

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE-CURIE
PARIS VI
Laboratoire de Géophysique Appliquée

ORSTOM
Institut Français de recherche
scientifique pour le développement
en coopération

Mémoire de D.E.S.S.
de
GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE

APPLICATION DES METHODES ELECTRIQUES ET MAGNETIQUE
A L'ETUDE DES SOLS FERRALITIQUES: bassin versant de NSIMI (sud-CAMEROUN)

Par **ADAMA MARIKO**

Directeur du DESS: Pr. P. ANDRIEUX

Année 1993-1994

AVANT - PROPOS

Ce travail s'inscrit dans le cadre de mon mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) de géophysique appliquée de l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI). Il a été réalisé au laboratoire de géophysique interne (LGI) du centre de l'ORSTOM de BONDY. Je voudrais ici remercier les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à sa réalisation

Je voudrais remercier tout d'abord Mr Yves ALBOUY, directeur de recherche à l'ORSTOM, à qui je dois ma connaissance des structures du DESS et qui a bien voulu m'accepter dans son laboratoire pour le stage. Il a été l'initiateur de ce travail en me proposant un sujet sur l'application des méthodes géophysiques à l'étude des sols pédologiques et m'a donc permis de découvrir un mois durant une partie de la forêt camerounaise qui contraste bien avec mon milieu sahélien. Ses conseils et observations m'ont été d'un apport utile. J'ai bénéficié de toutes les conditions nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier tous mes professeurs du DESS pour la qualité de leurs enseignements, mais aussi pour leurs conseils durant le déroulement de mes études et stages.

Le Professeur Pierre ANDRIEUX, directeur du DESS, a bien voulu m'accepter dans son établissement, ses interventions fructueuses m'ont beaucoup aidé dans ce travail.

MM Pierre MECHLER, Louis PASTOR, Nicolas FLORSTH pour leur disponibilité totale.

Le personnel du laboratoire de géophysique interne de BONDY m'a fait bénéficier de son aide très appréciable.

Je voudrais exprimer mes remerciements à : Sylvain BONVALLOT, Annick LEGELEY, Germinal GABALDA, Michel GOSSELIN et Gilbert JUSTE pour toute leur bonne collaboration.

Je tiens à remercier David BOUKEKE ancien thésard du LGI pour son aide tant pour les questions d'ordre géophysique qu'informatique.

Je voudrais aussi remercier Marc DESCLOITRES chercheur à l'ORSTOM de Dakar,

Henri ROBAIN pédologue à L'ORSTOM de Yaoundé, initiateur du projet sur les altérations, YENE ATANGANA Joseph QUENTIN, géophysicien au département des sciences de la terre à l'université de Yaoundé,

BRAUN géochimiste à l'ORSTOM de Yaoundé co-initiateur du projet,

Mme Mireille ALBOUY, "géophysicienne"

Mr NYECK pédologue au département des sciences de la terre à l'université de Yaoundé, pour les bon rapports que nous avons toujours eu sur le terrain.

Je ne saurais terminer sans remercier François NGUETSOP thésard au Muséum National d'Histoire Naturelle qui a bien voulu me porter aide lors de la saisie de ce texte.

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	I
SOMMAIRE	1
I. -INTRODUCTION	3
II -CONTEXTE GEOLOGIQUE	4
2.1 -GENERALITES	4
2.1.1. -LE CRATON	4
2.1.2. -LA ZONE MOBILE	4
2.1.3. -TECTONIQUE	4
2.2. -LA ZONE D'ETUDE	6
2.2.1. -TOPOGRAPHIE	6
2.2.2. -GEOLOGIE	7
2.2.2.1. -LE SOCLE	7
2.2.2.2. -L'ALTERATION	7
2.2.2.2.1. -Les formation meubles à structure de sol	7
2.2.2.2.2. -Matériaux induré s par les oxy-hydroxides de fer	7
2.2.2.2.3. -Matériaux à structure de socle	7
III -METHODES GEOPHYSIQUES MISES EN OEUVRE	9
3.1. -METHODES ELECTRIQUES	9
3.1.1. -SONDAGE ELECTRIQUE	9
3.1.1.1. -SONDAGE SCHLUMBERGER	9
3.1.1.2. -SONDAGE CARRE	10
3.1.2. -TRAINE ELECTRIQUE	11
3.1.3. -PANNEAU ELECTRIQUE	11
3.1.3.1. -DISPOSITIF DE MESURE PÔLE-PÔLE	12
3.1.3.2. -REPRESENTATION GRAPHIQUE DES DONNEES	13
3.1.3.3. -INTERPRETATION DU PANNEAU	14
3.2. -LIMITES D'APPLICATION DE LA METHODE ELECTRIQUE	16
3.3 -INTERPRETATION DES SONDAGES ELECTRIQUES	19
3.3.1. -INTERPRETATION DIRECTE	19
3.3.2. -INTERPRETATION AUTOMATIQUE	21
3.4. -METHODE MAGNETIQUE	24
3.4.1 -PRINCIPE DE LA METHODE	24
3.4.2. -INTERPRETATION	25
IV -ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS	26
4.1 -ACQUISITION DES DONNEES	26
4.2 -MESURES ELECTRIQUES ANTERIEURES	27

4.3. -TRAVAUX EFFECTUES	34
4.3.1. -TRAINES WENNER	34
4.3.2. -CARTES DE RESISTIVITES APPARENTES	38
4.3.3. -PROFILS ET CARTES MAGNETIQUES	40
4.3.4 -COUPE GEOELECTRIQUE ET PANNEAU DE RESISTIVITE	44
4.3.4.1. -COMPORTEMENT ANISOTROPIQUE DU TERRAIN	44
4.3.4.2. -COUPE GEOELECTRIQUE	46
4.3.4.3. -PANNEAU DE RESISTIVITE	49
V -CONCLUSIONS	64
BIBLIOGRAPHIE	66

I. INTRODUCTION

L'étude de la variation spatiale des paramètres physiques liées aux formations superficielles plus précisément les altérations: produits d'un long processus de transformation principalement physico-chimique des roches mères (sédimentaires, métamorphiques et magmatiques), suscite beaucoup d'intérêt dans divers domaines des sciences de la terre.

La réponse physique des altérations, gênante en prospection sismique pétrolière (corrigée), utile dans le suivi des minéraux d'intérêt industriel (or, diamant...) quand ils y sont associés, devenue indispensable en génie civil dans l'étude des fondations, s'impose de plus en plus dans l'étude du mode d'organisation spatiale des horizons pédologiques (Y. ALBOUY et al 1970, C. DORBATH et al 1975, V. N. PHAM et al. 1988 et 1989, E. DELAITRE 1992).

Ce travail de cartographie, nécessaire dans la compréhension du processus d'évolution des sols, revient plus onéreux à partir des méthodes classiques (sondages, fosses ou profils pédologiques). A fin de palier les insuffisances d'informations, liées aux emplacements ponctuels souvent hasardeux, aux profondeurs et nombres très limités des fosses, on fait appel aux méthodes géophysiques qui permettent de fournir rapidement et à peu de frais des données complémentaires sur de grands espaces.

L'application de la géophysique principalement les méthodes électriques à l'étude des formations d'altération de la forêt camerounaise qui fait l'objet de ce rapport a pour but la caractérisation du mode d'organisation tridimensionnelle des différents horizons des sols ferrallitiques au niveau du bassin versant élémentaire.

Cette étude fait suite à des travaux de caractérisation pédologique: physique, minéralogique et géochimique (H. ROBAIN 1993) dans le petit bassin versant de NSIMI (environ 1 km²) situé à 110 km au S-SE de YAOUNDE.

Elle devrait permettre d'identifier les différents niveaux géoélectriques et leurs variations d'épaisseurs.

Après une présentation physique de la région d'étude suivie de la description des différentes méthodes mises en oeuvre nous examineront les résultats obtenus et en dégageront les principes qui devront guider les futures prospections.

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1. GENERALITES

Situé à la charnière de l'Afrique centrale et de l'Afrique occidentale, le Cameroun est dominé par la présence de formations précambriennes comprenant le craton qui occupe une infime partie du sud, et la zone mobile panafricaine qui s'étend sur tout le reste. Sur cet ensemble reposent les formations superficielles dominées par les latérites qui s'étendent du sud jusqu'au huitième parallèle (fig. 1a).

2.1.1. LE CRATON

Le craton (complexe du N'tem) essentiellement d'âge archéen correspond à la partie septentrionale du craton du Congo. Il comprend deux unités lithologiques: les roches plutoniques (gabbros, dolérites, granodiorites, syénites, etc...)et métamorphiques de haut grade (gneiss, granulites) qui montrent tous les faciès charnockitiques.

Elles affleurent selon une bande WNW-ESE; les roches gneissiques occupent les extrêmes ouest et sud de la bande, au nord apparaissent progressivement les formations granulitiques qui sont en contact, par l'intermédiaire d'un accident majeur chevauchant d'orientation WNW-SES, avec les schistes de M'balmayo au nord (fig. 1b).

2.1.2 LA ZONE MOBILE

La zone mobile appartient au domaine océanique avec des dépôts peu profonds de sédiments argilo-calcaires et gréseux injecté de roches cristallines.

On y distingue quatre ensembles: un ensemble sédimentaire et volcanique peu métamorphique (série Intermédiaires et série du Dja), un ensemble catazonal migmatique et granitique, des fragments du socle archéen repris dans la zone mobile (série de Nyong et de la Lokoundjé) et des intrusions alcalines d'âges séries Intermédiaire.

2.1.3. TECTONIQUE

L'ensemble du Cameroun est traversé par des accidents majeurs (zones de cisaillements) d'orientation générale ENE-WSW auxquels sont associés de multiples réseaux de failles et de fractures. Ces structures tectoniques sont injectées de roches éruptives (granites, diorites, gabbros, dolérites) qui gisent sous forme de sill, filon et batholite. Ce phénomène a été accompagné d'une grande phase de plissement d'intensité variable

Fig.1a. CARTE DU CAMEROUN

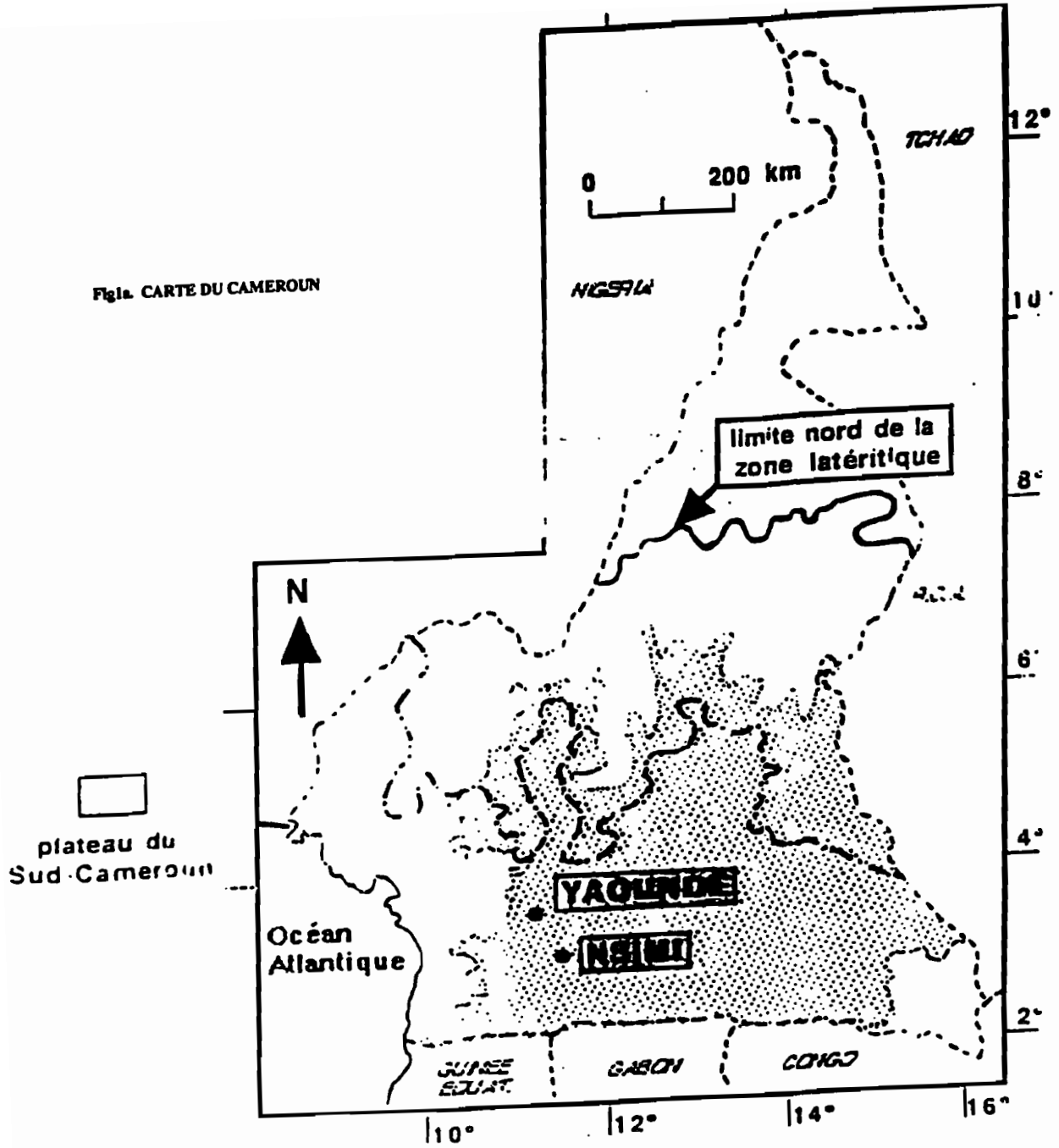
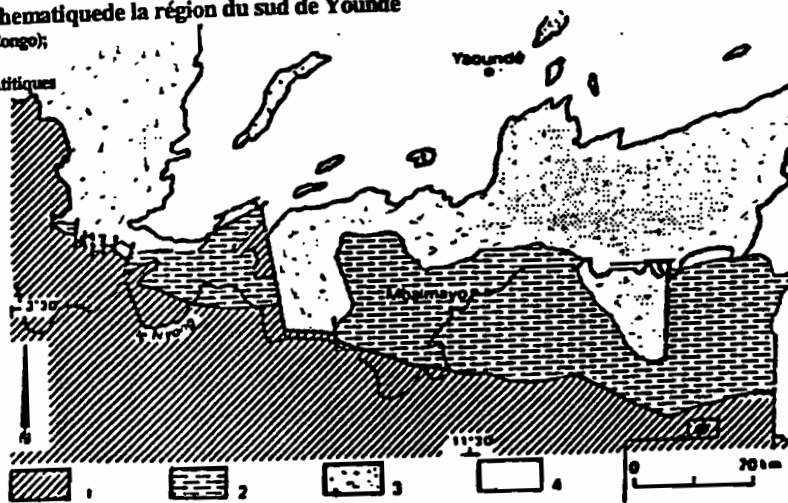


Fig.1b-Carte géologique schematique de la région du sud de Yaoundé

- 1, Complexe du Ntem (craton du Congo);
- 2, schiste de M'balmayo
- 3 et 4 micaschistes et gneiss migmatitiques



Zone d'étude

2.2. LA ZONE D'ETUDE

2.2.1. TOPOGRAPHIE

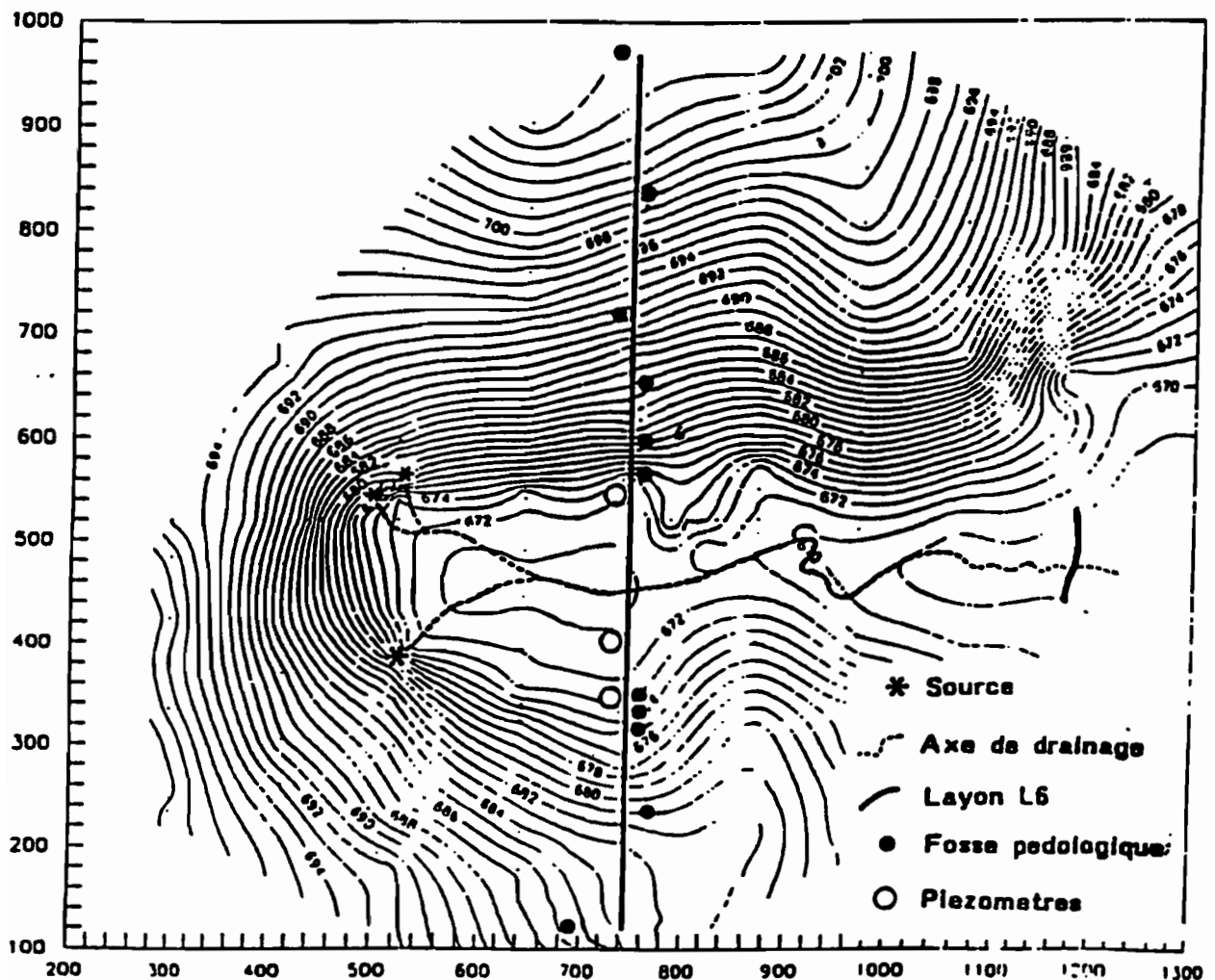
Le bassin de NSIMI couvre environ 1 Km². Les altitudes varient entre 706m au nord et 600m à l'exutoire situé à l'est.

Des levés topo exécutés sur 10 layons espacés d'environ 100m ont permis d'élaborer la carte de la figure 2. Le bassin est drainé d'ouest en est par une rivière perenne (Mengong) qui occupe une bande centrale relativement plate sur une largeur de 100 à 200m.

Le passage de cette zone aux versant est marqué par des pentes souvent importantes. Elles sont de l'ordre de 8 à 9 % sur le layon 6. Ailleurs apparaissent des pentes de 17% voire 20% sur le layon 8 dans la partie amont du bassin où la rivière prend ses sources.

BASSIN VERSANT DE NSIMI Topographie

Fig.2



2.2.2. GEOLOGIE

Située à 78 km à vol d'oiseau au S-SE de YAOUNDE, la zone d'étude (NSIMI-ZOETELE) est dominée par deux unités lithologiques: le socle et l'altération latéritique

2.2.2.1. LE SOCLE

Des études détaillées ne sont pas disponibles. Les affleurements de granites de couleur blanchâtre rencontrés dans le lit du marigot confirmerait son appartenance au complexe de N'tem. Les levés magnétiques au sol permettent de supposer la présence d'injection de corps magnétiques (gabbros, dolérites ?)

2.2.2.2. L'ALTERATION

Les formations de l'altération, objet de la présente étude, dominent tout le bassin. Très épaisses sur les flancs, elles sont plus soumises à l'érosion dans le lit du Mengong où apparaisse un affleurement du socle granitique sur le layon L5-550. Elles se distinguent en trois unités principales:

2.2.2.2.1. LES FORMATIONS MEUBLES A STRUCTURE DE SOL

Elles comprennent:

- des limons argileux bruns foncés assez caractéristiques des zones marécageuses du Mengong.
- des argiles relativement développées, occupes les parties sommitales des flancs du bassin. Elles deviennent plus sableuses vers les niveaux supérieurs notamment sur les pentes.
- des horizons sableux bruns jaunes à gris bleus apparaissent dans le bas des pentes et au fond du lit où ils deviennent plus épais. Ces horizons sont engorgés d'eau et forment de petites nappes perchées.

2.2.2.2.2. MATERIAUX INDURES PAR LES OXY-HYDROXIDES DE FER

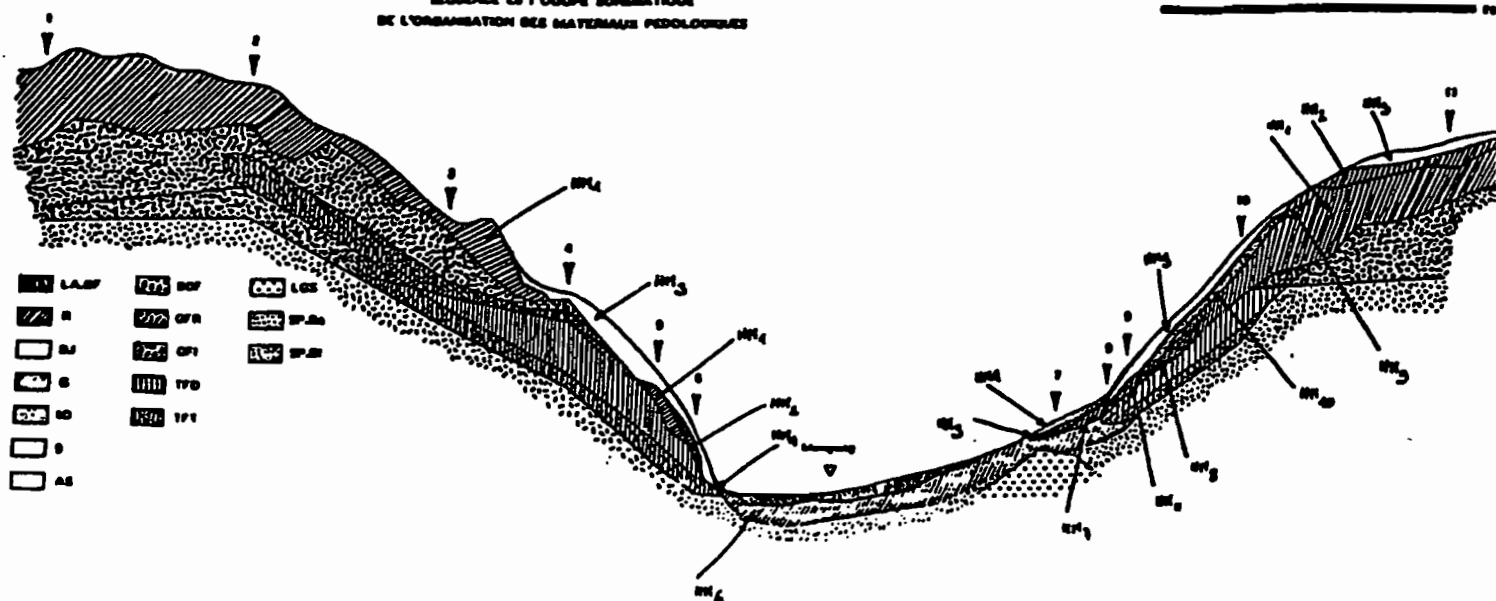
Les matériaux indurés sont composés de gravillons ferrugineux centimétriques de forme ronde ou irrégulière baignant dans une matrice meuble. Ils présentent quelques passages de blocs décimétriques de cuirasses limités aux versants convexes. Ils apparaissent sous les argiles et argiles sableuses.

2.2.2.2.3. MATERIAUX A STRUCTURE DE SOCLE.

On y distingue deux grand types d'altérités:

- une saprolite bariolée (SP-BA)

SEQUENCE LA : COLINE SCHEMATIQUE
DE L'ORGANISATION DES MATERIAUX PEDOLOGIQUES



- LA-BF: limon argileux brun foncé R: argileux rouge
 BJ: brun jaune (peut être argileux ou sablo-argileux)
 G: gris bleu (peut être argileux ou sablo-argileux) S: sableux AS: argilo-sableux
 BCF: blocs décimétriques de cuirasses ferrugineuses
 GFR: gravillons ferrugineux centimétriques de forme ronde
 GFI: gravillons ferrugineux centimétriques de forme irrégulière
 TFD: trames ferrugineuses dures
 TFT: trames ferrugineuses tendres
 HM1: argileux rouge HM2: argilo-sableux, brun jaune et rouge
 HM3: argilo-sableux, brun jaune HM4: sableux, brun jaune
 HM5: sableux, brun-jaune et gris-bleu HM6: sableux, gris-bleu
 HM7: argilo-sableux, brun-jaune et gris-bleu HM8: argileux, rouge, brun-jaune et gris-bleu
 HM9: argilo-sableux, rouge à taches ocres HM10: argilo-sableux, brun-jaune à taches ocres
 HM11: argilo-sableux, brun-jaune à taches ocres et à taches gris bleu

Fig. 3

-une saprolite de couleur blanchâtre largement dominante au niveau du bafond.
Ces saprolites proviennent de l'altération des leucogranites (roche mère) dont on observe une remontée importante au niveau de la fosse n°7

III. METHODES GEOPHYSIQUES MISES EN OEUVRE

3.1. METHODES ELECTRIQUES

La méthode de résistivité a été largement utilisée tout le long des travaux. Basée sur l'envoi dans le sous-sol, au moyen des piquets métalliques (ou électrodes d'injection A et B), de courant continu (I) et la mesure entre deux électrodes (appelées MN) d'une différence de potentiel (ΔV) liée à la distribution des résistivités dans le sous-sol, elle permet de calculer la résistivité apparente (ρ_a) d'une tranche de terrain définie par l'écartement des électrodes A et B.

L'étude de la répartition spatiale des différentes unités géologiques et leur tectonique sur la base de l'examen de la variation des résistivités apparentes fait appel à deux techniques essentielles.

3.1.1. SONDAGE ELECTRIQUE (SE)

3.1.1.1. SONDAGE SCHLUMBERGER

IL consiste à établir la courbe de variation de la résistivité apparente (ρ_a) des terrains en fonction de la profondeur d'investigation liée à l'écartement des électrodes d'injection A et B. Les résistivités apparentes mesurées varient en fonction de la succession des résistivités vraies associées aux différents niveaux de terrains horizontaux superposés à la verticale du centre du dispositif de mesure.

Le dispositif schlumberger est le plus couramment utilisé (fig. 4). Le centre du dispositif appelé point de traçage (ou de report, ou station) reste fixe. On écarte progressivement les électrodes d'injections de courant symétriquement par rapport au point de traçage.

Les électrodes de réception M et N restées fixes, pour une série de mesures correspondant à un certain nombre d'écartement de A et B, sont ensuite écartées en tenant compte généralement de la relation $4 < AB / MN < 20$. Les ρ_a ainsi calculées à partir des mesures de I (mA) et Δv (mV) effectuées respectivement entre AB et MN apportent des informations géoélectriques sur la nature et l'épaisseur des couches de terrains situées à la verticale du point de traçage.

Exécuté suivant plusieurs directions (en croix) le SE permet de mettre en évidence l'anisotropie du terrain

Le ρ_a est donné par la formule générale $\rho_a = K \frac{\Delta v}{I}$ (1)

ρ_a est exprimée en ohm.mètre ($\Omega.m$), I en milliampère (mA)

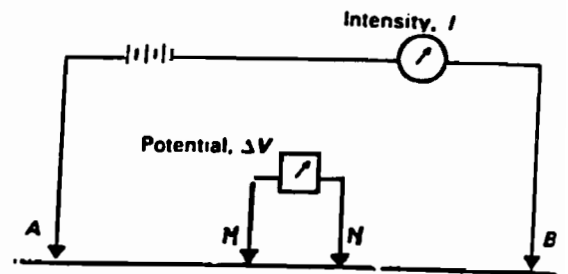


Fig. 4 Dispositif Schlumberger

K est le coefficient géométrique du dispositif. Il est constant pour un écartement donné.

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

Les valeurs de la résistivité apparente sont ensuite reportées sur du papier bilogarithmique en fonction de la distance $AB/2$. La courbe de SE ainsi obtenue est interprétée soit par la méthode des abaques de façon manuelle, soit par le traitement informatique à l'aide de logiciel approprié.

