agrégation des sesquioxydes positivement chargés autour des particules argileuses de charge négative.

Précisons que cette agrégation se réalise plus facilement dans le cas des oxydes de fer que celui de l'alumine.

Géotechniquement, le graveleux latéritique est défini comme une latérite de granulométrie 0/20 mm à 0/40 mm comportant 10 à 35 % de fines passant au tamis de 80 mm (tamis n = 200 ASTM) et un "squelette" (refus sur le tamis de 2 mm ASTM N = 10) de 20 à 60 %.

Quand la latérite contient plus de 35 % de passant à 80 mm, elle n'est plus considérée comme graveleux mais plutôt comme sol fin par conséquent, elle ne pourra être utilisée dans les travaux qu'après amélioration au ciment par exemple ou à la chaux.

1.1.4.- Les limites d'ATTERBERG

C'est un essai qui se pratique sur les fines.

Dans la fraction fine des graveleux, les limites d'atterberg mettent en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau.

Lorsque la teneur en eau décroît, on distingue trois états (état liquide, plastique et état solide).

La transition d'un état à l'autre est progressive. On fixe conventionnellement les teneurs en eau limite (ou limite d'atterberg) entre les différents états.

1.1.4.1.- Limite de plasticité (W_p)

C'est la teneur en eau au-dessous de laquelle le sol perd sa plasticité et devient friable.

La plasticité dépend essentiellement de la nature de la fraction argileuse à 80 μ .

Par ailleurs, la proportion de fines demeure aussi un critère d'utilisation de grande importance et nous pouvons pour ce, évoquer deux raisons :

- d'abord parce que la qualité recherchée est avant tout la stabilité du matériau. Cette condition exige que la matrice soit maintenue au-delà d'un pourcentage minimal de façon à pouvoir contenir par cohésion l'action du trafic ;

- une limite supérieure doit cependant être spécifiée pour contrôler une éventuelle perte complète de contact entre les éléments de gros calibre.

1.1.4.2.- Limite de liquidité (W_l)

C'est la teneur en eau au-dessus de laquelle le sol se comporte comme un semi liquide et s'écoule sous son propre poids.

1.1.4.3.- Indice de plasticité (I_p)

A partir des limites d'Atterberg, on peut calculer l'indice de plasticité qui permet au géotechnicien une appréciation rapide du comportement du matériau.

L'indice de plasticité est obtenue par la relation suivante :

$$I_p = W_l - W_p (\%)$$

Il définit l'étendue du domaine plastique, il est d'autant plus élevé que le graveleux contient plus d'argile (fines). Suivant la valeur de l'indice de plasticité. On peut procéder à une classification du matériau, ainsi nous avons :

0	>	I_p	<	5	sol non plastique
5	<	I_p	<	15	moyennement plastique
15	<	I_p	<	40	plastique
		I_p	>	40	très plastique

1.2.- Essai de comportement réalisé : Essai CBR

La portance routière d'un graveleux est son aptitude à supporter à travers une certaine structure de chaussée les charges routières qui devront parcourir la chaussée. Diverses techniques d'évaluation de la portance en laboratoire et in situ, ont été mises au point. Parmi les essais de laboratoire, l'essai CBR (Californian Bearing Ratio) ou Indice portant Californien est le plus utilisé. C'est une méthode de dimensionnement des chaussées souples bien adaptée aux problèmes de route.

Il existe des abaques qui donnent l'épaisseur des chaussées souples en fonction de l'indice portant CBR et aujourd'hui, ces abaques tiennent même compte de l'intensité du trafic, de la charge par essieu et de la fréquence d'application des charges.

Pour évaluer la portance d'un graveleux latéritique, on le soumet à un poinçonnement après compactage.

Les pressions correspondantes aux enfoncements de 2,5 mm et 5 mm sont comparées à des valeurs de références qui ont été obtenues sur un sol californien type dont l'indice CBR a été pris conventionnellement égal à 100.

L'indice portant CBR est égal à la plus grande valeur des rapports exprimés en pourcentage des pressions correspondantes aux enfoncements de 2,5 mm ou 5 mm aux pressions correspondantes aux mêmes enfoncements sur le matériau standard soit respectivement 70 et 105 Kgf/cm².

La valeur du CBR est donnée par la relation suivante :

$$[P (2,5 \text{ mm}) / 70] \quad x \quad 100 \text{ et } [P (5 \text{ mm}) / 105] * 100]$$

Rappelons qu'il existe deux types d'essai CBR :

- Essai CBR de portance immédiate ; sans surcharge ni imbibition
- Essai CBR de portance avec surcharge et imbibition dans l'eau pendant 4 jours.

C'est ce deuxième type que nous avons effectué estimant que les conditions de cet essai sont plus proches de la réalité.

Les réserves émises à l'encontre de la méthode CBR portent entre autres sur la déformation à vitesse constante qui ne correspond pas aux conditions de travail de la chaussée. En effet, dans la pratique, les charges circulant sur la chaussée ne sont pas uniformes.

Néanmoins dans la pratique, l'essai CBR s'est avéré très satisfaisant et à partir des valeurs de l'indice CBR, le géotechnicien est à même de prévoir le comportement des matériaux pour le chantier. Il est recommandé d'effectuer plusieurs essais de poinçonnement (au moins 3) pour déterminer un indice CBR.

2.- Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière

Les tout-venants latéritiques restent de loin les matériaux les plus utilisés pour la construction et l'entretien des chaussées revêtues ou non. Le matériau idéal doit avoir les propriétés suivantes : des caractéristiques mécaniques élevées (latérites riches en éléments graveleux), une non formation de tôle ondulée et un dégagement de peu de poussière en saison sèche, une absence de glissance et une résistance à l'érosion pendant la saison des pluies surtout pour les chaussées non revêtues (route en terre).

Il a été établi des spécifications optimales dégagées par l'expérience et des essais au laboratoire pour l'utilisation des graveleux dans les différents travaux routiers.

. A propos des routes non revêtues, le graveleux latéritique peut avoir quatre utilisations.

Comme couche de fondation, un graveleux à forte portance est choisi pour pouvoir résister aux efforts verticaux.

Il peut être aussi utilisé comme couche de roulement parce que la latérite développe généralement une bonne cohésion qui résiste aux effets des pneus sans être argileux, c'est-à-dire sans se ramollir considérablement à l'humidification ou à l'imbibition.

Dans les régions où la latérite est vraiment en grande abondance, on peut utiliser le graveleux dans les travaux de terrassement.

Le graveleux latéritique fournissant une assise stable à la chaussée, est utilisée également pour la couche de forme.

Dans le cas des routes revêtues, trois utilisations sont courantes.

La première est l'utilisation en couche de fondation. Les critères de convenance dépendent des pays. Dans le cas général, on admet que c'est le CBR mesuré après 4 jours d'imbibition et pour une densité de 95 % OPM qui est fondamental. On exige souvent un CBR de 30 au plus pour cette couche. Les tolérances admissibles pour les pourcentages de fines et la plasticité sont modulées selon l'importance du trafic.

Pour la deuxième utilisation, le graveleux latéritique peut servir à la réalisation des accotements des routes en pays tropicaux.

Enfin, lorsque le critère fondamental de convenance est respecté (un CBR minimum de 80 pour une compacité de 95 % OPM), le graveleux latéritique peut être utilisé comme couche de base. Il y a aussi possibilité d'utiliser un graveleux de CBR > 60 en le traitant au ciment si le trafic est important.

Site où l'échantillon a été prélevé	Paramètres Géotechniques étudiés					
	CBR (%)	I _p (%)	γ_{dmax} (g/cm ³)	W _{opt} (%)	% Passant	
					à 2 mm	à 0,1 mm
Keur Ibra Niane (KIN)	64	18 → 16	2,04	9,0	22 à 35	9 à 11
K A D A M	80	19 → 16	2,32	7,1	9,0 → 25	7 à 14
	65	22 → 54	2,28	7,2	24 → 29	9 à 16
		14 → 41	2,34	6,7	20 → 35	8 à 13
N D I E N E	105/70	9/7 → 8/5	2,05 → 1,97	8/10	15/15 → 28/33	6/5 → 11/12
	115	10 → 10	2,04	8,5	18 → 34	7 → 12
	113	85	2,09	8,6	→ 49	→ 22
S E B I K O T A N E	126	8 → 8	2,16	8,7	40 → 65	18 → 27
	120	19 → 22	1,85	12,0	23 → 28	15 → 19
		20 → 20	1,91	13,2	32 à 40	19 à 26

TABLEAU XXIIA : Résultats des essais de laboratoire réalisés sur les graveleux latéritiques étudiés.

N.B. : Valeur avant compactage → Valeur après compactage

⁴ **QATRIEME PARTIE**

ESSAI DE CORRELATION ENTRE PARAMETRES GEOPHYSIQUES ET GEOTECHNIQUE

I - COMMENTAIRES DES DIFFERENTES COURBES DE CORRELATION

Les différents sondages électriques et profils sismiques réalisés au niveau des quatre sites test nous ont permis d'avoir différentes valeurs de la résistivité apparente et de la vitesse sismique des graveleux latéritiques (tableaux XX et XXI). Les valeurs des différents paramètres géotechniques consignés sur le tableau XXII ont été obtenues grâce à des essais réalisés dans les laboratoires du CEREEQ et de l'ENSUT.

Il nous a semblé intéressant de tenter une corrélation entre les paramètres géotechniques les plus importants dans le choix d'un matériau et les résistivités et vitesses sismiques trouvées.

L'objectif de cette démarche est d'essayer de trouver une relation directe, à défaut une tendance qui servirait à donner une première idée de la qualité géotechnique des graveleux à partir des résultats d'un sondage géophysique.

Latérite du site de / Paramètre	SEBIK ₁ CO	SEBIK ₂	NDIENE 1	NDIENE 2	NDIENE 3	KIN ₁	KIN ₂	KADAM 1	KADAM 2	KADAM 3
ρ_a (W.m)	4000	1300	/	90	325	2500	3500	120	120	66
V(m/m s)	/	/	0,8	0,51 1,04	0,8	0,5	/	0,6	0,55	/
CBR	126 / 120		105 / 70 / 105			64 / 64		80 / 65 / 62		
I _p	15 / 19		9 / 7 / 10/8			18 / 18		14 / 19		
W _{opt}	8,7 / 8,9		8,0 / 8,6 / 8,5			9,0 / 9,0		7,2 / 7,1 / 6,7		

Tableau XXII : Synthèse des valeurs des paramètres géophysiques (ρ_a et V) et géotechniques (CBR, I_p et W_{opt}) à corréler.

Malgré le petit nombre de points ayant servi à tracer les courbes, les corrélations ont donné des tendances parfois très nettes.

1.1.- Courbe ρ_a CBR (fig. 28)

La courbe de la figure 28 montre que les résistivités apparentes des graveleux latéritiques sont proportionnelles à leur CBR. Aussi en prenant les valeurs trouvées au niveau de nos sites test, on devrait avoir les plus forts CBR là où nous avons mesuré les plus fortes résistivités.

Le tableau XXII confirme bien cette tendance hormi les valeurs du site de KIN qui sont d'ailleurs les deux seuls points abérants par rapport à notre courbe.

Les difficultés rencontrées dans la réalisation de nos sondages à Keur Ibra Niane, pourraient être une explication (~~mauvais contacts~~).

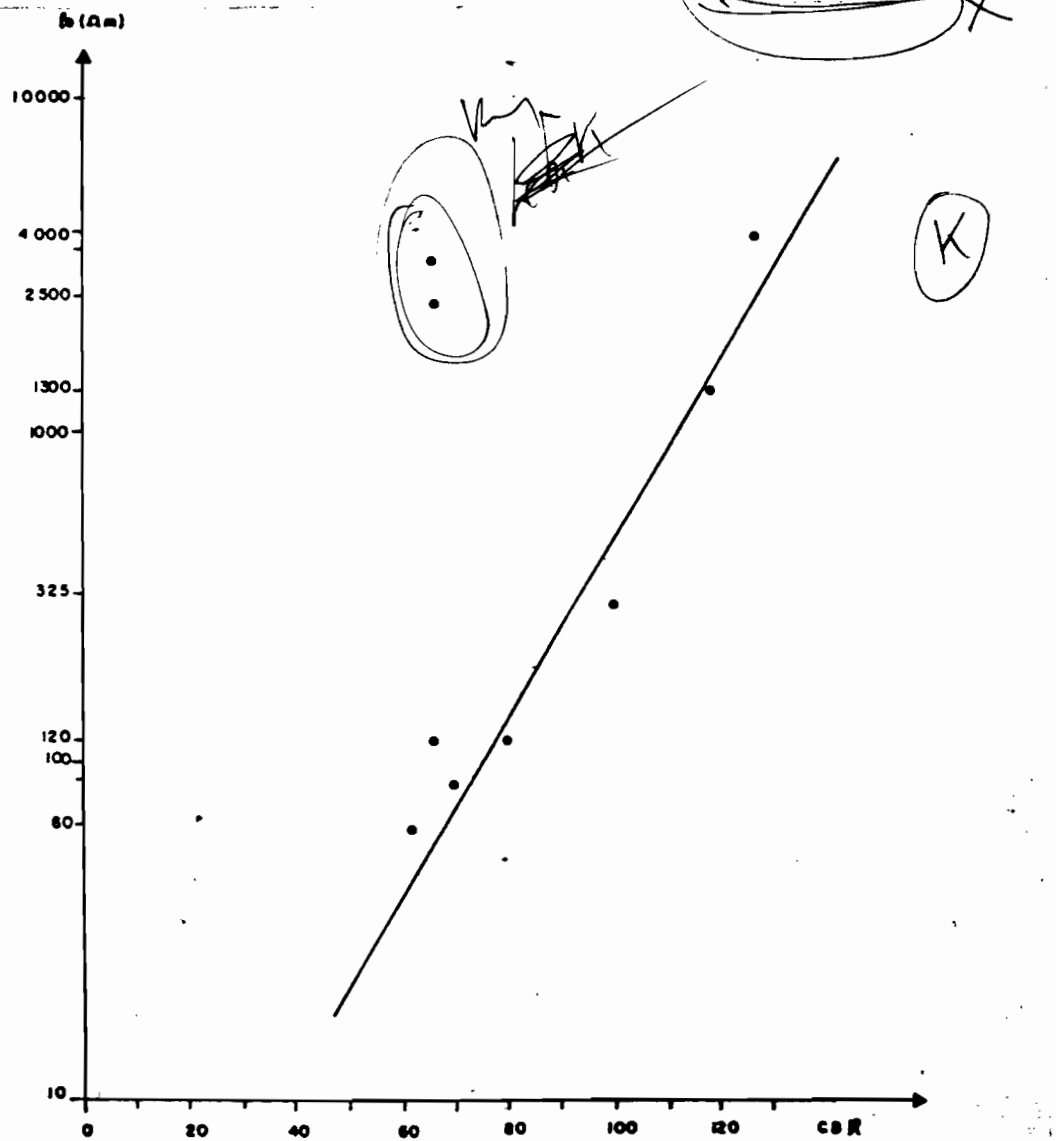


Fig. 28 : Courbe ρ_a , CBR

1.2.- Courbe V. CBR (fig. 29)

