

Les méthodes électriques

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Cahiers d'archéologie romande**

Band (Jahr): **3 (1975)**

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Chapitre 6 — Les méthodes électriques

6.1 Introduction

Les méthodes électriques ont été parmi les premières méthodes géophysiques utilisées en prospection archéologique.

Il semble qu'actuellement elles soient quelque peu reléguées au profit des méthodes magnétiques; ceci provient sans doute du fait que l'interprétation des mesures géoélectriques n'est pas toujours aussi simple qu'elle pourrait le paraître à première vue.

6.2 Principe général

Les méthodes électriques sont basées sur l'étude de la propagation du courant dans le sous-sol.

La possibilité de distinguer électriquement les diverses formations du sous-sol résulte du fait que celles-ci possèdent souvent des résistivités différentes, c'est-à-dire une aptitude différente à conduire le courant électrique.

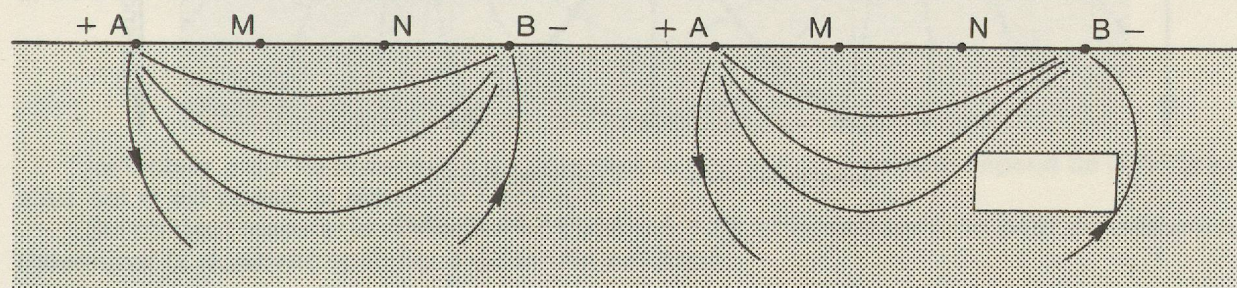


Figure 28

Les méthodes électriques de prospection permettent d'identifier à partir de la surface les structures qui diffèrent de la norme par leurs résistivités et ainsi de localiser, par exemple, des vestiges archéologiques enfouis.

Les techniques employées en prospection électrique sont nombreuses. Elles étudient, pour la plupart, les variations de potentiel produites par effet ohmique lors du passage du courant dans le sous-sol.

Supposons qu'une source de courant soit reliée à deux électrodes *A* et *B*, fichées dans le sol. Celui-ci étant conducteur, il s'y forme des lignes de courant fermant le circuit et allant de *A* vers *B*. Une chute de tension se manifeste le long du conducteur à large section formé par le sous-sol. Il en résulte une certaine distribution du potentiel que l'on peut représenter en dessinant les surfaces équipotentiellles.

Par définition en tous points d'une telle surface, le potentiel conserve une valeur constante. L'intersection de cette surface avec le sol constitue une courbe équipotentielle.

La figure 29 montre, pour un milieu homogène et isotrope, le tracé des lignes de courant et des courbes équipotentiellles.

Si l'on considère l'évolution du potentiel et de son gradient (le champ), le long de la ligne *AB*, on voit que la chute de tension est très rapide au voisinage des électrodes *A* et *B* et qu'elle devient très faible dans la partie centrale de la courbe.

Lorsque le sous-sol n'est pas électriquement homogène, la forme des courbes équipotentiellles est altérée.

EQUIPOTENTIELLES ET LIGNES DE COURANT DANS UN SOL HOMOGENE

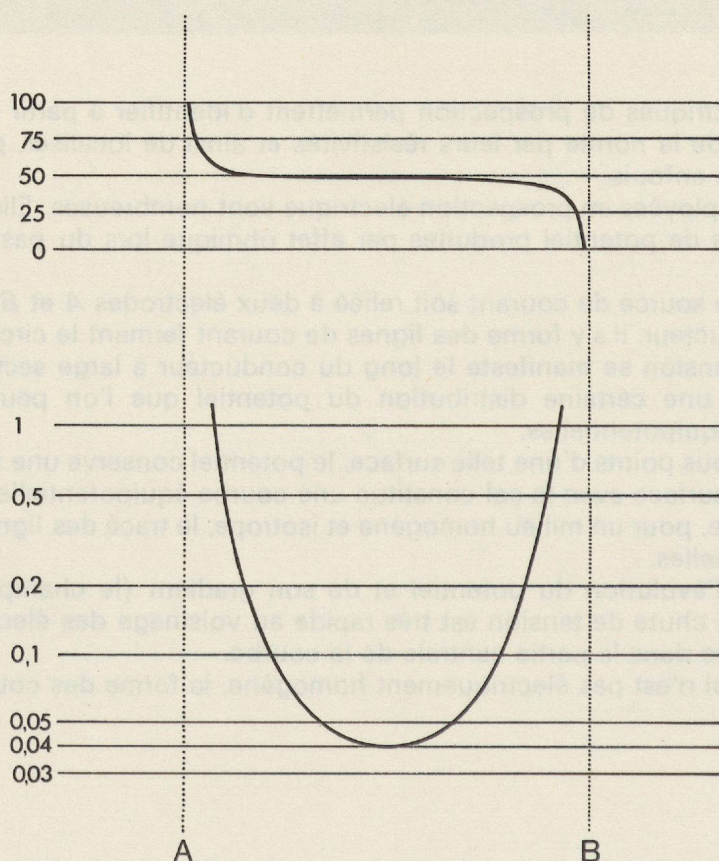
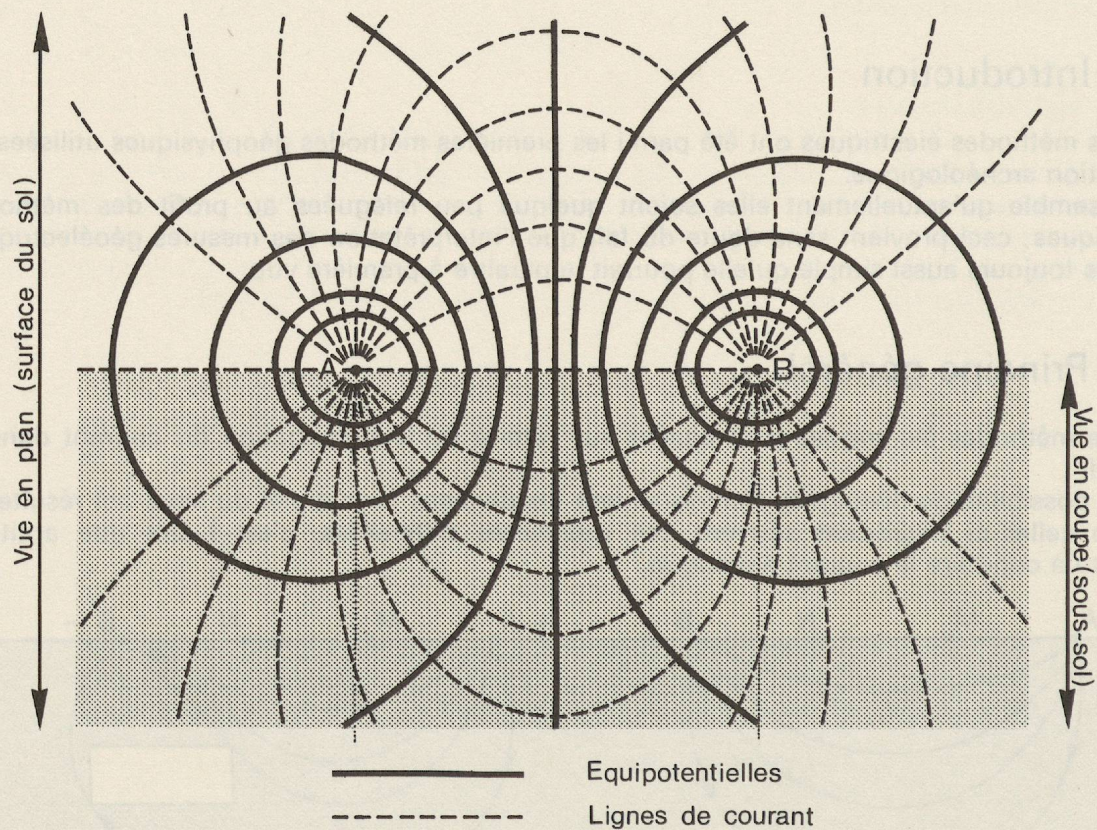