3.1.1.2. SONDAGE CARRE

Il consiste à mesurer la résistivité apparente, à partir du centre o du quadripôle ABMN disposé en carré. Les mesures sont effectuées dans plusieurs directions sur un ou des dispositifs carrés croisés (fig. 5) La résistivité apparente est donnée par la même

expression qu'en Schlumberger avec $K = \frac{2\pi}{2 - \sqrt{2}} a$ (3)

La profondeur d'investigation croit avec le côté a du carré. Des relations d'équivalence définies (G. M. HABBERJAM et al, 1967) entre les dispositifs Wenner ($\frac{AB}{3} = 0.805a$),

Schlumberger ($\frac{AB}{2} = 1.207a$) et le carré facilite la comparaison des mesures. Cette

méthode permet de mettre en évidence l'anisotropie du sous-sol. Les mesures sont représentées sous forme de diagramme circulaire (milieu isotrope) ou allongé (milieu anisotrope). La direction d'anisotropie est définie par le petit axe du diagramme.

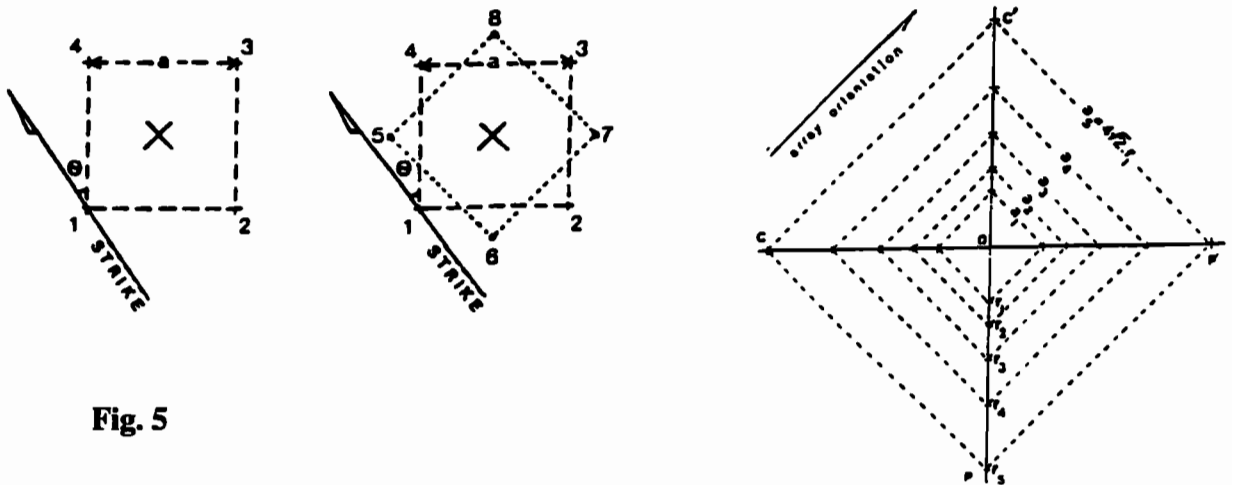


Fig. 5

3.1.2. TRAINE ELECTRIQUE

Dans le cas du traîné électrique, on fixe la géométrie du dispositif AMNB, suivant le type de problème posé, et en se servant des informations apportées par les SE. On déplace ensuite l'ensemble de ce dispositif le long du profil, perpendiculairement à la direction de la structure recherchée. La longueur de la ligne AB est choisie sur le SE de façon à obtenir une profondeur d'investigation suffisante pour l'obtention d'une meilleure réponse de la structure visée.

Les mesures sont effectuées sur des stations régulièrement espacées.

L'espacement fixé en fonction de l'importance géométrique de la structure visée est appelé le pas. Les câbles du dispositif sont traînés suivant une ligne droite d'une station à une autre d'où l'appellation de traîné électrique. Ce déplacement du dispositif permet ainsi une investigation latérale de la résistivité apparente (ρ_a). Les valeurs de ρ_a , calculées d'après la formule (1) sont reportées sur le papier semi-logarithmique en fonction des distances mesurées le long du profil.

Dans cette étude le dispositif Wenner a été utilisé (fig. 6)

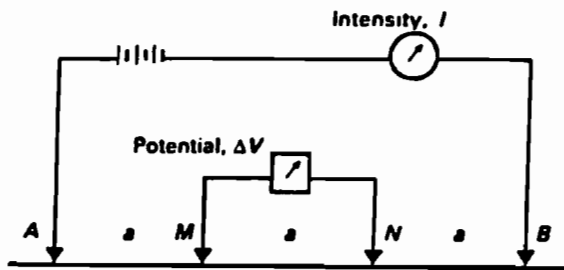


Fig. 6 Dispositif Wenner

$$K = 2\pi a \quad AM = MN = NB = a. \quad (4)$$

Le pas de mesure est généralement égal à a

3.1.3. PANNEAU ELECTRIQUE

Le panneau électrique ou méthode multi-électrodes consiste à réaliser sur une longueur donnée des mesures de résistivités apparentes à un pas variable pour différentes positions des électrodes d'émission et de potentiel.

On obtient ainsi une pseudo-section de résistivités apparentes où les discontinuités du sous-sols apparaissent sous forme d'anomalies de résistivités. Cette méthode présente les avantages du sondage et du traîné électriques.

Plusieurs dispositifs: dipôle-dipôle, pôle-dipôle, pôle-pôle, sont utilisés. Nous nous intéresserons ici qu'au dispositif pôle-pôle utilisé dans la présente étude

3.1.3.1. DISPOSITIF DE MESURE PÔLE-PÔLE

Le dispositif comprend une première série d'électrodes (une quarantaine au plus dans notre étude) alignées et équidistantes et deux électrodes placées à l'infini, suivant une direction perpendiculaire, de part et d'autre de l'alignement d'électrodes (fig. 7). La distance infinie est théoriquement égale au moins à 10 fois l'écartement entre les positions extrêmes de la série d'électrodes.

L'électrode d'injection B, fixe durant toutes les mesures, occupe une des positions à l'infini. Il en est de même pour l'électrode de potentiel M. Les électrodes d'injection A et de potentiel N se déplacent sur l'alignement d'électrodes au centre de l'ensemble du dispositif de la manière suivante.

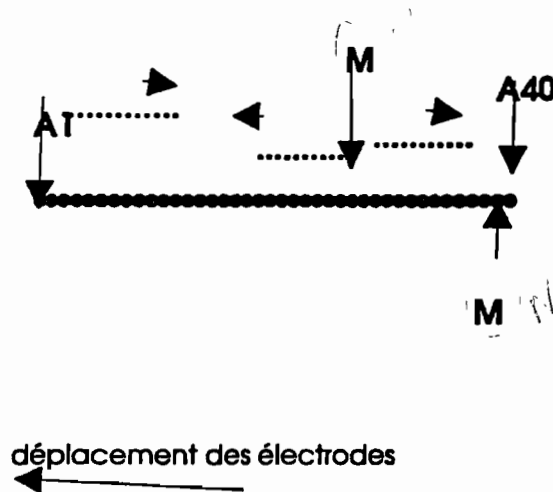
Pour une position donnée de A, N occupe successivement tout le reste de la série d'électrodes. Cette opération est répétée jusqu'à ce que A occupe toute la série d'électrodes.

L'équidistance a entre les électrodes variable (2m dans notre cas) est fonction de la géométrie des structures et du détail recherché. Elle peut atteindre 50m.

•
B

Fig. 7

DISPOSITIF DU PANNEAU PÔLE-PÔLE



•
N

3.1.3.2. PRESENTATION GRAPHIQUE DES DONNEES

La résistivité apparente est calculée d'après la formule (1) avec $K = 2\pi AN$ (tiré de (2)). En effet B et M étant à l'infini $AM \rightarrow \infty, BM \rightarrow \infty, BN \rightarrow \infty$ d'où $\frac{1}{AM} = \frac{1}{BN} \approx \frac{1}{BM} \rightarrow 0$. On sait que $AN = na \Rightarrow K = 2\pi an$. Dans cette étude nous avons pris $K = 4\pi n$.

Les valeurs de ρa sont portées à 45° au milieu de A et N à une profondeur (pseudo-profondeur) égale à $\frac{AN}{2}$ (fig. 8). Cette profondeur serait inférieure à celle de la source en présence de terrains superficiels conducteurs. Elle serait sous estimée dans le cas de terrains superficiels résistants

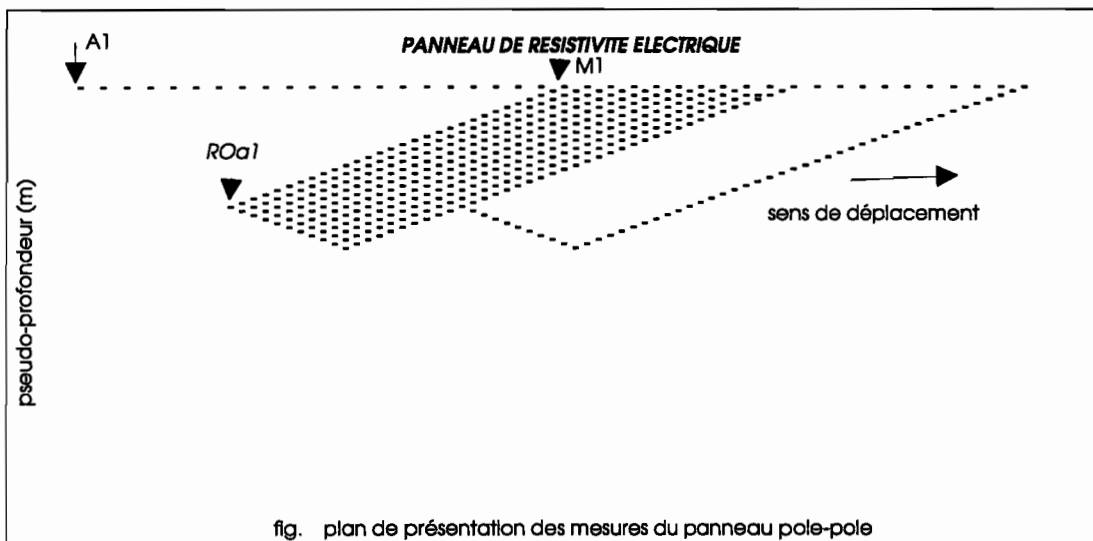


Fig.8

3.1.3.3. INTERPRETATION DU PANNEAU

Les données peuvent être exploitées de plusieurs manières. On peut calculer les résistivités qu'on aurait obtenues en utilisant d'autres dispositifs: traîné Wenner, pôle dipôle, pôle-pôle, Schlumberger, sondage Wenner ou Schlumberger. Les traînés et sondages reconstitués puis interprétés et représentés sous forme de coupe géoélectriques permettent de rendre compte de la répartition 2D du terrain. (Fig.9)

SCHEMA D'EXPLOITATION DES MESURES DU PANNEAU

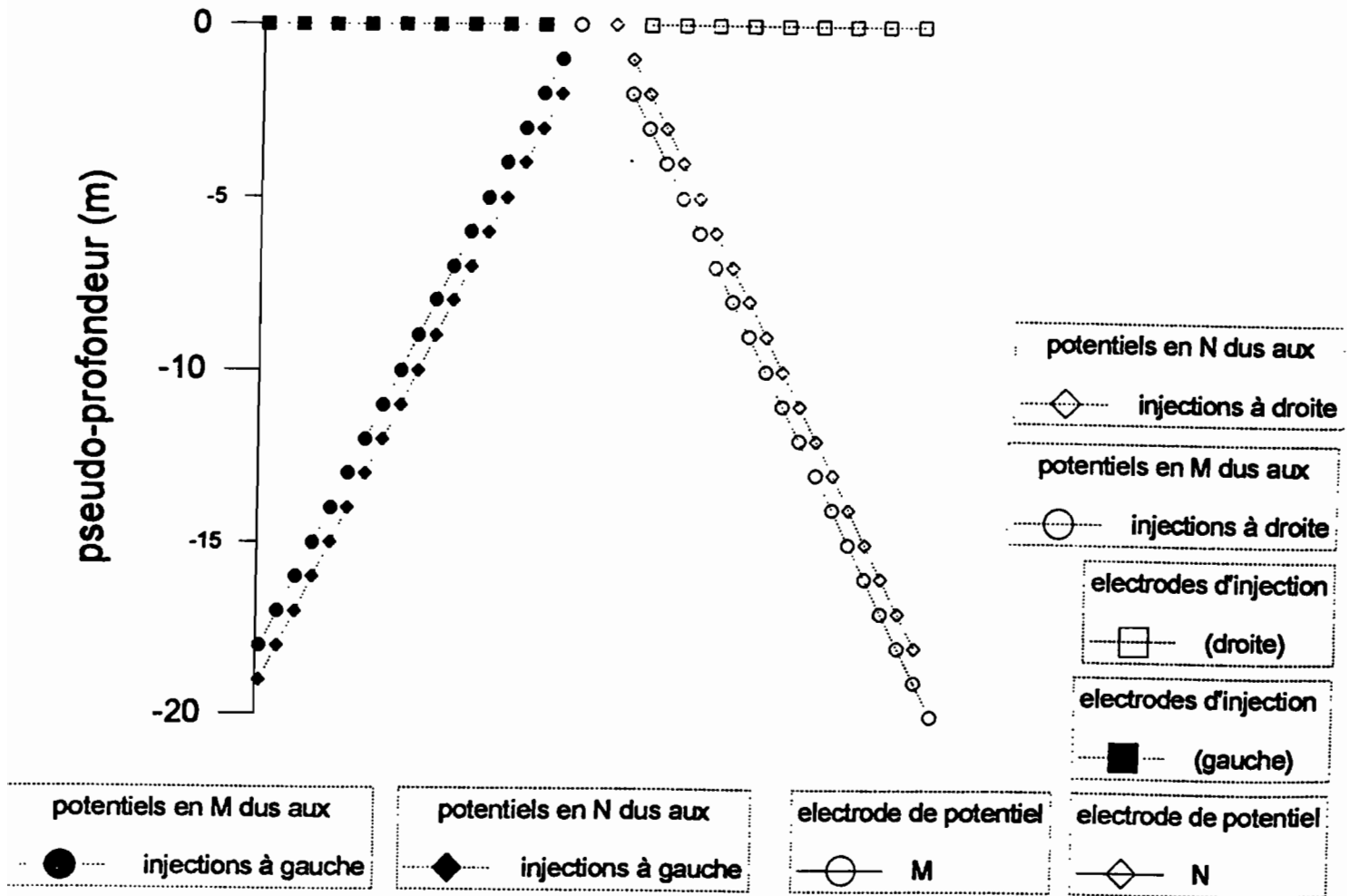


fig. 9

Pour un MN donné et une position de A (gauche ou droite), la résistivité apparente calculée correspond à celle d'un demi dispositif Schlumberger (gauche ou droite)

Le demi-Schlumberger est en fait un dispositif pôle dipôle.

Pour un MN donné et deux positions symétriques de A, la résistivité apparente calculée correspond à celle obtenue avec un dispositif Schlumberger classique.

Pour chaque position de A(i) le calcul de différence de potentiel s'effectue entre chaque paire d'électrodes MN le long du panneau.

Si les électrodes de potentiel sont en position P_i et P_{i+1} , A occupe successivement les positions

P_1 jusqu'à P_{i-1}	demi-Schlumberger gauche
P_{i+2} jusqu'à la fin	demi-Schlumberger droite
$(P_{i-1}, P_{i+2}) (P_{i-2}, P_{i+3}) \dots\dots$	Schlumberger

Dans tous les cas la résistivité apparente se calcule en servant des formules (1) et (2).

L'application de ces calcul sur les mesures pôle-pôle s'appuie sur le principe de réciprocité.

A côté de ces modes d'exploitations existent des méthodes d'interprétations basée sur le calcul de modèles mathématiques de potentiel et résistivité. Le logiciel utilisé ans cette étude (RESIX IP 2D) fait des calculs de modèles 2D en utilisant la méthode des éléments finis. Cette méthode nécessite la création d'une grille sur l'aire de calcul. Cette grille est formée de l'intersection de lignes verticales et horizontales.

L'intersection d'une ligne verticale et d'une ligne horizontale forme un noeud. Plusieurs noeuds contigus les uns aux autres forment des cellules. (fig. 9)

La taille et le nombre de s cellules déterminent la précision du calcul et sa rapidité en temps. Plus la grille sera dense le calcul sera précis et plus sera long le temps de calcul.

La taille de la grille variable est fonction de l'espacement des électrodes.

En divisant l'espacement d'électrodes par un entier compris entre 2 et 9 généralement (4 et 5) on a une bonne taille de grille. La taille de la grille reste constante sous les électrodes, varie ensuite horizontalement et verticalement suivant un facteur d'incrémentatation compris entre 1 et 3 .L'augmentation de la taille en dehors des positions d'électrodes permet de palier les conditions aux limites.

3.2. LIMITES D'APPLICATION DE LA METHODE ELECTRIQUE

Comme toutes les autres méthodes géophysiques, la méthode de résistivité se heurte à quelques problèmes dont l'examen minutieux devient indispensable pour la réussite de la campagne.

La profondeur d'investigation ou profondeur extrême au delà de laquelle un horizon géologique cesse de produire un effet mesurable, théoriquement définie par l'écartement AB dépend en réalité de la sensibilité et de la précision de l'appareil de mesure, de la présence d'hétérogénéité parasites et surtout du contraste de résistivité des différents terrains et leurs épaisseurs relatives. Elle est voisine de $AB/4$ en terrain homogène et peut chuter à $AB/10$ quand le substratum est très conducteur (fig. 10a).

Elle serait 0.125 fois AB sur un dispositif Schlumberger et de 0.107 fois AB sur le Wenner (A. ROY, 1971).

Les lignes de champ en Wenner sont légèrement plus plat à l'interface des terrains qu'en Schlumberger laissant suggérer leur relative plus grande sensibilité aux interfaces planes. (fig.10b)

Fig.10b: contour et pénétration des lignes de courant
(e) Wenner, (f) Schlumberger,
(g) dipôle-dipôle

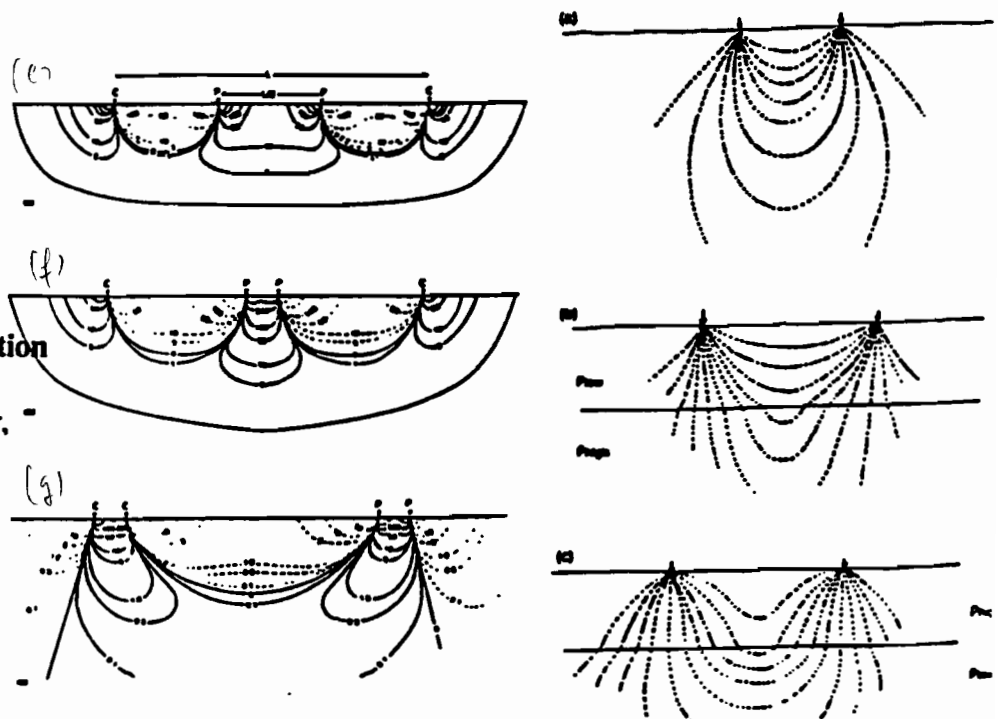


Fig.10a: comportement des lignes de courant
(a) terrain homogène
cas de deux terrains; terrain superficiel conducteur
(b) et résistant (c)

D'autre part dans le cas de deux terrains ($\rho_2 < \rho_1$) si le toit du premier terrain devient très résistant ou très conducteur les résistivités mesurées varient dans le sens inverse pour les

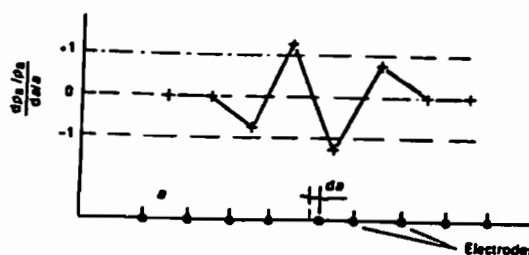
grandes valeurs de AB. C'est le phénomène du paradoxe en électrique (B. N.SATPATHY, 1974)

Le mauvais positionnement des électrodes entraîne des erreurs de mesures qui se traduisent par des variations brutales en dents de scie sur les graphiques (fig. 11).

Sur un dispositif Wenner selon qu'il s'agisse des électrodes d'injection ou de potentiel l'erreur due au mauvais positionnement vaut respectivement

Fig. 11 Anomalie parasite causée par la mauvaise position des électrodes en Wenner

$$\left| \frac{d\rho a}{\rho a} \right| = \frac{3 da}{4 a} \quad \text{et} \quad \left| \frac{d\rho a}{\rho a} \right| = \frac{5 da}{3 a}$$



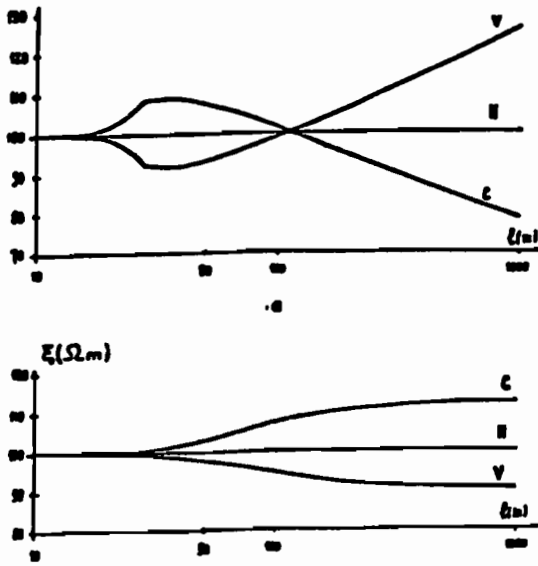
Les caractéristiques d'une couche mince par rapport à sa profondeur sont difficiles à définir dans le cas où sa résistivité est inférieure ou supérieure à celles des terrains encaissants. Une couche résistante entre deux couches conductrices (SE de type H) se manifestera électriquement par sa résistance transversale $R_t = \rho \cdot h$ tandis qu'une couche conductrice entre deux couches résistantes (SE de type K) sera définie par sa conductance longitudinale $C_l = \frac{h}{\rho}$, h et ρ étant l'épaisseur et la résistivité de la couche

considérée. Dans les deux cas de figures une infinité de successions de terrains présenteraient la même allure de courbe pourvu que leurs résistances transversales ou conductances longitudinales soient identiques ou très voisines. Ainsi une même courbe expérimentale peut représenter une infinité de structures géologiques. Cette indétermination résulte du principe d'équivalence.

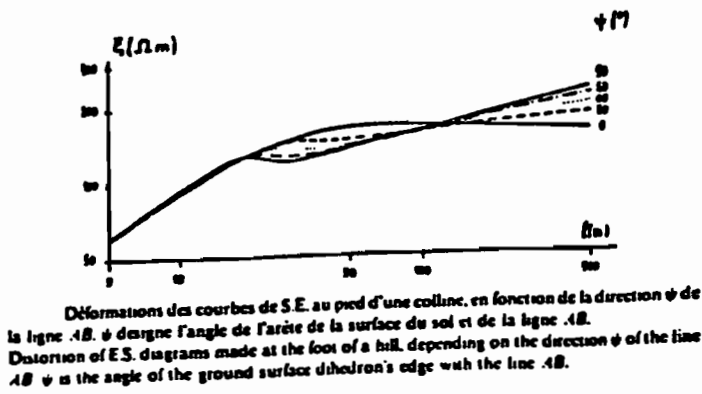
D'autre part une couche mince de résistivité peu différente de celle des couches encaissantes est sans effet sur l'allure de la courbe. C'est le principe de suppression.

Il s'applique aux SE de type A (escalier montant) et de type Q (escalier descendant).

La théorie d'interprétation des SE est basée sur l'hypothèse de la présence de couches de terrains horizontaux et latéralement homogènes. Dans la pratique ces conditions sont rarement satisfaites. L'interprétation se heurte à de nombreuses difficultés dès que la topographie devient irrégulière. Un SE dont le centre se trouve sur un flanc de colline ou de vallée dans le cas d'un sous-sol homogène ou hétérogène, (fig. 12a) quelque soit la direction d'étirement de la ligne AB, introduit de grosses erreurs illustrées par la présence de couches fictives. L'estimation de l'effet topographique (CECCHINI, A. et al, 1980) plus complexe nécessite la connaissance de la géométrie, la résistivité vraie des horizons et la dénivelé.

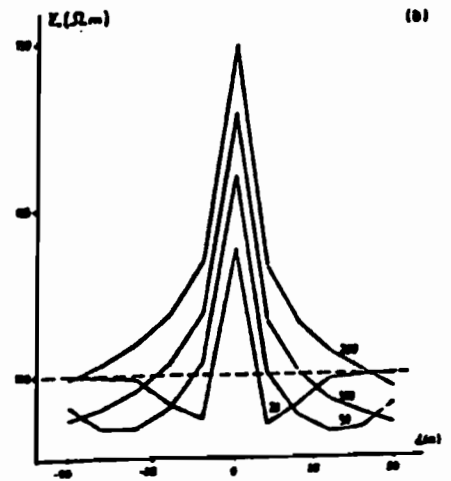
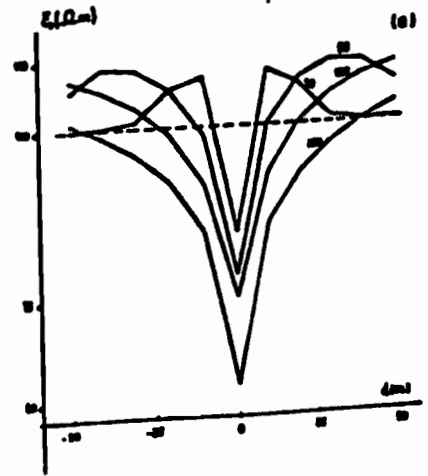


Effet topographique d'une colline (courbes C) et d'une vallée (courbes V) sur les S.E. (a) S.E. transversaux. (b) S.E. longitudinaux.
 Effect of a hill (curves C) and of a valley (curves V) on E.S. (a) Transverse E.S. (b) Longitudinal E.S.



Déformations des courbes de S.E. au pied d'une colline, en fonction de la direction ψ de la ligne AB. ψ désigne l'angle de l'arête de la surface du sol et de la ligne AB.
 Distortion of E.S. diagrams made at the foot of a hill, depending on the direction ψ of the line AB. ψ is the angle of the ground surface dihedron's edge with the line AB.

Fig. 12a



Trains Schlumberger sur une colline (6a) et une vallée (6b). Les courbes sont graduées en l (mètres), demi-longueur de la ligne AB.
 Schlumberger trams across a hill (6a) and a valley (6b). Curves are graduated in l (meter half-length of the line AB).

Fig.12b

Dans le cas des traînées les collines et les vallées apparaissent respectivement sous forme de creux et de pic (fig. 12b).

3.3. INTERPRETATION DES SONDAGES ELECTRIQUES

L'interprétation des SE consiste, à partir de la courbe bilogarithmique représentant les résistivités apparentes en fonction des demi-longueurs de ligne AB, à calculer les résistivités vraies et les épaisseurs des différentes couches du sous-sol. En terme mathématique il s'agit de déterminer la fonction inconnue $\rho = f(h)$ à partir de la fonction $\rho a = g\left(\frac{AB}{2}\right)$.

L'interprétation est conduite en deux étapes:

- on essaye de calculer les épaisseurs et les résistivités vraies des terrains à partir de la courbe expérimentale du SE en se servant de courbes théoriques précalculées ou abaques généralement construits à partir de la relation $\log\left(\frac{\rho a}{\rho_1}\right) = \log\left(\frac{AB}{2h_1}\right)$ pour

différentes valeurs de $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

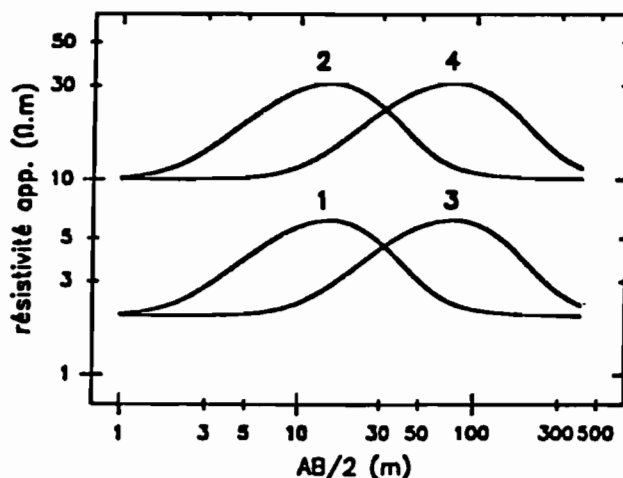
Cette interprétation dite directe permet de passer des mesures de terrain aux modèles.

- la seconde étape ou interprétation indirecte consiste à calculer la réponse du modèle avec un moyen automatique (logiciel d'interprétation de SE). On modifie de proche en proche le modèle, si cela s'avère nécessaire, en s'appuyant sur les données géologiques jusqu'à ce que la réponse calculée intègre au mieux la courbe expérimentale.