La corrélation entre les vitesses sismiques et le CBR des graveleux latéritique est très correcte.

V et CBR sont proportionnels d'après la courbe et cette tendance est confirmée par les valeurs du tableau XXII.

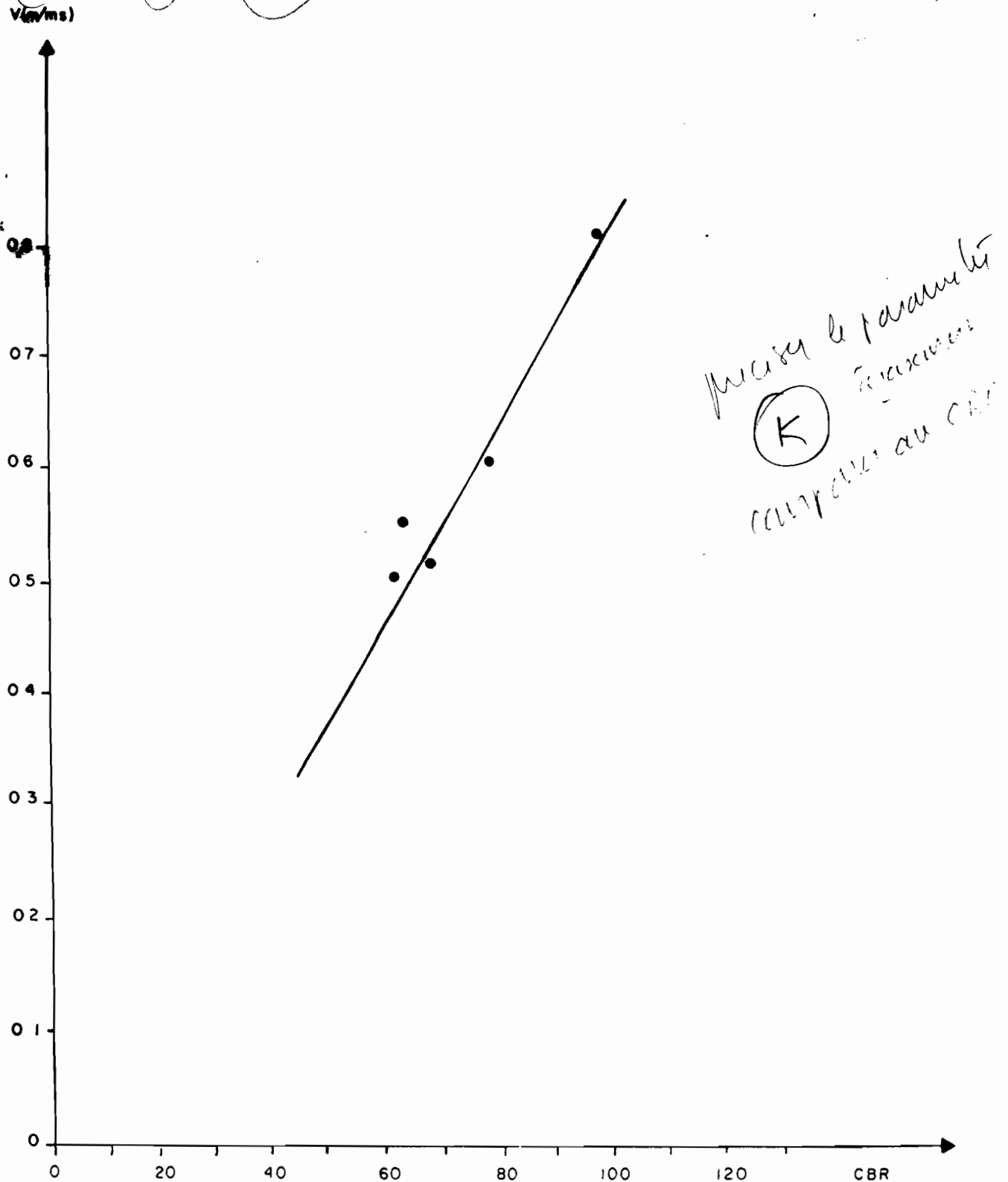


Fig. 29 : Courbe $\bar{V}$, CBR

I.3.- Courbe V , Wopt (fig. 30)

La courbe de la figure 30 montre bien que la vitesse à travers les graveleux augmente en fonction de la teneur en eau hormis deux valeurs jugées aberrantes par rapport à la tendance et c'est toujours les valeurs trouvées à Keur Ibra Niane.

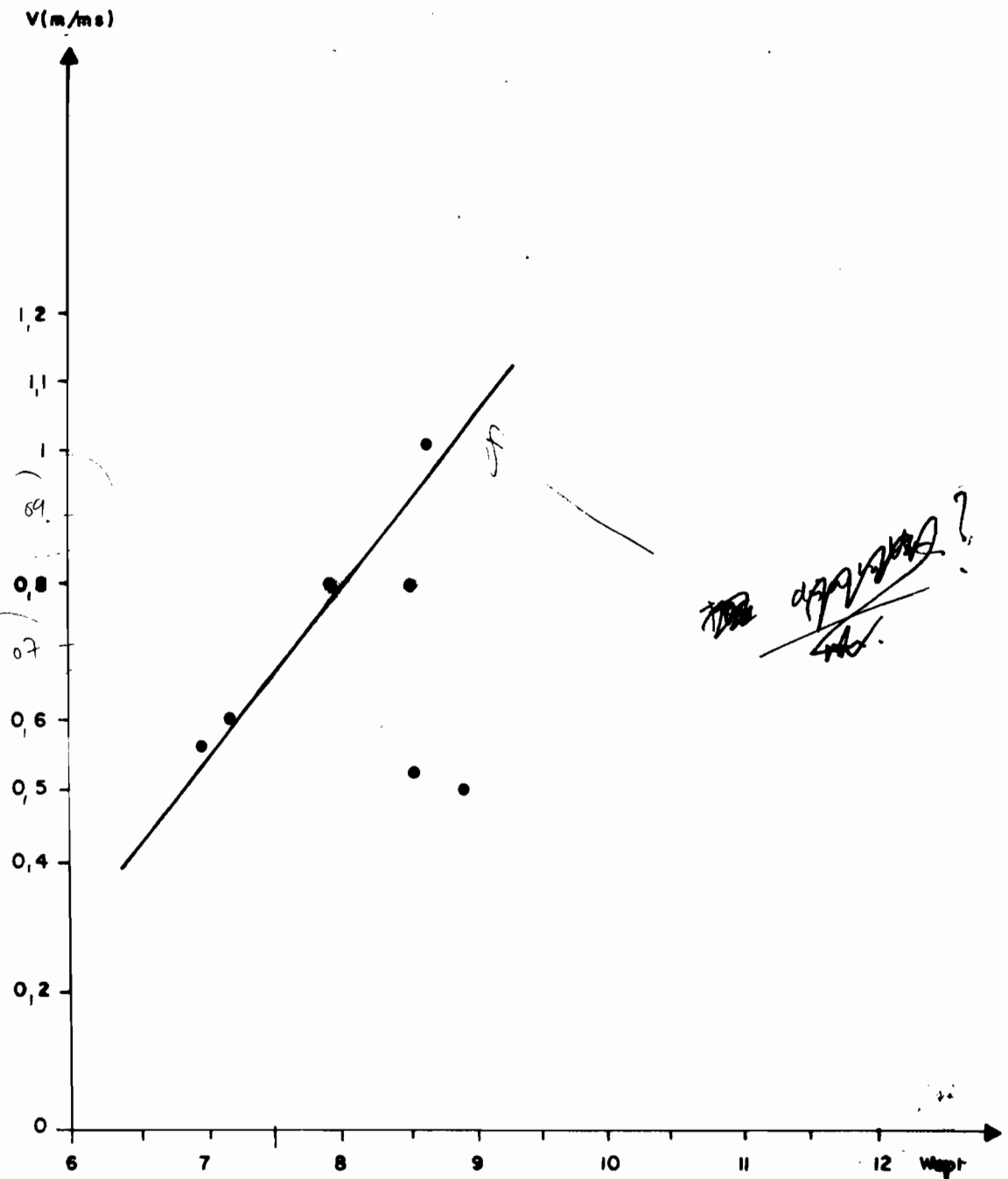


Fig. 30 : Courbe V , Wopt

I.4.- Courbe V. I_p (fig. 31)

La courbe de la figure 31 montre que la vitesse sismique est inversement proportionnelle à l'indice de plasticité. Cette tendance est confirmée par les valeurs du tableau XXII.

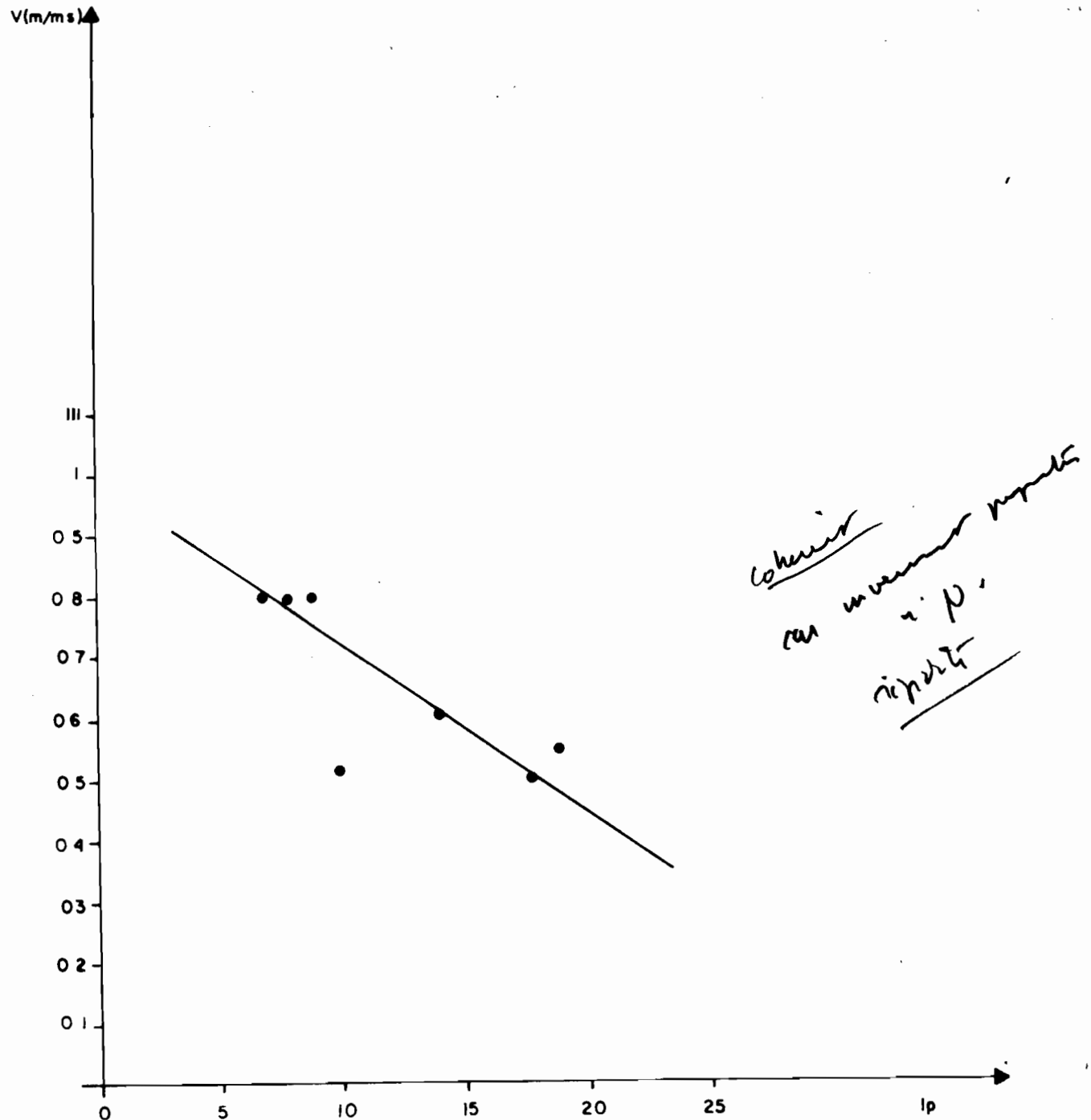


Fig. 31 : Courbe V, I_p

CONCLUSION GENERALE

Les latérites représentent très certainement les plus abondantes ressources de matériaux routiers naturels au Sénégal. Toutefois, l'ensemble des régions n'est suffisamment pas pourvu en gisements de graveleux latéritiques. Dans les régions favorisées, les latérites ne se rencontrent pas systématiquement à proximité des tracés routiers. Pour que l'exploitation soit économiquement intéressante, il est important que les gisements soient régulièrement échelonnés le long des tracés, car les distances de transport importantes conduisent, rapidement à des coûts prohibitifs. Par conséquent, une campagne de prospection devient nécessaire tout le long de l'ouvrage en optimisant le maximum possible dans le choix des méthodes. C'est dans cet objectif que nous avons mené cette première expérimentation. Les résultats auxquels nous sommes parvenus, sont encourageants et nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Avec les méthodes électriques, nous remarquons que les sondages réalisés aussitôt après l'hivernage (Octobre) donnent des valeurs moins dispersées que ceux effectués pendant la saison sèche (Mai et Juin).