Figure 29

Une première méthode de prospection consiste à repérer en surface l'allure des courbes équipotentiellles et, par comparaison avec ce qu'elles devraient être en milieu homogène, à essayer d'en tirer des conclusions sur la structure du sous-sol.

La mise en œuvre de cette méthode est longue et l'interprétation des résultats parfois délicate; on lui préfère souvent la mesure de résistivités apparentes.

Pour comprendre ce que sont ces dernières, il faut étudier tout d'abord, dans le cas simple d'un terrain homogène, la distribution du potentiel autour d'une électrode A d'où s'écoule un courant I .

Le courant forme des filets rectilignes rayonnant autour de A. Il se produit une chute de tension dans le sol du fait de la résistance de celui-ci. Au voisinage de l'électrode les surfaces équipotentiellles sont des sphères concentriques.

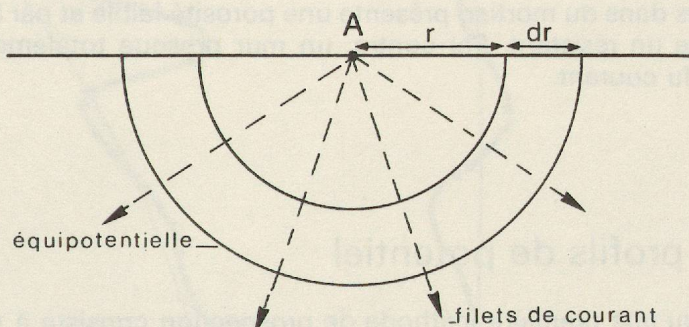


Figure 30

Entre deux sphères équipotentiellles de rayon r et $r+dr$ nous aurons :

$$-dV = \rho \frac{dr}{2 \pi r^2} \cdot I$$

Le facteur ρ qui lie la variation du potentiel au courant qui s'écoule, dépend de la nature du sous-sol et est appelé la résistivité électrique.

Si l'on peut mesurer la différence de potentiel $-dV$, et le courant I , on peut du même coup déterminer la résistivité spécifique du terrain envisagé.

$$\rho = \frac{-dV}{I} \cdot 2 \pi r^2 \cdot \frac{1}{dr}$$

Dans la pratique archéologique, on travaille le plus souvent en milieu hétérogène, il est rarement possible d'obtenir des résistivités spécifiques; on note alors des résistivités apparentes.

$$\rho \cdot app = \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

ρ_{app} est une moyenne complexe de toutes les résistivités spécifiques présentes.

K est une constante en relation avec r .

Les résistivités électriques permettent de distinguer les unes des autres les formations du sous-sol. Elles sont en effet à peu près constantes pour une formation donnée, mais varient parfois considérablement d'une formation à l'autre.

La résistivité dans le sous-sol.

Un sol, une roche ou des vestiges archéologiques conduisent l'électricité le plus souvent grâce à l'eau qu'ils contiennent. La conductibilité du sous-sol et son inverse, la résistivité, dépendent de sa teneur en eau et de la qualité, la salinité, de cette eau. Les facteurs déterminants sont donc la porosité, la saturation des pores et l'ionisation de l'eau d'imbibition.

Toute mesure de résistivité d'une formation est donc en réalité une mesure de sa teneur en eau et de la minéralisation de cette eau. La résistivité s'exprime en ohms.m.

Voici quelques exemples de résistivités observées :

Eau de pluie	30 à 100 ohms.m
Eau chargée en sels	0,03 à 10 ohms.m
Argiles et marnes	1 à 50 ohms.m
Sables et grès marneux	30 à 200 ohms.m
Calcaires et roches éruptives	300 à plusieurs milliers d'ohms.m.

On conçoit donc qu'un mur en maçonnerie encore bien conservé, constitué par exemple de blocs de calcaire noyés dans du mortier, présente une porosité faible et par là même se comporte électriquement comme un résistant. Par contre, un mur presque totalement détruit est moins résistant au passage du courant.

6.3 Cartes et profils de potentiel

Nous avons vu qu'une première méthode de prospection consiste à comparer la distribution du potentiel, créé dans le sous-sol par l'envoi d'un certain courant, à ce que serait cette distribution pour un terrain homogène. C'est la méthode des cartes de potentiel.

Une source envoie du courant continu dans le sol au moyen de deux électrodes *A* et *B* assez éloignées, à l'aide de deux autres électrodes impolarisables *M* et *N* reliées à un voltmètre sensible, on cherche par tâtonnement les points équipotentiels (dans ce cas $\Delta V_{MN}=0$).

Cette méthode se prête mal à une interprétation claire des résultats, de plus l'allure des courbes équipotentiellles dépend de la position des électrodes *A* et *B*. Pour étudier complètement une zone, il faut pouvoir établir plusieurs cartes pour diverses positions des électrodes *A* et *B*, ce qui rend la méthode longue et peu souple.

Un autre procédé consiste à tracer l'évolution du potentiel le long d'un profil. Les électrodes *A* et *B* sont fixes, on déplace suivant la ligne *AB* les deux électrodes *M* et *N* entre lesquelles on mesure la différence de potentiel. Cette façon de faire a l'avantage de n'exiger que le déplacement de deux électrodes, mais la tranche de terrain prospectée est variable, ce qui présente des inconvénients sur lesquels nous reviendrons.

Si le sous-sol possède des hétérogénéités, celles-ci vont se marquer par des anomalies du profil de potentiel.

Dans l'exemple qui suit nous avons reporté les mesures faites le long d'une ligne *AB* recoupant deux murs enfouis. On voit très nettement les anomalies provoquées par ces structures.