3.3.1. INTERPRETATION DIRECTE

Le principe consiste à superposer par un jeu de translation horizontale et verticale (loi de similitude (fig. 13)) la courbe expérimentale sur l'abaque, jusqu'à ce que la première intègre la seconde, et à définir les paramètres.

fig. 13



- 1 : modèle de base à 3 couches horizontales avec $\rho_1=20\Omega m$, $\rho_2=200\Omega m$, $\rho_3=20\Omega m$, $H_1=2m$, $H_2=4m$ et $H_3=\infty$.
- 2 : 1^{ère} application avec $\rho_1 \times 5$ et H_1 constant, la courbe est traduite vers le haut parallèlement à l'axe des ordonnées.
- 3 : 2^{ème} application avec ρ_1 constant et $H_1 \times 5$, la courbe est traduite vers la droite parallèlement à l'axe des abscisses.
- 4 : 3^{ème} application avec $\rho_1 \times 5$ et $H_1 \times 5$, la courbe est traduite vers le haut et vers la droite.

Les paramètres (h_1, ρ_1) du premier terrain sont déterminés à partir de l'abaque deux terrains. Pour les couches profondes on se sert soit, en plus de l'abaque deux terrains, des abaques auxiliaires qui permettent des coïncidences partielles successives avec la courbe

de SE, soit on calcule la conductance longitudinale ou la résistance transversale à partir des abaques C.G.G. Il faut noter que l'interprétation en h et ρ offre une infinité de solutions, par contre R_t ou C_t reste unique pour une courbe donnée

L'application de quelques règles simples (P. LOUIS, 1970) permettent de calculer rapidement la R_t et C_t . La résistance peut être obtenue, avec une bonne approximation, en multipliant la résistivité apparente maximale par la demi-longueur de la ligne pour laquelle elle est atteinte. Dans le cas de la conductance, si le terrain résistant situé au mur du conducteur est infiniment résistant, la remontée du diagramme sera asymptotique à une droite à 45° et le rapport de l'abscisse à l'ordonnée d'un point quelconque de cette droite sera égale à la somme des conductances de toutes les couches subjacentes. Par contre si le terrain résistant ne l'est pas assez, la pente de la branche montante sera inférieure à 45° , dans ce cas on utilise les coordonnées du minimum de la courbe. Le rapport de l'abscisse à l'ordonnée du minimum, majoré de 15 à 20%, fournit sensiblement la somme des conductances de tous les terrains surmontant le résistant. La figure 14 montre quelques exemples d'application de ces règles assez simples et de mise en oeuvre rapide.

Ainsi la connaissance de l'un des paramètres: la résistivité à partir des mesures sur affleurements ou par déduction sur le SE quand la couche est assez épaisse, ou l'épaisseur à partir d'un sondage mécanique (puits, forage), permet de calculer le second. La méthode des coïncidences partielles évoquée plus haut comporte deux étapes. Dans la première, la mise en coïncidence avec une courbe de l'abaque deux terrains de chacun des tronçons du SE étudié est recherchée, et les emplacements de la croix (point de coordonnée $\rho = 1$ et $\frac{AB}{2} = 1$) sont repérés dans chaque cas. Ensuite, dans une seconde étape, à l'aide d'abaque auxiliaire on déduit les paramètres h_i' et ρ_i' fournis par les emplacements des diverses croix les valeurs h_i et ρ_i (fig. 15a).

En pratique plusieurs courbes de l'abaque deux terrains peuvent être mises en coïncidences avec un tronçon du SE. A chacune de ces courbes correspond une position possible de la croix ou plutôt un petit segment lieu des croix; celle-ci correspondent aux diverses coïncidences, plus ou moins bonnes, réalisables entre le tronçon du SE et la courbe considérée de l'abaque. Le segment joignant les croix ainsi obtenues pour un même tronçon de SE est appelé «l'arc moyen de KÆFOED» (fig. 15b).

De la position de la croix sur ce lieu dépendront les valeurs de h_i' et ρ_i' , donc celles de h_i et ρ_i . Il en résulte donc une indétermination. Elle peut être levée en procédant comme précédemment indiqué dans le cas de l'équivalence (fig. 15c).

3.3.2 INTERPRETATION AUTOMATIQUE

Elle consiste à calculer à partir d'un programme, sur la base des paramètres ci-dessus définis d'après la méthode manuelle, la réponse électrique théorique correspondant à un ensemble d'horizons de terrains. Les séries de couples (h, ρ) , pour lesquelles une superposition satisfaisante des courbes théoriques et expérimentaux est obtenue, constituent les solutions possibles. L'examen des données géologiques et les limites raisonnables des paramètres physiques permet d'approcher la solution recherchée avec une bonne précision. Les résultats d'interprétation de SE qui seront discuté plus loin sont obtenus avec le logiciel RESIX d'INTERPLEX.

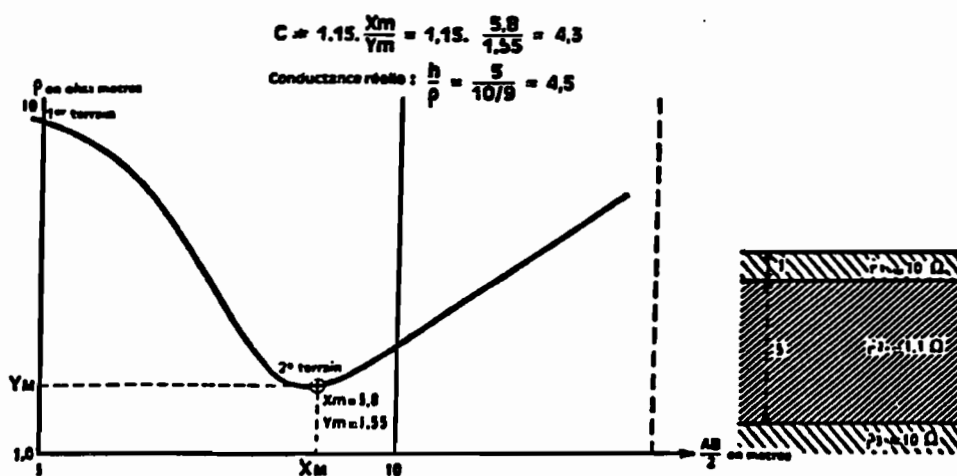
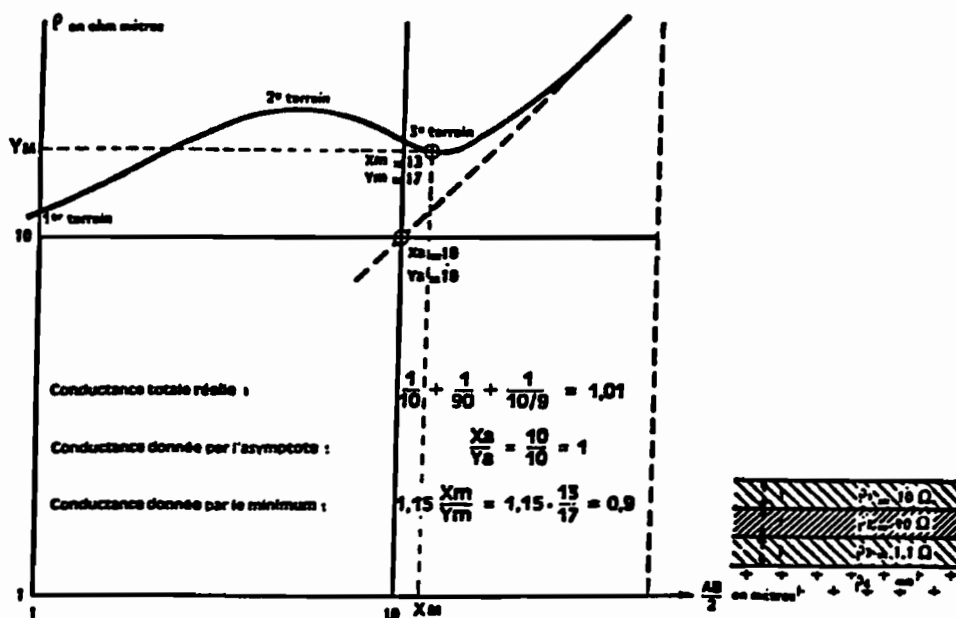
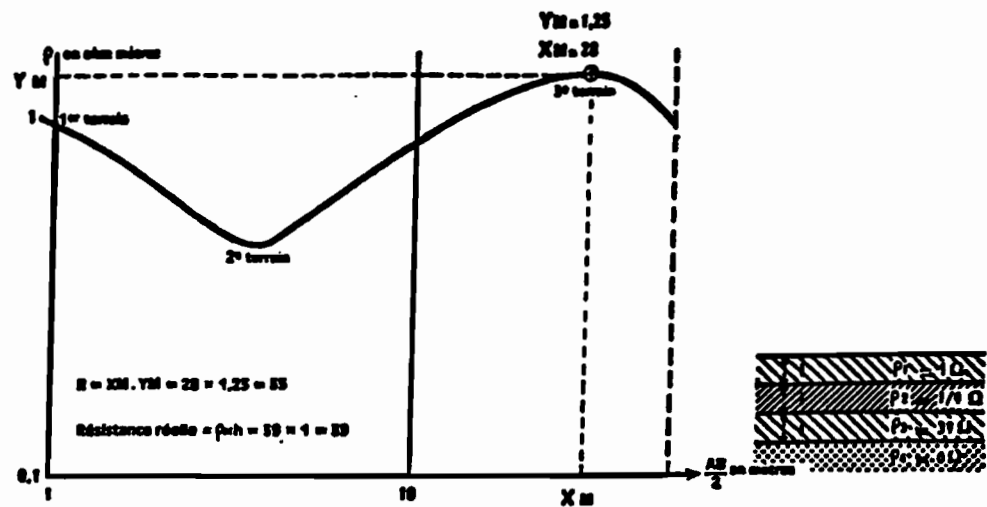


fig. 14 — Détermination des résistances et des conductances par des règles simples (d'après KUNERTZ).

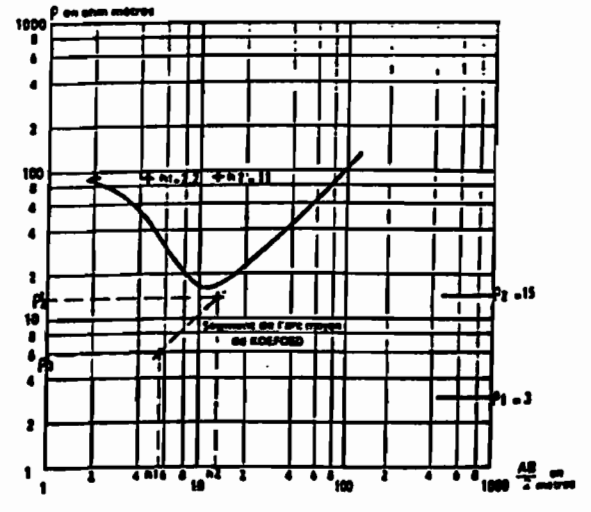
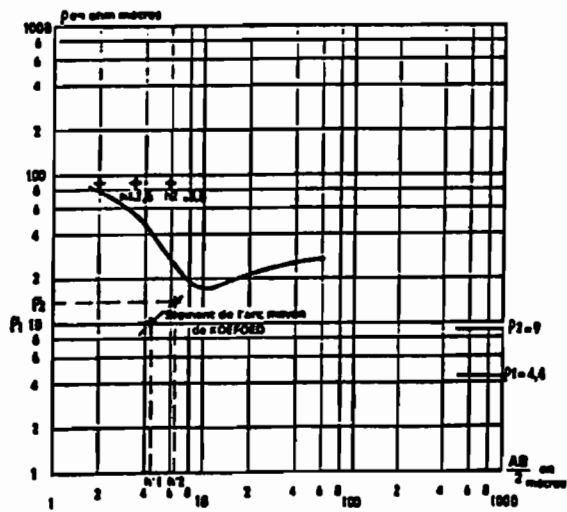
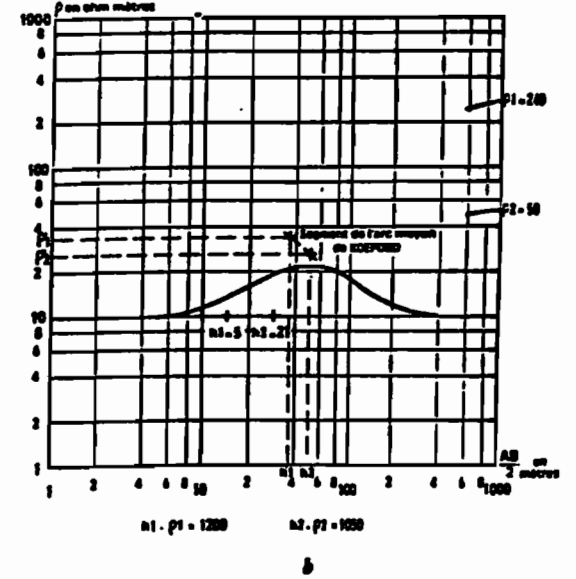
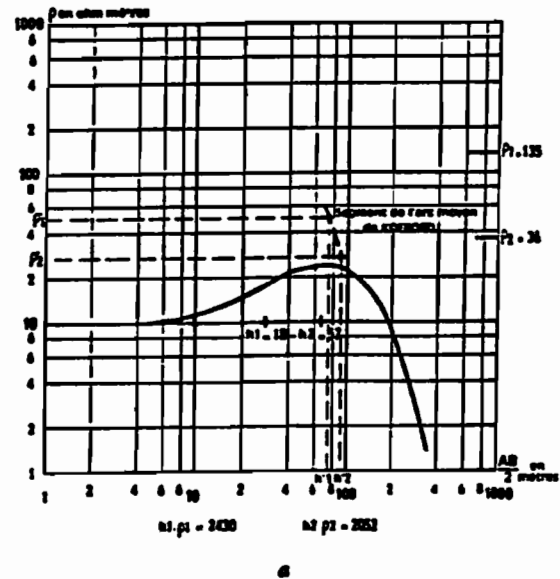
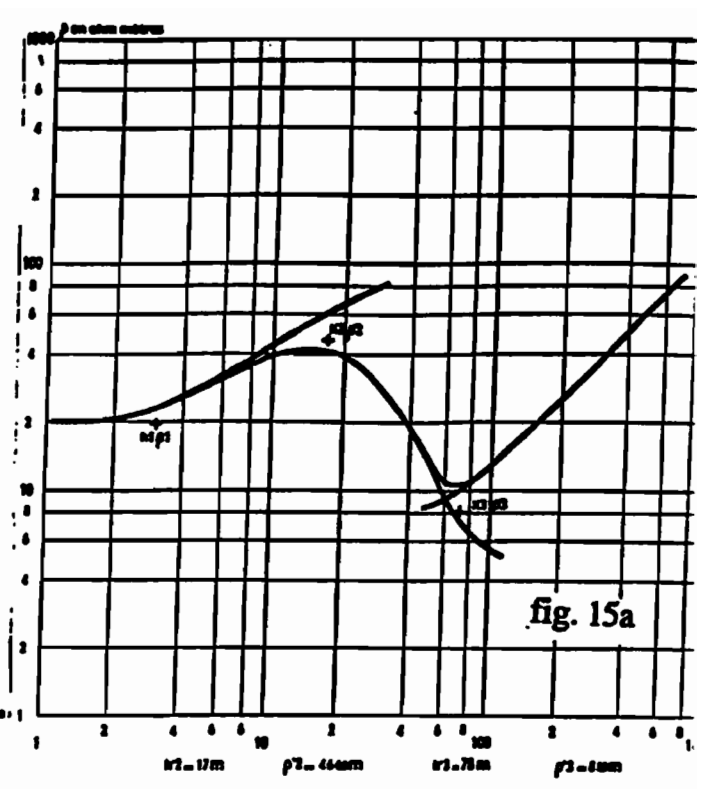
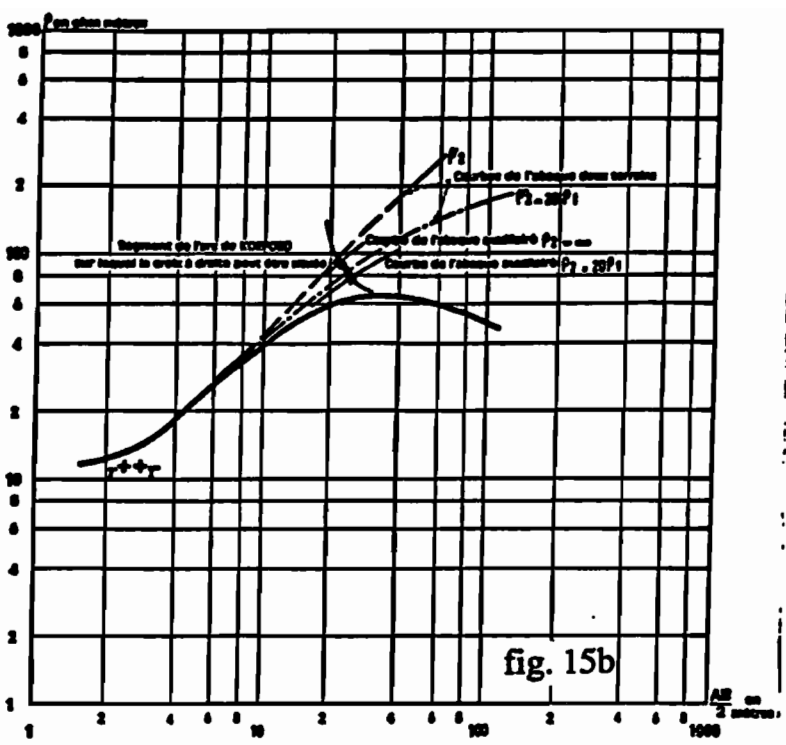


fig. 15c

3.4. METHODE MAGNETIQUE

Si la méthode magnétique est inadaptée pour les recherches sur les altérations à cause de leur réponse quasi-inexistente (A. BLOT 1993) ou des difficultés d'interprétation des anomalies (cas des cuirasses) qui varient souvent de façon aléatoire en dents de scie, elle rend cependant de grands services dans la reconnaissance de la roche mère. Cela se passe d'autant plus mieux quand cette dernière présente une susceptibilité magnétique relativement importante liée à sa teneur en ferromagnésiens: magnétite principalement. Les quelques valeurs de susceptibilité magnétique suivantes exprimées en cgs 10^6 montre de grande variation dans une même famille pétrographique.

roches basiques	2600	7,5	magnétite	500000	4
roches ignées acides	680	2	pyrrhothine	125000	1
roches métamorphiques	350	1	Ilmenite	125000	1
			Quartz	0	0

Les mesures de champ total effectuées ont permis d'obtenir des informations complémentaires. Elles ont été réalisées avec un magnétomètre à proton de la maison OYO corporation. Le principe de la méthode assez simple permet d'acquérir rapidement beaucoup de données.

3.4.1 PRINCIPE DE LA METHODE

L'appareil comprend une bobine placée autour d'une bouteille contenant un liquide riche en atome d'hydrogène. Le noyau d'un atome est comparable à une petite charge électrique positive tournant sur elle même comme une petite toupie, à vitesse uniforme. Il est caractérisé par ses moments magnétique et cinétique qui ont même direction et même sens. Le noyau placé dans un champ magnétique H " précessionne" autour de celui-ci avec une vitesse angulaire ω telque $\omega = \gamma H$ $\gamma = \text{constante}$

Dans le cas du magnétomètre à proton on envoie dans la bobine durant quelques secondes le courant continu d'un accumulateur (batterie de 12 volts) de façon à créer un champ de quelques centaine d'ÆRSTED qui polarise les électrons selon une direction à peu près normale au champ terrestre.

Après la coupure du courant les protons précessionnent autour du champ terrestre, créant dans la bobine une force électromotrice alternative de fréquence proportionnelle à ce dernier. Le signal ainsi induit est amplifié et envoyé dans un fréquencesmètre.

Les mesures sont rapides 1 à 2 mn par station et nécessite qu'un seul opérateur. Les mesures sont corrigées de l'effet diurne. Ceci est rendu possible par un retour à la base au bout d'une à deux heures de temps (cas d'un seul magnétomètre).

3.4.2. INTERPRETATION

La forme des anomalies dépend de beaucoup de paramètres: la position géographique (latitude) dont dépend l'inclinaison du champ d'induction, la géométrie du corps, la rémanence liée au paléomagnétisme. Il en découle une interprétation très délicate. Elle fait appel généralement à deux techniques: la séparation des champs liés à différentes sources et la résolution du problème direct.

Le calcul de l'effet engendré par des sources prises isolement ne peut être réalisé de façon satisfaisante que lorsque sont connus avec un degré de certitude ses paramètres physiques (inclinaison du champ induit et/ou rémanent, la susceptibilité), sa géométrie.

Dans la plupart des cas ces informations ne sont pas disponibles.

La séparation des champs est considérée comme la détection du signal utile parmi différents signaux parasites. Les parasites peuvent différer les uns des autres par leurs intensités, leurs formes, la bande occupée et dues à différentes causes: particularités de la structure géologique, erreurs d'observation etc...

C'est un ensemble de techniques de filtration fréquentielle basé sur la transformation de Fourier et les produits de convolution. Le prolongement analytique des anomalies (utilise plus loin) est basé sur le fait que les anomalies engendrées par des petits corps gisant à de petites profondeurs sont lissées aux profits de corps volumineux situés à une profondeur relativement grande.

IV ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

Avant de rentrer dans le développement de ce chapitre, nous présenterons les mesures géophysiques antérieures et les particularités liées aux conditions d'acquisition de nos données.

4.1 ACQUISITION DES DONNEES.

Les mesures de résistivités ont été faites par trois équipes de façon simultanée et avec trois appareils tous différents. Les résistivimètres utilisés sont: un ABEM s300, un RMC-A4 et un ABB. Suite à une panne, le RMC-A4 a été remplacé par un résistivimètre de fabrication SUISSE. Des dispositions ont été prises aussi bien au niveau de l'homologation des mesures indispensable à leur exploitation commune, qu'au niveau de la perturbation des champs liée à la simultanéité des mesures. Les mesures faites sur le même site, avec les quatre appareils et de façon répétée à travers le bassin ont permis d'apporter les corrections nécessaires. Toutes les mesures ont été ramenées au niveau de celles de l'ABEMs300 (plus performant) en tenant compte des différences relatives.

Quant à la simultanéité des mesures, des essais effectués sur place ont permis de minimiser les inconvénients que cela pouvait comporter. A ce niveau le problème s'est surtout posé à l'approche du dispositif du panneau, où l'une ou l'autre équipe devait momentanément arrêter les mesures devenues instables.

D'autre part nous avons connu des journées pluvieuses durant toute cette campagne de mesures (juillet 94). Nous avons mesuré avant ou après les pluies sur des terrains superficiels relativement secs ou humides. Cela peut poser des problèmes de comparaison de données. Les variations de résistivités liées à l'oscillation de l'humidité peuvent souvent être importantes dans les zones de couverture sableuse. En effet des essais de laboratoire (J.P. BARRAUD et al 1976) menés sur des sables de Fontainebleau siliceux pur sans argiles et des sables de la Crois de Vitry plus argileux (initialement séché à l'étuve à 105°) ont présenté des chutes de résistivités respectives de 3300 à 22 Ωm et de 1800 à 28 Ωm pour des teneurs en eau variant de 1 à 30%.

Ils ont par ailleurs fait des séries de sondages électriques ,sur le même point, dans le temps du 20 juillet au 27 août 1976 (sans pluies) après la chute de 60mm de pluie entre le 15 et le 20 juillet.

Les séries de SE mesurés dans des conditions identiques (fig. 16) montrent une forte croissance des résistivités passant de 170 à 1100 Ωm sur les terrains superficiels.

Ces travaux montrent de façon évidente l'influence de la pluie sur des mesures étalée dans le temps. Il faut noter qu'aucune disposition prenant en compte l'effet de la pluie n'a été prise du moins dans le présent travail.

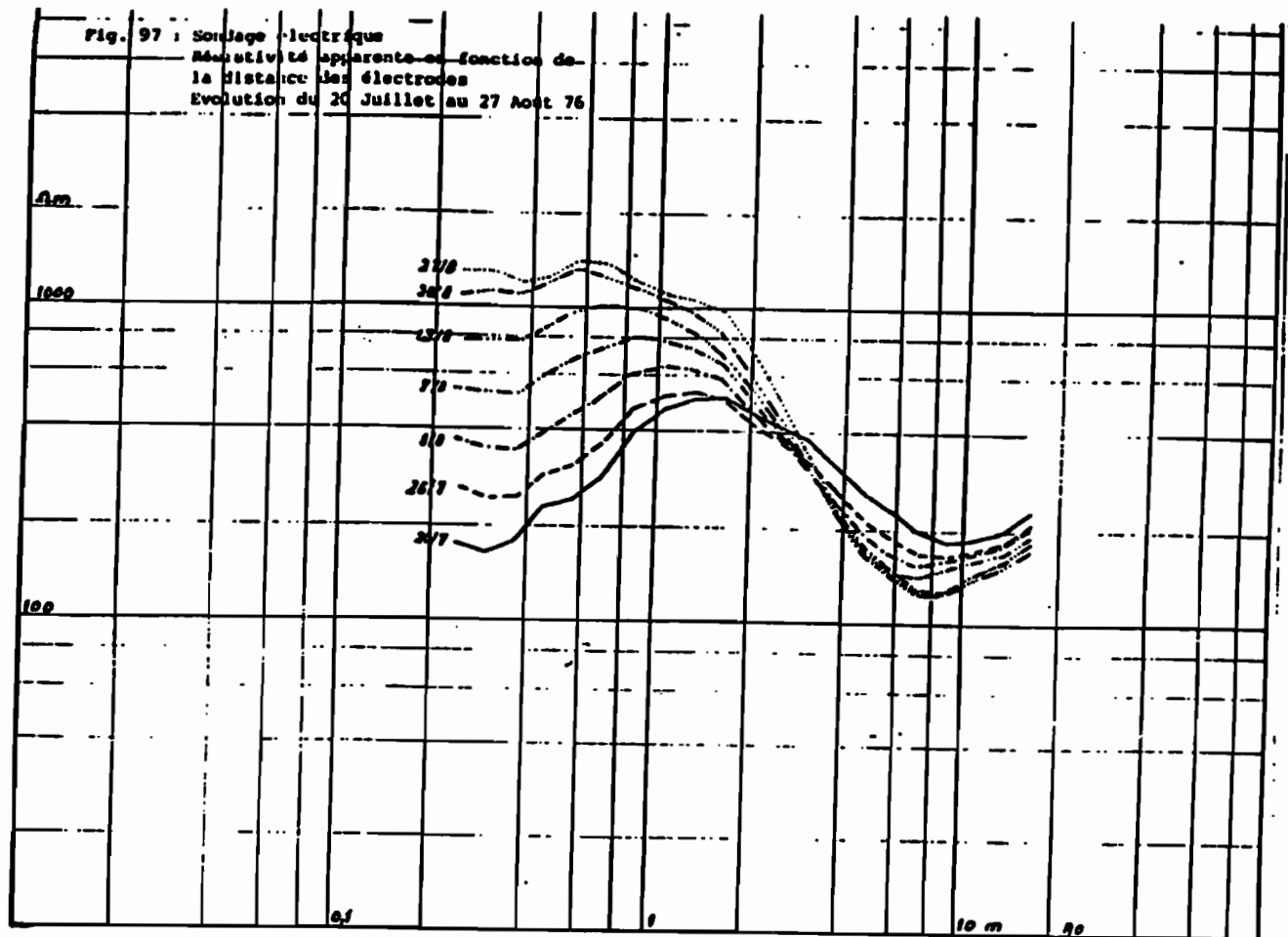


fig. 16

4.2. MESURES ELECTRIQUES ANTERIEURES

Des fosses pédologiques ouvertes à travers le bassin ont fait l'objet de mesures électriques. Elles ont été faites le long des parois (fig. 17) avec un petit dispositif Wenner ($a=10\text{cm}$) pendant le mois de mars 1994.

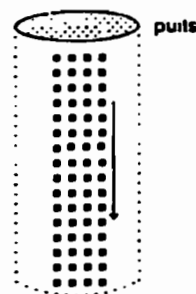


fig. 17

AMNB
dispositif
horizontal
dans le puits

En admettant une continuité des horizons pédologiques tout au moins dans les environs immédiats des fosses, les résistivités mesurées en dehors des limites pédologiques peuvent être considérées comme des résistivités vraies. Ainsi nous avons affecté aux différents paliers qui se dégagent une résistivité moyenne (" ρ vraie") et une épaisseur.

Des modèles sont calculés, à partir de ces paramètres, à l'aide du programme de calcul de sondage: RESIX.