Il serait par conséquent, préférable de programmer les campagnes de sondages électriques pendant l'hivernage ou juste après pour avoir un meilleur contact entre les électrodes et les terrains. Aussi, l'humidité faciliterait beaucoup la conduction du courant à travers les différentes couches.

La sismique réfraction a donné des résultats très homogènes malgré la sécheresse des sols.

La précision dans la différenciation des terrains et la facilité d'interprétation des résultats, rend cette méthode très séduisante.

Cependant, les méthodes géophysiques ne peuvent pas être considérées comme une panacée donnant une solution définitive aux problèmes de prospection de matériaux de construction, elles présentent quelques insuffisances.

La plus gênante est le fait que les correspondances entre faciès géologiques et faciès géophysiques ne soient pas biunivoques.

Il est dès lors impératif d'avoir une très bonne connaissance de la géologie du secteur à prospecter pour faciliter les interprétations des courbes de sondage.

Par rapport à la méthode des puits, la prospection géophysique présente quelques avantages parmi lesquels on peut citer :

- la rapidité dans l'estimation des épaisseurs des différentes couches ;
- une meilleure précision de l'extension du faciès et la possibilité de localiser les variations d'épaisseur ;
- une possibilité d'avoir une idée de la qualité géotechnique dans le cas des graveleux latéritiques grâce à nos études de corrélation ;
- enfin, le coût moins onéreux de sa mise en oeuvre et la rapidité dans son exécution.

BIBLIOGRAPHIE

- Bertrand Y.- La Prospection Electrique Appliquée aux problèmes de Ponts et Chaussées. Bull. de Liaison. Labo. Routiers. N° Spécial. 1, Juil. 1967.
- Bulletin signalitique C.N.R.S. Paris, section 290 - Sciences de l'ingénieur, section 214 Sciences de la Terre, II : Géologie Appliquée.
- C.E.R.E.E.Q. : R.N₂.- Tronçon DIAM - NADIO (graveleux).
 N° dossiers : 72 - 1218
 74 - 1524 - 2
 84 - 3106
- C.E.R.E.E.Q. : R.N₂.- Tronçon THIES - TIVAOUANE (graveleux).
 N° dossiers : 79 - 2171 - 1
 79 - 2171 - 2
 84 - 3106
- C.E.R.E.E.Q. : R.N₂.- Tronçon THIES - KHOMBOLE (graveleux).
 N° dossier : 84 - 3106
- C.E.R.E.E.Q. : R.N₂.- Tronçon KHOMBOLE - DIOURBEL (graveleux).
 N° dossiers : 192 - 1
 84 - 3106
- Daniel N.- Genèse des Cuirasses. Compte-rendu de recherche sur les latérites en technique routière. UNESCO 1966.
- Denisoff I.- Contribution à l'étude des formations latéritiques au Parc National de la Garanba, Congo Belge, In Bull. Sté Belge de Pédologie VII, 1957.
- Diène M.- Latérites et stabilisation : Application à des graveleux latéritiques du Sénégal. Rapport de stage effectué à l'E.P.E.L., Lausanne, 1984.

Dobrin.- Introduction to Geophysical Prospection, 2° Ed. New Yord, Mc Graw Bull, 1960, in 8°, IX 446 P.

Favre.- Cours de géophysique, Ed. Technique, Paris 1958 in 8°.

GBAGUIDI I. 1985.- Evaluation des qualités routières des sols latéritiques traités à la chaux. Application au contexte africain. Thèse de Doct. Ing., Univ. Paris VI et ENSM, Paris, 125 p.

Gignoux M. et Mathiam J.- Génissiat, la Houille Blanche, n° Spécial, 1950, p. 55.

Gignoux M. et Mathiam J.- La géologie appliquée à l'art de l'ingénieur est une science qu'il est impossible et dangereux de vouloir codifier ; elle ne peut guère procéder que par comparaison et analogies...

Goguel J.- Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur. Ed. Masson 2° Ed. Paris, 1967, p. 374.

Hesse A.- Prospection géophysique à faible profondeur, application à l'archéologie. Thèse de Doctorat Ingénieur, Paris, 1964, n° 929.

Howell B.- Introduction à la géophysique. Ed. Masson et Cie Paris, 1969.

Plan Minéral Sénégalais. B.R.G.M., Département Géologie, 1986.

Letourneur J. et Michel R.- Géologie du Génie Civil. Collection U, série "Géologie" Ed. Armand Colin, Paris 1971.

Maignien R.- Compte-rendu de recherche sur les latérites. Ed. UNESCO, Paris, 1966, p. 155.

Michel R.- La reconnaissance géologique des tracés routiers. Articulation des études et méthodes de prospection. Bull. de liaison Labo. P et C.N. 68 Nov.-Déc. 1973.

Mourgues P.- Cours de Géophysique, I.S.T. (3^{ème} année 1990-1991).

Samb S.M.- Caractérisation des complexes latérite-géotextile pour le renforcement des remblais. Mémoire de Maîtrise en Ingénieur (Transport). Département de Génie Civil.

Savadogo.- Cours d'hydrogéologie, I.S.T. (2^{ème} année 1989).

Tessier F.- Latéritoïdes phosphatés (Sénégal) 1950.

Tessier F. et Lappartient.- Observations sur la latérite récente des environs de Dakar. Ed. Société géologique de France, 1967.

ANNEXES

MISSION SE N° COORDONNEES
31/10/91

AZIMUT

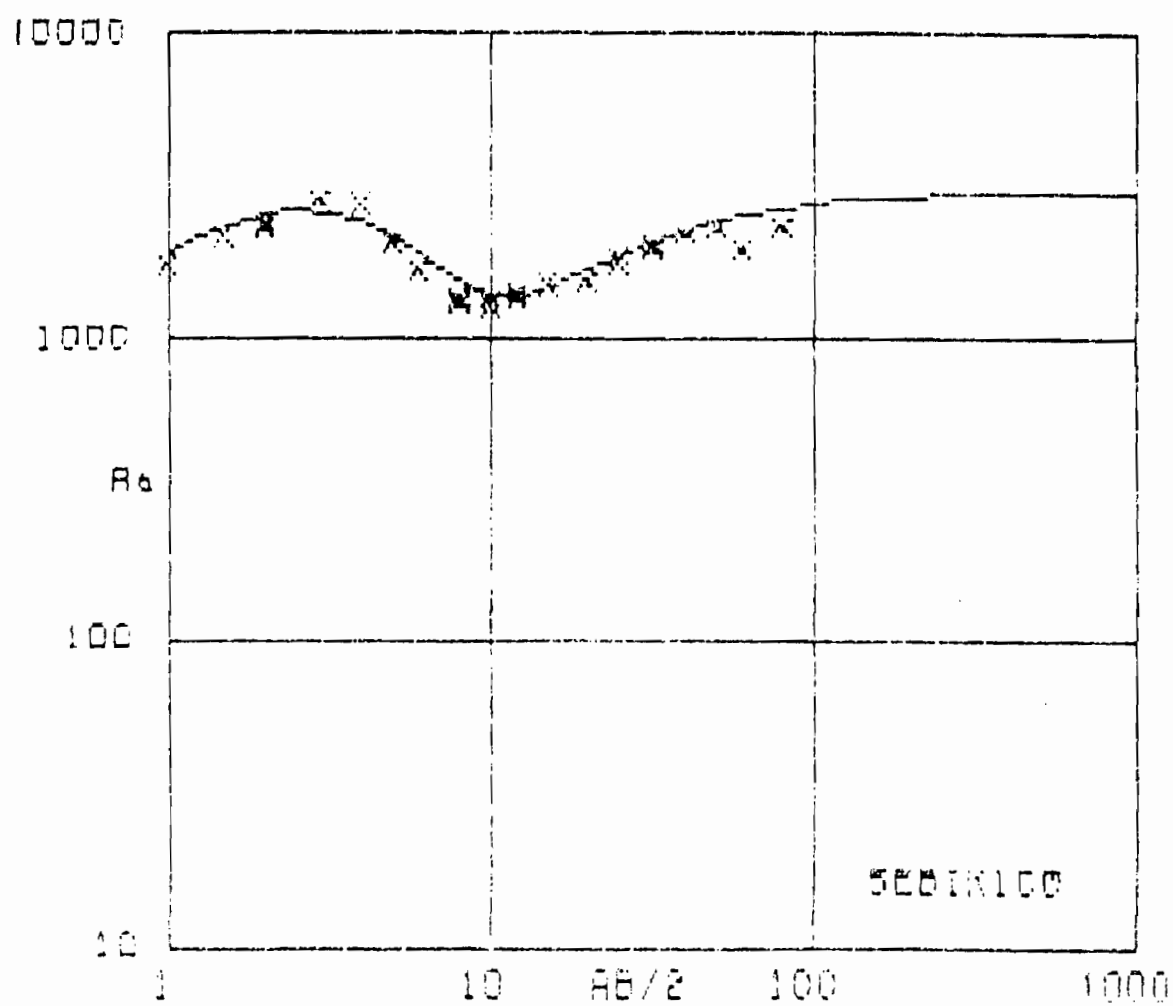
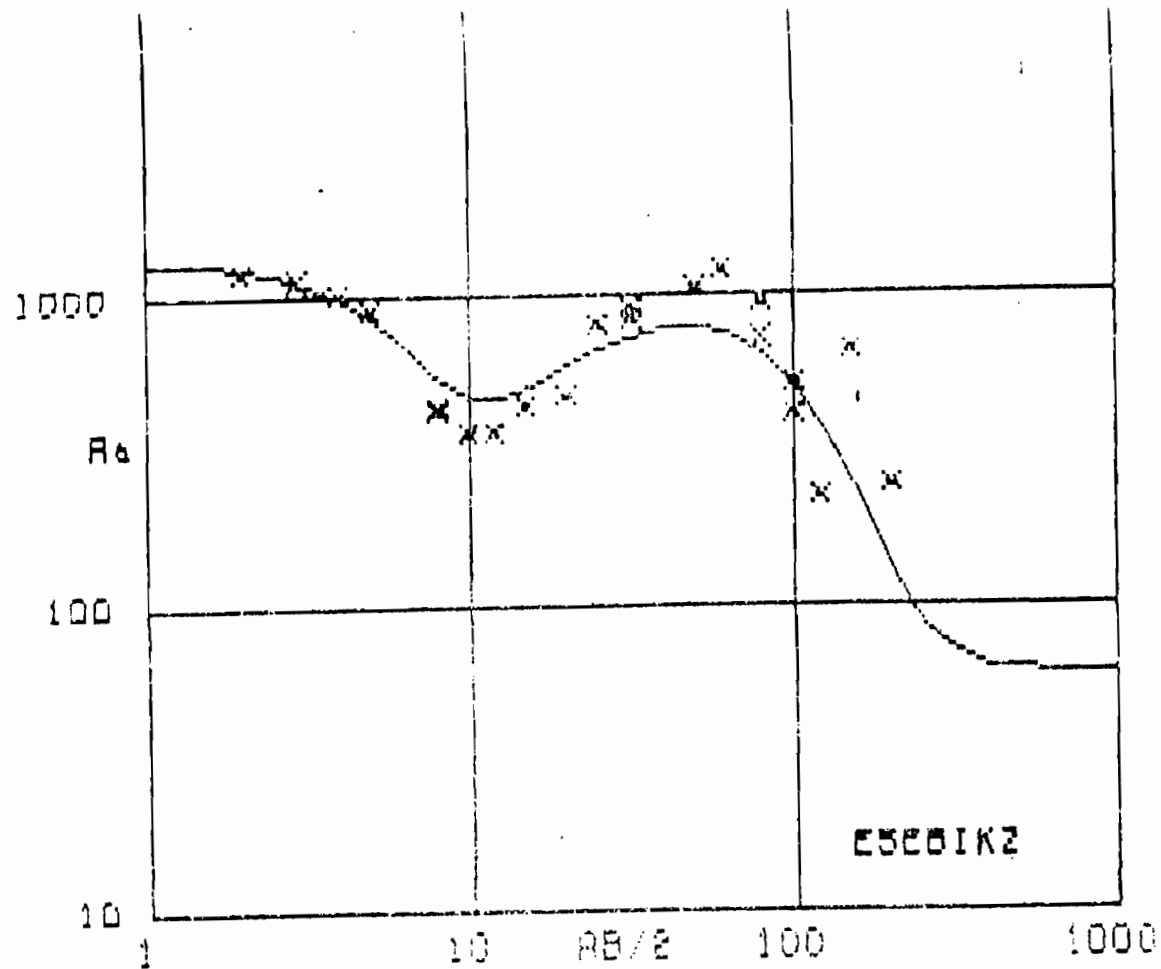
DATE