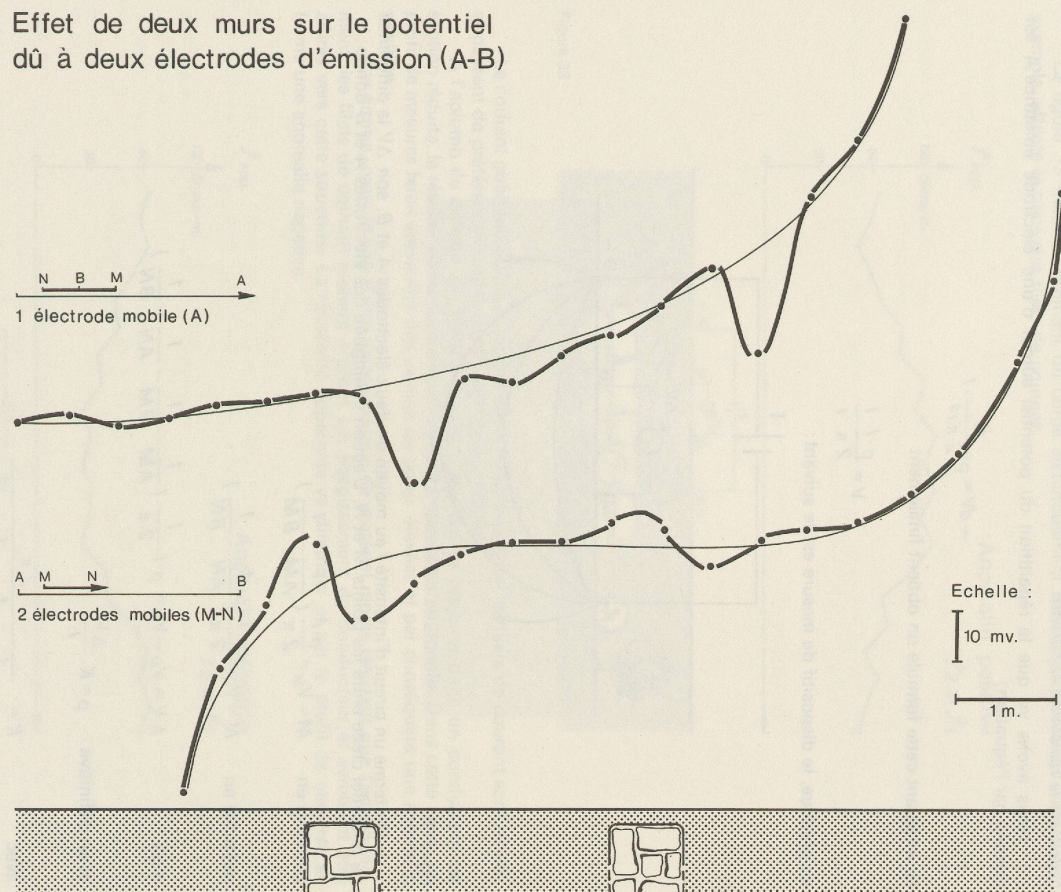
Ce procédé, jusqu'ici peu utilisé en prospection, permet de préciser certains points de détail.

6.4 Profils et cartes de résistivités

Les profils et les cartes de résistivités apparentes sont très largement utilisés en prospection archéologique. Ils expriment les valeurs de la résistivité apparente mesurées pour une tranche constante du sous-sol. La mesure se fait généralement en déplaçant un dispositif de dimensions fixes de proche en proche. Les résultats ainsi obtenus fournissent une image des variations latérales dans la composition du sous-sol, image qui ne saurait être bien interprétée sans une bonne compréhension de ce qu'est la résistivité apparente et de ce que sont les facteurs qui peuvent la faire varier.

Figure 31

Effet de deux murs sur le potentiel
dû à deux électrodes d'émission (A-B)



Calcul de la résistivité apparente

Nous avons vu que la répartition du potentiel autour d'une électrode émettrice A est donnée par l'équation :

$$-dV = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} \cdot I$$

en intégrant cette formule on obtient finalement

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$$

en pratique, le dispositif de mesure est le suivant :

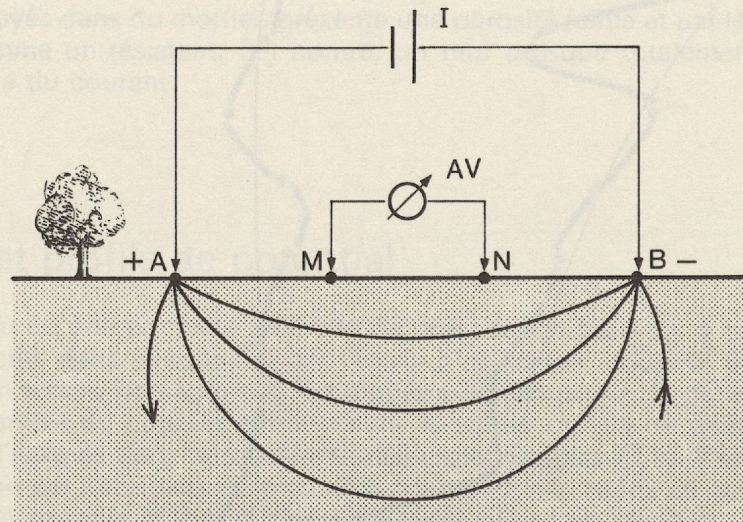


Figure 32

On ferme un circuit d'intensité I au moyen de deux électrodes A et B , soit ΔV la différence de potentiel créée entre les points M et N . L'action conjuguée des électrodes A et B donne :

potentiel en $M = V_M = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$

potentiel en $N = V_N = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$

d'où $\Delta V = V_M - V_N = \rho \cdot I \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$

et en définitive $\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$

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

En mesurant I en milliampères, V en millivolts et BM , AM , AN , etc., en mètres, on obtient les résistivités ρ en ohms.m.

Ce calcul se rapporte à un terrain homogène et isotrope; dans le cas d'un sous-sol hétérogène, un calcul identique fournit la résistivité apparente, fonction des dimensions du dispositif et de la répartition des résistivités dans le sous-sol.

La figure 33 montre comment un corps électriquement résistant, un dallage enfoui par exemple, affecte le tracé des filets de courant.