L'identité de forme des modèles et des SE Schlumberger mesurés sur le terrain courant juillet est assez remarquable au niveau des horizons superficiels (fig. 18 page 29 à 33)

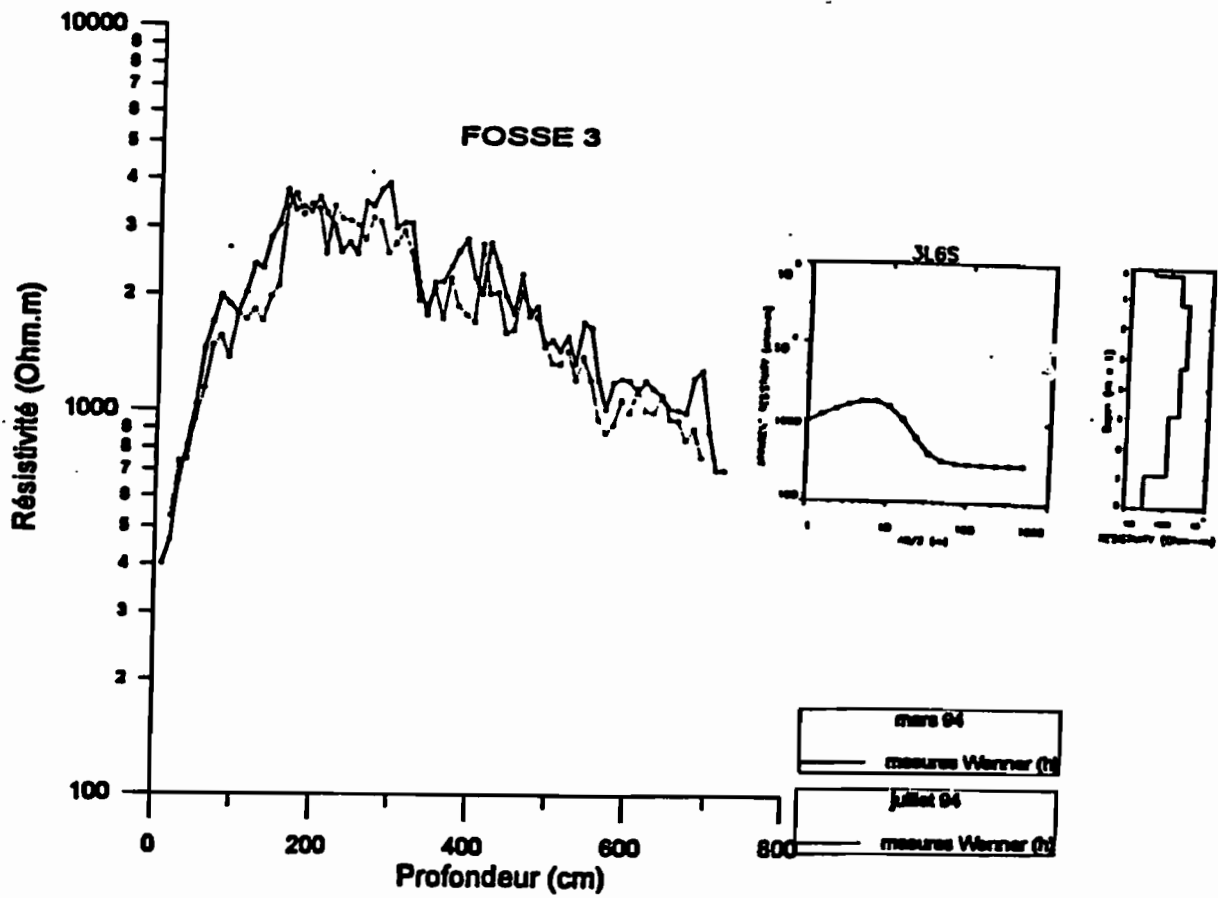
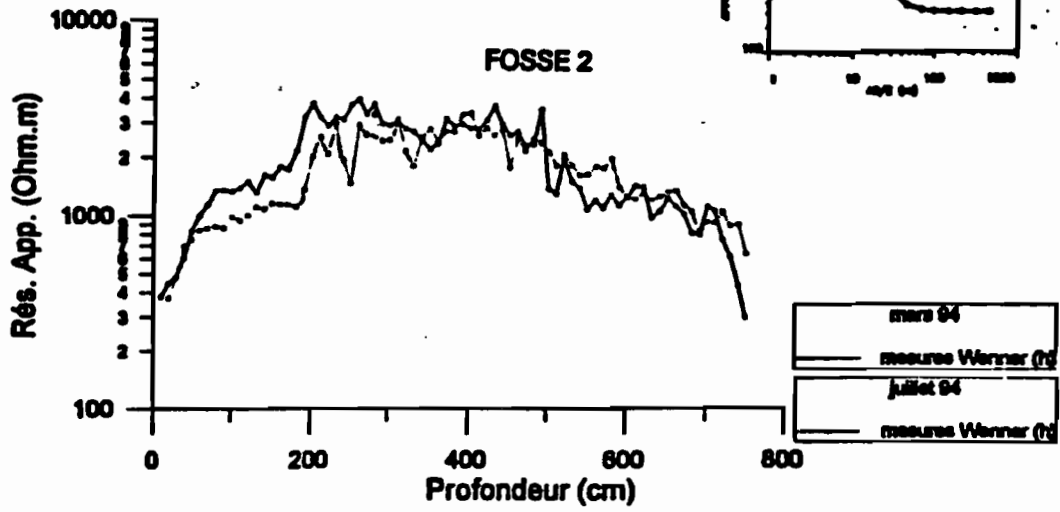
Les modèles calculés sur le layon 6 tous de type K hormis le 7L6s (type Q) présentent des résistivités de 200 à 800 Ωm (horizons plus argileux) et 200 à 4000 Ωm (second horizon plus sableux en bas de pente). Le niveau argileux relativement peu épais sur la fosse 7 disparaît sur le modèle.

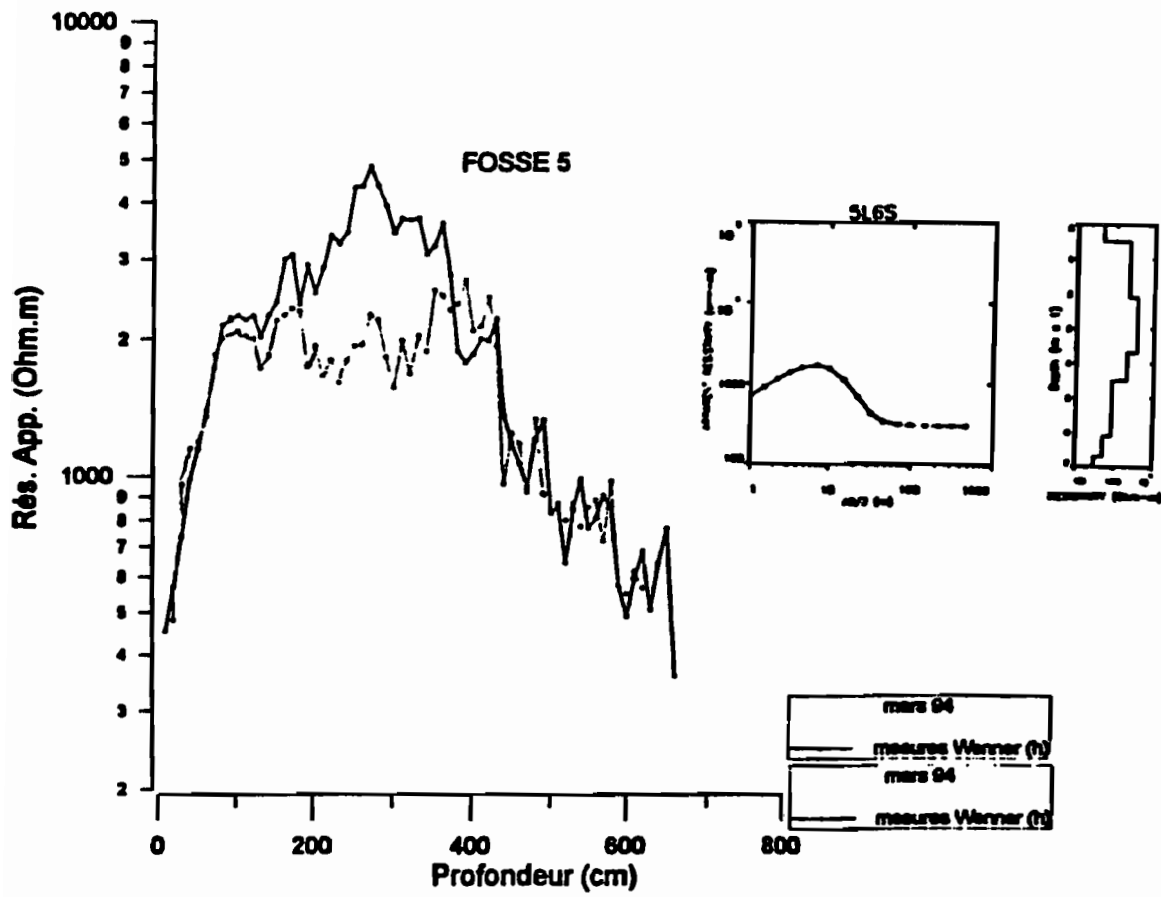
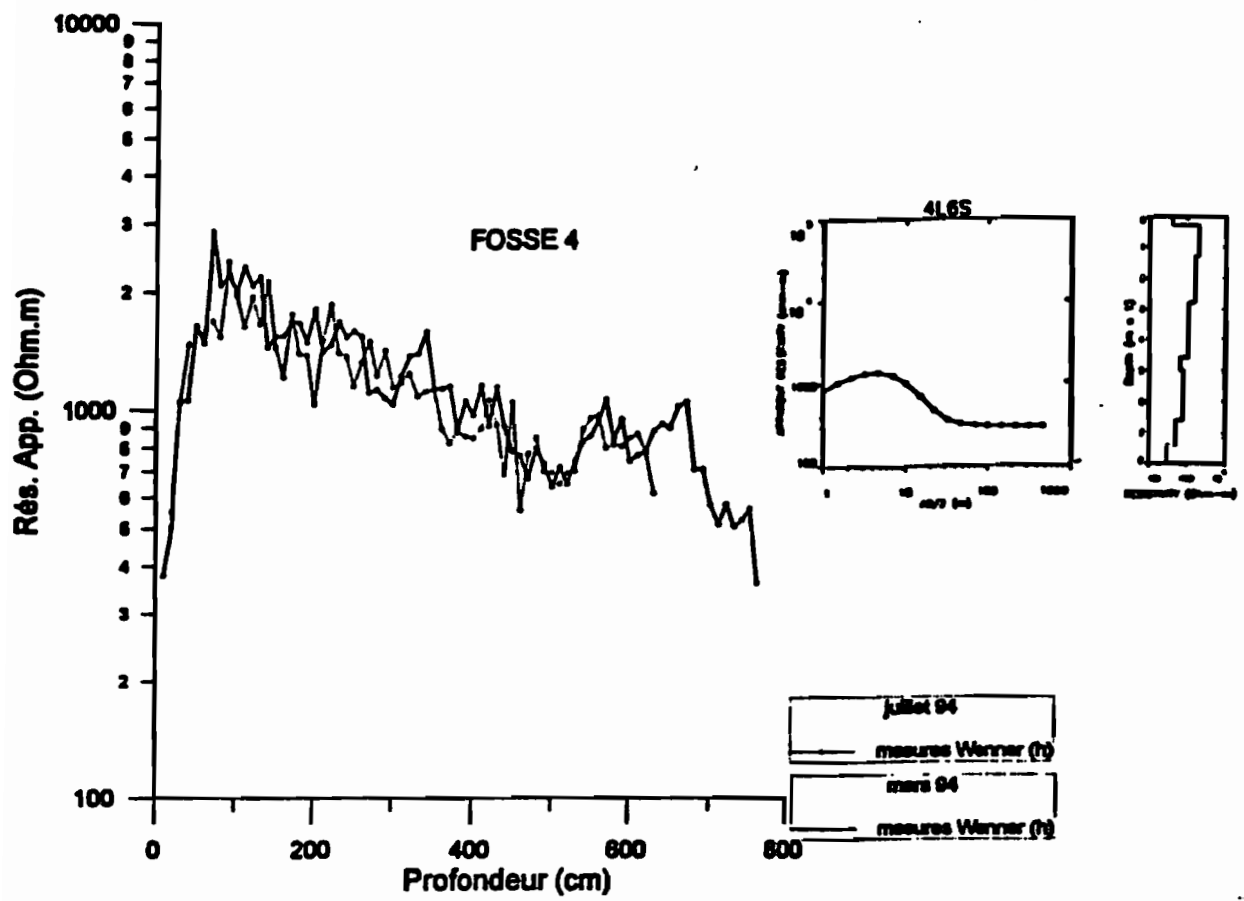
Les mêmes profils repris au mois de juillet présentent des variations assez remarquables. Elles sont marquées par des chutes de résistivités de 20 à 30 Ωm au niveau de l'horizon sableux résistant dans les fosses 7 à 8 situées en bas de pente. Cette baisse de résistivités serait liée à l'engorgement de ces horizons par les eaux d'infiltrations.

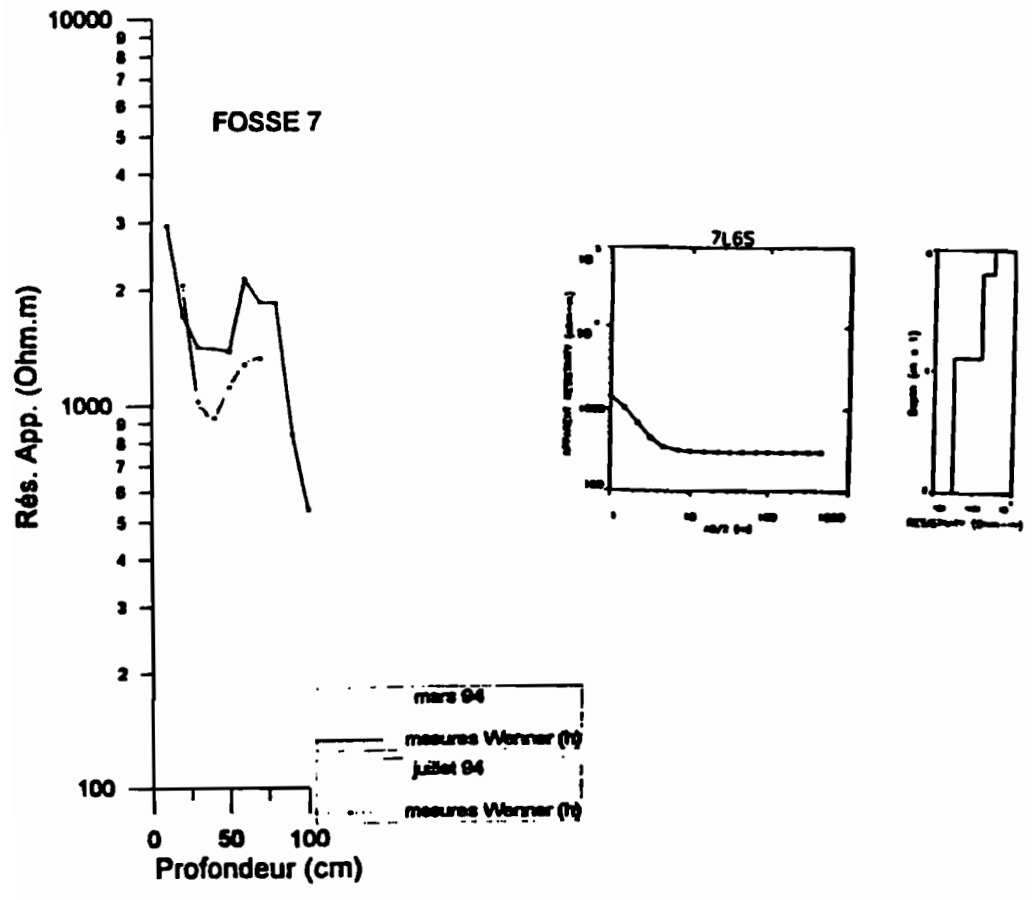
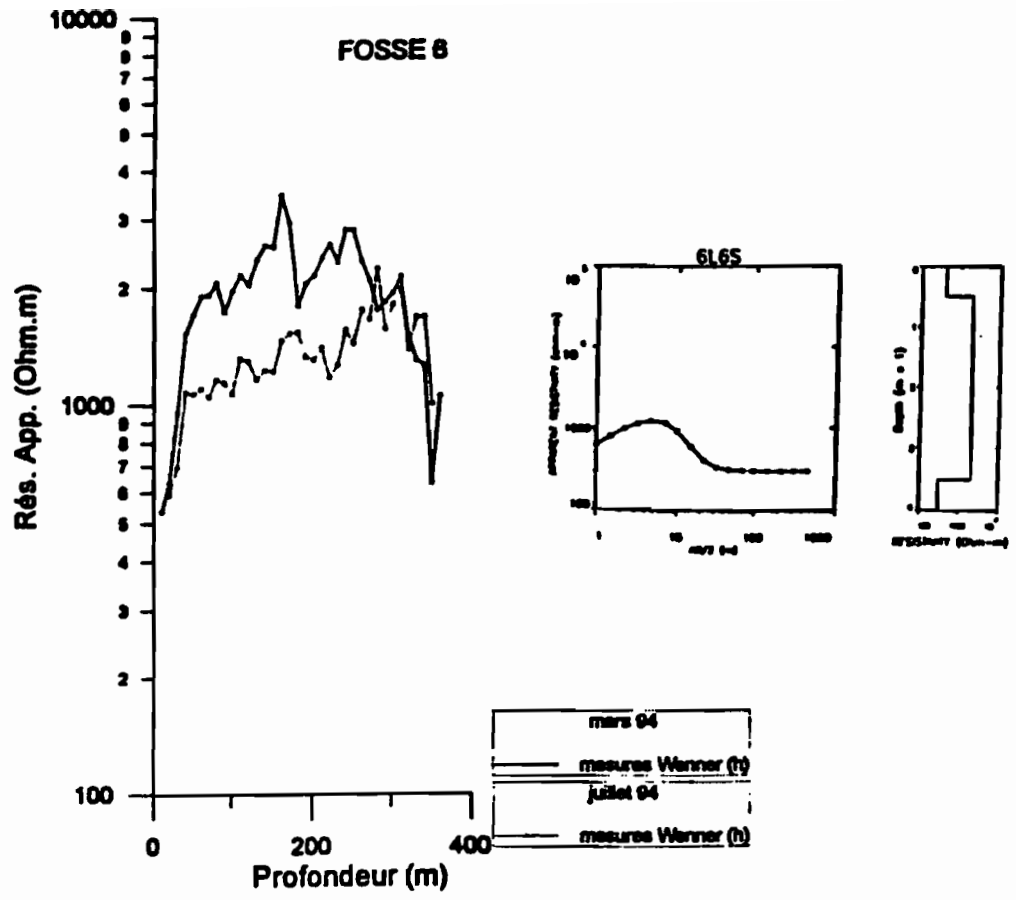
Par contre sur la plupart des fosses les horizons plus profonds présentent l'effet contraire. Il s'agirait d'un retard du front d'infiltration dans ces horizons et leur relatif dessèchement par rapport au mois de mars.

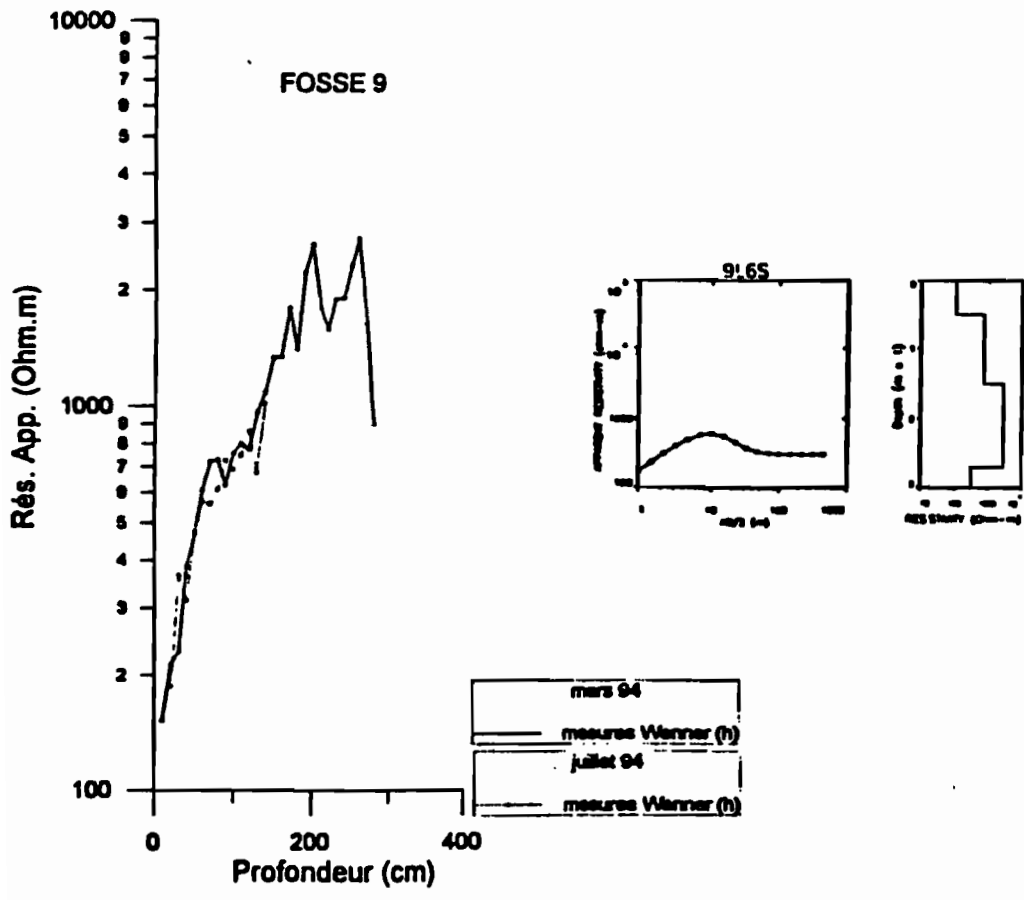
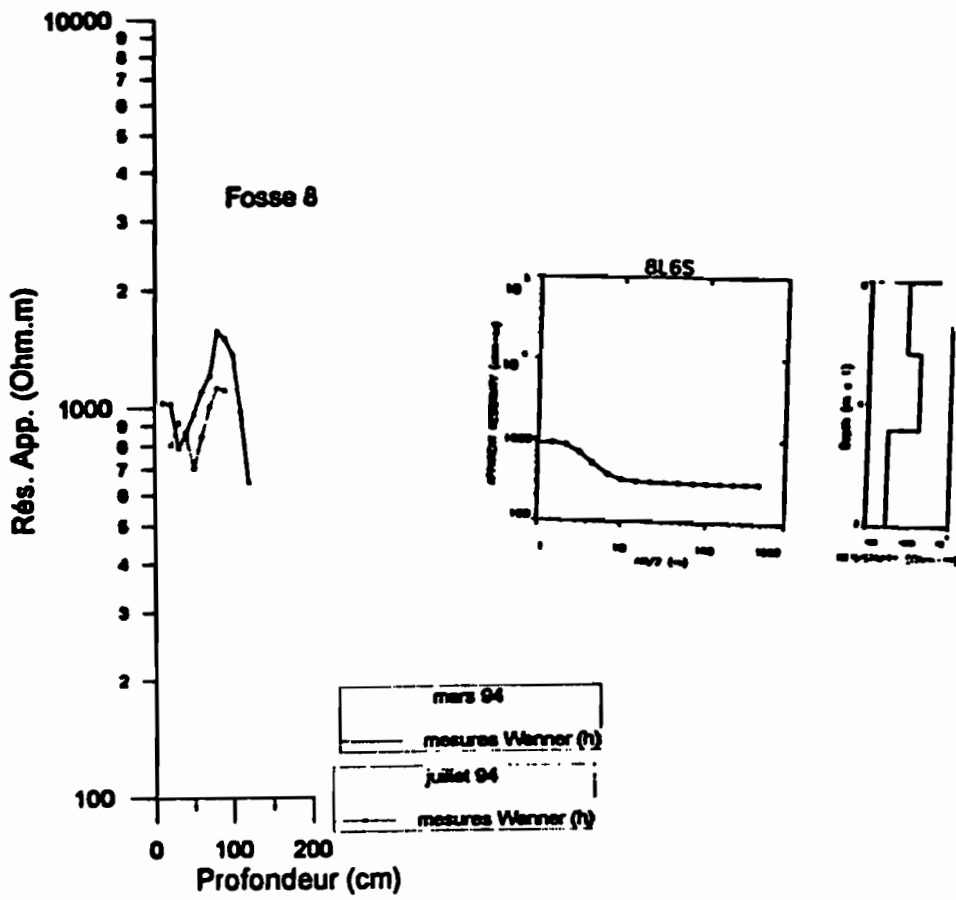
La variation observée sur les deux premiers horizons de la fosse 11 pourrait s'expliquer par un départ important des eaux, momentanément perchées en surface, vers la profondeur.

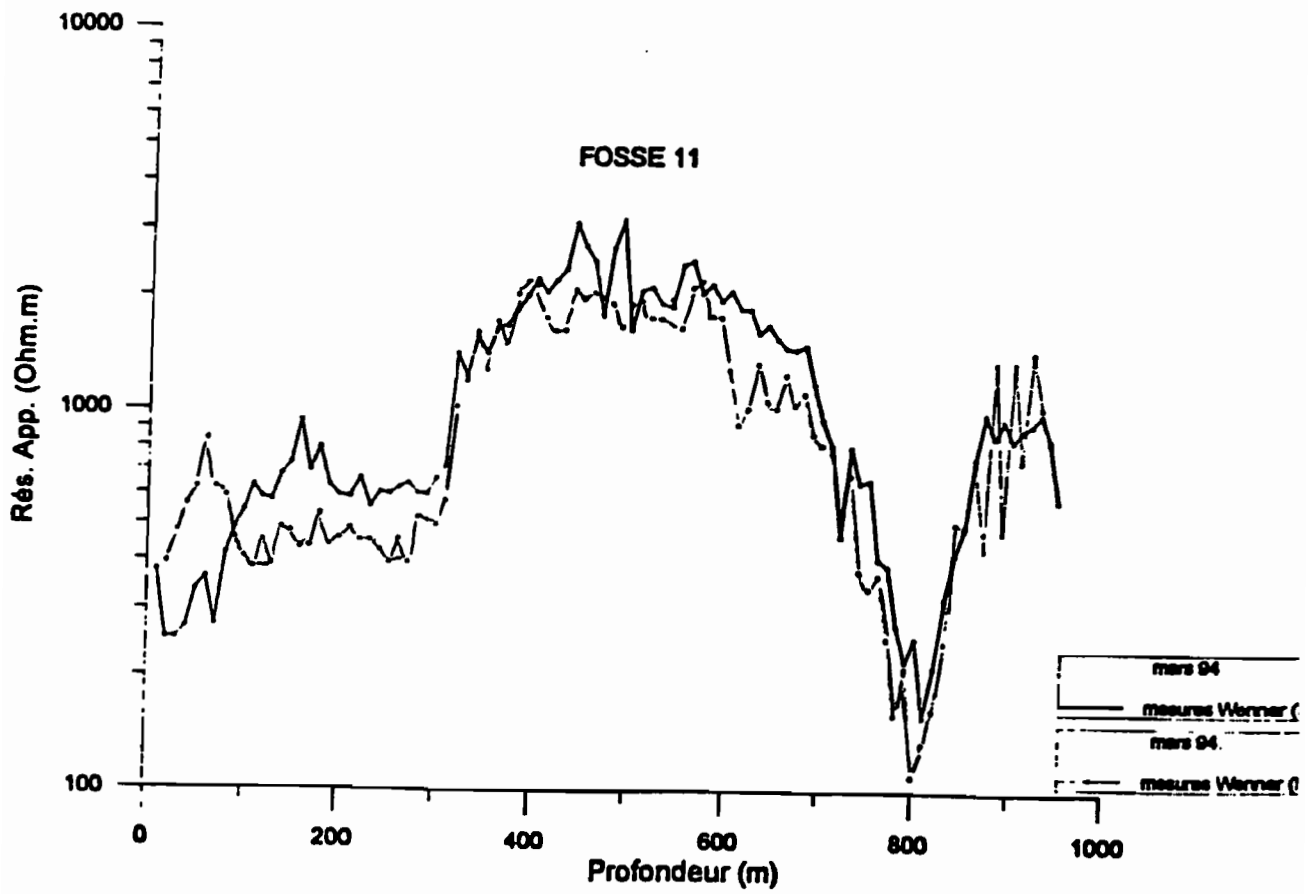
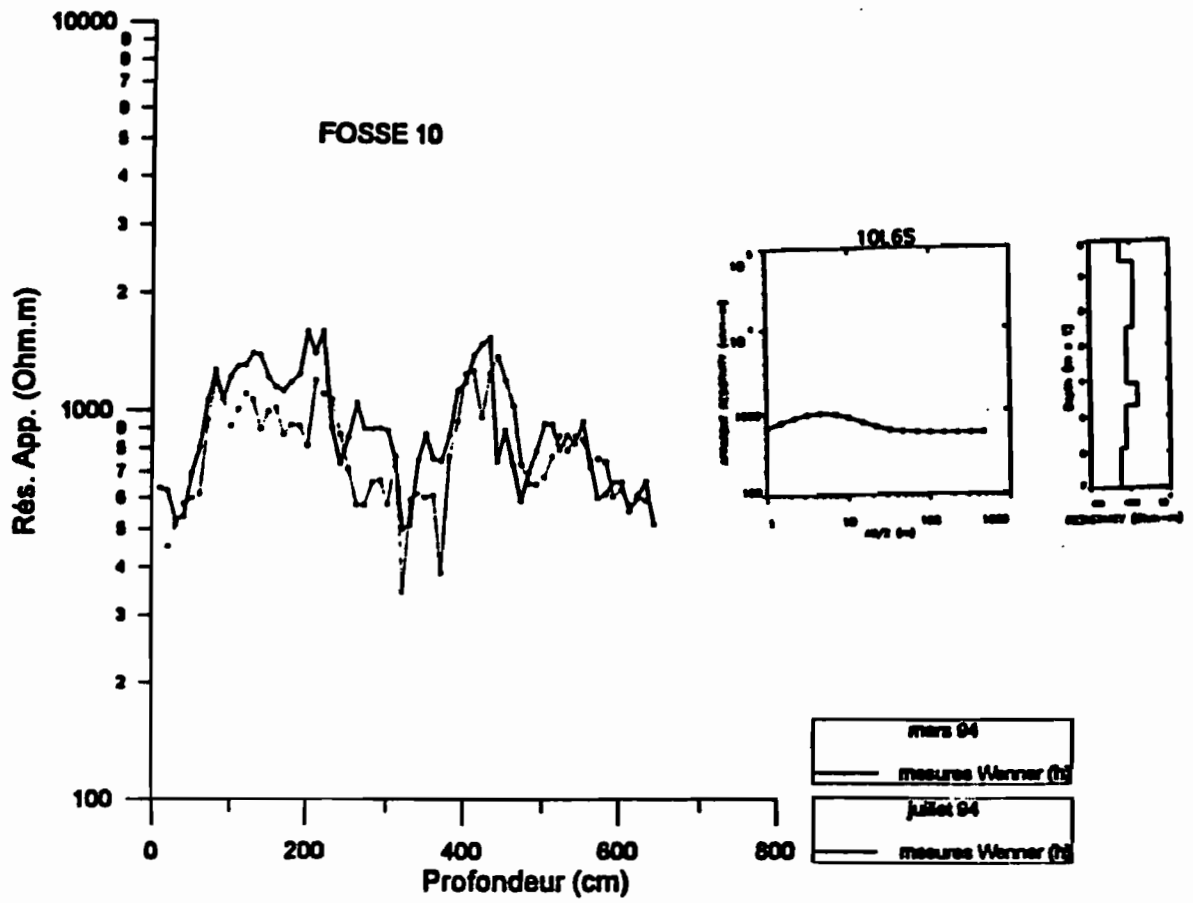
Le processus d'humectation des horizons paraît plus complexe. Les horizons "horizons" peuvent s'humidifier de plusieurs façons. Elles peuvent recevoir directement les eaux de pluie, les eaux de ruissellement provenant des abords de la fosse (cas de grosses pluies) et les eaux d'infiltration. La position des fosses par rapport aux arbres qui gardent encore longtemps l'humidité joue un rôle non négligeable. Ces différents facteurs bien que difficilement évaluables méritent une attention particulière. Un suivi hebdomadaire régulier en tenant compte de la fréquence des pluies devrait permettre de comprendre le comportement hydrique des horizons pédologiques et leur impact sur les mesures de résistivités











4.3 TRAVAUX EFFECTUES

Des traînés Wenner avec différents écartements ($a=10, 20$ et $40m$), des sondages électriques et profils magnétiques ont été effectués le long des layons initialement taillés à travers tout le bassin. Au nombre d'une onzaine orientés $N10^\circ$ et espacés d'une centaine de mètres, ils sont jalonnés et marqués tous les $10 m$. Au niveau du layon 6 sur $220m$, à partir de la rivière Mengong vers le sud, sont réalisées des mesures de panneau électrique avec le dispositif pôle-pôle décrit plus haut.