AB/2	MN/2	Vm	l m	PS	RESISTIVITE
1	0.2	573,5	2,5	-12	1763,6
1.5	0.2	269,5	2,1	-14	2186,5
2	0.2	95,9	1,3	-15	2377,8
2	0.5	251,0	1,3	-43	2297,6
3	0.5	301,0	2,9	-43	2860,0
4	0.5	97,5	1,7	-43	2771,9
5	0.5	63,3	2,4	-44	2060,4
6	0.5	35,4	2,4	-44	1681,8
8	0.5	11,7	1,7	-45	1313,5
8	1	22,3	1,7	16	1296,8
10	1	22,1	2,6	-59	1362,5
10	0.5	11,8	2,7	-47	1424,7
12	0.5	6,36	2,0	-47	1366,9
12	1	12,2	2,0	-14	1522,5
15	1	5,46	1,3	-214	1559,8
20	1	5,98	2,4	-96	1781,2
25	1	3,64	2,0	-75	1781,2
25	5	14,7	2,0	-9	1379,2
32	5	9,7	2,0	-8	1494,2
32	1	2,58	2,0	-62	2049,5
40	5	5,22	1,5	-6	1707,9
50	5	2,70	1,2	-5	1794,1
60	5	10,7	8,2	-2	1468,8
80	5	7,35	8,0	-1	1841,8

SONDAGE ELECTRIQUE ESEBIK₂MISSION SE N° COORDONNEES
DATE 31/10/91

AZIMUT N 0/10

AB/2	MN/2	Vm	l m	PS	RESISTIVITE
1	0.2	/	/	/	/
1.5	0.2	/	/	/	/
2	0.2	/	/	/	/
2	0.5	952,7	9,3	20	1209,1
		279,7	2,7	20	2211
3	0.5	206,9	5,0	19	1147,2
4	0.5	145,3	7,0	19	1031,0
5	0.5	96,6	8,2	18	911,0
6	0.5	/	/	/	/
8	0.5	22,8	10,4	18	438,6
8	1	45,0	10,5	12	431,4
10	1	16,3	7,3	12	363,2
10	0.5	8,1	6,9	21	367,0
12	0.5	5,63	6,9	33	370,0
12	1	11,4	7,0	10	368,9
15	1	6,70	5,3	9	442,4
20	1	4,69	6,2	8	477,6
25	1	5,83	7,0	7	818,1
25	5	28,0	7,0	-7	255,4
32	5	13,5	4,9	-6	853,4
32	1	2,67	4,6	4	927,6
40	5	/	/	/	/
50	5	66,7	48,7	-7	1065,9
60	5	17,0	15,7	-7	1215,5
80	5	12,4	26,4	-7	942,2
80	20	40,9	26,2	-34	736,5
100	20	5,64	10,3	-34	413
100	5	1,55	9,4	-6	518,1
120	20	2,52	12,4	-32	222,7
150	20	2,95	7,6	-32	670,2
200	20	2,05	26,5	-31	240



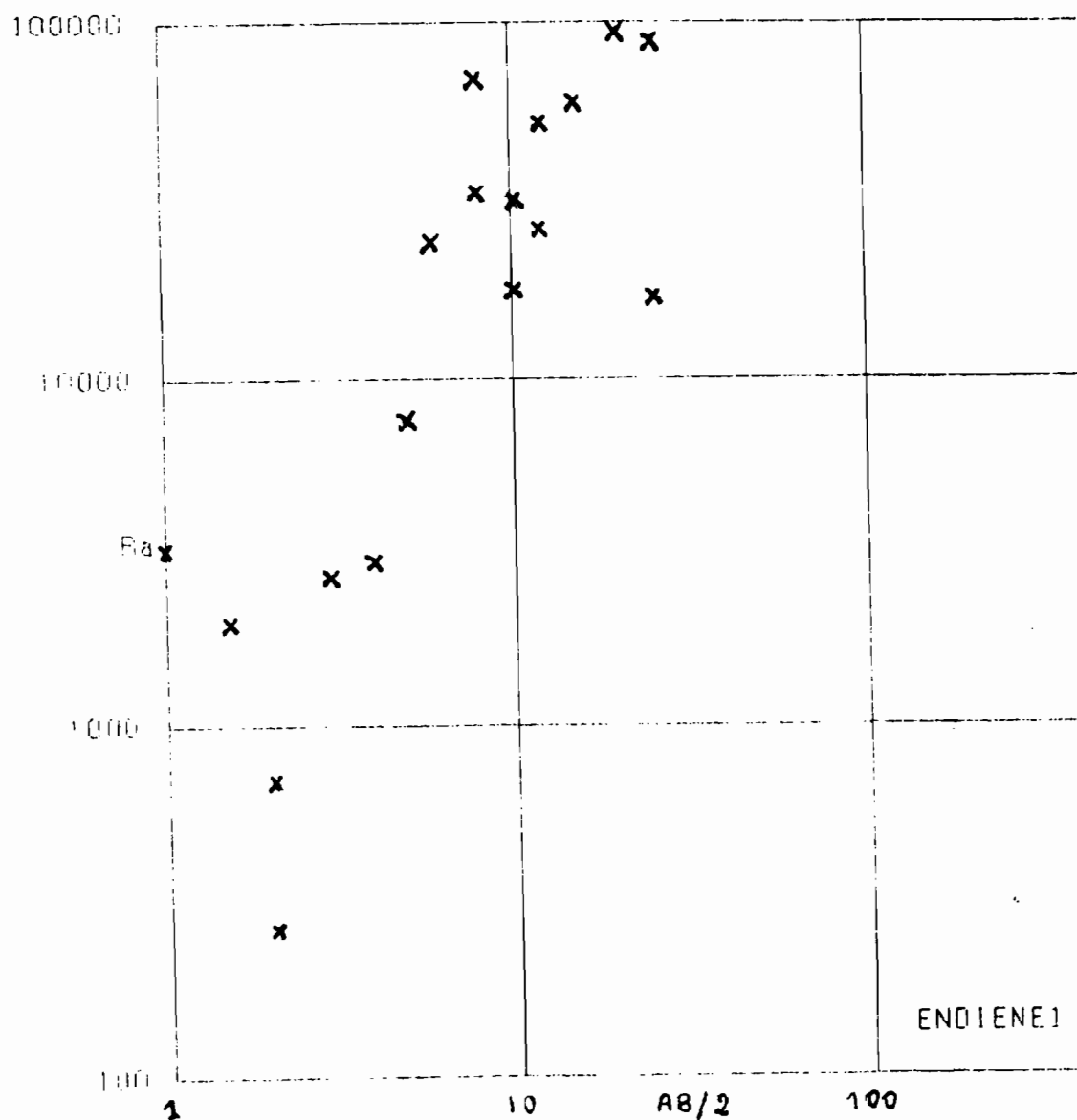
Sondage Electrique: E Ndiène 1

Mission 1

Azimut N 030

Date: 15/5/91

AB/2	MN/2	V _L	L	P _L	Résistivité.
1	0.2	921.8	2.2	80	3207
1.5	0.2	202.4	2.5	-80	1987
2	0.2	80.9	4.8	80	695.5
		105.2	4.7	-79	520
2	0.5	108.1	4.8	-79	264
		70	4.8	-85	174
3	0.5	566.1	3.3	88	2691
		323	3.7	-84	4199
4	0.5	177.9	3.0	-79	2969
5	0.5	97.9	1.0	-78	7577
6	0.5	560	2.6	-79	24360
8	0.5	777	2.2	-88	69432
8	1	761.1	2.3	81	32956
10	1	319.4	2.8	-73	17808
10	0.5	288.2	2.9	72	31277
12	0.5	217.8	1.9	71	26358
12	1	216.7	1.3	71	59878
15	1	221.0	1.5	-30	94570
20	1	169.7	1.9	32	88633
25	1	169.1	1.9	33	17037



Mission 1

Azimut N 140

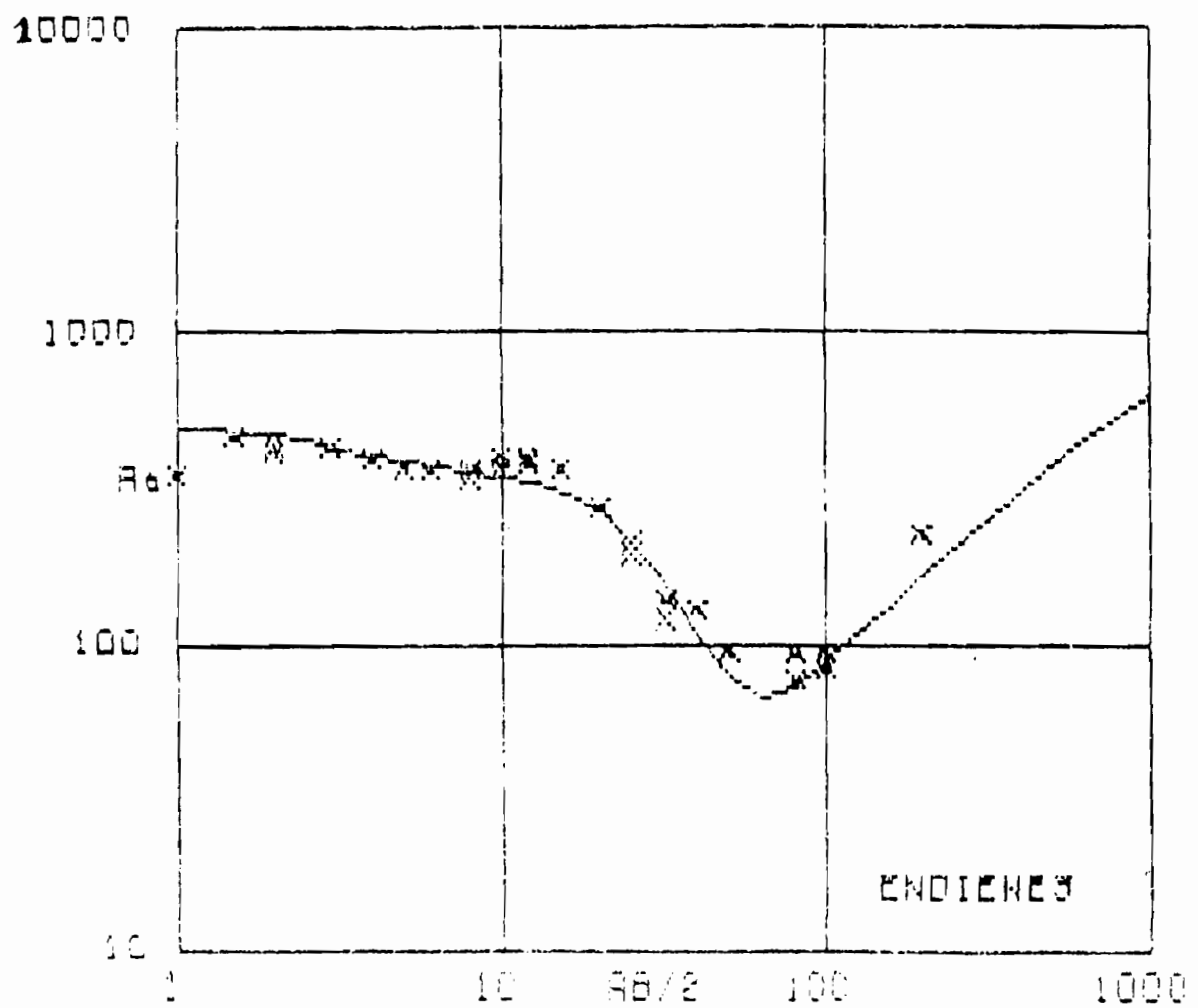
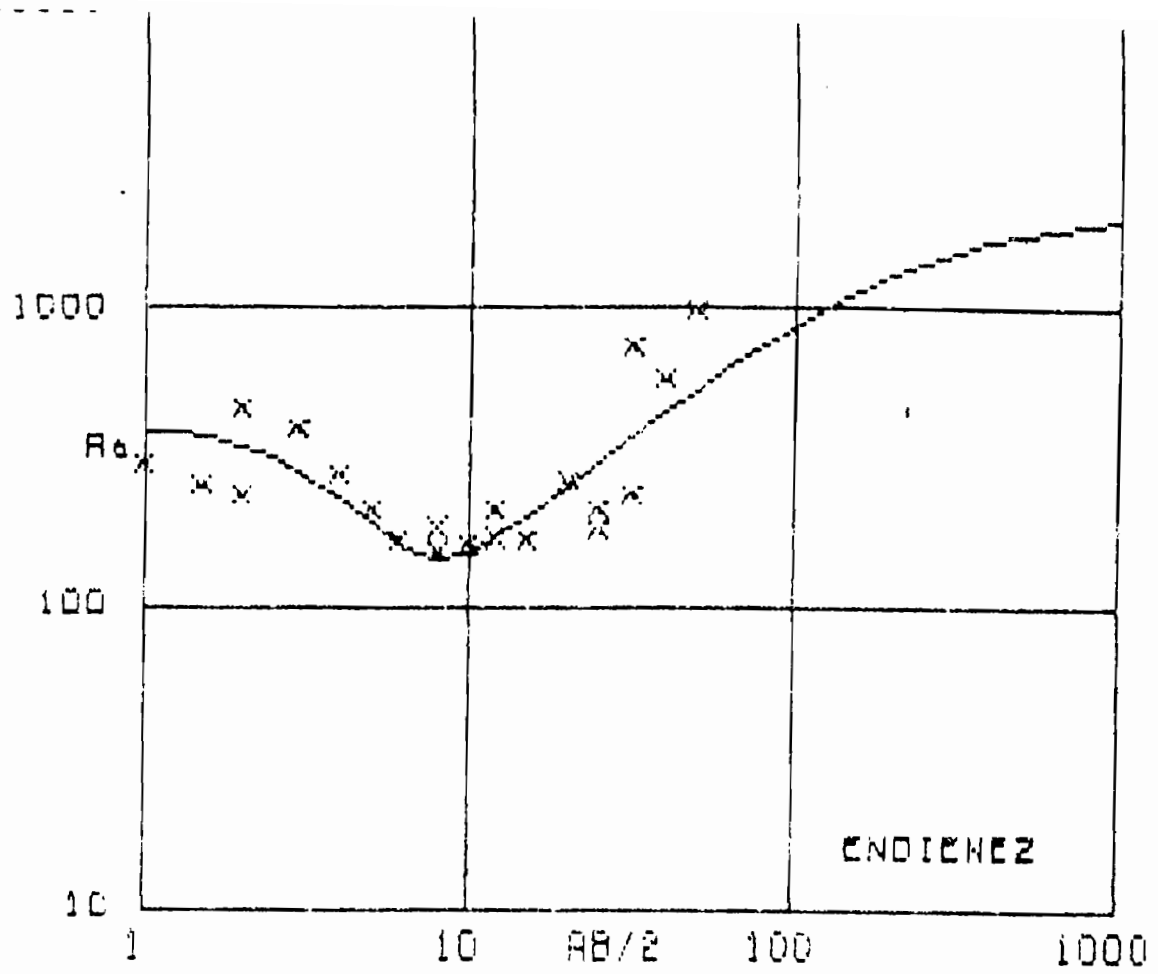
Date: 15/5/91