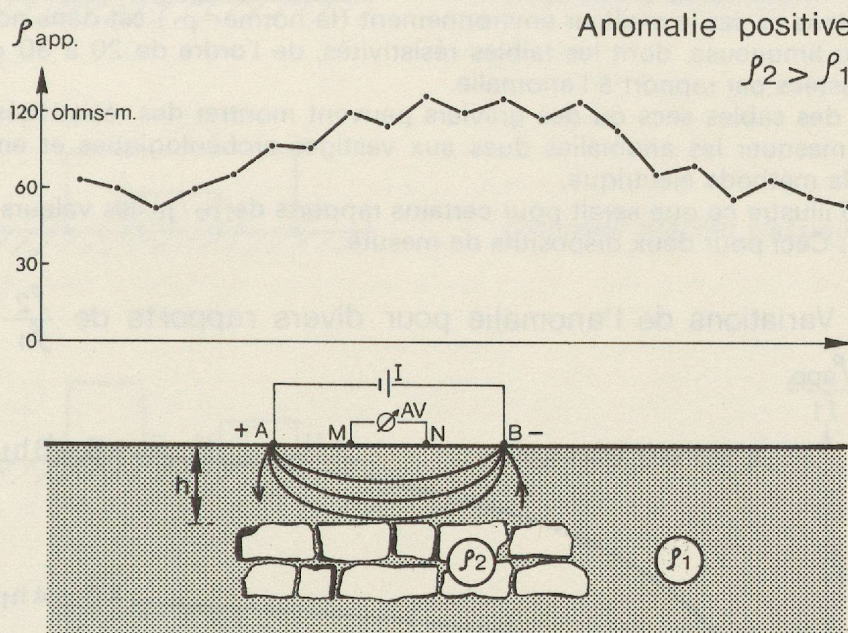


Figure 33

Le courant obéit toujours à la loi de l'effort minimum, aussi les filets de courant sont déviés et passent de préférence dans le terrain le moins résistant.

A l'aplomb du dallage, les filets de courant doivent se resserrer dans un conducteur de section réduite, la résistance du terrain et la résistivité apparente augmente. Dans cette zone, un profil de mesures ferait apparaître des valeurs de ρ_{app} élevées et par conséquent une anomalie positive.

Par contre, dans le cas d'une cavité remplie de matériel moins résistant que l'environnement, les filets de courant mettent à profit cet élargissement du conducteur et semblent être attirés vers cette structure. La résistivité apparente va diminuer et sur le profil de mesures se forme une anomalie négative.

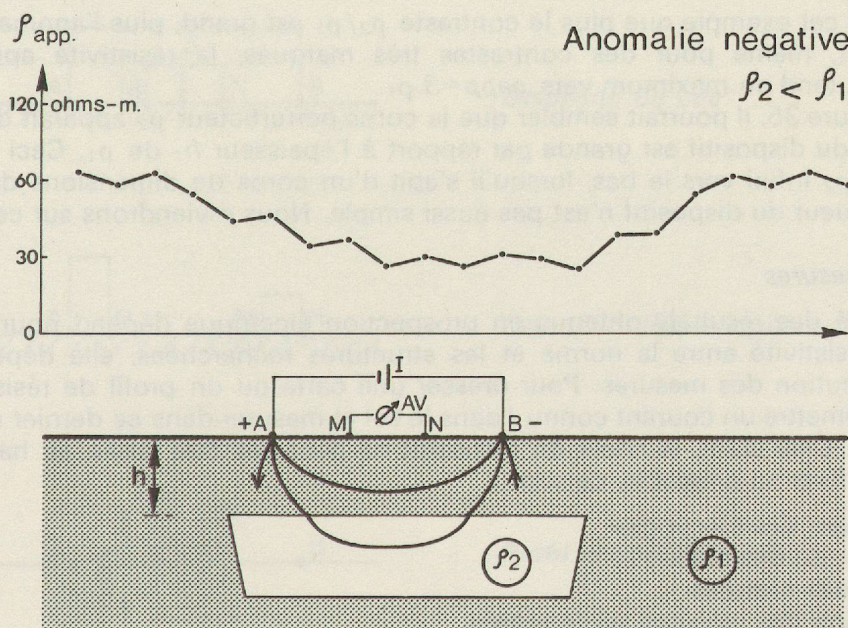


Figure 34

Pour un dispositif donné, l'anomalie, qu'elle soit positive ou négative, est d'autant plus marquée que le contraste des résistivités ρ_2 et ρ_1 est grand.

La prospection archéologique cherche souvent à mettre en évidence des objets électriquement résistants, dans ce cas le meilleur environnement (la norme = ρ_1) est dans nos régions une terre argileuse ou limoneuse, dont les faibles résistivités, de l'ordre de 20 à 30 ohms.m., sont nettement contrastées par rapport à l'anomalie.

Par contre, des sables secs ou des graviers peuvent montrer des résistivités très élevées, susceptibles de masquer les anomalies dues aux vestiges archéologiques et empêcher toute prospection par la méthode électrique.

La figure 35 illustre ce que serait pour certains rapports de ρ_2/ρ_1 les valeurs de l'anomalie relative ρ_{app}/ρ_1 . Ceci pour deux dispositifs de mesure.

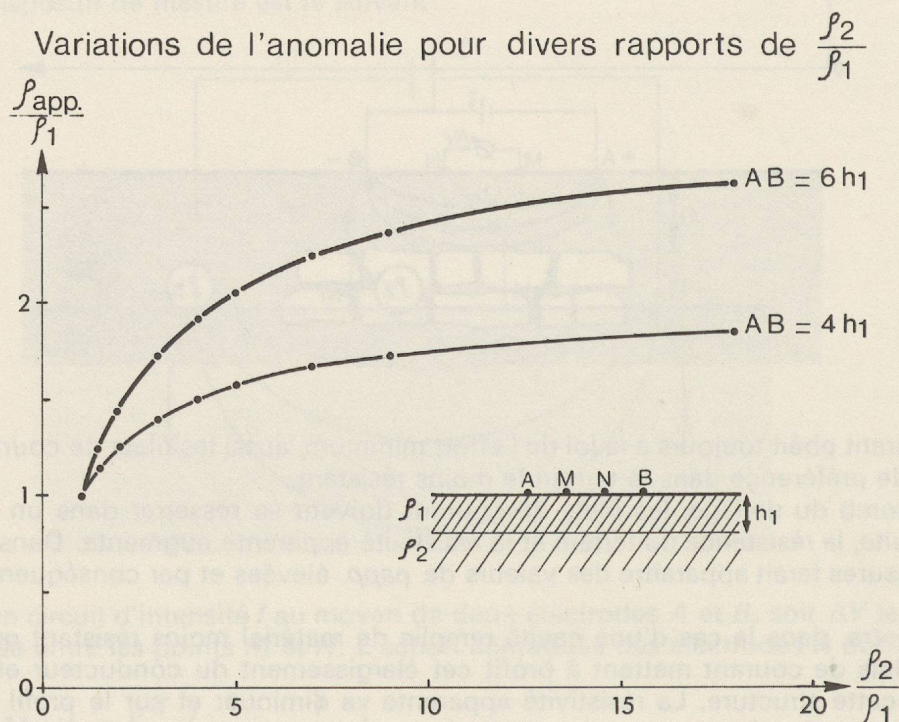


Figure 35

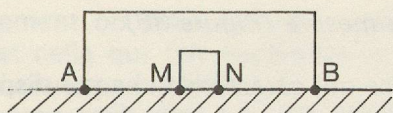
Il ressort de cet exemple que plus le contraste ρ_2/ρ_1 est grand, plus l'anomalie relative est forte; cependant, même pour des contrastes très marqués, la résistivité apparente, dans l'exemple choisi, tend au maximum vers $\rho_{app} = 3 \cdot \rho_1$.