L'examen de l'ensemble de ces données présentées sous forme de profils, carte, pseudo-section et coupe géoélectrique en particulier sur le layon 6 devrait permettre de faire un pas dans la connaissance du mode d'organisation spatiale des sols du bassin et d'orienter les recherches futures.

4.3.1. TRAINES WENNER

Le choix de plusieurs lignes $AB=30, 60$ et $120m$ est guidé par un suivi des variations latérales avec la profondeur. Les informations obtenues proviendraient des profondeurs respectivement voisines de $3, 6$ et $12m$.

L'examen des résistivités (fig.19 pages 35 à 37) suggère la présence d'une matrice latéralement homogène dont les résistivités varient de 200 à $2500\Omega m$ en surface et de 200 à $400\Omega m$ en profondeur.

Dans la partie centrale de cette matrice apparaît distinctement sur 100 à $200m$ un corps résistant. Plus résistant sur toutes les lignes au niveau des layons 5 et 6 (4000 à $1500\Omega m$ avec la profondeur), il le devient seulement sur la grande ligne au niveau des autres layons (2000 à $1000\Omega m$).

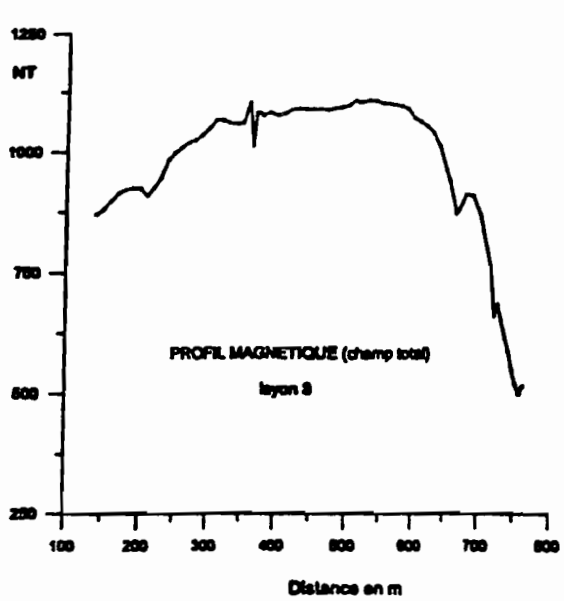
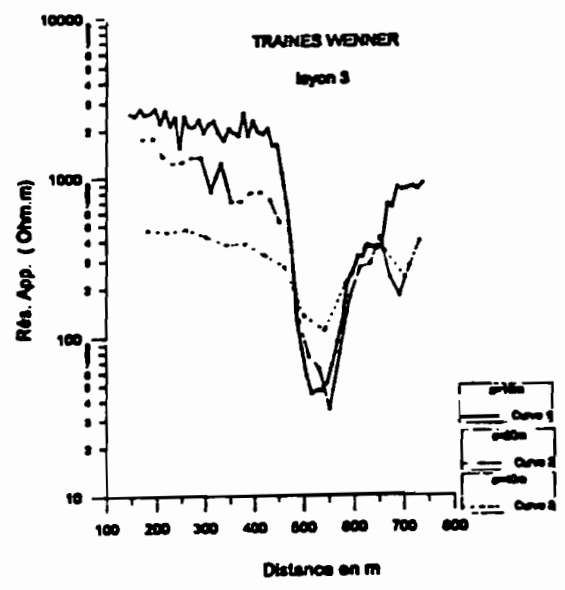
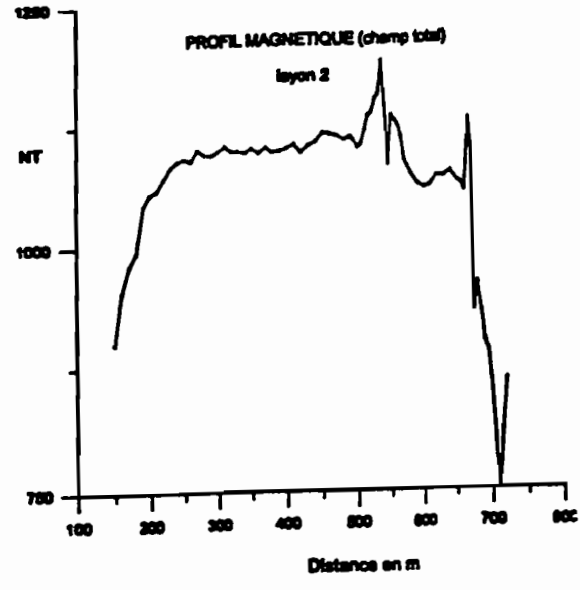
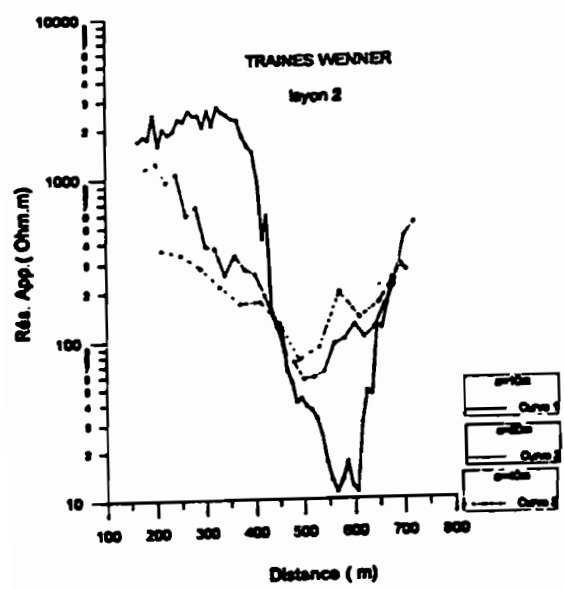
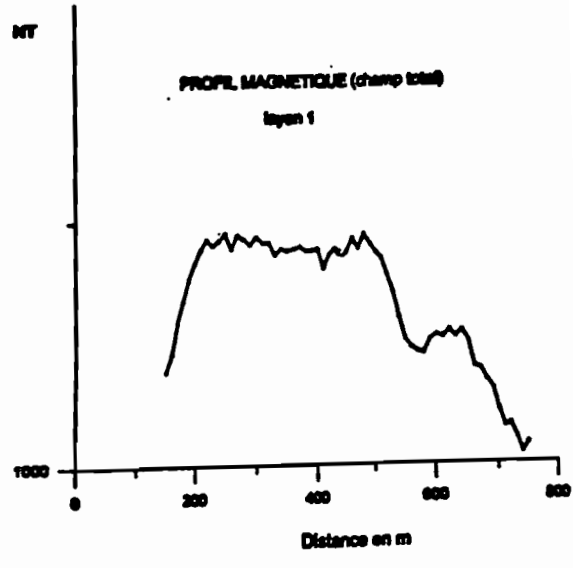
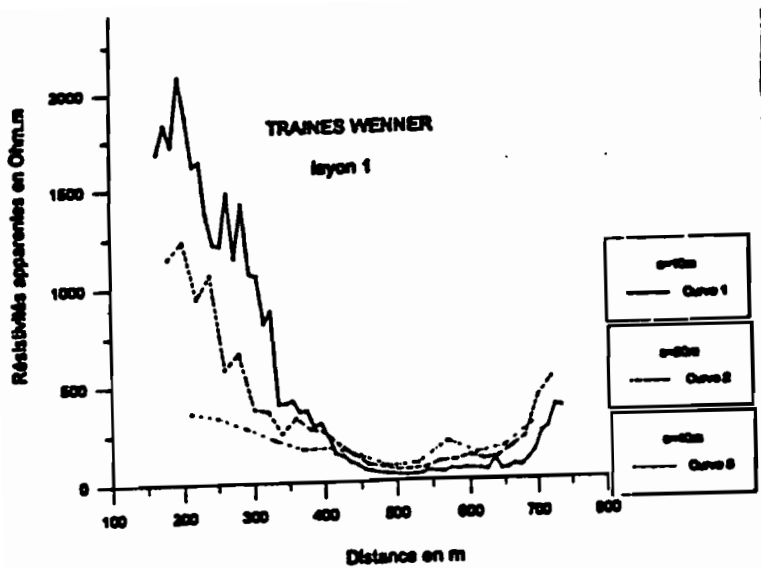
Visible en profondeur seulement sur le layon 2 il disparaît presque à l'exutoire sur le layon 1 au profit d'une bande très conductrice (100 à $200\Omega m$).

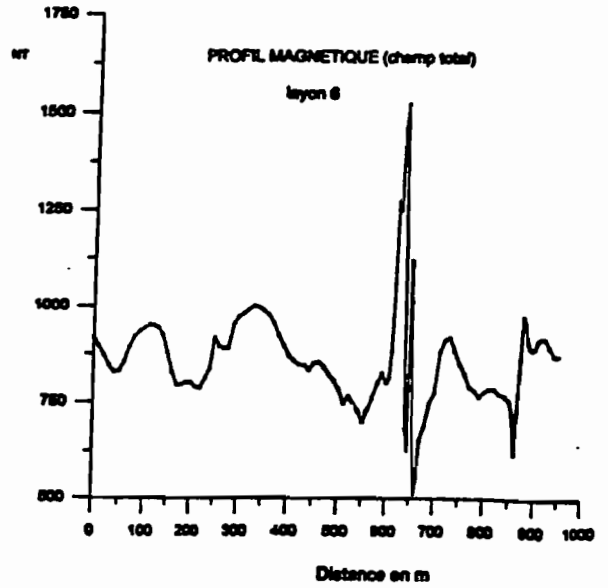
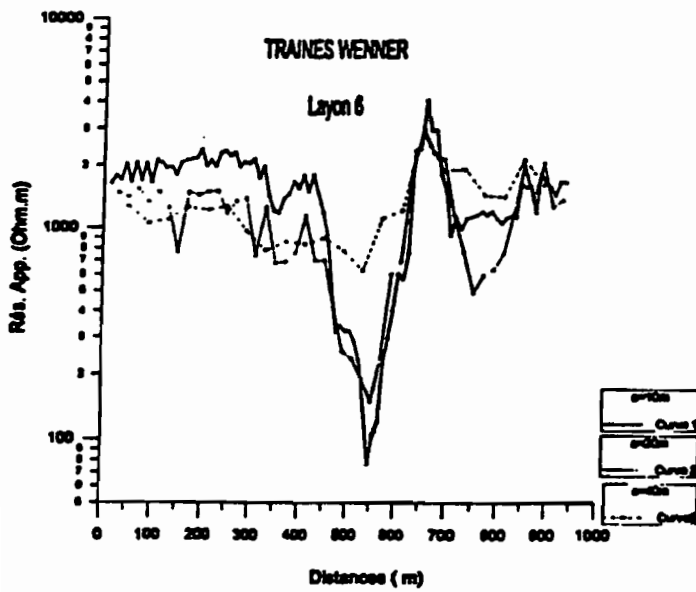
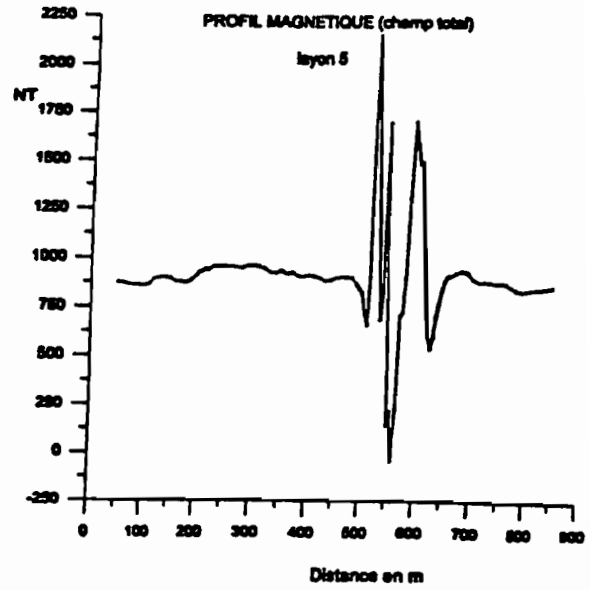
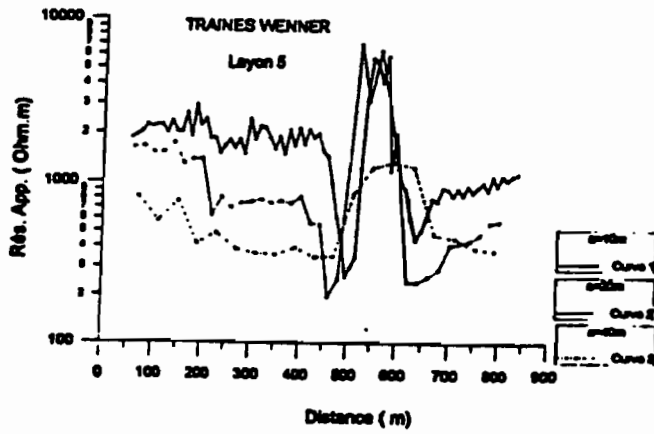
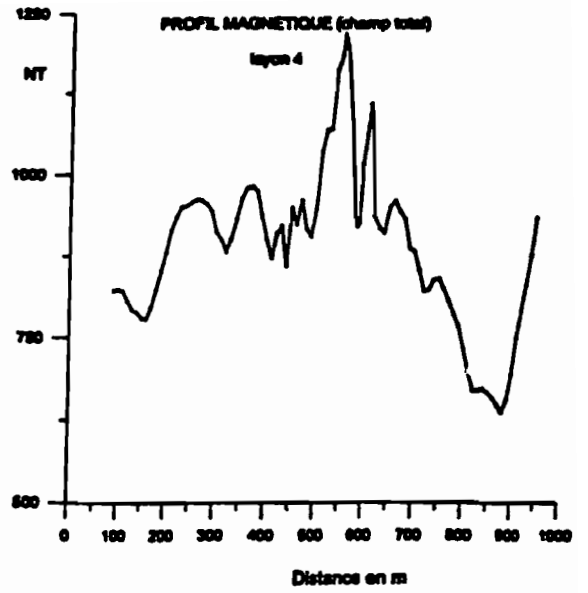
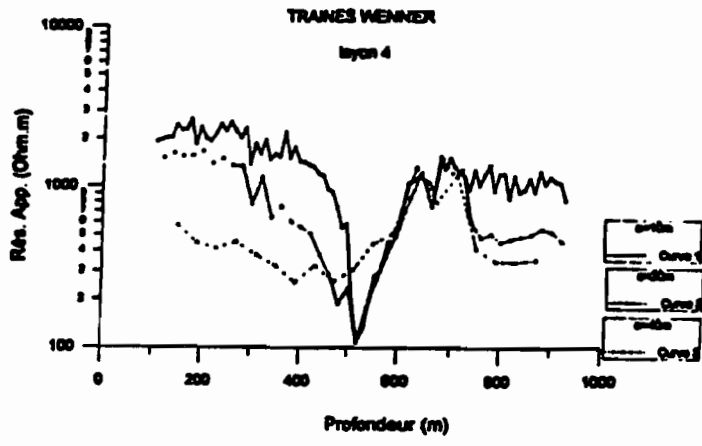
Le passage entre le corps central et la matrice homogène est marqué par une forte chute de résistivités particulièrement importante vers le nord (côté gauche sur le profil) où elle atteint près de 80% sur le layon 6. Cette zone de transition (nord) sur le layon 6 coïncide avec le passage du Mengong. Les fortes chutes de résistivités seraient associées à l'infiltration des eaux de la rivière.

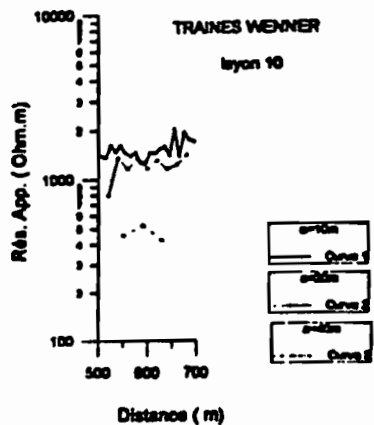
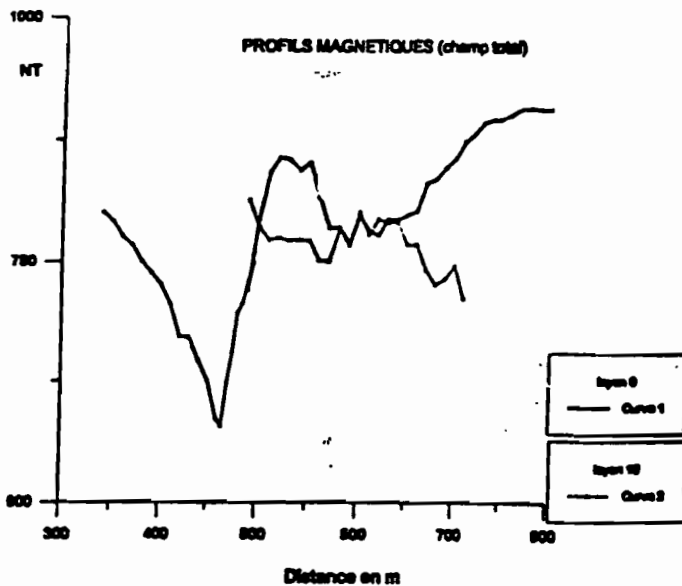
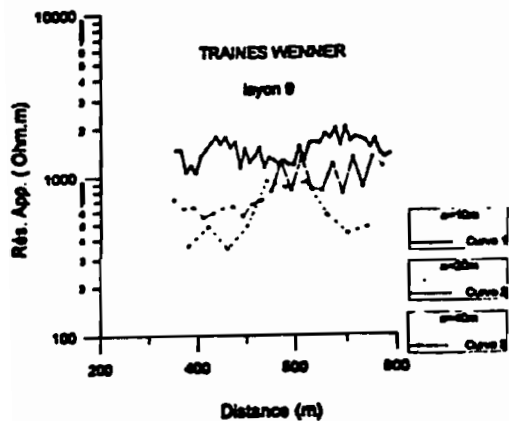
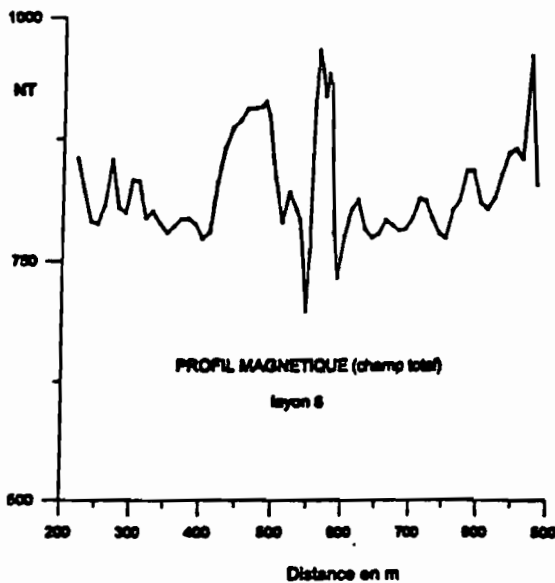
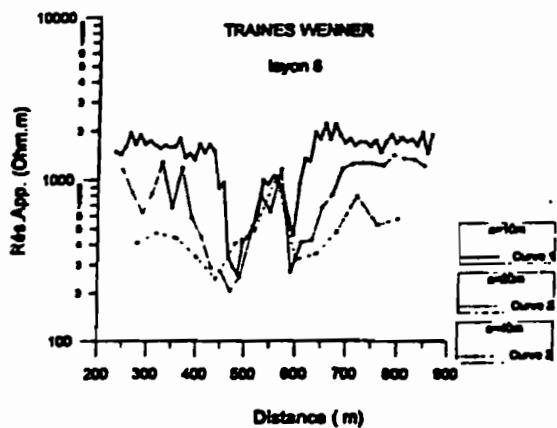
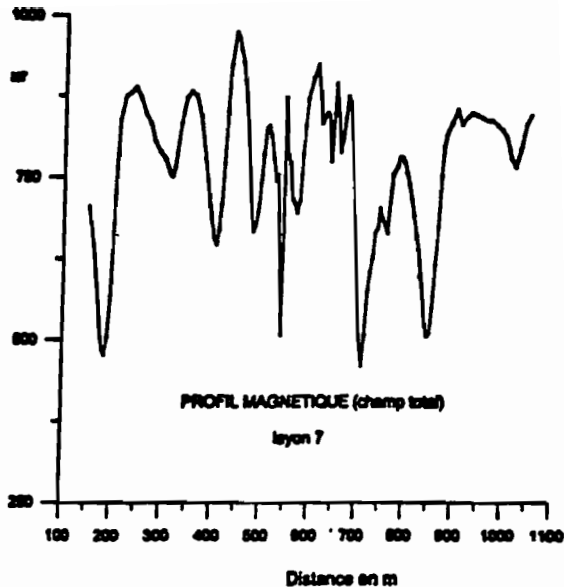
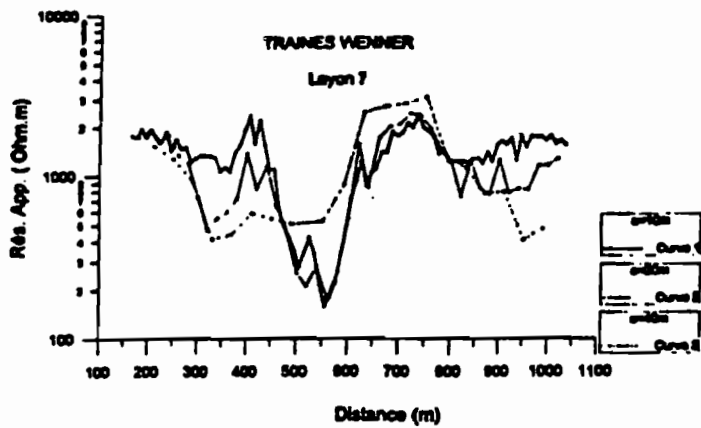
Dans cette zone de transition large de quelques dizaines de mètres à $100m$, le sens de la variation de la résistivité s'inverse avec la profondeur. Contrairement à la matrice les résistivités augmentent sur les grandes lignes. Ceci traduirait une absence progressive de la zone de transition limitée seulement aux horizons superficiels. Très réduit sur le layon 9 le corps central disparaît au niveau du layon 10. Les zones de transitions semblent se converger vers l'exutoire où elles s'étendent sur $350m$ sur le layon 1.

Le corps central plus large à la base correspondrait à une remontée du socle dont une partie leucogranitique de couleur blanchâtre affleure sur le layon 5. La remontée du socle est également constatée dans la fosse 7.

L'analyse des données magnétiques permet plus loin d'apporter des éléments nouveaux relatifs à la nature et au mécanisme de mise en place du corps central résistant.







Au niveau de la matrice les fortes résistivités seraient associées aux horizons riches en éléments ferrugineux baignant dans un ensemble argileux de plus en plus développé en profondeur.

4.3.2. CARTES DE RESISTIVITES APPARENTES

Les cartes de résistivité apparentes élaborées à partir des trois longueurs de ligne AB (30, 60 et 120m) montrent le caractère de plus en plus hétérogène, vers la surface, des formations rencontrées (fig. 20).

Sur la carte AB=30m (a=10m) apparaît une bande conductrice de résistivités variant de $850\Omega m$ à l'ouest à $50\Omega m$ sur l'exutoire à l'est. Elle est ponctuée en son centre par une poche résistante ($\geq 2000\Omega m$) qui correspond à l'affleurement leucogranitique du layon 5. Le passage de cette bande est marqué de part et d'autre par un fort gradient plus prononcé au nord.

Au sud de la bande conductrice apparaît une série d'auréoles résistantes presque alignées. Elle marque le passage du corps résistant observé sur les traînés. Ailleurs on note un ensemble résistant où se dégagent quelques poches encore plus résistantes.

Sur la carte AB=60m (a=20m) la bande conductrice s'étale et devie

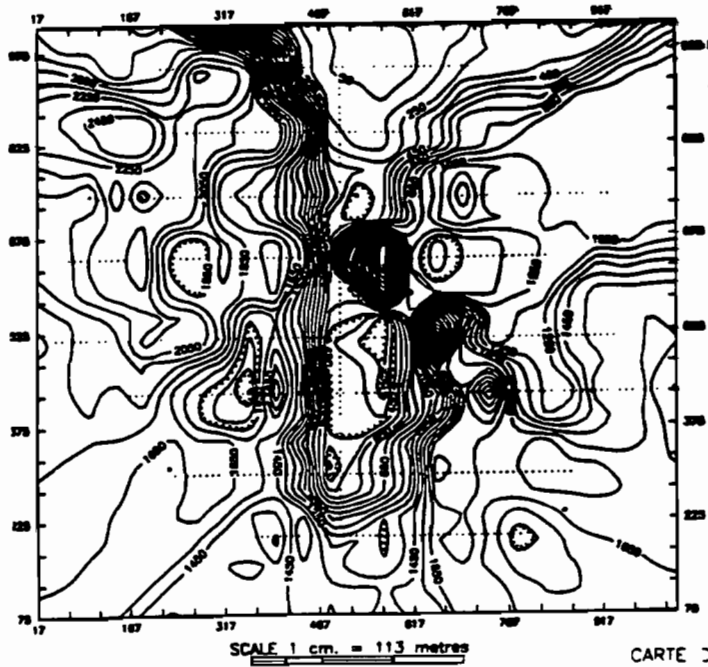
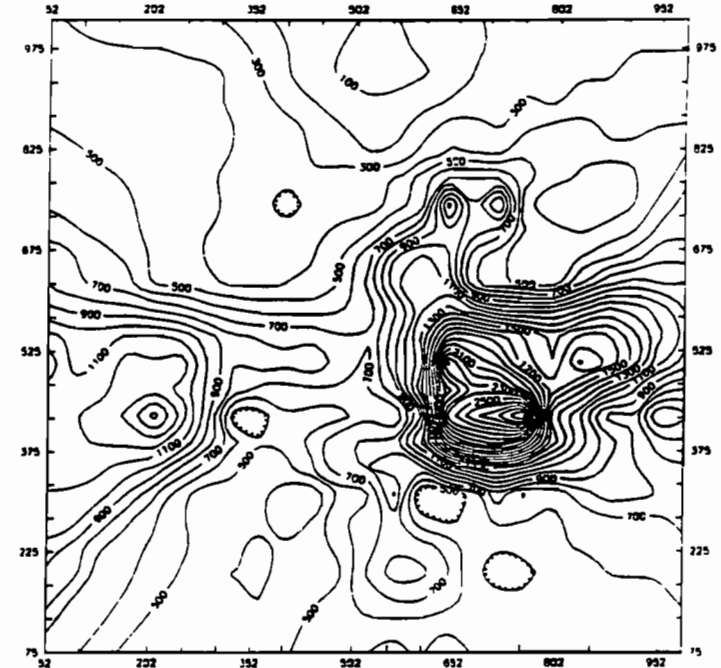


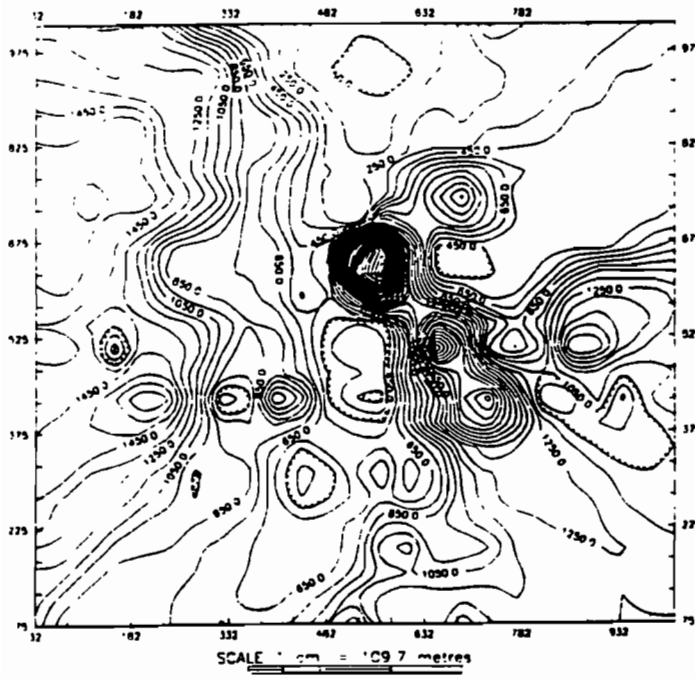
fig. 20

N 100°

CARTE DE RESISTIVITES APPARENTES (Wenner a=40m)



CARTE DE RESISTIVITES APPARENTES (Wenner a=20m)



4.3 3. PROFILS ET CARTES MAGNETIQUES

La méthode magnétique ne joue pas un rôle primordial pour les recherches d'altération. Elle peut apporter cependant dans certains cas des informations complémentaires relatives à la nature, la profondeur du socle. L'affleurement de leucogranite (blanchâtre) dans le lit du Mengong sur le layon 5 reste la seule donnée relative à la nature du socle dans le petit bassin. C'est une roche ignée acide pauvre en ferromagnésiens. La prédominance d'éléments quartzeux lui confère cette couleur blanchâtre.