AB/2	MN/2	V _m	L	P _m	Résistivité.
1	0.2	229.7	5.8	- 3	298
1.5	0.2	30.0	2.1	- 3	251
2	0.2	16.4	2.2	- 3	232
2	0.5	86.0	2.2	-77	464
3	0.5	20.1	1.4	-77	401
4	0.5	9.8	1.8	-78	275
5	0.5	8.5	3.2	-77	209
6	0.5	3.93	2.7	-76	161
8	0.5	3.52	3.9	-76	180
8	1	5.83	3.9	-42	149.5
10	1	7.85	7.8	-41	157
12	0.5	2.84	6.2	-45	206
12	1	4.65	6.3	-44	166
15	1	4.56	9.8	-41	164
20	1	2.92	7.0	-42	260
25	1	0.77	3.6	-36	210
25	5	3.37	3.6	-21	178
32	5	2.94	3.9	-19	237
32	1	1.81	3.8	-42	758
40	5	1.47	1.2	-13	583
50	5	3.91	3.0	-20	999

SONDAGE ELECTRIQUE ENDIENE₃MISSION SE N° COORDONNEES AZIMUT E.W DATE
31/10/91

AB/2	MN/2	V _m	I _m	PS	RESISTIVIT E
1	0.2	1904.4	41.7	-13	344.6
1.5	0.2	352	13.3	-13	458.2
2	0.2	418.9	31.7	-13	410.9
2	0.5	1170.9	31.6	32	436.2
3	0.5	319.7	20.7	32	424.2
4	0.5	149.7	20.7	32	392.4
5	0.5	104.6	22.1	32	368.8
6	0.5	62.1	19.2	32	362.9
8	0.5	29.7	16.4	32	362.7
8	1	56.5	16.3	1.37	342.2
10	1	38.6	16.2	177	369.8
10	0.5	20.6	16.3	31	396.3
12	0.5	11.9	13.4	30	398.3
12	1	22.9	13.6	97	377.8
15	1	11.2	10.8	90	363.3
20	1	3.78	8.5	83	278.3
25	1	2.44	11.3	79	211.0
25	5	11.7	11.4	-14	194.7
32	5	10.9	24.8	-14	137.8
32	1	1.85	24.8	+72	119.7
40	5	2.54	9.7	-15	129.3
50	5	2.30	19.1	-15	93.6
60	5	2.17	57.3	-18	42.5
80	5	1.03	27.6	-19	74.9
80	20	5.39	27.6	151	92.0
100	20	1.70	15.6	144	82.0
100	5	0.47	15.6	-190	93.5
120	20	1.63	5.7	130	316.5
150	20	4.44	13.9	124	554.6
200	20	1.49	20.7	117	225.4

W

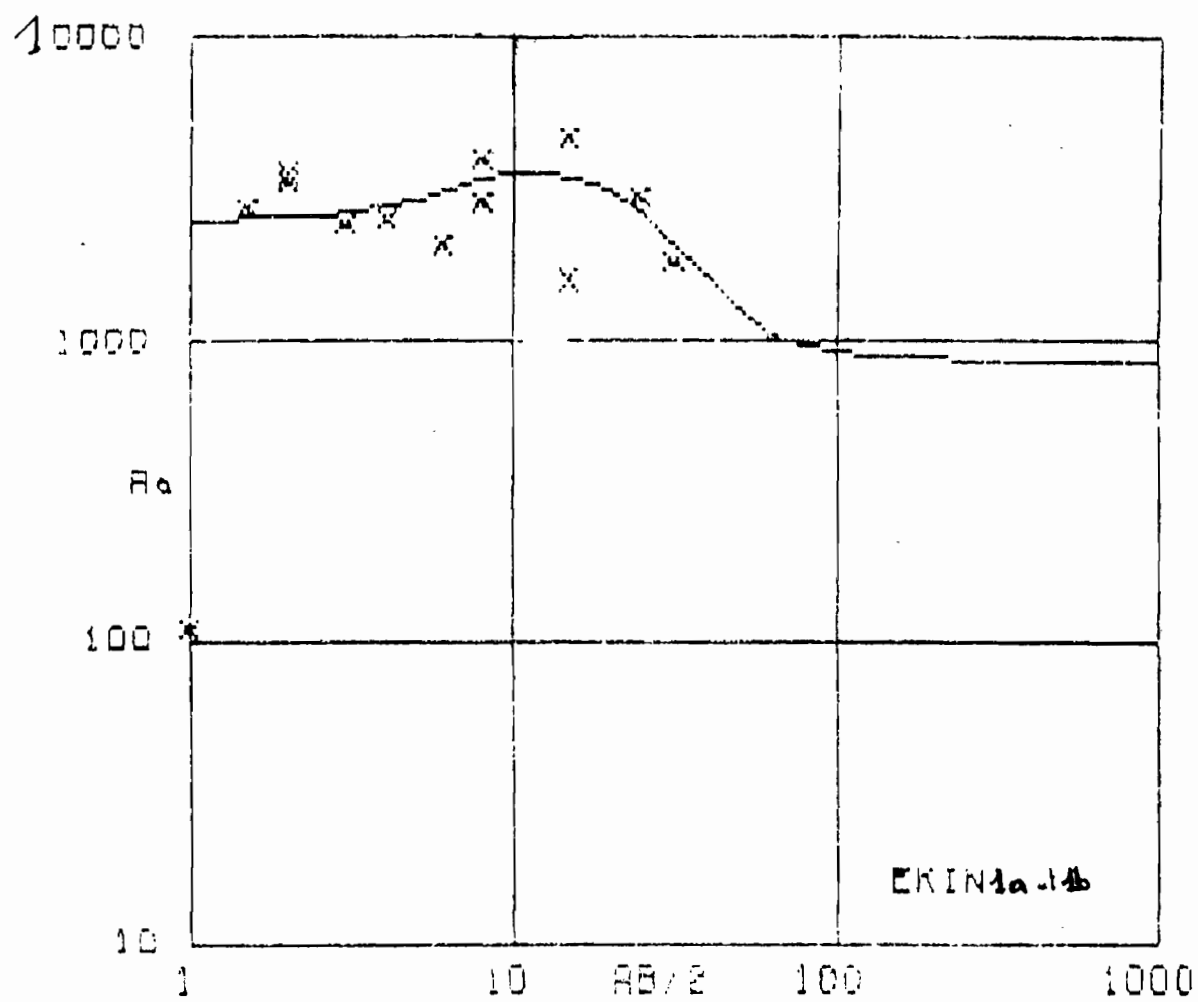


Sondage Electrique: E K.I.N. 1a

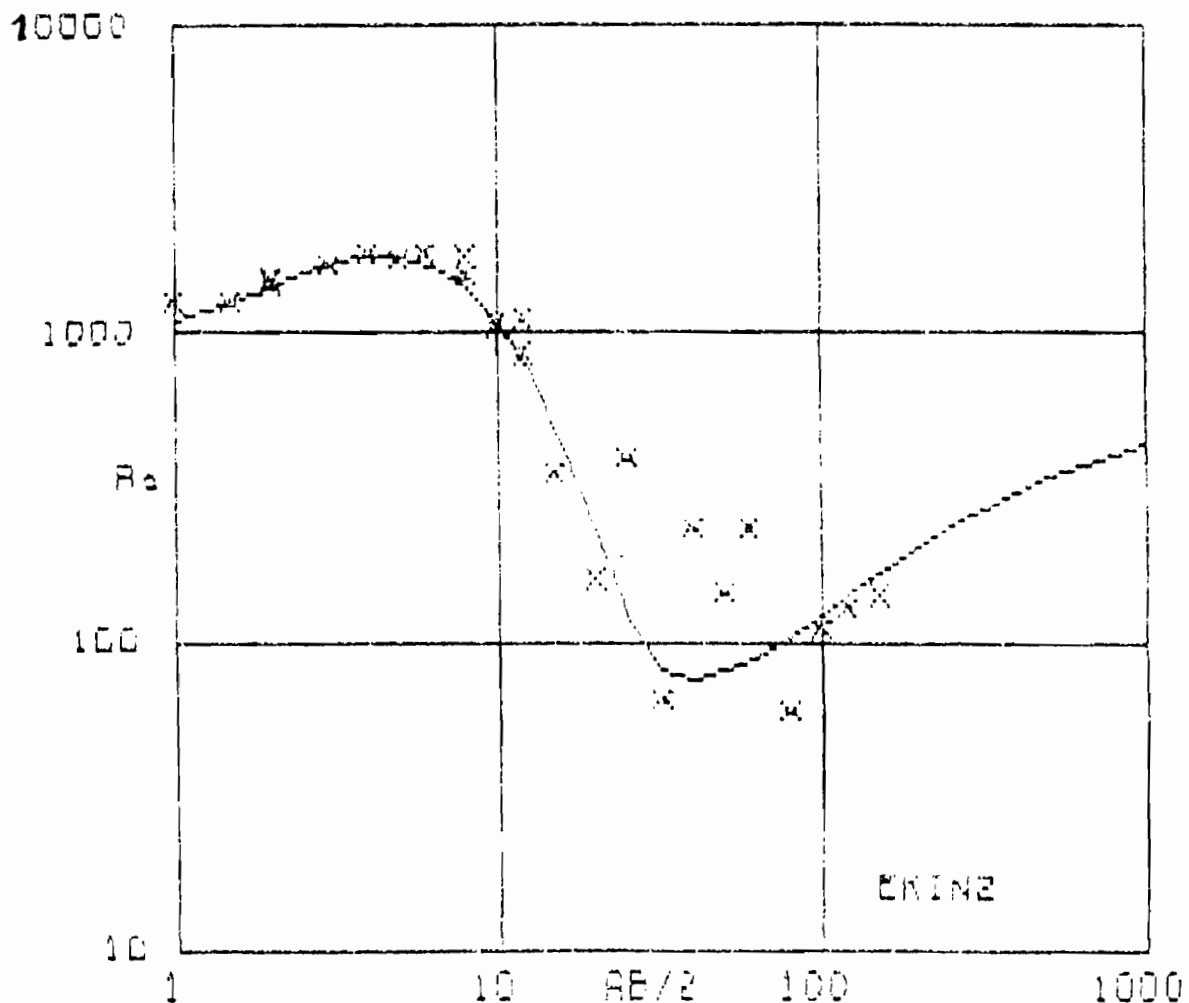
Mission 1		Azimut N 080		Date:16/5/91		
AB/2	MN/2	V _L	L	P _L	Résistivité.	
1	0.2	39.5	1.2	-86	241	
1.5	0.2	140.8	1.1	-84	2044.4	
2	0.2	131.9	1.8	-83	2302	
2	0.5	1015.4	1.6	-91	7549	
3	0.5	88.0	1.0	94	2381	
4	0.5	647.6	6.0	-97	5341	
5	0.5	369.9	4.8	-100	6725	
5	0.5	79.5	4.9	122	1257	
5	1	105.4	5.1	44	783	
6	0.5	187.2	1.7	-96	12654	
6	1	31.5	2.4	-72	704	
8	0.5	435.2	1.7	-122	50134	
8	1	47.9	1.7	-39	2849	