A voir la figure 35, il pourrait sembler que le corps perturbateur ρ_2 apparaît d'autant mieux que la longueur du dispositif est grande par rapport à l'épaisseur h_1 de ρ_1 . Ceci n'est vrai que pour un terrain ρ_2 infini vers le bas, lorsqu'il s'agit d'un corps de dimensions déterminées, le choix de la longueur du dispositif n'est pas aussi simple. Nous reviendrons sur ce point.

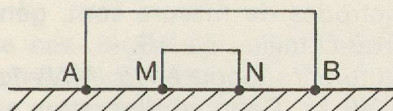
Exécution des mesures

Si la qualité des résultats obtenus en prospection électrique dépend pour une part des contrastes de résistivité entre la norme et les structures recherchées, elle dépend aussi des modalités d'exécution des mesures. Pour dresser une carte ou un profil de résistivités, il faut pour l'essentiel émettre un courant connu I dans le sol et mesurer dans ce dernier une différence de potentiel ΔV . Ceci étant, le choix du dispositif ne peut pas être laissé au hasard. Certains éléments sont à fixer au préalable, ce sont :

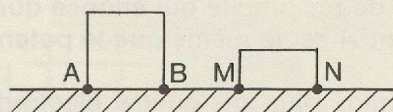
- L'arrangement des électrodes
- La longueur du dispositif
- La densité des mesures
- La disposition des mesures sur le terrain.



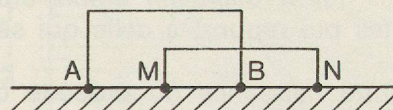
Dispositif Schlumberger



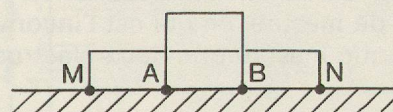
Dispositif Wenner classique α



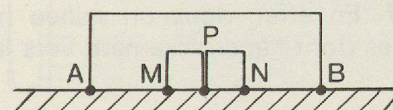
Dispositif Wenner β



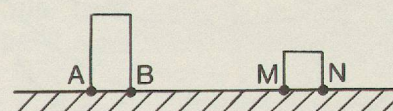
Dispositif Wenner γ



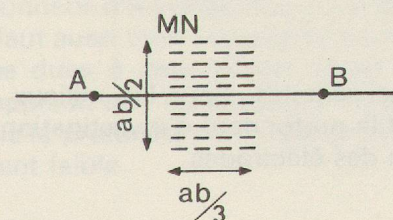
Dispositif Wenner inverse



Dispositif de Lee



Dispositif dipôle-dipôle



Profil et rectangle AB

Figure 36

A Les différents dispositifs de mesure (Figure 36).

C'est la configuration géométrique des électrodes qui caractérise chaque dispositif.

Le dispositif le plus couramment employé en prospection est celui dont nous avons parlé, appelé quadripôle et comportant deux pôles pour l'envoi de courant A et B , et deux pour la mesure des différences de potentiel M et N .

Partant de ce quadripôle, il existe plusieurs façons de disposer les électrodes. Le plus souvent, les quatre pôles sont alignés. Les deux électrodes de mesure sont, généralement, à l'intérieur de l'intervalle AB et symétriques par rapport à O milieu de AB .

Dispositif Schlumberger. La distance MN est petite par rapport à AB , $MN=1/5 AB$.

Les dispositifs Wenner, dans ce cas $AM=MN=NB=a$. Cette configuration a souvent été employée en archéologie pour des raisons de commodité, la longueur $AM=MN=NB=a$ est fréquemment de 1 mètre pour les mêmes raisons. Partant du dispositif classique, on peut interchanger les électrodes. Dans un sous-sol homogène, ces quatre dispositifs Wenner doivent fournir une mesure équivalente, en vertu du principe de réciprocité qui énonce que le potentiel créé en un point M par un courant envoyé en un point A est le même que le potentiel qu'aurait créé en A le même courant issu de M .

On peut aussi utiliser des dispositifs comportant plus de quatre électrodes. Dans *le dispositif de Lee*, une cinquième électrode est placée au milieu de MN , ce qui permet de mesurer deux différences de potentiel pour la même position des électrodes AB , l'une entre $MP=\Delta V_1$, l'autre entre $NP=\Delta V_2$.

Il existe enfin des dispositifs dissymétriques, tels que *le dispositif dipôle-dipôle*, MN est extérieur à AB et les distances MN et AB sont petites par rapport à celle qui sépare l'un de l'autre ces deux couples d'électrodes.

Le désir de diminuer les manipulations a donné naissance au procédé dit «profil et rectangle AB ». Dans ce cas, AB restent fixes. A l'intérieur du rectangle $AB/3$, $AB/2$, le champ est sensiblement homogène, on exécute un grand nombre de mesures à l'intérieur de ces limites avec un MN très petit, $MN=1/25$ à $1/50 AB$.

Cette méthode permet de dresser une petite carte des résistivités apparentes, malheureusement le facteur K doit être calculé pour chaque point de mesure, ce qui est l'inconvénient de ce dispositif. Par contre, le fait de ne déplacer entre chaque mesure que deux électrodes constitue un avantage.

B Longueur de ligne et profondeur d'investigation

A première vue la profondeur d'investigation peut sembler liée exclusivement à l'écartement des électrodes d'émission de courant A et B . En effet, dans un milieu homogène la configuration des filets de courant occupe des volumes dont l'accroissement vers la profondeur est proportionnel à l'allongement de AB .

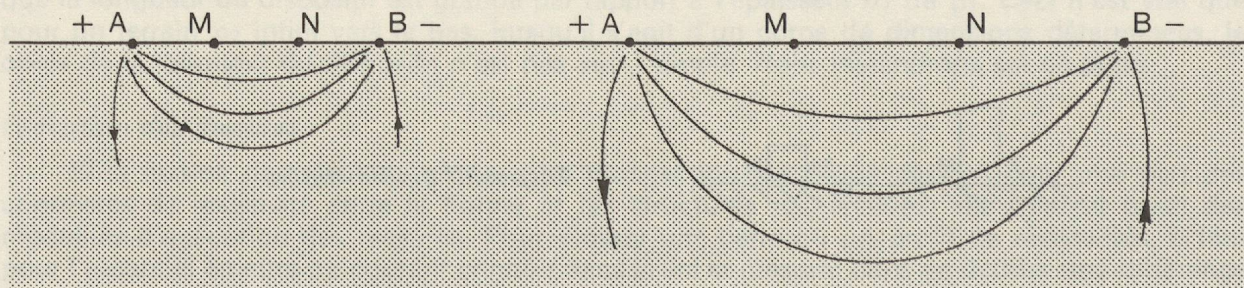


Figure 37

Malheureusement, les choses ne sont pas aussi simples. Pour les milieux hétérogènes surtout, il est difficile de définir avec rigueur ce qu'est la profondeur d'investigation et de quelle manière cette profondeur est corrélée à la disposition des électrodes.

Pratiquement on peut admettre que, dans un cas donné, la disposition optimum des électrodes est celle qui fait apparaître la plus grande variation de la résistivité apparente à l'aplomb de la structure à localiser.