Par ailleurs sur les profils on note des anomalies d'une amplitude pouvant atteindre près de 700 à 1200 γ sur les layons 6 et 5 respectivement. Ces anomalies de longueurs d'ondes courtes ne dépassant guère 50m se détachent nettement des anomalies de grande longueur d'ondes (>500m). Seraient-elles associées au leucogranite affleurant (layon 5) et subaffleurant (fosse 7)?

De façon évidente elles paraissent associées au corps électriquement résistant décrit plus haut. Il pourrait s'agir probablement de corps magnétiques de type basaltique ou doléritique reconnus ailleurs dans le sud du Cameroun. Il faut noter cependant que les associations granite et roches basiques se rencontrent rarement dans la nature. Ils se seraient mis en place à la faveur de mouvement tectonique. La mise en place se serait accompagnée de la fracturation des épontes devenues une direction préférentielle de circulation des eaux d'infiltration. Ceci aurait favorisé une altération plus poussée peut être en argile qui se traduit électriquement par des anomalies très conductrices notamment du côté nord.

Sur le layon 5 apparaissent distinctement deux anomalies magnétiques voire trois qui ne font qu'une électriquement. L'espace entre ces corps serait-il non fracturé ou occupé par la matrice leucogranitique affleurante, très résistante.

L'interprétation de l'anomalie du layon 6 (fig. 21) donne deux corps massifs. Le plus petit moins profond situé à 3.5m, serait la remontée du socle pressentie dans la fosse 7. Le second plus épais environ une dizaine de mètres au centre repose à 9m de profondeur.

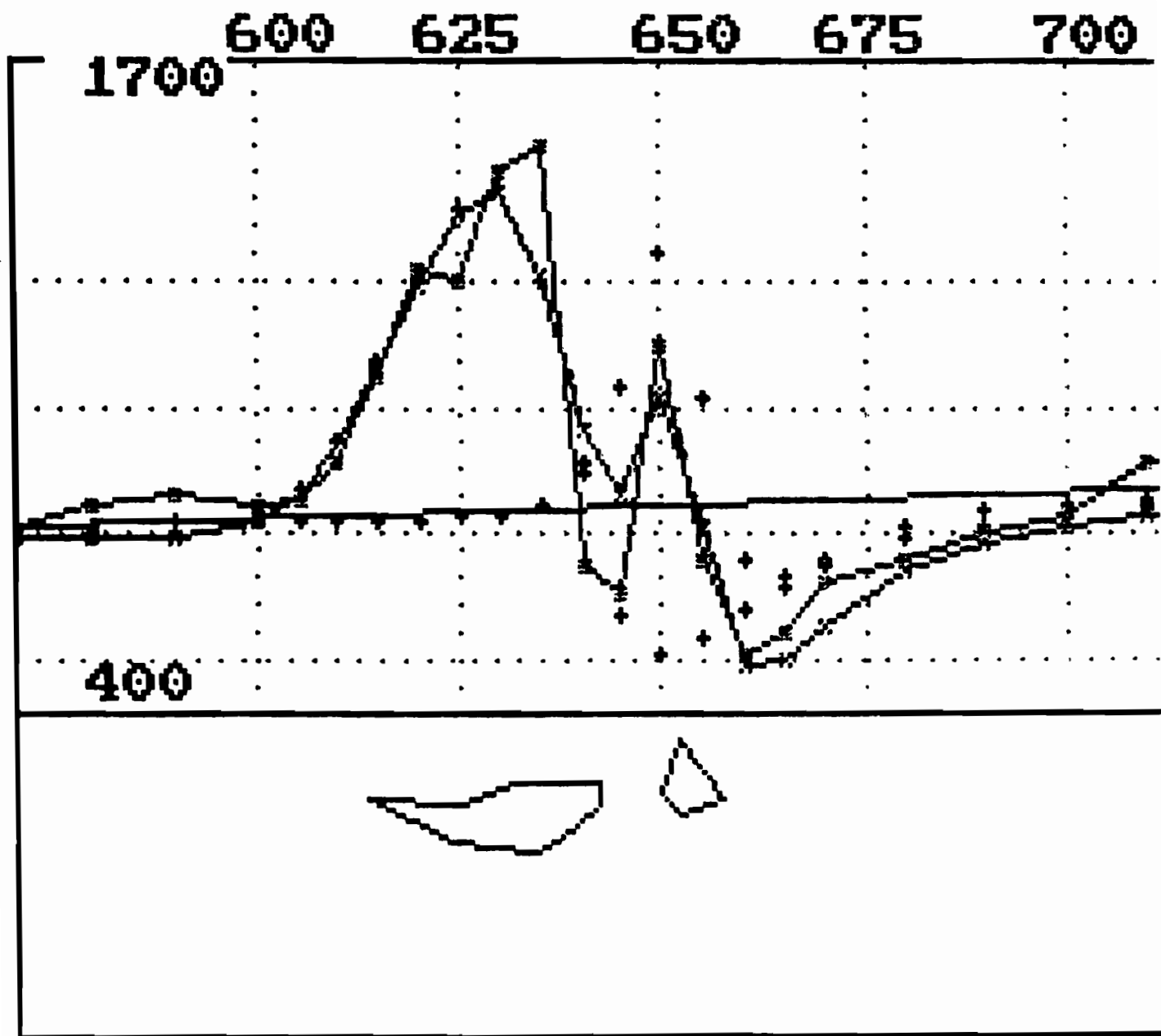
Nous avons pris une susceptibilité de 0.024 e.m.u (0.138 SI) valeur déjà obtenue sur des formations doléritiques du Cameroun. L'inclinaison, la déclinaison et le champ total sont donnés par le logiciel IGRF à partir des coordonnées géographiques. Les profondeurs ont été choisies en s'appuyant sur les résultats d'interprétation des SE.

On peut admettre d'après la carte de prolongement vers le haut (h=50m) la présence d'un corps magnétique plus profonde avec de légères avancées à l'est (exutoire) et au nord nord-est d'où seraient partis ces lambeaux qui criblent le toit du socle de leucogranite.

La carte magnétique du champ total montre toute la complexité de ces structures assez localisées au centre du bassin du moins dans les zones couvertes par les mesures.

Bien isolés sur la carte de dérivé verticale (1^{er} ordre) ces corps subaffleurants, sont alignés d'est en ouest, en recoupant les layons centraux, et du nord au sud en particulier sur le layon 7. Ils giseraient à différentes profondeurs. En effet ils disparaissent ou apparaissent peu au centre et au sud sur la carte de prolongement vers le haut (h=10m) (fig. 22).

Les sources qui alimentent le Mengong dans sa partie amont à l'ouest du bassin sont presque alignées sur le layon 7. Elles épouseraient les épontes de ces séries de corps
fig. 21



Distance units are Meters
Total field

Magnetic inclination: -21 degrees
Magnetic declination: -3 degrees
Magnetic total field strength: 32863 nT
Traverse azimuth: 10 degrees

Polygon No. 1
Anomaly due to both induced and remanent magnetisation.
Inclination of rem. mag. vector: 80
Azimuth of rem. mag. vector: 0
Remanent magnetisation strength (e.m.u.): 80
Magnetic susceptibility contrast 0.0240 e.m.u. (0.302 S.I.)

Corner No.	X	Z
1	614.00	11.50
2	624.00	16.50
3	634.00	18.00
4	637.00	16.50
5	642.00	12.00
6	642.00	9.00
7	643.00	9.00
8	625.00	12.00

Polygon No. 2
Anomaly due to both induced and remanent magnetisation.
Inclination of rem. mag. vector: 80
Azimuth of rem. mag. vector: 0
Remanent magnetisation strength (e.m.u.): 80
Magnetic susceptibility contrast 0.0240 e.m.u. (0.302 S.I.)

Corner No.	X	Z
1	650.00	10.50
2	652.00	13.50
3	657.00	11.50
4	652.00	3.50

Station position Meters	Observed field profile (nT)	Total calculated profile (nT)	Profile of Polygon No. 1 (nT)	Profile of Polygon No. 2 (nT)
570.0	761.000	732.133	-24.217	-4.650
580.0	800.000	782.897	-27.515	-5.732
590.0	925.000	738.868	-24.826	-7.195
600.0	801.000	772.240	5.507	-9.168
605.0	813.000	822.443	54.508	-10.371
610.0	984.000	920.952	151.855	-11.681
615.0	1059.000	1074.051	303.760	-12.952
620.0	1273.000	1242.731	470.806	-13.797
625.0	1255.000	1280.560	605.539	-13.073
630.0	1364.000	1422.142	639.137	-7.662
635.0	1524.000	1258.400	453.839	11.422
640.0	483.000	952.840	86.877	70.251
645.0	628.000	820.879	-212.121	234.917
650.0	1113.000	1011.528	-1293.676	304.649
655.0	697.000	751.566	-261.629	212.168
660.0	511.000	488.290	-209.247	-107.963
665.0	549.000	496.214	-164.010	-147.736
670.0	652.000	564.404	-129.387	-116.653
680.0	688.000	669.864	-84.188	-61.307
690.0	750.000	717.329	-58.183	-34.821
700.0	775.000	761.159	-42.278	-21.841
710.0	987.000	787.449	-31.969	-14.804
720.0	913.000	799.579	-24.055	-10.537
730.0	920.000	812.143	-19.988	-7.980
740.0	883.000	822.502	-16.050	-6.198
750.0	850.000	831.442	-13.612	-4.947

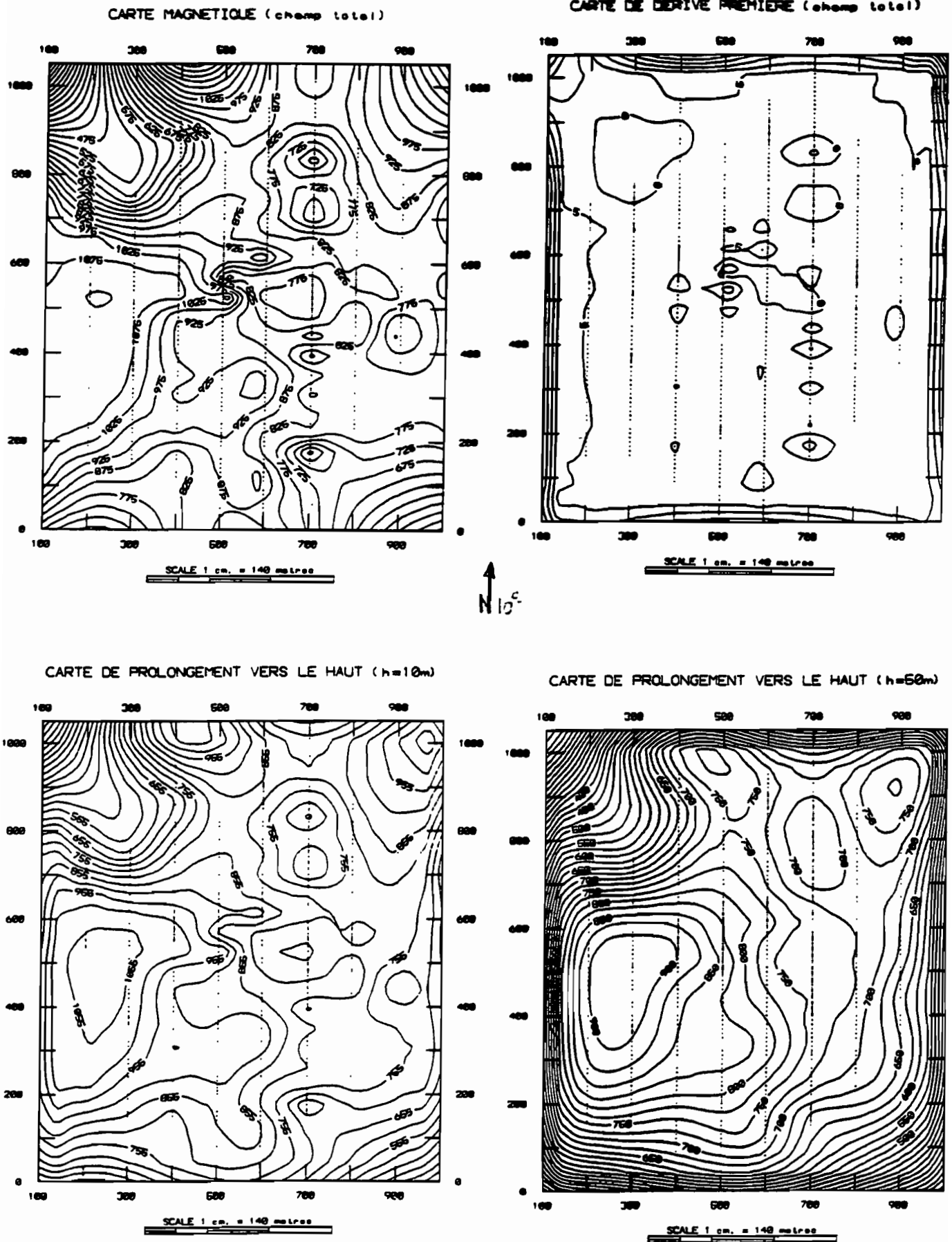


fig. 22

repérés sur le layon 7. Visiblement nombreux sur les profils magnétiques (anomalies positives) et sur le traîné Wenner (alternance de petits résistants et conducteurs), ces corps probablement uniques à la base constitueraient un barrage hydraulique souterrain sur le layon 7 qui favoriserait la remontée des nappes à l'amont sous forme de sources. Le réseau hydrologique du bassin serait ainsi tributaire de la mise en place du complexe de corps magnétiques.

4.3.4. COUPE GEOELECTRIQUE ET PANNEAU DE RESISTIVITE

La couverture totale du bassin par des mesures électriques et magnétiques a permis plus haut par l'examen des résultats sous forme de profils et cartes de suivre les variations latérales à différents niveaux de profondeur. Nous essayerons dans ce chapitre de pousser les investigations sur le layon 6 où en plus des mesures du panneau électrique la densité des SE particulièrement accrue à permis de dresser une coupe géoélectrique. Avant l'étude de ces deux types de représentations 2D du sous-sol nous allons examiner le comportement anisotrope du terrain.

4.3.4.1. COMPORTEMENT ANISOTROPIQUE DU TERRAIN

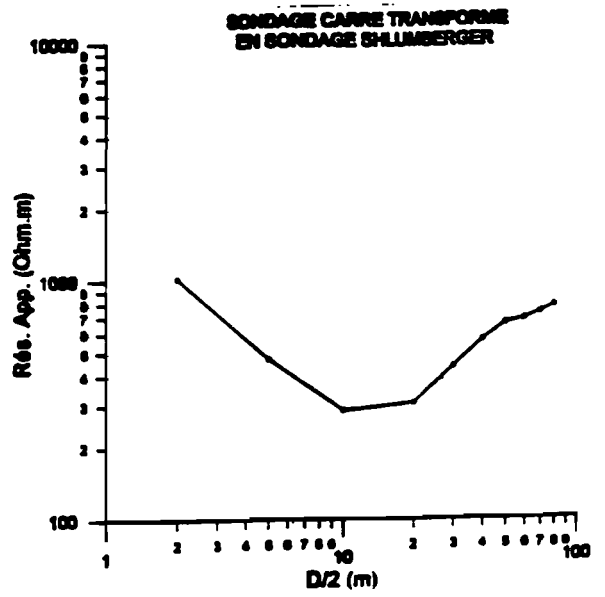
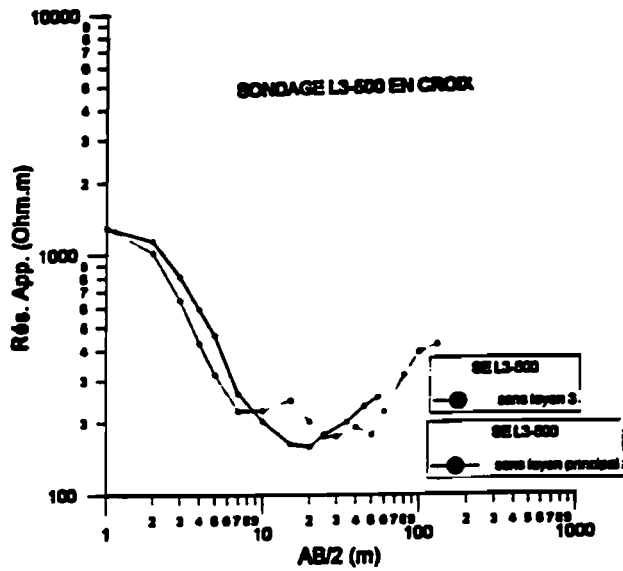
Un sondage en croix et un sondage carré ont été réalisés respectivement sur les croisements layon principal-layon 3 (L3-500) et layon principal-layon 4 (fig.24). Les résistivités mesurées, dans les deux cas, varient avec le sens d'étirement de la ligne d'injection.

Sur le SE en croix les mesures suivant le sens du layon principal, plus régulières sont peu perturbées tandis que celles obtenues dans le sens le layon 3 très perturbées ne se prêtent ou très mal à l'interprétation. Cette différence liée à la direction de la ligne d'étirement AB s'explique aisément. En observant les cartes de résistivités apparentes (Wenner $a=10, 20, 40m$) nous constatons que les sols, d'un point de vue électrique sont latéralement plus homogènes le long du layon principal (E-W) que sur le layon 3 (N-S) où apparaissent de forts gradients. Les perturbations majeures sont liées à ces derniers. Ce contraste qui apparaît sur toutes les cartes s'estompe davantage avec la profondeur.

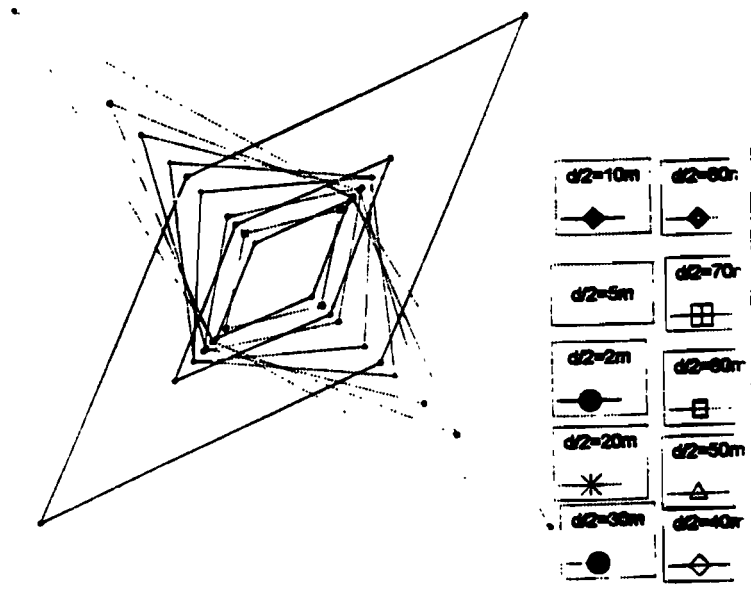
En ce qui concerne le sondage carré, par manque de layons supplémentaires nous n'avons pas pu tourner le dispositif. Les résultats présentés sous forme de losanges plus ou moins étirés auraient pu prendre d'autres formes (circulaires à mosaïques) si les mesures avaient été faites suivant quatre directions au lieu de deux.

Les quatre électrodes étaient plantées sur les layons principal et 4 suivant les directions E-W et N-S de part et d'autre du point de croisement. L'injection était faite suivant les directions NE-SW et NW-SE.

Sur la figure N° les deux séries de mesures pour différentes demi-diagonales ($D/2$) du carré portées symétriquement par rapport à deux axes représentant les directions d'injection donne des losanges. Ils s'étirent de moins en moins jusqu'à la profondeur $D/2=40m$ ($AB/2=23m$) d'où ils s'étirent de nouveau suivant une direction perpendiculaire. A cette profondeur le losange devient presque carré. Avec un sondage croisé le



SONDAGE CARRE (Lp-Ls)



COURSE DE VARIATION D'ANISOTROPIE AVEC LA PROFONDEUR (L3-LP)

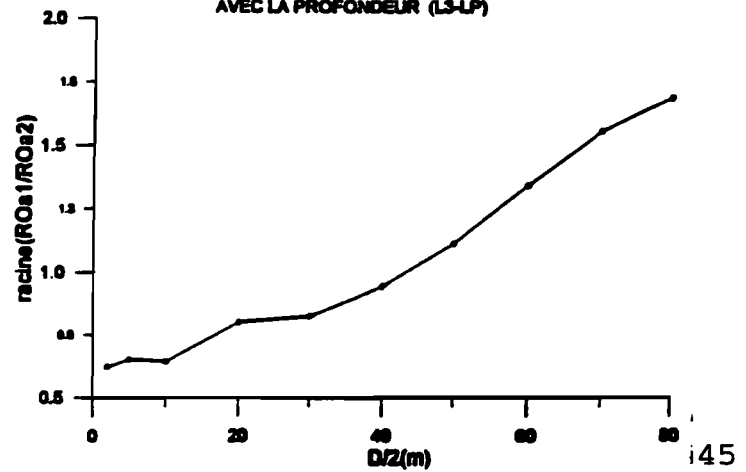


fig.24

diagramme serait peut être circulaire. A ce niveau le terrain serait isotrope. Curieusement à cent mètres plus loin à l'est on note identité des mesures sur le sondage en croix en $AB/2=25m$

Ailleurs on note une direction préférentielle de circulation du courant (direction d'anisotropie) qui passe par le petit axe du losange. Cette direction est connue avec une imprécision de plus ou moins 45° de part et d'autre du petit axe .Elle est orientée NE-SW dans les horizons supérieurs. En profondeur son azimut devient NW-SE.

Sur la courbe de variation d'anisotropie, pour les valeurs $D/2 > 40m$ le coefficient s'éloigne plus vite de la valeur 1 que vers la surface. Dans tous les cas il reste inférieur à 2. Les mesures en AB plus grand seraient beaucoup plus perturbées.

La perturbation des SE liée au changement latéraux et au hétérogénéité pose beaucoup de problème à l'interprétation. Sur le SE en croix (sens layon 3) apparaît au sein du conducteur un niveau résistant qui disparaît sur l'autre SE. Sur le premier on note cinq terrains alors qu'on en a que trois sur le second. Le résistant au sein du niveau conducteur serait probablement un terrain fictif. En absence de tout moyen de contrôle les erreurs sont inévitables.

Le sondage carré transformé en SE Schlumberger présente la même allure que le SE moins perturbé. Serait-il un moyen de contrôle?

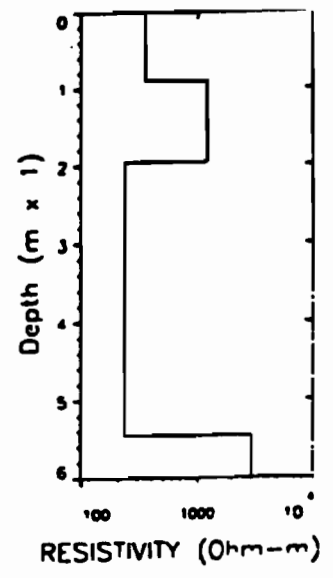
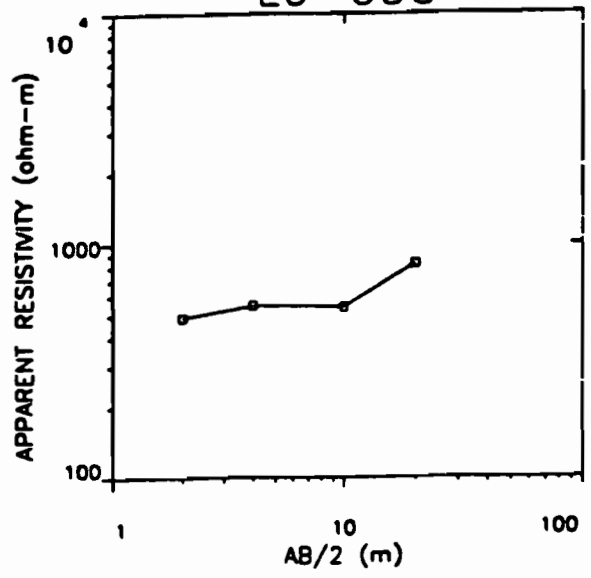
4.3.4.2. COUPE GEOELECTRIQUE

Les sondages qui ont servi à l'élaboration de la coupe (fig.25) présentaient des perturbations. Cela se comprend aisément par la présence de beaucoup de forts gradients sur le layon 6. Ils ont été plus ou moins lissés en tenant compte de leurs allures générales. Sur la coupe dans sa partie centrale (lit du Mengong) apparaît un horizon conducteur $350\Omega m$ peu épais (environs 2m). Il devient latéralement plus résistant au nord ($1000\Omega m$). Il correspond au limon argileux devenant plus sableux sur les pentes. Il repose sur un niveau plus résistant ($1800-2000\Omega m$). Ce niveau plus sableux au centre apparaît en surface sur le flanc sud avec une teneur en argile relativement importante. Au nord épais de 5 à 7m il présenterait plus d'élément ferrugineux.

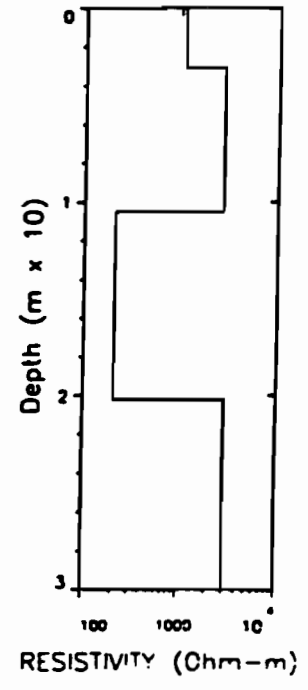
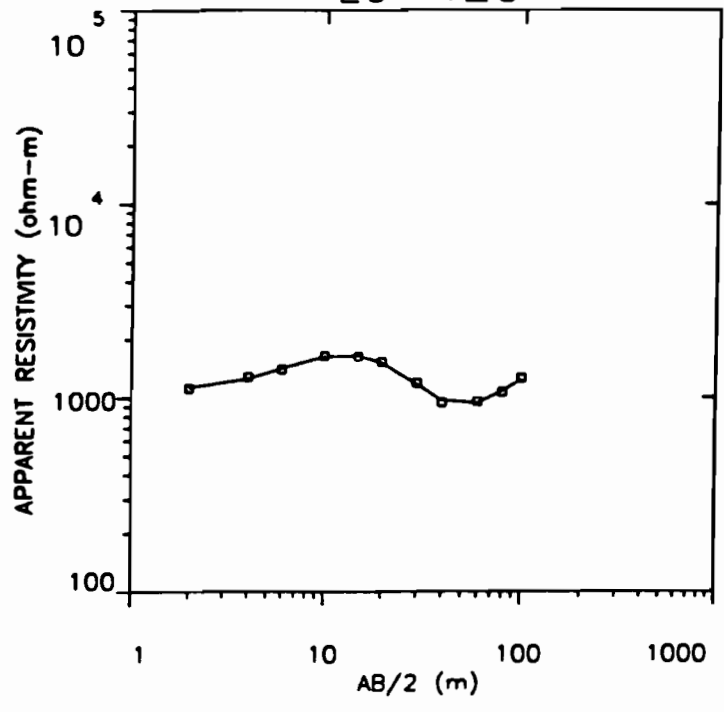
Plus bas on note un horizon conducteur ($200-600\Omega m$) plus épais, une vingtaine de mètres au centre. En son sein au niveau du S4 et S5 apparaît un bloc plus résistant ($7000\Omega m$) épais environ de 7m au centre. Il correspond au deux corps magnétiques décrit plus haut. Sur le toit de l'horizon conducteur au nord repose un horizon résistant ($950\Omega m$) qui se termine en biseau. Il correspondrait à la zone de passage entre la trame ferrugineuse et la saprolite.