Sondage Electrique: E K.I.N. 1b

Mission 1		Azimut N 080		Date:16/5/91		
AB/2	MN/2	V _L	L	P _L	Résistivité.	
1	0.2	26.2	1.8	-72	106	
1.5	0.2	187.0	1.2	-71	2744	
2	0.2	185.1	1.4	-70	3544	
2	0.5	404.3	1.4	-119	3308	
3	0.5	88.0	1.0	-94	2381	
4	0.5	280.3	5.6	-116	2499	
5	0.5	41.1	4.7	117	675	
6	0.5	47.0	2.6	-116	2060	
	1	30.9	2.5	22	685	
8	1	59	1.5	-27	3937	
		47.9	1.7	39	2849	
10	1	75.6	1.4	-31	8907	
10	2	427.8	1.2	-57	26900	
12	2	48.8	5.5	-36	982	
12	1	4.23	5.2	14	183	
15	5	24.1	1.8	-23	4667	
		42.8	1.7	-17	1586	
25	5	75.0	4.8	-26	2970	
32	5	43.0	7.4	-28	1814	
40	5	84.7	2.0	-29	24134	
40	1	76.7	1.7	-30	110332	



AB/2	MN/2	Vm	Im	PS	RESISTIVITE E
1	0.2	119	1,2	-38	1288
1.5	0.2	80,5	1,1	39	1273,2
2	0.2	47,4	1,0	39	1459,8
2	0.5	4,56	3,3	42	1508
		136,6	1,1	44	1517,6
3	0.5	104	1,7	41	1666,3
4	0.5	61,6	1,7	40	1806,1
5	0.5	53,8	2,4	39	1746,1
6	0.5	21,1	1,3	38	1844,3
8	0.5	11	1,2	38	1780,6
8	1	19,2	1,2	32	1575,3
10	1	12,1	1,8	29	1058,2
10	0.5	6,42	1,8	38	1097,6
12	0.5	14	5,7	36	115,6
12	1	22	5,7	24	863
15	1	2,18	2,2	19	352,5
20	1	0,72	2,8	19	159,0
25	1	1,55	1,8	19	828,4
25	5	3,85	1,8	35	392,8
32	5	0,25	1,2	35	65,4
32	1	1,48	1,2	16	2048,8
		474	39	15	1960,4
40	5	3,12	6,6	34	233,7
		0,95	2,0	34	240,9
50	5	0,15	1,4	34	142,3
60	5	0,35	1,7	33	229,8
80	5	0,98	3,6	33	547,4
80	20	0,46	3,7	8	58,6
100	20	0,03	14,1	8	1,8 ?
100	5	0,5	14,2	32	109,3
120	20	0,2	17,3	30	128
150	20	0,28	3,4	30	141,3



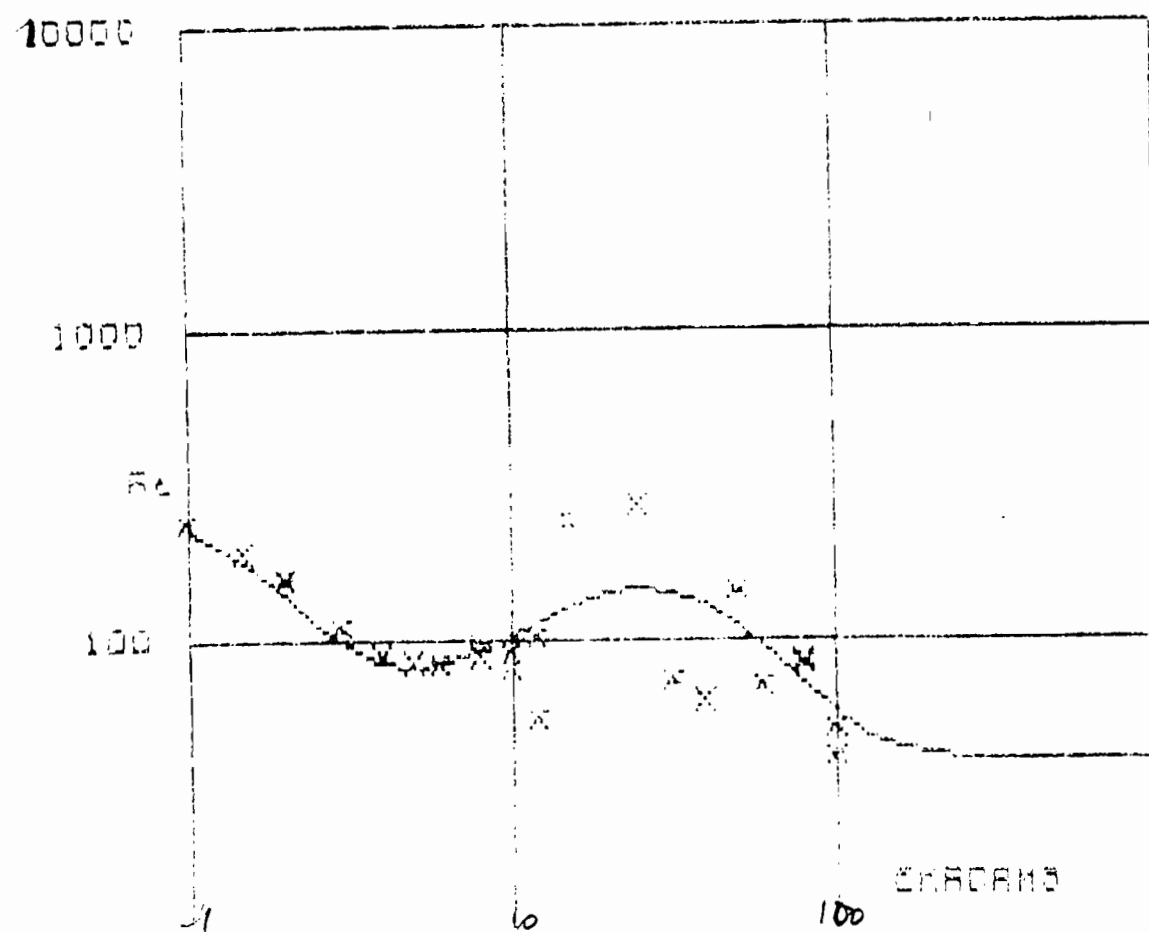
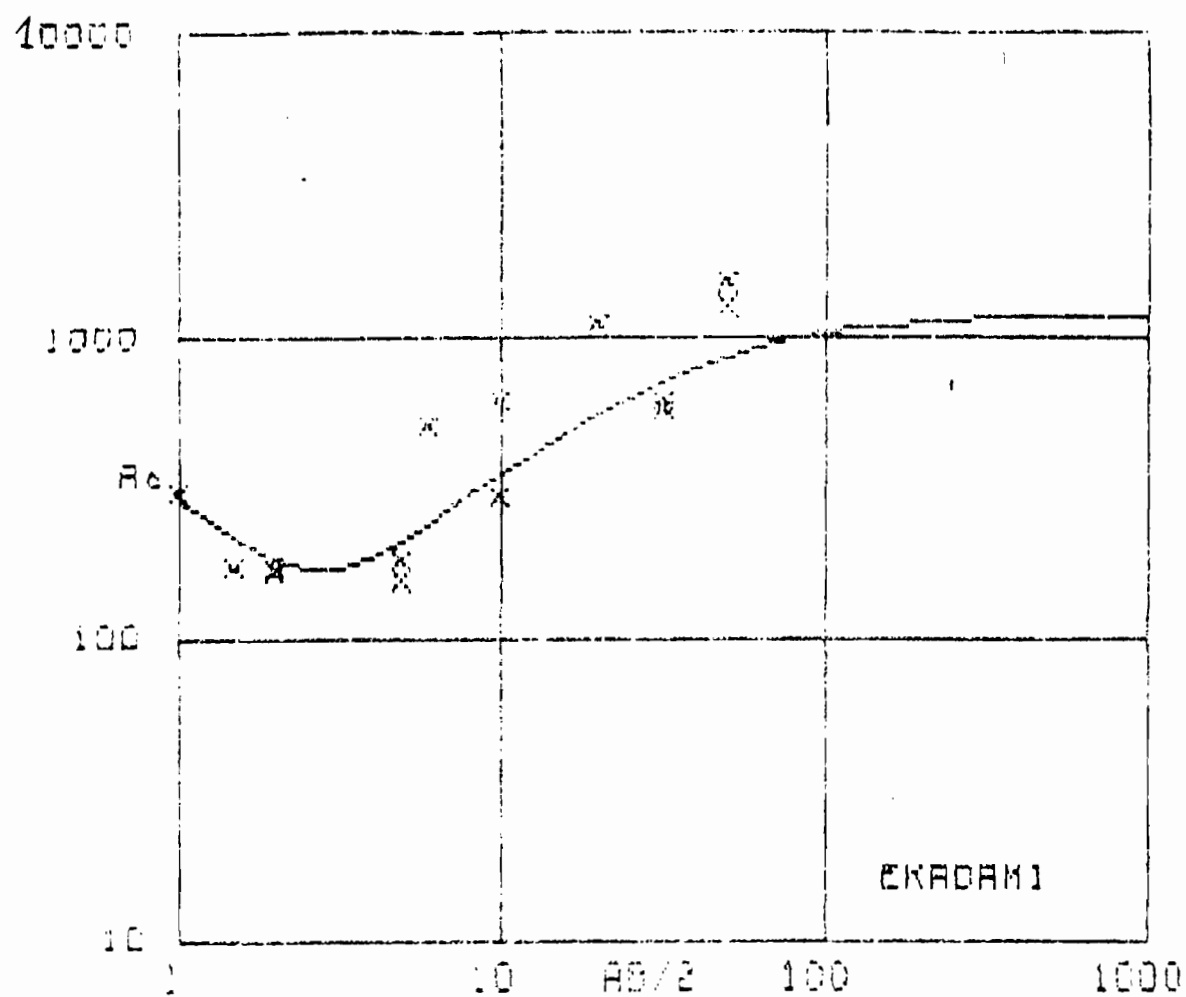
Sondage Electrique: E Kadam 1

Mission 1		Azimut N 100		Date: 17/5/91	
AB/2	MN/2	V _m	I _m	P _m	Resistivité.
1	0.2	109.8	2.8	-14	295
1.5	0.2	108.5	11.3	-15	167.3
2	0.2	80.9	14.8	13	169.7
2	0.5	98.0	7.2	-15	161
3	0.5	8.6	3.5	-15	67.5 ₁
4	0.5	0.57	5.0	-15	5.6
		3.05	9.3	-16	16.2
		3.92	9.1	-16	21.3
		21.3	10.8	16	153.2
5	0.5	11.5	5.0	14	179
6	0.5	16.9	3.7	17	508
8	0.5	39.5	1.8	-16	4294
8	1	35.3	1.8	20	1918
10	1	20.0	10.8	20	288
10	0.5	20.8	10.5	-16	624
12	0.5	15.4	40.5	-13	171
12	1	21.1	39.6	18	119
15	1	9.0	27.7	18	115
20	1	16.7	9.2	18	1137.9
		15.4	22.2	17	435
25	1	16.9	6.7	17	2469
		34.1	12.5	15	2666
25	5	2.72	12.0	68	42.8
		1.56	5.6	-68	52.4
32	5	3.34	1.8	68	571
		6.88	3.5	-68	624
40	5	4.72	13.6	-69	171.2
		5.07	12.9	-69	194.6
50	5	6.98	42	-70	1296
		7.18	3.6	-70	1561

SONDAGE ELECTRIQUE EKADAM₁

MISSION SE N° COORDONNEES AZIMUT N 045 DATE
31/10/91

AB/2	MN/2	V _m	I _m	PS	RESISTIVIT E
1	0.2	58,1	1,8	-12	244,5
1.5	0.2	26,8	2,4	-9	195,5
2	0.2	30,6	6,0	-7	158,5
2	0.5	79,1	6,0	35	155,3
3	0.5	9,3	2,3	39	108,6
4	0.5	6,91	3,9	40	88,4
5	0.5	7,83	7,3	41	83,8
6	0.5	6,00	8,1	41	83,0
8	0.5	2,48	5,7	42	86,5
8	1	5,63	5,7	14	96,9
10	1	2,44	4,2	12	90
10	0.5	1,08	4,2	44	79,9
12	0.5	0,43	3,5	44	55,2
12	1	1,88	4,2	-0	101,2
15	1	2,28	3,2	-3	249,2
20	1	1,98	3,2	-4	389,5
25	1	0,73	2,5	-4	280,7
25	5	0,50	2,6	30	36,8
32	5	0,30	3,8	28	25,4
32	1	0,17	3,7	-7	73,2
40	5	0,31	2,5	27	62,8
50	5	0,32	1,8	27	142,5
60	5	0,22	3,5	21	71
80	5	0,19	4,5	21	85,3
80	20	0,8	4,6	40	81,8
100	20	0,56	10,2	40	41,5
100	5	0,16	10,1	18	50,6