Il faut noter que la disposition et l'écartement des électrodes peuvent être optima pour une couche horizontale mais ne plus l'être pour un amas placé à la même profondeur.

Ces réserves faites, il est cependant utile, pour fixer les idées, de calculer la profondeur d'investigation de divers dispositifs dans le cas simple d'un empilement de couches horizontales.

Dans ce cas, rappelons-le, un dispositif de longueur AB est dit avoir une profondeur d'investigation h lorsqu'il fait apparaître au mieux une couche située à cette profondeur h , c'est-à-dire lorsque cette couche affecte le plus la courbe des résistivités apparentes.

Un exemple fera saisir aisément cette notion qui n'est pas très usuelle.

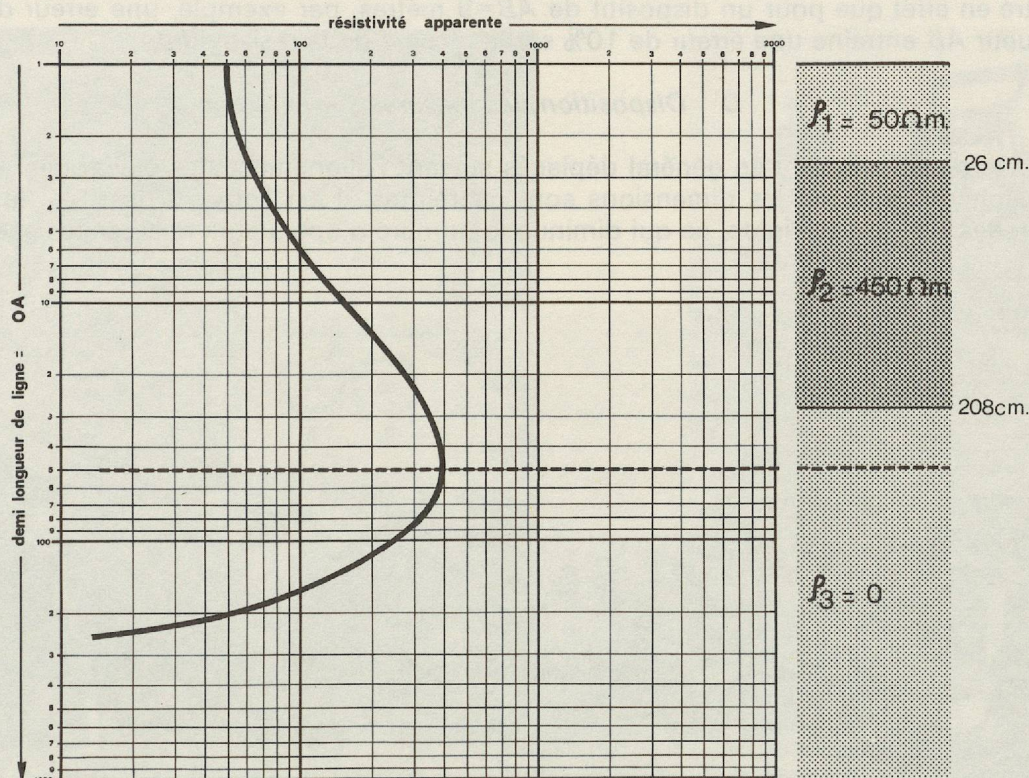


Figure 38

L'exemple ci-dessus montre que la couche p_2 située entre 26 cm et 208 cm, disons, pour fixer les idées, à 1 mètre de profondeur, se marque le plus fortement lorsque $AB=10$ mètres, c'est-à-dire que, dans ce cas, la profondeur d'investigation d'une ligne de 10 mètres vaut 1 mètre; on parle alors d'une profondeur d'investigation de 0,1.

En fait la profondeur d'investigation dépend à la fois de la position des électrodes d'émission A et B et de celle des électrodes de mesure M et N .

On a pu calculer que pour le cas des couches horizontales, la profondeur d'investigation est de 0,125 pour le dispositif Schlumberger, de 0,11 pour le dispositif Wenner, de 0,195 pour un double dipôle et enfin de 0,135 pour un dispositif focalisé.

La profondeur d'investigation n'est pas seule en cause dans le choix d'une longueur de dispositif. Il faut aussi tenir compte du pouvoir de résolution, c'est-à-dire le pouvoir de discerner les anomalies dues à deux objets assez rapprochés. D'après les récents travaux de Roy et Apparao, il apparaît que les systèmes Wenner et Schlumberger ont un bon pouvoir de résolution, alors que la profondeur d'investigation de ces deux arrangements est comme nous l'avons vu relativement faible.

Le choix du dispositif de mesure et de sa longueur a donc une importance capitale. Toute campagne de prospection devrait débuter par une série d'essais destinés à bien fixer ce choix.

C Densité des mesures

Lorsqu'on déplace sur le terrain un dispositif fixe pour dresser des profils ou une carte de résistivités, l'intervalle entre les mesures doit être choisi en fonction des dimensions des structures archéologiques.

Idéalement, compte tenu de la taille moyenne des murs, tombeaux, etc., cet intervalle ne devrait pas être supérieur à 1 mètre. Dans la pratique, s'il s'agit d'une prospection générale, on fait le plus souvent des mesures avec un pas égal à la longueur du dispositif, soit 3 mètres, 5 mètres, 9 mètres, etc. Par contre, lors d'un levé de détail, on peut réduire l'intervalle entre les mesures à 50 centimètres par exemple.

Dans tous les cas, il faut mesurer avec grand soin la distance entre les électrodes. On montre en effet que pour un dispositif de $AB=9$ mètres, par exemple, une erreur de 5% sur la longueur AB entraîne une erreur de 10% sur la mesure de la résistivité.

D Disposition des mesures sur le terrain

Les dispositifs sont en général déplacés suivant l'alignement des électrodes. En prospection archéologique où les dimensions sont restreintes, il est souvent possible de monter les électrodes sur un bâti rigide, ce qui diminue le nombre d'opérateurs nécessaires sur le terrain.



En général, on exécute ainsi une série de profils, parallèles entre eux et distants de quelques mètres. Ces profils doivent si possible être perpendiculaires à l'allongement des structures.

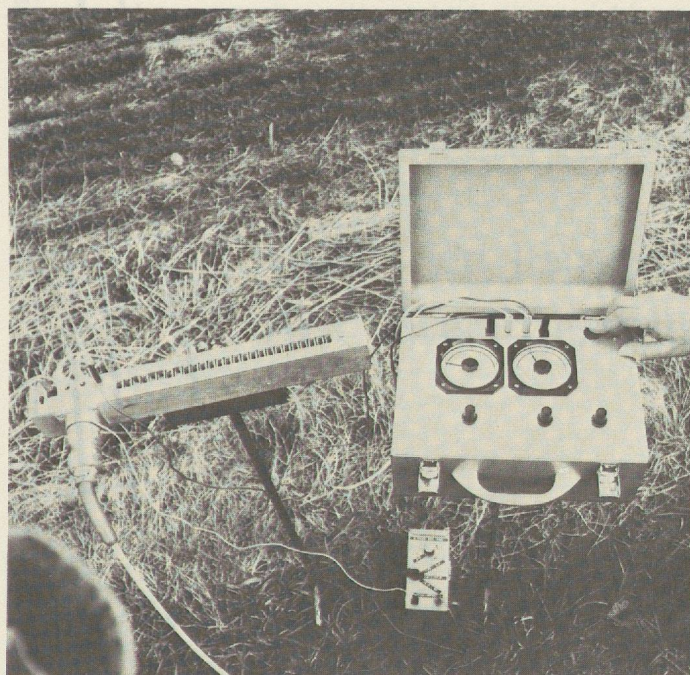
Lorsque les vestiges archéologiques ont des dimensions minimales, il peut être intéressant de resserrer les profils de sorte que la distance entre ceux-ci soit égale à l'intervalle entre les mesures. On obtient ainsi un quadrillage. Cette méthode permet de tracer de bonnes cartes de résistivités et les zones d'anomalies sont alors délimitées avec précision.