Plus en profondeur apparaît un niveau massif plus résistant ($3000 - 6000\Omega m$) correspondant probablement à la roche mère.

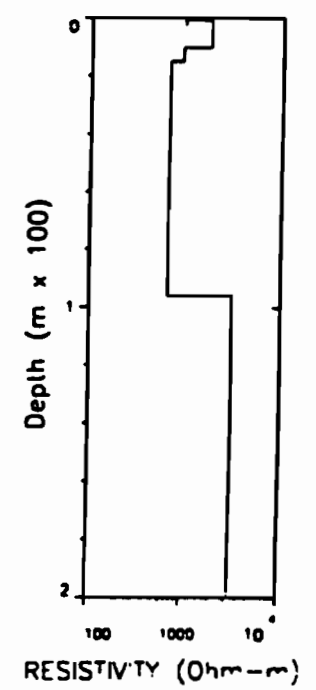
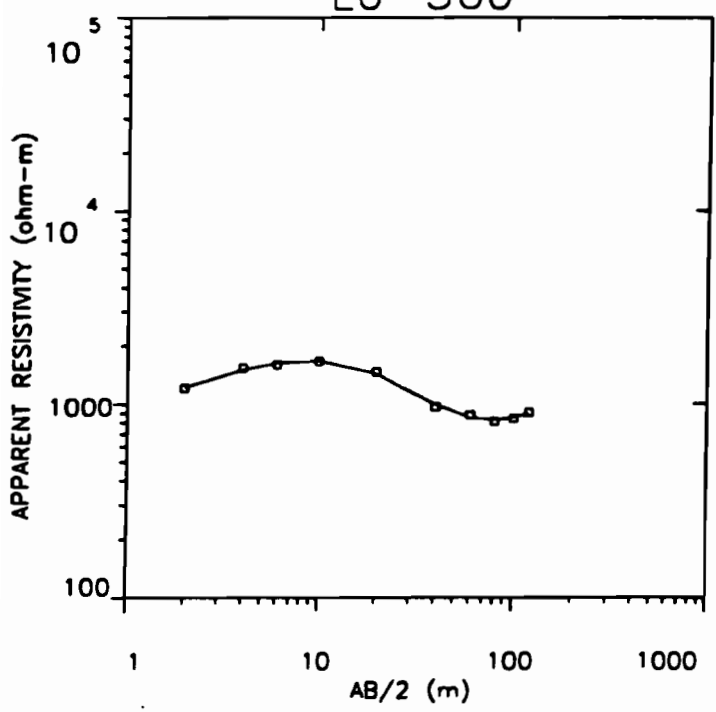
L6-000



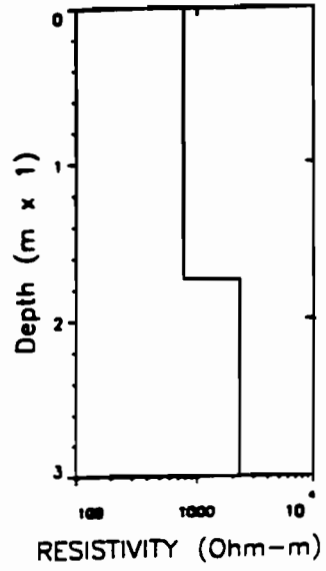
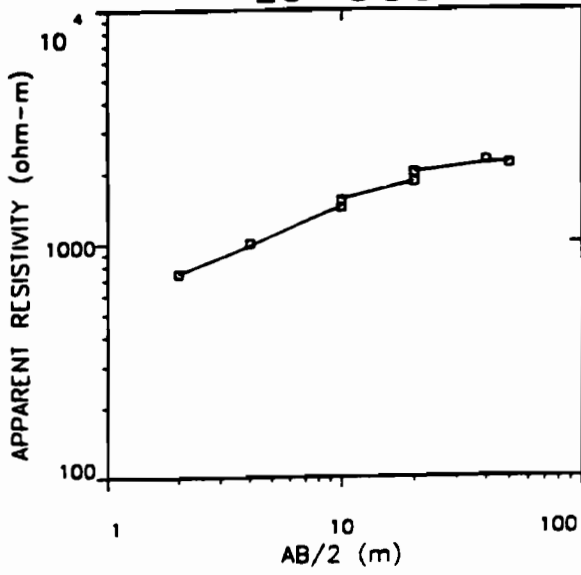
L6-420



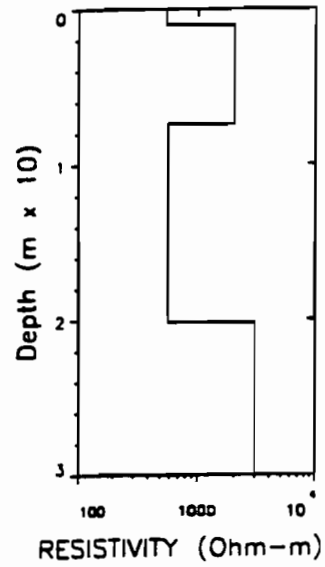
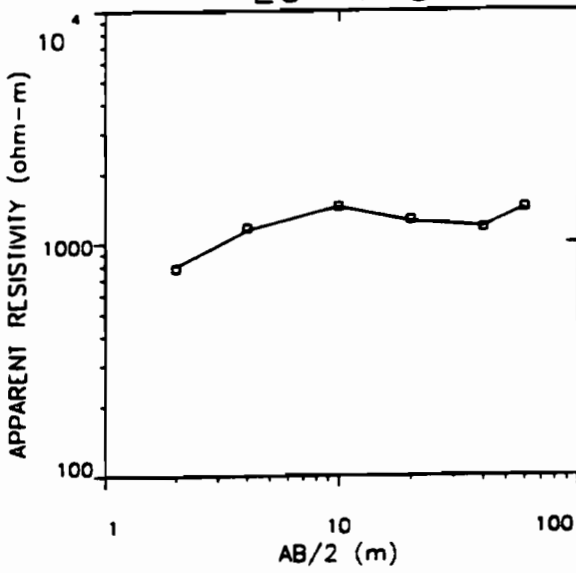
L6-360



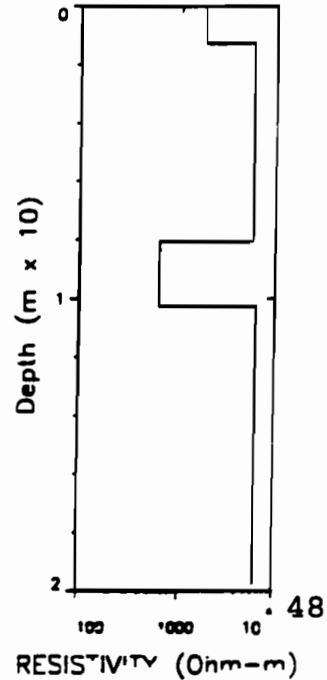
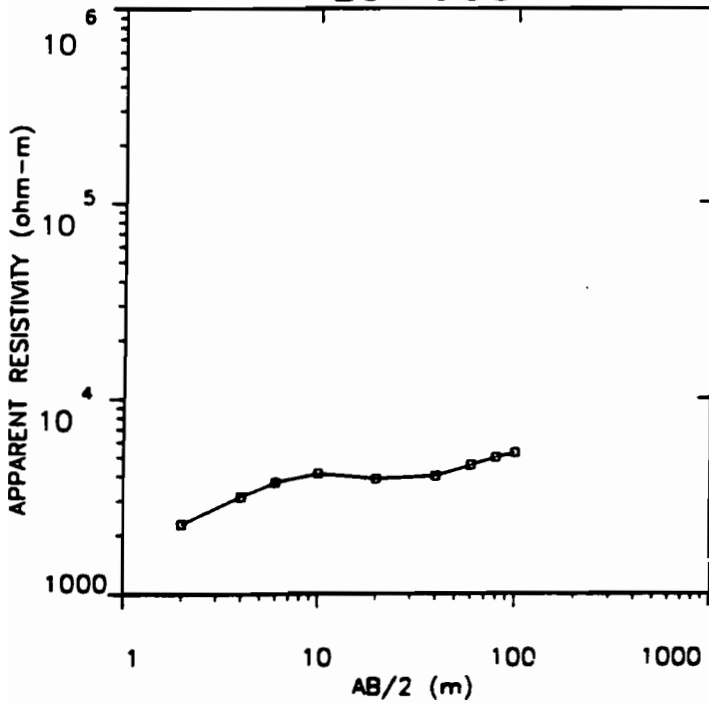
L6-900



L6-440



L6-660



COUPE GEOELECTRIQUE

Layon 6

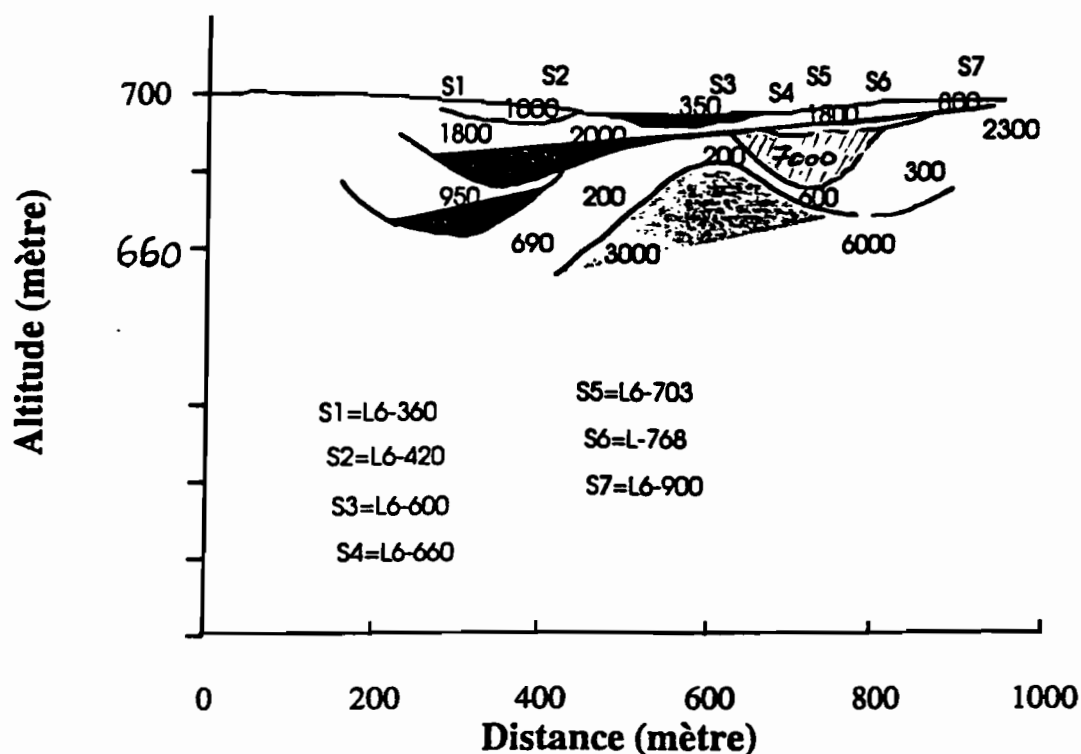


fig.25

4.3.4.3. PANNEAU DE RESISTIVITE

Durant la campagne onze panneaux de résistivité ont été réalisés sur 220m sur le layon 6 soit 4114 mesures. L'acquisition semi-automatique était rendue possible grâce à l'emploi de deux boîtes de commutateurs. Si beaucoup de progrès sont faits au niveau de l'acquisition en générale (moyens automatiques) l'interprétation quantitative des données demeure une difficulté majeure.

Nous avons essayer de faire des interprétations qualitatives et quantitatives. L'interprétation qualitative s'appuie sur des pseudo-sections de résistivités apparentes pôle-pôle (NSIMI 94) demi-Schlumberger gauche, les profils Wenner et sondages calculés à partir des mesures pôle-pôle (fig.26 pages 51 à55).

La pseudo-section de résistivité pôle-pôle présente un ensemble assez homogène et perturbé au centre par la présence de deux zones relativement résistantes. Les résistivités apparentes atteignent $3500\Omega m$ sur la première zone subaffleurente à la distance 635m.

La seconde zone située entre les profondeurs 12 et 22m présente une résistivité apparente d'environ $2000\Omega m$. Ces deux zones correspondent aux deux corps identifiés sur le profil magnétique dans les mêmes gammes de profondeur. La zone superficielle de résistivité plus faible ($700 - 800\Omega m$) serait liée au passage du Mengong au nord. Plus au sud le contour plus irrégulier des courbes d'isorésistivités est associé aux hétérogénéités superficielles.

Sur la carte de panneau demi-Schlumberger gauche apparaissent les mêmes structures. Hormis la zone située au delà des 700m tout le reste des cartes est marquée par les deux blocs résistants enveloppés dans une matrice conductrice. Les détails de la coupe géoélectrique disparaissent sur les pseudo-sections.

La comparaison des sondages et profils électriques, tirés des mesures du panneau, avec ceux mesurés à partir des dispositifs classiques montre des différences variables. Au niveau des profils la comparaison porte sur les lignes AB = 30 m (a = 10 m) et AB = 60 m (a = 20 m). Dans les deux cas les mesures très voisines dans les zones résistantes présentent des dispersions plus prononcées dans les basses résistivités. Sur les SE la différence est assez énorme.

Les causes de cette dispersion sont certainement diverses. Les dispositifs Wenner, Schlumberger et pôle-pôle présentent respectivement des profondeurs d'investigation plus petite les unes que les autres. Les mesures ont été réalisées à des jours d'intervalle avant et après la pluie. Dans tous les cas la probabilité pour que les électrodes aient occupé les mêmes positions est très faible. Pendant les mesures du panneau le courant a été toujours injecté du même côté. Dans le calcul des résistivités rendu possible par l'application du principe de la réciprocité nous avons supposé le terrain homogène, ce qui n'est pas le cas. Des mesures organisées en prenant toutes les dispositions: utilisation des mêmes électrodes, injection des deux côtés du panneau, les mêmes jours dans les mêmes conditions d'humidité, permettent de mieux rendre compte les différences possibles.

Ce travail est d'autant plus nécessaire qu'il permet plusieurs interprétations aboutissant à une représentation satisfaisante de l'image du sous-sol.

D'autre part nous avons essayé des calculs de modèles avec RESIX IP 2D. Les dispositifs pôle-pôle et Wenner ont été étudiés. Le résultat du calcul, du modèle (fig. 27 pages 56 et 57), représenté sous forme de profils est assez comparable aux traînés Wenner du même site.

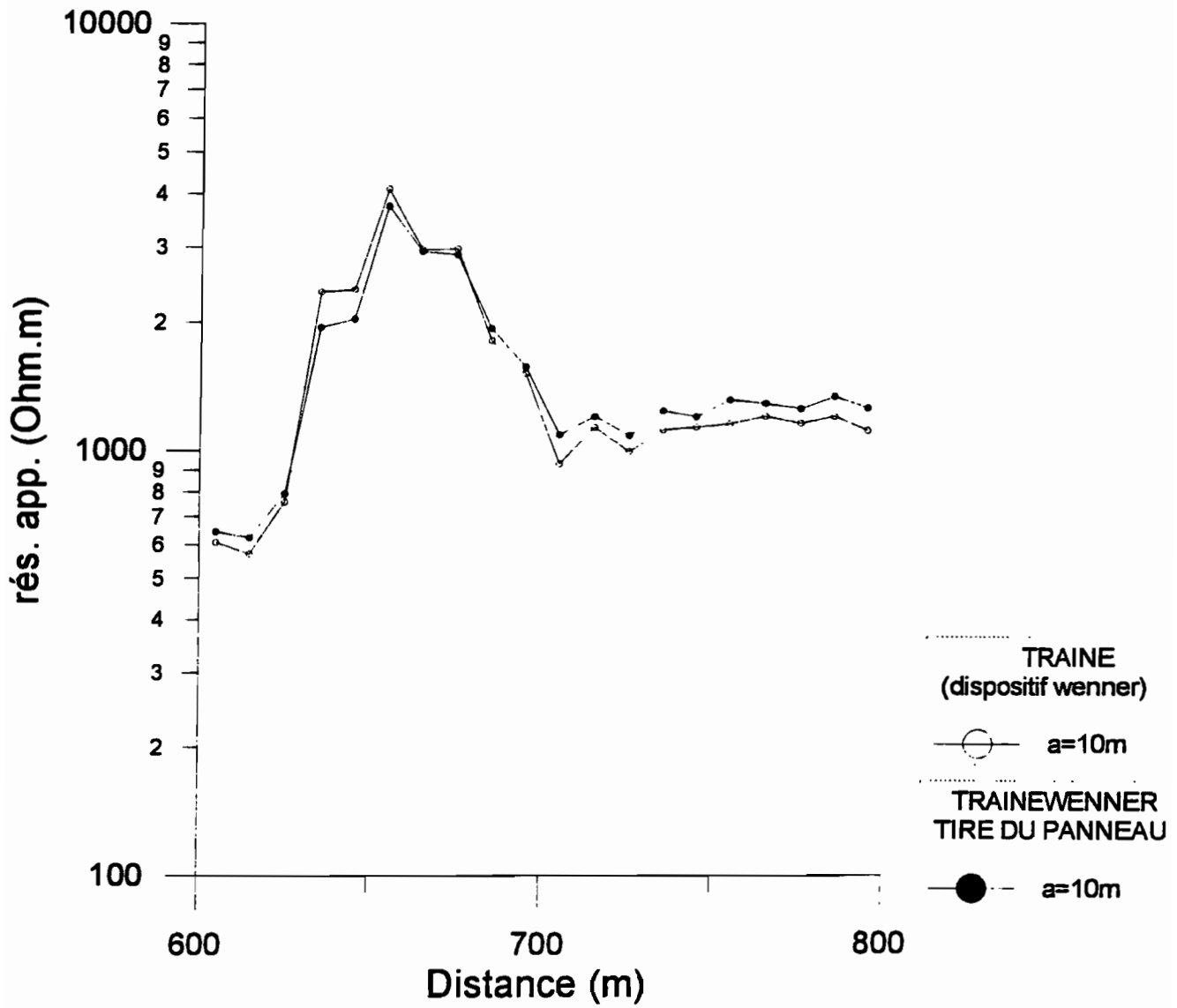
Pour avoir une résistivité apparente de $4000\Omega m$ il a fallu prendre une résistivité vraie de $15000\Omega m$ différente de celles trouvées sur les SE. Ce résultat est obtenu avec un corps unique étalé latéralement sur 27 m et épais d'une dizaine de mètre au centre.

Le même modèle avec une résistivité de $7000\Omega m$ et un corps conducteur de $20\Omega m$ au nord fait chuter les résistivités apparentes à $50\Omega m$, valeur voisine de celle des traînés Wenner (fig. 28).

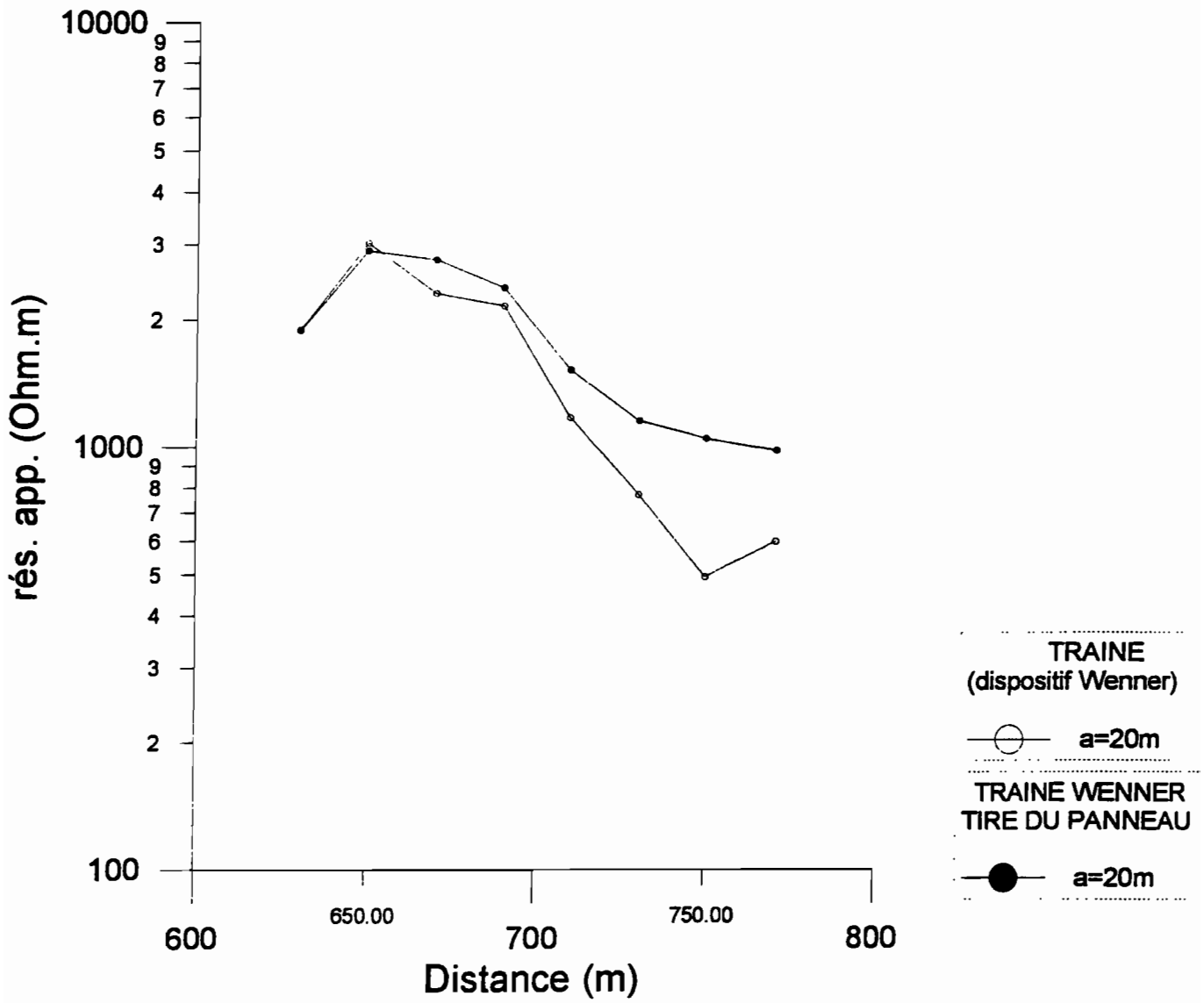
La pseudo-section correspondante est beaucoup différente de celle mesurée.

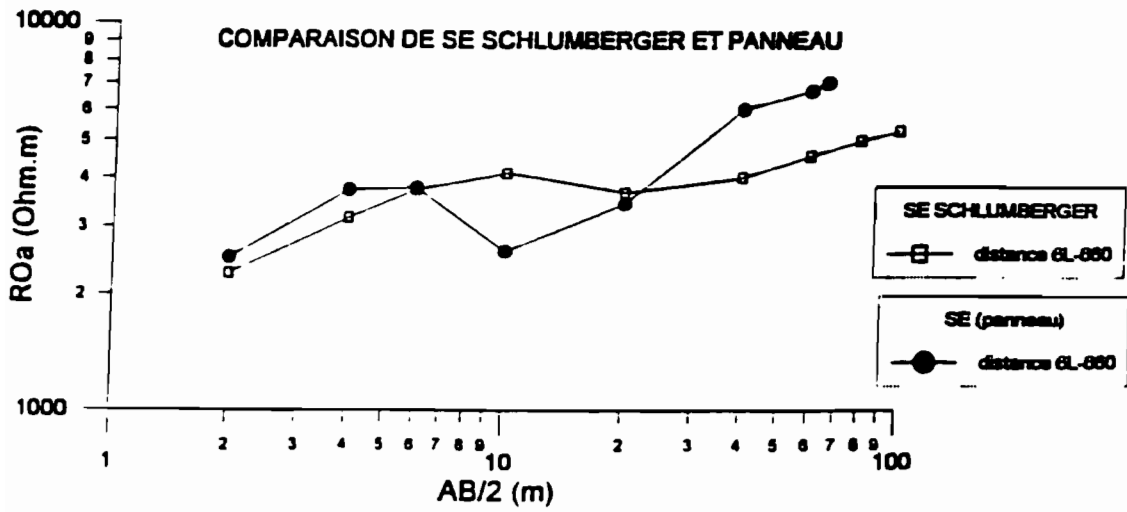
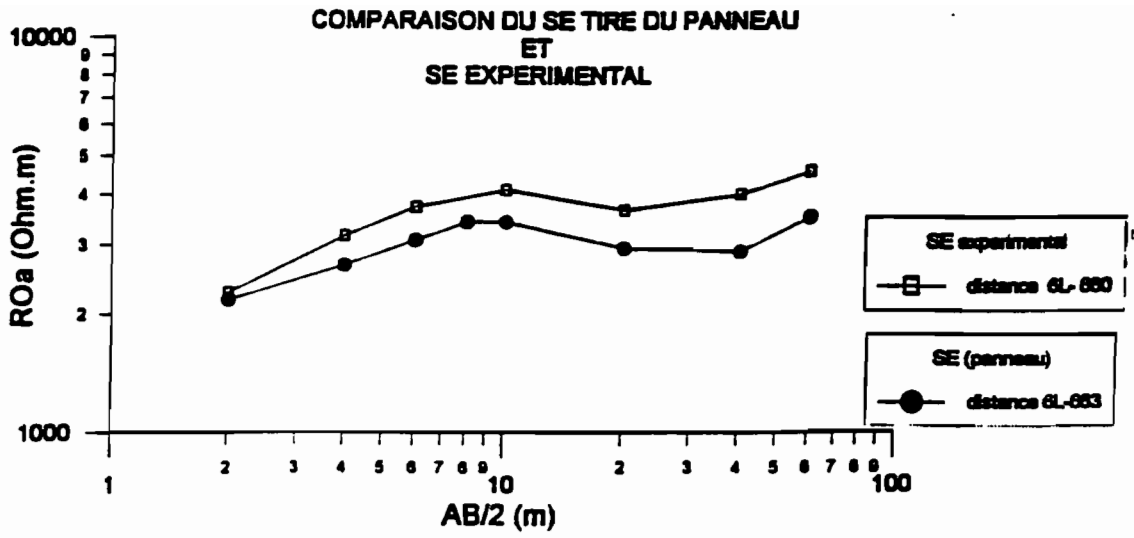
Les deux corps apparaissent distinctement sur le panneau mesuré et le profil magnétique. Par contre sur la coupe géoélectrique ils n'en font qu'un.