Mission 1

Date: 18/5/91

AB/2	MN/2	V _m	L	P _m	Resistivité.
1	0.2	152.1	15.7	10	72.9
1.5	0.2	26.2	3.4	10	134.3
2	0.2	15.5	4.1	11	118.8
2	0.5	41.8	4.0	31	124.0
3	0.5	83.4	36.9	31	62.0
4	0.5	74.6	42.6	30	86.6
5	0.5	64.3	19.4	31	257.5
6	0.5	72.3	94.2	31	86.1
8	0.5	56.4	14.5	30	781.3
8	1	42.3	14.5	51	288.2
10	1	40.3	11.3	48	556.2
12	0.5	59.9	10.9	69	1728.8
12	1	69.1	3.2	68	9680.8
15	1	48.1	2.6	50	4109.8
20	1	44.4	57.1	49	273.6
20	1	48.3	16.6	48	1823.6
25	1	236	165.8	81	139.5
		17	116.5	82	143.5
25	5	30.6	116.3	81	49.6
		14.6	55.6	82	49.4
32	5	12.5	63.5	81	61.5
32	1	9.4	62.8	55	239.7
40	5	5.92	15.9	79	183.8
50	5	1.26	15.5	81	63.1
60	5	3.31	30.2	79	122.9
80	5	6.73	8.7	80	1549.1
		14.4	19.4	79	1481.5

T0000

1000

R₀

100

10

10

AB/2

100

1000

ENADRMZ

" Trainé " Wenner: $AB/3 = 4 \text{ m}$

Mission 1

Azimuth N045

N	Point de mesure	V_s	L_s	P_s	Résistivité.
1		37.8	20.0	2	47.5
2		24.3	11.7	36	52.2
3		26.2	20.9	95	31.5
4		35.8	26.8	-88	33.7
5		69	56.5	-5	30.7
6		360	23.2	16	39.0
7		55.3	25.3	-33	55
8		100	49.8	91	50.4
9		148.7	36.5	-16	102.5
10		63.2	13.6	-36	117
11		74.6	18.3	-81	102.7
12		68.5	16.0	58	107.6
13		19.8	8.4	-14	59
14		34.7	15.1	55	57.5
15		40.1	17.5	18	57.5
16		30.8	12.6	78	61.1
17		26.3	12.1	-73	-54.9
18		50.2	16.7	30	-75.8
19		11.1	8.4	16	33.2
20		30.2	8.2	17	92.2
21		60.8	15.7	-107	97.3
22		25.1	7.56	73	84.2
23		42.8	16.2	16	66.3
24		63.7	33.3	92	48.1
25		41.6	18.6	59	56.3
26		153	84.9	46	45.3

" Trainé " Schlumberger: $AB/2 = 15 \text{ m}$, $MN/2 = 2 \text{ m}$

Mission 1

Azimuth N045

N	Point de mesure	V_s	L_s	P_s	Résistivité.
1		1.17	16.2	0	12.6
2		51.4	13.5	149	560.5
3		5.52	13.2	-96	72.7
4		1.97	18.8	10	68.6
5		5.86	14.8	112	68.6
6		13.2	53.0	13	43.2
7		15.4	67.7	-116	39.5

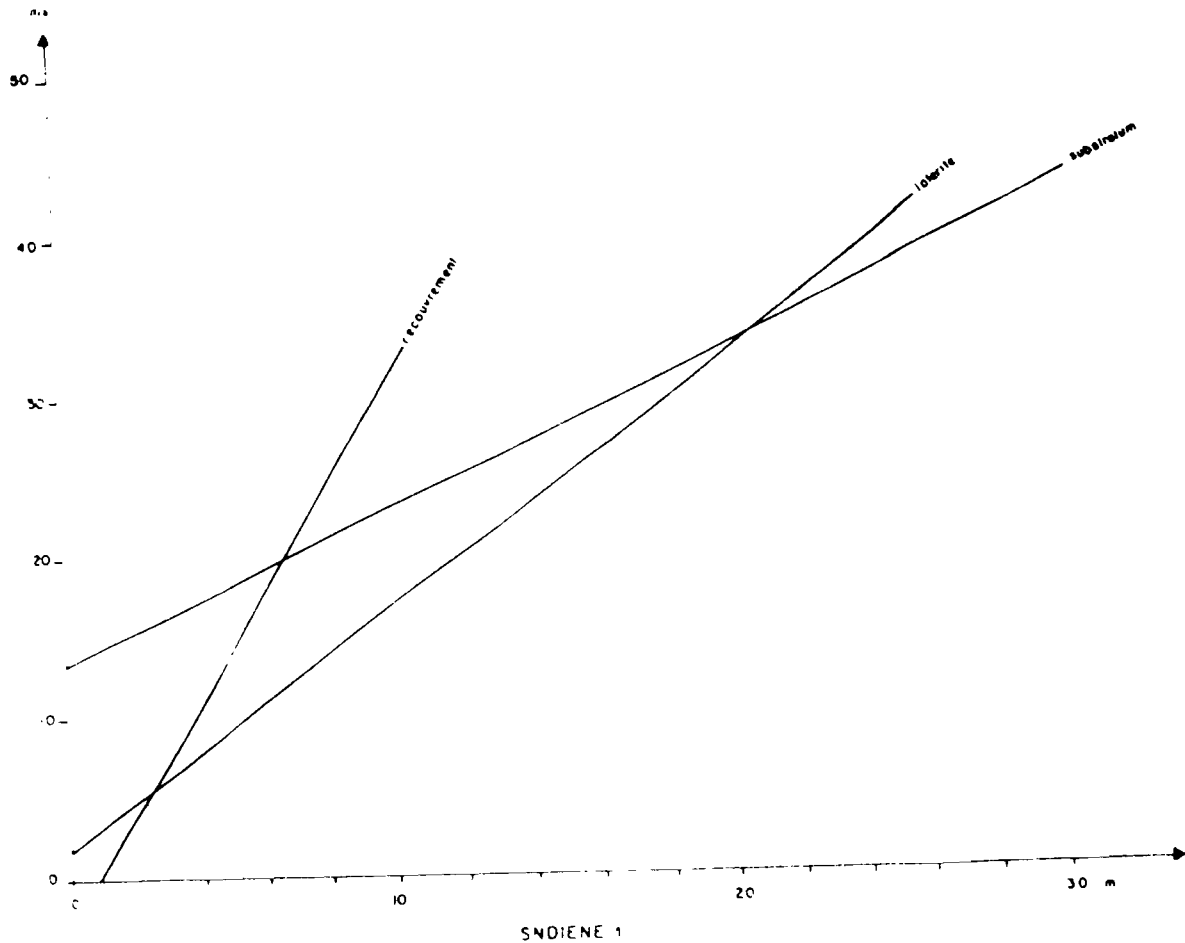
NB.: Le premier point du " trainé " Schlumberger correspond au point 26 du Wenner.

Sondage sismique: Ndiéne 1

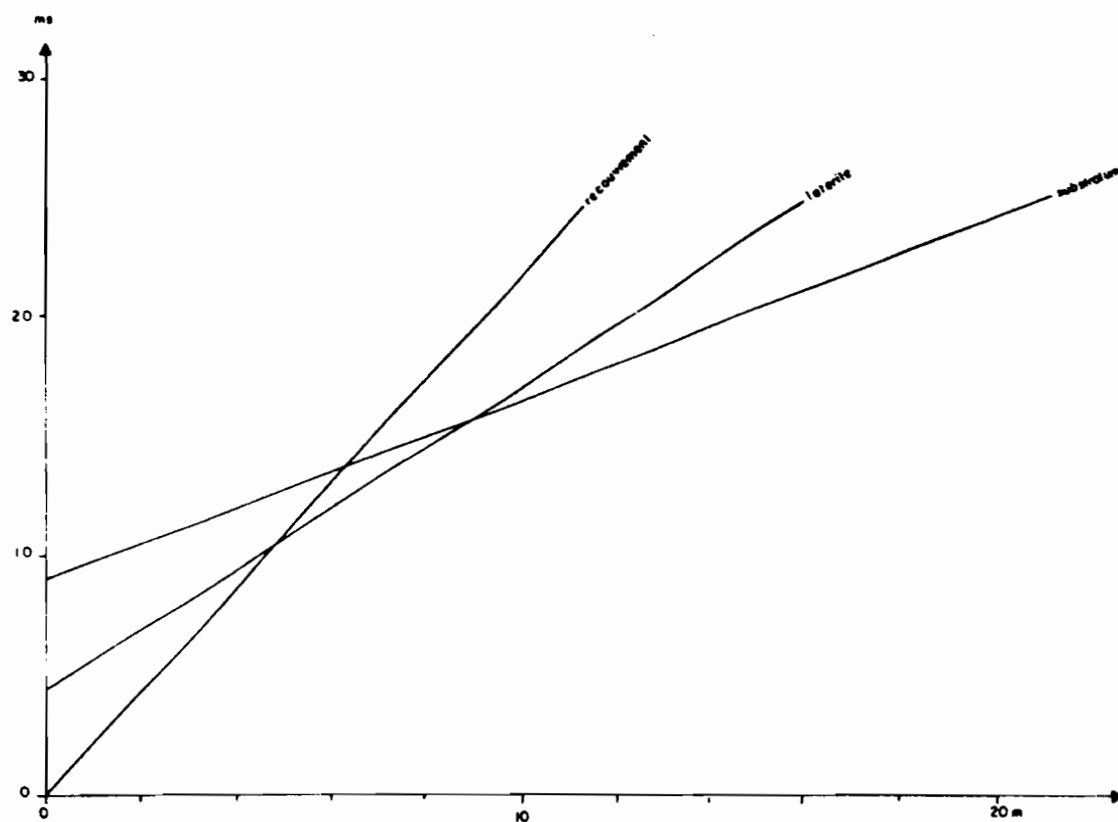
Azimut: N 030

X (m)	Temps (ms)	
1	C. 0.3	
1.5	C. 2.5	
2	C. 4.2	
2.5	C. 5.7	
3	C. 7.3	D. 5.5
4	C. 10.3	D. 8.4
5	C. 12.2	D. 9.7
6	C. 13.7	D. 11
7	C. 16.2	D. 13.6
8	C. 16.1	D. 13
9	C. 20.2	D. 18
10	C. 22.6	D. 18.9
11	C. 24.0	D. 20.9
12	C. 25.8	D. 21.0
15	C. 30.3	D. 25
17	C. 32.6	D. 27.6
20	C. 34.2	D. 38.8
22	C. 42.4	D. 36.2
24	C. 45.4	D. 39.2
26	C. 46.0	D. 39.4
28	C. 48.0	D. 41.2
30	C. 50.4	D. 43.2

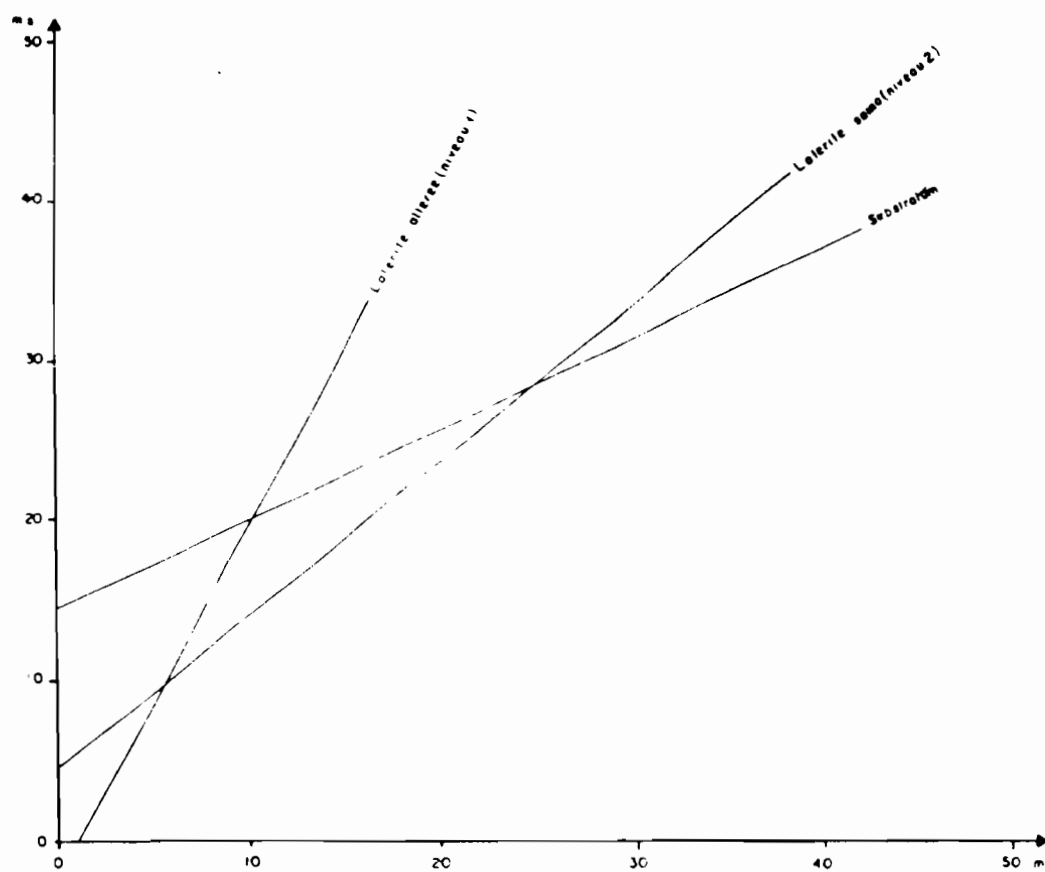
C = Compression
D = Dilatation



X (m)	Temps (ms)
1	1.2
1.5	2.6
2	6.5
2.5	5.7
3	8.4
3.5	9.9
4	11.4
4.5	12.3
5	12.4
5.5	13.6
6	14.5
7	15.5
8	15.8
9	17.3
10	18.1
12	20.2
14	21.3
16	23.8
18	26.1
20	27.5