L'interprétation des profils et des cartes de résistivités est facilitée par la comparaison des résultats obtenus à l'aide de différentes longueurs de ligne. L'emploi de traînées de plusieurs longueurs permet d'obtenir des indications sur les variations de la résistivité avec la profondeur et facilite souvent la distinction entre des structures dissemblables, mais produisant sur un seul traîné des effets presque analogues.

Pour éviter d'avoir à repasser plusieurs fois sur les divers points de mesure, nous avons utilisé un système permettant de faire des traînées simultanées à plusieurs longueurs de ligne.

Ce système peut être décrit comme suit: un câble de 26 conducteurs, souple, avec une sortie tous les 50 centimètres ou tous les mètres est posé sur le sol. Chaque sortie est fixée à une électrode. Un clavier branché au bout du câble permet d'utiliser indifféremment n'importe quel groupe d'électrodes.

Après avoir mis à profit toute la longueur du câble, on déplace le système selon une direction choisie au préalable. L'intervalle entre les mesures peut être égal, au minimum, à la distance entre chaque sortie, soit par exemple 50 centimètres ou 1 mètre.



Grâce à ces divers aménagements de l'appareillage, les mesures sont beaucoup plus rapides de nos jours qu'il y a une dizaine d'années. Les progrès réalisés par les instruments de mesure eux-mêmes ne sont pas étrangers à cette évolution.

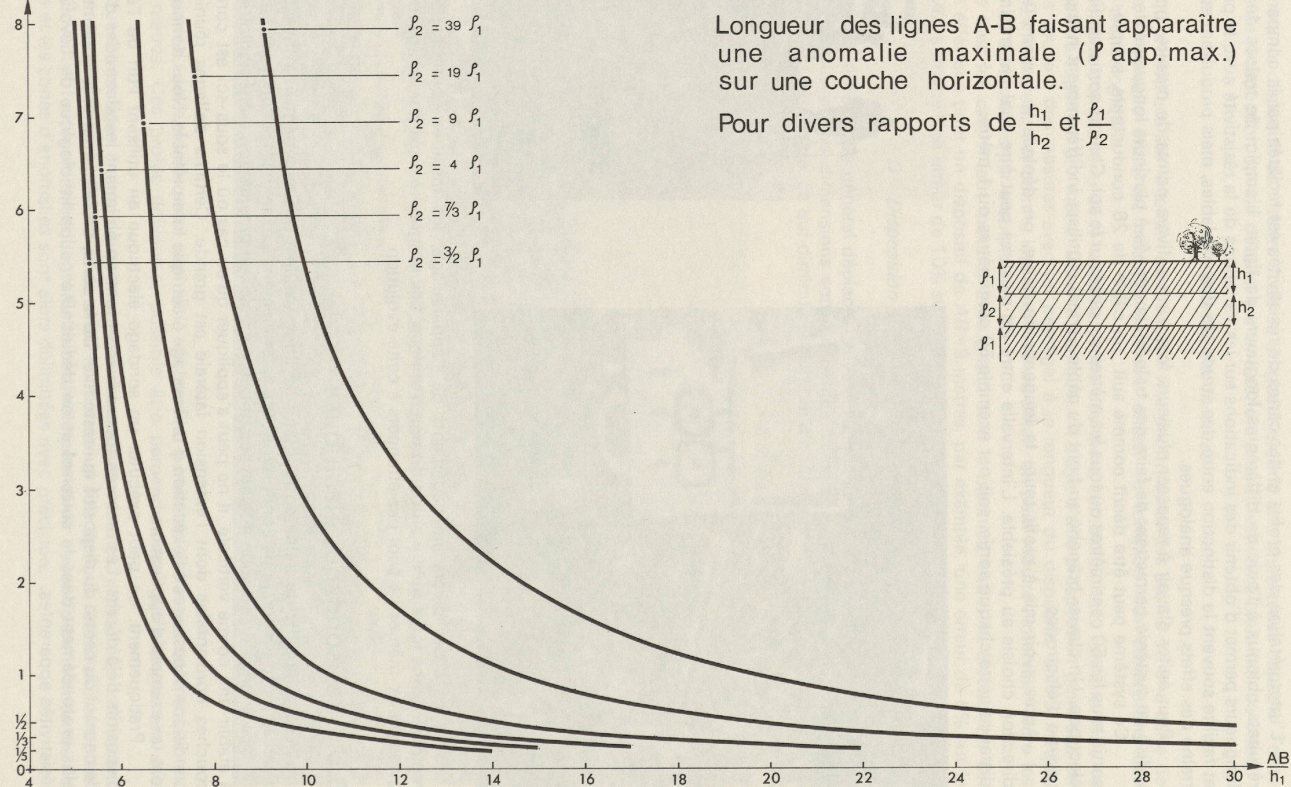
6.5 Les sondages électriques

Les dispositifs de traîné en longueur de ligne variable et permettant une investigation à diverses profondeurs, nous conduisent tout naturellement à examiner les sondages électriques.

Le sondage électrique a relativement peu d'emploi en prospection archéologique. Destiné à établir une coupe verticale, il ne peut s'appliquer qu'au cas où le sous-sol est constitué de couches horizontales dont l'extension latérale est grande. Certains dallages réunissent les conditions nécessaires à l'exécution d'un sondage électrique interprétable. Nous donnerons plus loin un exemple d'application.

Pratiquement, on peut exécuter un sondage électrique en utilisant l'un ou l'autre des dispositifs déjà décrits. Les mesures successives se font en éloignant les électrodes d'émission de courant du centre du dispositif qui reste fixe. De la sorte, on fait pénétrer le courant toujours plus profondément dans le sous-sol et on déduit une coupe lithologique de l'évolution des résistivités apparentes.

Figure 39



6.6 Effets de quelques structures archéologiques simples sur les résistivités apparentes

Les couches horizontales

Les formations horizontales sont les plus faciles à mettre en évidence, tant grâce aux profils de résistivités que grâce aux sondages électriques. Tant que les couches sont « très étendues », l'interprétation des résultats reste simple malgré quelques ambiguïtés.

La figure 39, page 70, illustre l'effet d'une couche résistante ρ_2 , dallage ou niveau de débris par exemple, plongée dans un milieu plus conducteur ρ_1 .