COMPARAISON DES TRAINES WENNER (dispositif wenner et panneau)

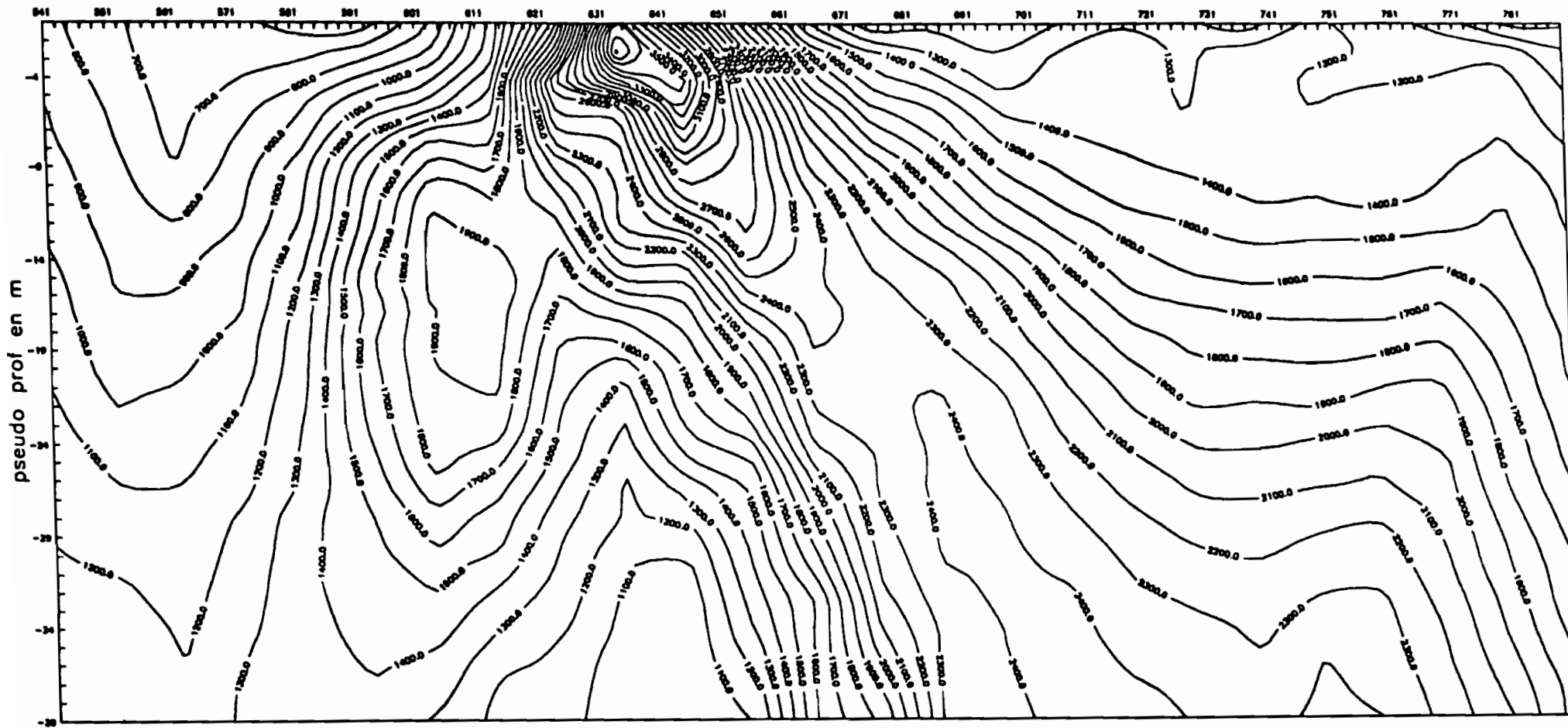


COMPARAISON DES TRAINES WENNER (dispositif Wenner et panneau)



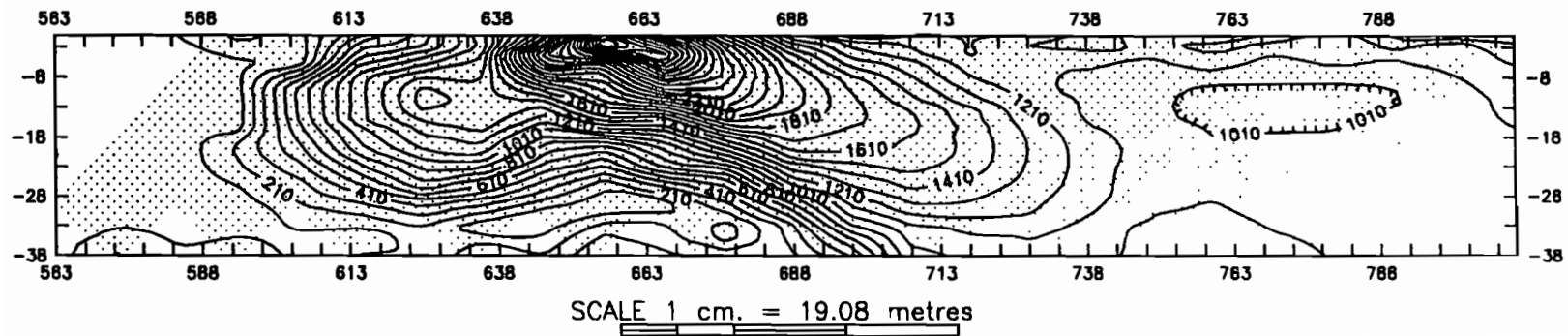


PANNEAU NSIMI94

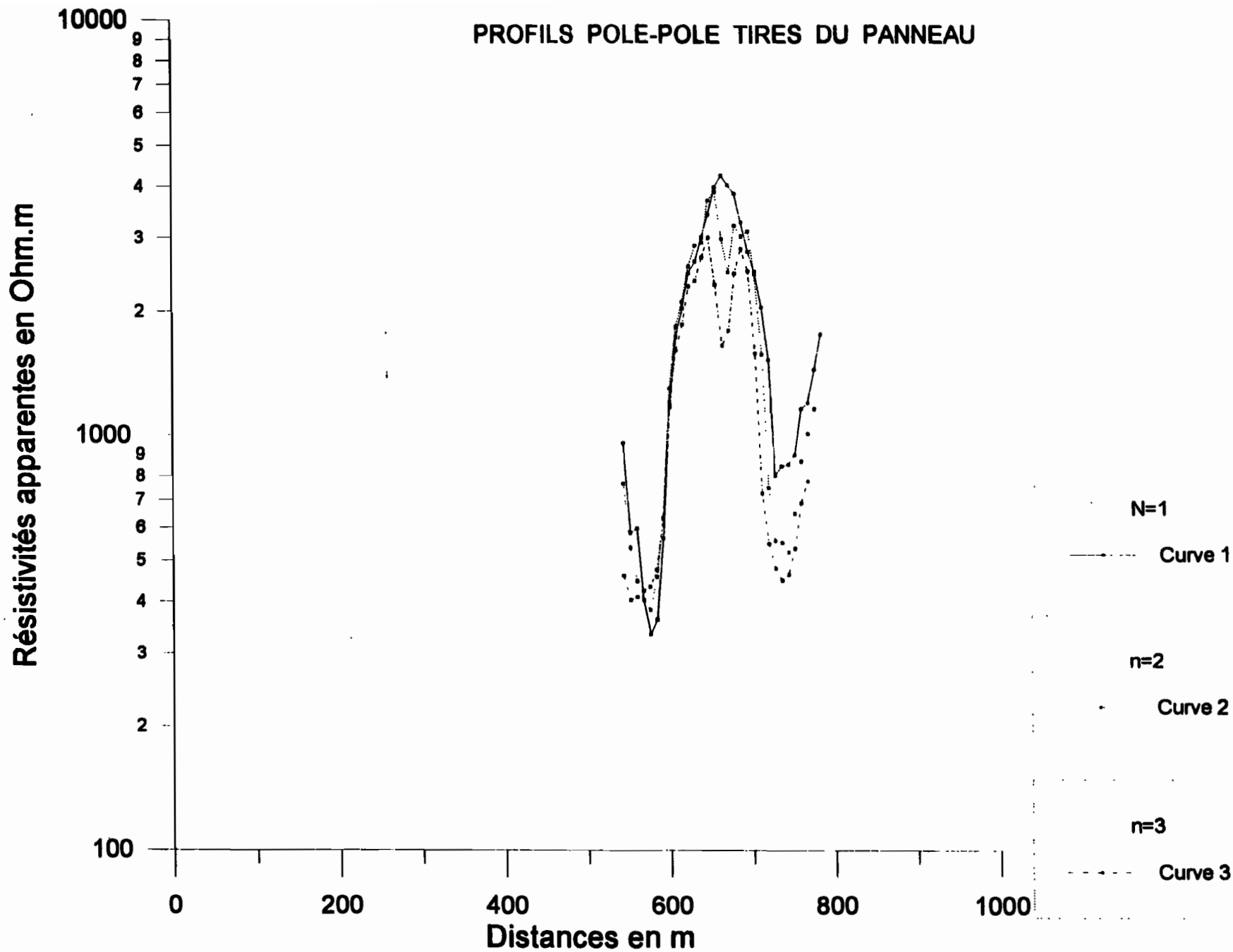


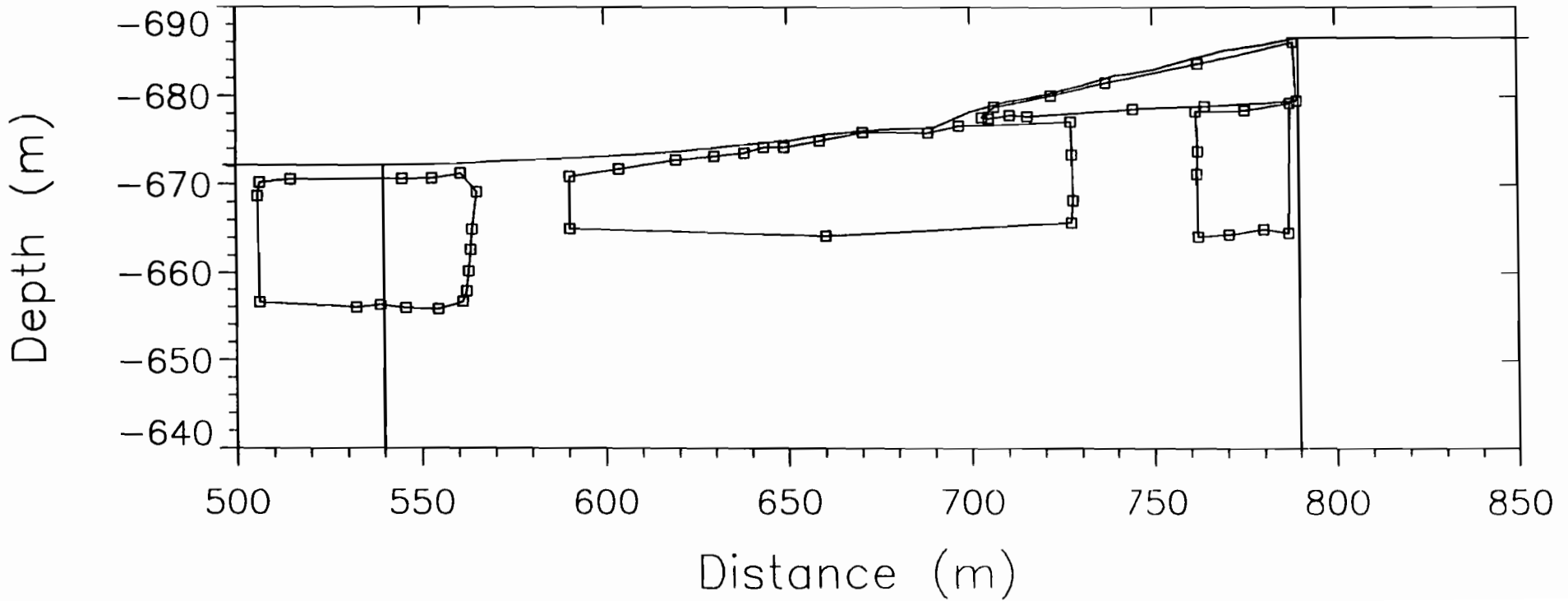
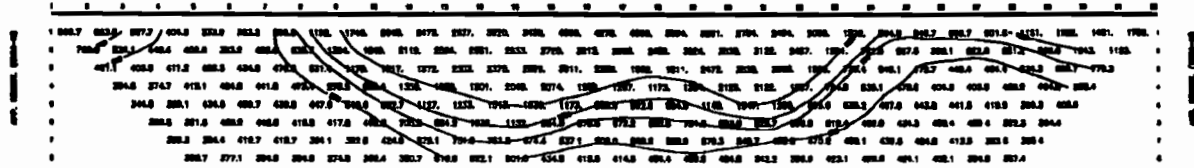
SCALE 1 cm = 9.92 data units

PANNEAU DEMI-SCHLUMBERGER GAUCHE NSIMI94



PROFILS POLE-POLE TIRES DU PANNEAU





CLIENT: ORSTOM
 LOCATION: NSIMI
 COUNTY: CAMEROUN
 PROJECT: Ateration en foret
 UNITS: m IP UNITS: PFE

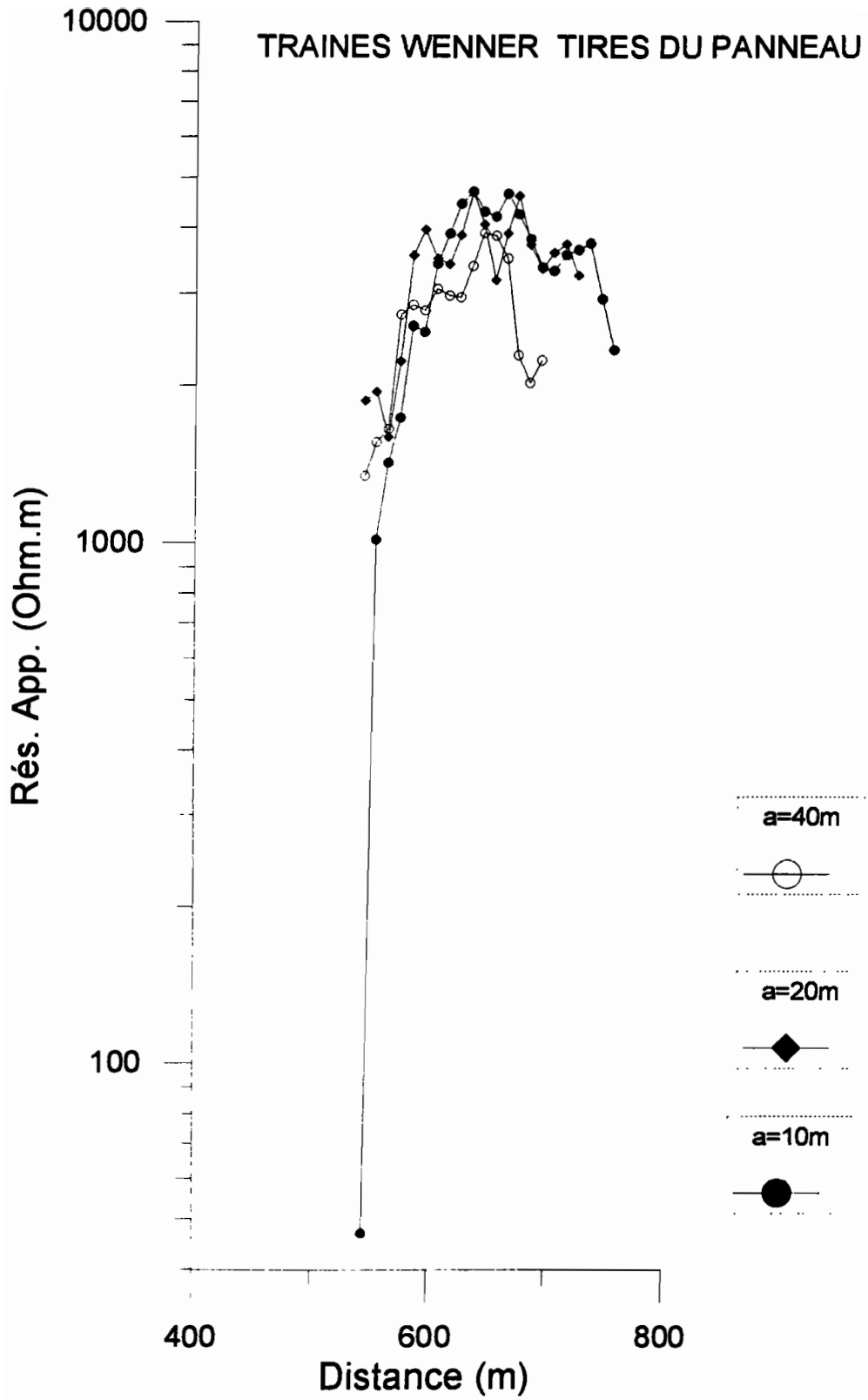
DATE: 22-AUG-74
 LINE: L6
 AZIMUTH: N-S
 EQUIPMENT: ABEM SA 300C
 DIPOLE LENGTH: 8.000 m

Pole-Pole (na) Configuration

APP. RESIST. (OHM-M):

TX POSIT.	ELEV.	RX POSITION								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	544.0	-672.1	961.	769.	461.	364.	345.	350.	359.	353.
2	552.0	-672.2	853.	536.	404.	374.	380.	391.	384.	377.
3	560.0	-672.3	598.	448.	411.	418.	434.	426.	416.	395.
4	568.0	-672.5	404.	403.	425.	455.	450.	442.	419.	396.
5	576.0	-672.6	334.	383.	434.	441.	438.	416.	394.	375.
6	584.0	-672.7	363.	458.	476.	475.	447.	418.	392.	369.
7	592.0	-672.9	565.	636.	631.	576.	516.	467.	425.	380.
8	600.0	-673.1	1192.	1304.	1171.	989.	833.	705.	578.	510.
9	608.0	-673.3	1746.	1849.	1617.	1356.	1127.	884.	752.	592.
10	616.0	-673.5	2048.	2119.	1872.	1588.	1233.	1035.	791.	501.
11	624.0	-673.8	2473.	2564.	2303.	1802.	1513.	1133.	674.	434.
12	632.0	-674.1	2637.	2881.	2376.	2049.	1538.	885.	537.	415.
13	640.0	-674.5	3020.	2933.	2699.	2074.	1173.	679.	506.	414.
14	648.0	-674.8	3435.	3720.	3011.	1699.	938.	672.	529.	464.
15	656.0	-675.3	4005.	3913.	2325.	1267.	893.	683.	589.	466.
16	664.0	-675.7	4278.	2995.	1662.	1173.	885.	754.	579.	404.
17	672.0	-676.0	4057.	2489.	1811.	1354.	1148.	853.	549.	342.
18	680.0	-676.2	3864.	3224.	2472.	2125.	1547.	926.	486.	397.
19	688.0	-676.3	3291.	3038.	2828.	2122.	1256.	607.	471.	423.
20	696.0	-677.4	2784.	3128.	2503.	1507.	694.	519.	458.	426.
21	704.0	-678.6	2494.	2457.	1589.	725.	535.	469.	435.	424.
22	712.0	-679.5	2055.	1581.	730.	535.	467.	434.	425.	402.
23	720.0	-680.1	1532.	752.	549.	478.	444.	436.	413.	386.
24	728.0	-680.9	804.	557.	479.	444.	441.	420.	393.	367.
25	736.0	-681.8	847.	552.	449.	440.	419.	392.	365.	
26	744.0	-682.5	856.	523.	464.	429.	396.	364.		
27	752.0	-683.1	902.	651.	534.	464.	405.			
28	760.0	-684.1	1161.	869.	690.	550.				
29	768.0	-684.9	1202.	1013.	779.					
30	776.0	-685.4	1451.	1163.						
31	784.0	-686.0	1769.							

* UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE *



DATA SET: NSIMIW9

CLIENT: ORSTOM
 LOCATION: NSIMI
 COUNTY: CAMEROUN
 PROJECT: Alteration en fotret
 UNITS: m IP UNITS: PFE

DATE: 12-sept-94
 LINE: L6
 AZIMUTH: N-S
 EQUIPMENT: ABEM SA 300C
 DIPOLE LENGTH: 10.000 m

Wenner (na-na-na) Configuration

PP. RESIST. (OHM-M):

TX POSIT.	ELEV.	RX POSITION								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	545.0	-672.2	46.9	1873.	1347.	1389.	1017.	645.	497.	311.
2	555.0	-672.6	1016.	1947.	1560.	1359.	818.	765.	344.	
3	565.0	-673.0	1428.	1595.	1651.	1142.	752.	781.	362.	
4	575.0	-673.4	1739.	2229.	2742.	2079.	1232.	759.	503.	
5	585.0	-673.8	2606.	3556.	2857.	1880.	1610.	998.		
6	595.0	-674.2	2538.	3975.	2788.	1855.	1596.	846.		
7	605.0	-674.5	3425.	3498.	3070.	2310.	1699.	862.		
8	615.0	-674.9	3910.	3413.	2977.	2225.	1502.			
9	625.0	-675.3	2627.	3876.	2955.	3127.	1244.			
10	635.0	-675.7	4711.	4711.	3392.	2629.	1267.			
11	645.0	-676.1	3055.	4061.	3914.	1839.				
12	655.0	-676.5	4207.	3182.	3865.	2027.				
13	665.0	-676.8	4668.	4463.	3498.	1524.				
14	675.0	-677.2	2566.	5674.	2282.					
15	685.0	-677.6	5507.	3716.	2021.					
16	695.0	-678.0	3364.	2730.	2235.					
17	705.0	-678.6	3036.	3592.						
18	715.0	-679.6	3549.	3727.						
19	725.0	-680.5	3635.	3248.						
20	735.0	-681.5	3742.							
21	745.0	-682.4	2936.							
22	755.0	-683.3	2342.							

* UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE *

DATA SET: NSIMIW9

CLIENT: ORSTOM	DATE: 12-sept-94
LOCATION: NSIMI	LINE: L6
COUNTY: CAMEROUN	AZIMUTH: N-S
PROJECT: Alteration en fotret	EQUIPMENT: ABEM SA 300C
UNITS: m IP UNITS: PFE	DIPOLE LENGTH: 10.000 m

Wenner (na-na-na) Configuration

BACKGROUND VALUES

RESISTIVITY: 200.000, IP: 0.000
 BODY IS 2-DIMENSIONAL

BODY 1, 6 VERTICES
 RESISTIVITY: 1200.000, IP: 0.000
 BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	144.075	121.940	4	220.678	128.523
2	184.631	129.008	5	224.503	125.429
3	210.553	130.492	6	225.703	122.742

BODY 2, 6 VERTICES
 RESISTIVITY: 1000.000, IP: 0.000
 BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	79.669	22.267	4	98.194	24.048
2	70.894	31.048	5	90.544	21.580
3	103.144	32.173	6	86.120	19.736

BODY 3, 3 VERTICES
 RESISTIVITY: 5000.000, IP: 0.000
 BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	INFINITY	-660.000	3	INFINITY	INFINITY
2	INFINITY	INFINITY			

BODY 4, 24 VERTICES
 RESISTIVITY: 7000.000, IP: 0.000
 BODY IS 2-DIMENSIONAL

* UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE *

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	565.717	-662.450	13	716.654	-679.181
2	565.872	-667.466	14	736.604	-681.413
3	565.454	-672.159	15	775.933	-685.057
4	592.703	-673.181	16	765.872	-682.150
5	605.420	-674.184	17	761.169	-679.658
6	647.497	-675.800	18	757.444	-678.909
7	655.787	-676.178	19	759.705	-678.459
8	666.796	-676.685	20	761.075	-674.175
9	676.754	-676.856	21	759.442	-656.988
10	687.258	-677.477	22	726.715	-655.964
11	696.166	-677.868	23	638.712	-654.265
12	705.170	-678.323	24	564.076	-654.163

BODY 5, 5 VERTICES
RESISTIVITY: 1800.000, IP: 0.000
BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	761.739	-678.229	4	788.317	-657.216
2	761.936	-671.110	5	787.530	-679.185
3	760.755	-657.022			

BODY 6, 6 VERTICES
RESISTIVITY: 2000.000, IP: 0.000
BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	767.908	-682.376	4	789.433	-679.451
2	771.583	-683.201	5	765.414	-678.635
3	788.514	-686.060	6	759.836	-679.057

BODY 7, 7 VERTICES
RESISTIVITY: 20.000, IP: 0.000
BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	499.876	-655.416	5	550.014	-670.425
2	500.073	-668.388	6	549.883	-655.016
3	501.780	-671.791	7	525.995	-655.266
4	551.195	-671.772			

BODY 8, 5 VERTICES

* UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE *

RESISTIVITY: 20.000, IP: 0.000
BODY IS 2-DIMENSIONAL

V No.	X-LOC	Z-LOC	V No.	X-LOC	Z-LOC
1	552.528	-671.844	4	551.937	-654.331
2	562.831	-671.938	5	550.690	-669.556
3	563.093	-654.350			

* UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE *

V. CONCLUSION

Dans les régions du sud du Cameroun où les sols ferrallitiques sont généralement très épais, les études pédologiques à partir des méthodes classiques sondages et fosses ne permettent pas toujours de rendre compte de la distribution tridimensionnelle des différents horizons et de déceler la nature probable des roche-mères.

Les résultats présentés ci-dessus montrent que les méthodes géophysiques employées, assez légères, restent de bons outils pour distinguer rapidement les différents horizons des sols et la diversité lithologique de la roche-mère par ses propriétés électriques et magnétiques.

La coupe géoélectrique dressée permet de distinguer clairement quatre horizons et d'établir les correspondances suivantes.

un horizon superficiel relativement conducteur	350 à 1000 Ωm	limons argileux plus ou moins sableux
un horizon résistant	1800 à 2000 Ωm	niveaux sableux à élément ferrugineux
un horizon conducteur	200 à 600 Ωm	saprolite
un horizon très résistant	3000 à 7000 Ωm	granite et dolérite ?

La découverte de l'existence possible de deux types de roche-mères sous la matrice argilo-ferrallitique, constitue un guide intéressant permettant d'orienter les recherches futures.

Ces recherches à différentes échelles dont quelques principes seront donnés plus loin devraient permettre de mieux comprendre les mécanismes du processus d'altération et la mise en place des horizons argilo-ferrugineux.

Du point de vue tectonique les cartes, les profils électriques et magnétiques font apparaître deux discontinuités, marquées par de forts gradients. On démontre ainsi l'existence de réseaux de fractures développés aux épontes des corps magnétiques qui se seraient mis en place au sein du leucogranite sous forme de filon et/ou sill.

Ces réseaux de fractures commanderaient tout le système hydrologique et en partie hydrogéologique du petit bassin de NSIMI.

Cette approche sans précédent dans cette partie du sud du Cameroun a permis de faire un premier pas dans la connaissance de l'organisation lithologique et structurale au niveau d'un bassin élémentaire. Elle mérite d'être poursuivie.

Il serait souhaitable de procéder à des mesures électriques périodiques. La périodicité peut être journalière entre deux pluies et cela jusqu'à ce que les mesures se stabilisent. Elle pourrait être hebdomadaire pendant tout un cycle climatologique.

Le choix des fosses doit tenir compte de leur emplacement géomorphologique et de la représentativité du profil pédologique. A fin de palier les effets anisotropiques les sites

de sondages électriques doivent être choisis dans des zones présentant moins de changements latéraux possibles . Dans tous les cas le mieux serait de garder les électrodes en place.

Au niveau des sources une mise à la masse, permettant de mieux définir le contour des nappes déversantes, devrait aider à confirmer ou infirmer l'hypothèse de barrage hydraulique souterrain.

Quant au panneau d'autres dispositifs ou variantes doivent être expérimentés. Les électrodes placées à l'infini pourraient être alignées sur les électrodes centrales. On appliquera le principe de la réciprocité en intervertissant les électrodes d'injection et de potentiel.

Quelques profils de sismique réfraction pourraient être réalisés afin de suivre le toit du socle à partir de l'affleurement ou d'autres points où il est subaffleurant. Cela permettrait aussi de comparer les différentes méthodes géophysiques.

Les mesures magnétiques pourraient être poursuivies dans les zones non couvertes et cela un peu au delà du bassin à fin de mieux définir les limites de certaines structures

Quelques forages peu profond une vingtaine de mètres permettraient de vérifier certaines hypothèses émises plus haut et de caler utilement les mesures géophysiques.

Un réexamen approfondi à la lumière de ces compléments d'observations aiderait, nous espérons, à mieux comprendre les structures pédologiques en place.

BIBLIOGRAPHIE

ALBOUY, Y., PION, J.C., WACKERMANN, J.M. (1970), Application de la prospection électrique à l'étude des niveaux d'altération. cah. ORSTOM, sér. géol., II, 2, P.161-170

BARKER, R. D., (1981) The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. Geophysical prospecting, 29, 128-143

BARRAUD, J.P., DIEULIN, A., LEDOUX E., G. de MARSILY (1976) Relation entre mesures géophysiques et flux de l'eau dans les sols non saturés Tome I et Tome II rapport final.

BLOT, A (1993) Géophysique appliquée aux recherches sur les altérations (rapport)

CECCHINI, A. and ROCROI, J. P. Effet topographique en prospection électrique, 1980, Geophysical prospecting 28, p.977-993.

DORBATH, C., FROIDEVAUX, P., BLOT, A., CARN, M. A. (1975), Applications de la prospection électrique à l'étude des niveaux d'altération, sér. géol., VII, 2, P.111-123.

E. DELAITRE 1993, Etude des latérites du sud-MALI par la méthode du sondage électrique, thèse de l'université Louis Pasteur de Strasbourg.

HABERJAM, G. M. and WATKINS, G. E. 1967, The use of a square configuration in resistivity prospecting, Geophysical Prospecting 20, p.329-340.

IRWIN SCOLAR, Archeological Prospecting and remote sensing, 1990.

JOHN MILSON (1989) Field Geophysics Geophysical society of London handbook

LOUIS P. (1970), Contribution Géophysique à la connaissance géologique du bassin du lac Tchad, ORSTOM, PARIS (FR), VOL.2 212P.

MEYER STADELHOFEN, (1991) Application de la Géophysique aux recherches d'eau, Technique et documentation, Lavoisier.

NZENTI, J-P et BARBEY, P. JEGOUZO, P. et MOREAU, C. (1984) (présenté par **GEOGES M.**) Un nouvel exemple de ceinture granulitique dans une chaîne protérozoïque de collision: les migmatites de Youndé au Cameroun CR. Acad. Sci. Paris, t.299, série II, n°17, p.

NEDELEC, A., MACAUDIERE, J., NZENTI, J-P et BARBEY, P. (présenté par **GEOGES M.**) (1986), Evolution structurale et métamorphique des schistes de Mbalmayo (Cameroun). Implication pour la structure de la zone mobile panafricaine d'Afrique centrale, au contact du craton du Congo, CR. Acad. Sci. Paris, t.303, série II, n°1, p.75-80.

ROY. A. 1972, Depth of investigation in Wenner, three-Electrodes and dipôle-dipôle DC Resistivity methods, Geophysical Prospecting 20, p.329-340.

PHAM V. N., BOYER D., FREYSSINET P., et TARDY Y. (1988), Cartographie magnéto-tellurique des profils d'altération épais. Relations entre la nature et la structure du substratum profond et la morphologie du paysage latéritique au sud MALI. CR. Acad. Sci. Paris, t.307, série II, p.1355-1362.

PHAM V. N., BOYER D., NOVIKOFF A., et TARDY Y. (1989), Distinction par les propriétés électriques de deux types de roche-mères sous une épaisse couverture de latérite au sud MALI C.R. Acad. Sci. Paris, t.309 série II, p.1287-1293.

SATPATHY B. N. 1974, A paradox in apparent resistivity measurements over a ground section with conductive substratum, Geophysics, 39, p.93-94

TELFORD W.M., GELDART L.P., R.E. SHERIFF (1990), Applied Geophysics second edition Ed. Cambridge university Press.