X (m)	Temps (ms)	
1		C. 2
1.5	D. 1.7	C. 3.1
2	D. 2.6	C. 3.7
2.5	D. 3.9	C. 5.6
3	D. 4.9	C. 6.7
3.5	D. 4.7	C. 7.3
4	D. 5.3	C. 9
4.5	D. 8.1	C. 10.4
5	D. 9.1	C. 11.5
5.5	D. 9.4	C. 11.8
6	D. 9.3	C. 12.4
7	D. 11.4	C. 13.4
8		C. 14.4
9	D. 14.1	C. 15.7
10	D. 14.2	C. 16.5
12	D. 16.5	C. 18.1
14		C. 20.6
16	D. 21.4	C. 24.1
18		C. 24.6
20	D. 23.7	C. 26.7
22	C. 25.2	28.4
24		C. 30.3
26		C. 33.5
28		C. 34.7
30	D. 34.0	C. 36.3
32	D. 33	C. 37.1
34	D. 34.2	C. 38
36	D. 33.8	C. 37.9
38	D. 35.9	C. 39.7
40	D. 37.5	C. 40.4
45		C. 45.6



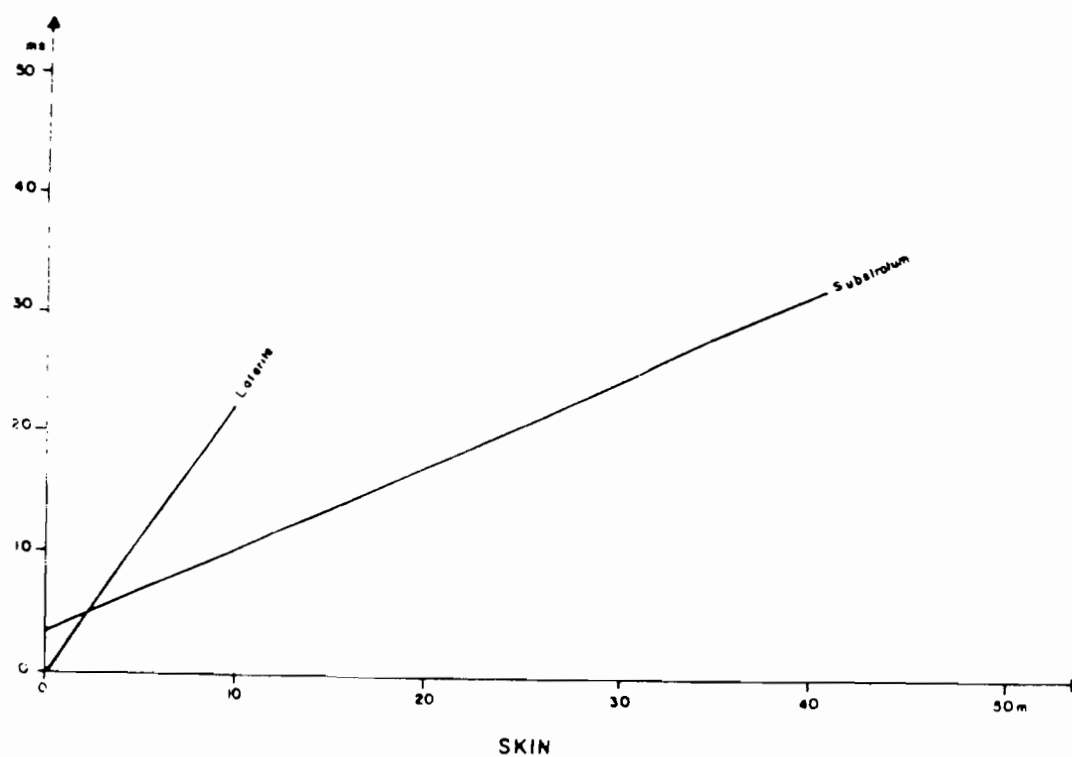
SNDIENE 2b

Sismique: K.I.N.1a

Sismique: K.I.N.1b

91

X (m)	Temps (Ms)		X (m)	Temps (ms)	
1	0.9		1.5	1	2
1.5	1.9	0.8	2	2	4
2	5.3	2.3	3	3.8	6.9
2.5	7.1	6.1	4	9.8	7.3
3	8.2	6.9	5	7.7	11.1
4	9.6	6.9	6	3.1	19.5
5	10.8	9.6	7	7.8	21.0
			8		21.4
6	7.6		9	9.6	23.2
	19.3		10	10.6	23.8
			11	11.2	25.2
			12	11.7	26.1
			13	12.6	
			14	14.3	
			15	14.6	
			16	15.5	
			17	16.1	
			18	16.9	
			19	17.9	
			20	18.2	
			22	19.5	
			24	21.1	
			26	22.1	
			28	23.6	
			30	25.4	
			32	26.9	
			34	28.8	
			36	29.3	
			38	30.4	47.6
			40	36.0	54.8
			42	37.6	55.2
			44	40	
			46	42	
			48	45.6	82.4
			50	45	85.2

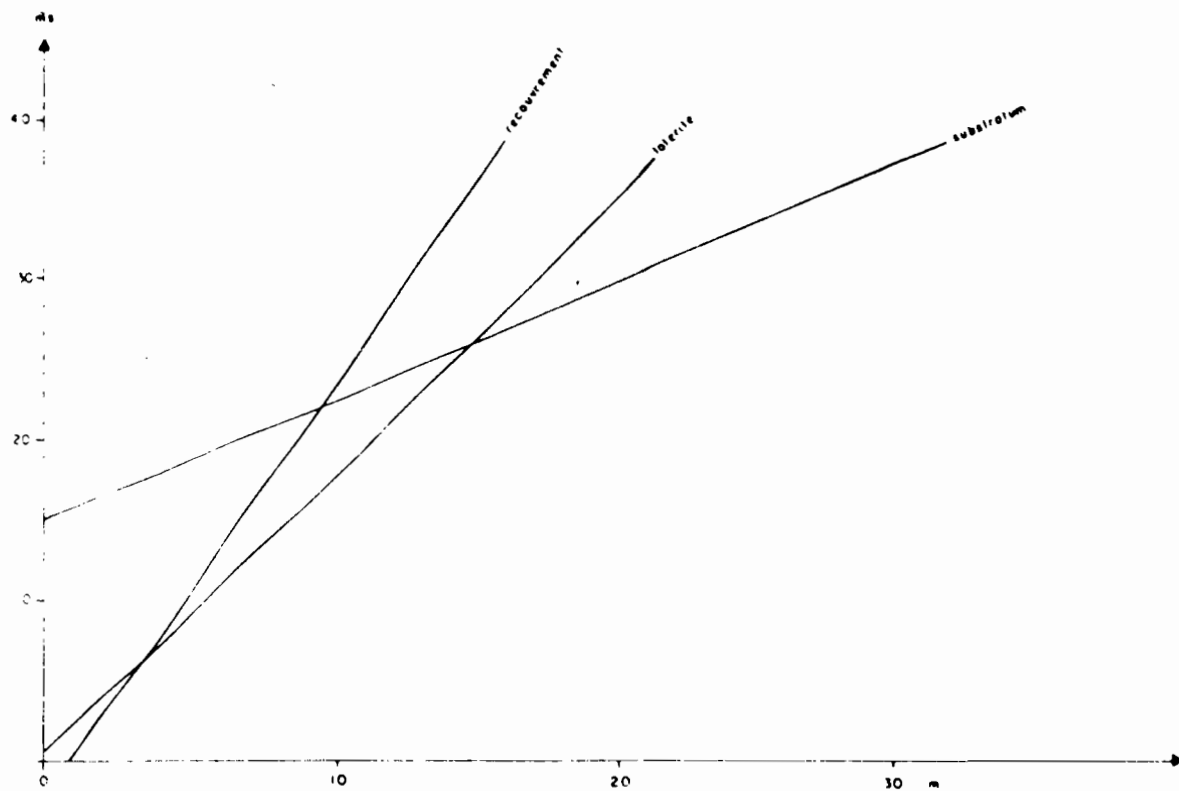


Azimut: N 100

X (m)

Temps (Ms)

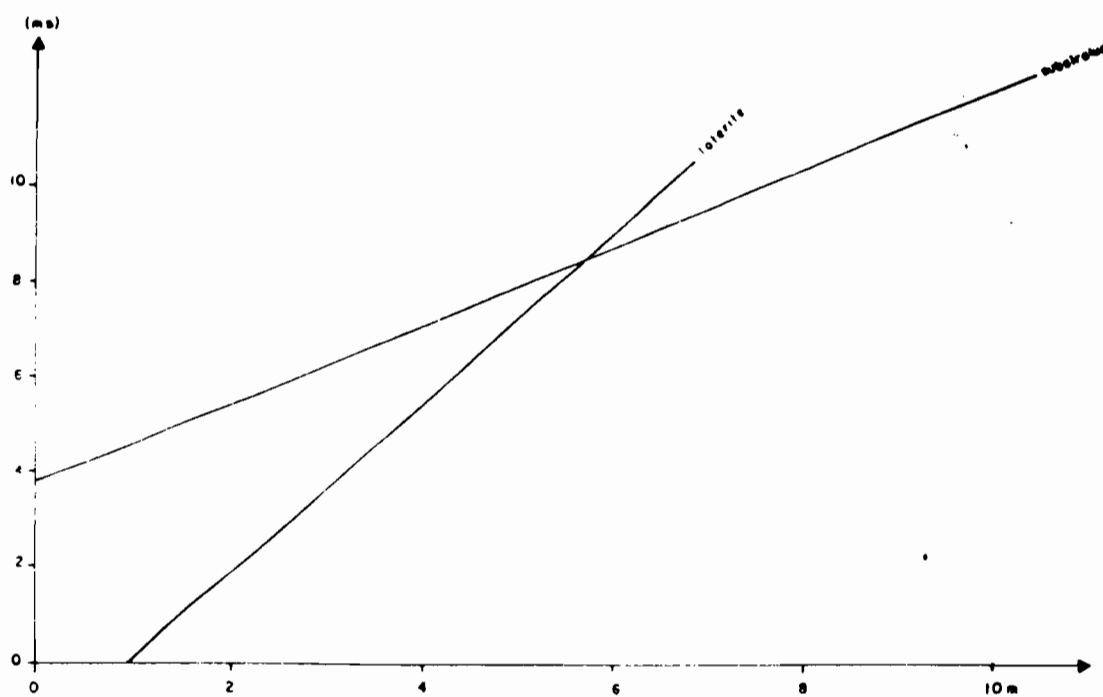
1	0.3	
1.5	1.4	
2	4.8	3.2
2.5	6.0	4.4
3	7.1	5.5
3.5	8.9	6.5
4	10.1	7.6
4.5	10.5	8.2
5	11.3	9.1
5.5	12.2	9.9
6	13.3	10.6
6.5	14.5	11.7
7	15	
7.5	15.1	11.5
8	16.4	12.9
8.5	17.6	13.1
9	18.7	13.7
9.5	20.3	
10	20.9	16.5
11	24.2	20.4
12	26.3	22.3
13	26.9	22.8
14	28.8	24.9
15	30.0	26.5
16	30.2	27.0
17	31.5	27.9
18	32.3	28.6
19	33.0	28.7
20	33.9	29.8
21	34.9	30.0
22	35.6	30.9
23	36.2	31.3
24	37.7	32.8
25	39.0	33.7
26	39.0	34.6
27	40.6	35.6
28	40.4	34.4
29	42.2	36.7
30	43.1	38.5



Azimut: N 045

X (m) Temps (ms)

1	0.5	0.7
1.5	2.7	1.1
2	3.5	2.5
2.5	4.1	2.6
3	5.6	3.6
3.5	5.8	4.1
4	7.1	5.5
4.5	6.2	
5	7.4	
5.5	8.1	
6	8.7	
6.5	9.1	
7	9.5	
7.5	10.1	
8	10.7	
8.5	10.8	
9	11.3	
9.5	11.7	
10	11.8	



SKADAM 2