Pour chaque épaisseur du niveau résistant ou de sa couverture conductrice, il est possible de prévoir quelle sera la longueur de ligne optimale, c'est-à-dire celle faisant apparaître une anomalie maximale.

Comme le montre la figure 39, cette longueur de ligne varie non seulement avec le rapport h_1/h_2 mais aussi avec le rapport ρ_1/ρ_2 . Il faut remarquer que la longueur de ligne efficace peut être la même pour des valeurs de h_1/h_2 variables, pour autant que les contrastes de résistivité varient aussi.

Il est important d'utiliser des lignes de longueur aussi voisines que possible de l'optimum. On peut calculer à priori l'anomalie maximum provoquée par la présence dans le sous-sol d'une couche résistante ρ_2 , anomalie qui n'est pas toujours très marquée.

Valeurs de l'anomalie maximum $\frac{\rho_{app.}}{\rho_1}$
Pour divers rapports de $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ et $\frac{h_2}{h_1}$

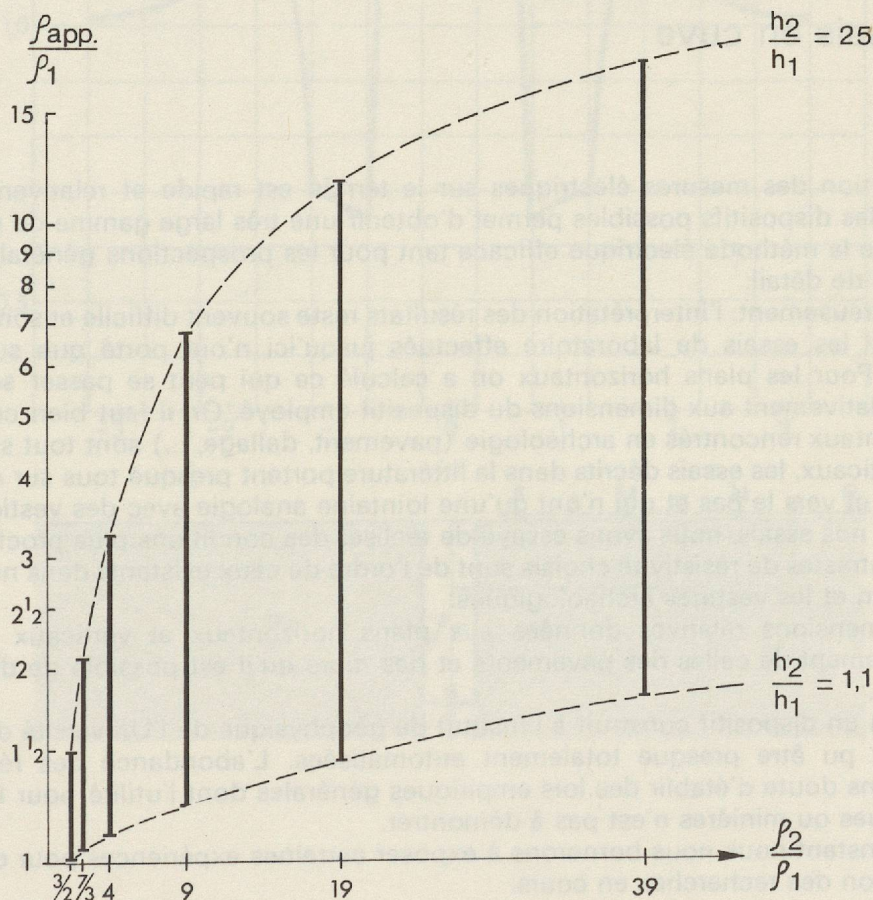


Figure 40

Pratiquement sur le terrain, qui par sa nature géologique n'est pas parfaitement homogène, l'attention n'est attirée que par des anomalies qui se chiffrent par des résistivités au moins 1,3 fois plus fortes que la norme.

Quand les couches horizontales ne sont pas «très étendues», les choses se compliquent singulièrement, toute prévision analytique devient pratiquement impossible, l'analyse ne peut se faire que grâce à l'étude de modèles réduits, nous y reviendrons ultérieurement.

Les couches verticales

Dans ce cas encore, seules les couches très grandes, voire infinies, provoquent des effets prévisibles mathématiquement. Les autres cas, c'est-à-dire presque tous ceux qui intéressent la prospection archéologique, doivent être étudiés sur des modèles analogiques.

La figure 41 représente un profil de résistivités calculé sur une couche verticale de profondeur infinie (ρ_2). Dans cet exemple $\rho_2=9$. ρ_1 et le dispositif utilisé est un Wenner pour lequel la distance entre électrodes (a) vaut deux fois l'épaisseur de la couche verticale.

On remarque immédiatement sur le profil la présence de trois pics. Le plus important des trois apparaît lorsque les électrodes de mesure MN passent sur le résistif, il attire l'attention sur la structure recherchée. Par contre, les deux pics latéraux sont produits par le passage de A et B sur la couche verticale, un observateur inexpérimenté pourrait y voir l'effet de deux structures supplémentaires.

Ces remarques expliquent pourquoi il peut être utile, malgré certaines difficultés, d'utiliser des dispositifs où seuls M et N sont déplacés, alors que A et B restent fixes, du moins temporairement.

6.7 Essais en cuve

Introduction

L'exécution des mesures électriques sur le terrain est rapide et relativement simple. La multiplicité des dispositifs possibles permet d'obtenir une très large gamme de résultats, ce qui devrait rendre la méthode électrique efficace tant pour les prospections générales que pour les prospections de détail.

Malheureusement, l'interprétation des résultats reste souvent difficile et sommaire. En effet, les calculs et les essais de laboratoire effectués jusqu'ici n'ont porté que sur des cas bien particuliers. Pour les plans horizontaux on a calculé ce qui peut se passer sur des couches «infinies» relativement aux dimensions du dispositif employé. Or, il faut bien constater que les plans horizontaux rencontrés en archéologie (pavement, dallage, ...) sont tout sauf infinis. Pour les plans verticaux, les essais décrits dans la littérature portent presque tous sur des plans infinis latéralement et vers le bas et qui n'ont qu'une lointaine analogie avec des vestiges de murs.

Lors de nos essais, nous avons essayé de réaliser des conditions plus proches de la réalité.

- Les contrastes de résistivité choisis sont de l'ordre de ceux existants dans nos régions entre le terrain et les vestiges archéologiques.
- Les dimensions relatives données aux plans horizontaux et verticaux se rapprochent sensiblement de celles des pavements et des murs qu'il est possible de détecter dans nos régions.

Grâce à un dispositif construit à l'Institut de géophysique de l'Université de Lausanne, les mesures ont pu être presque totalement automatisées. L'abondance des résultats obtenus permettra sans doute d'établir des lois empiriques générales dont l'utilité pour les prospections archéologiques ou minières n'est pas à démontrer.

Pour l'instant nous nous bornerons à exposer certaines expériences pour donner une idée de l'orientation des recherches en cours.

Profil des résistivités apparentes ($\rho_{app.}$) au passage d'un mur vertical infini.

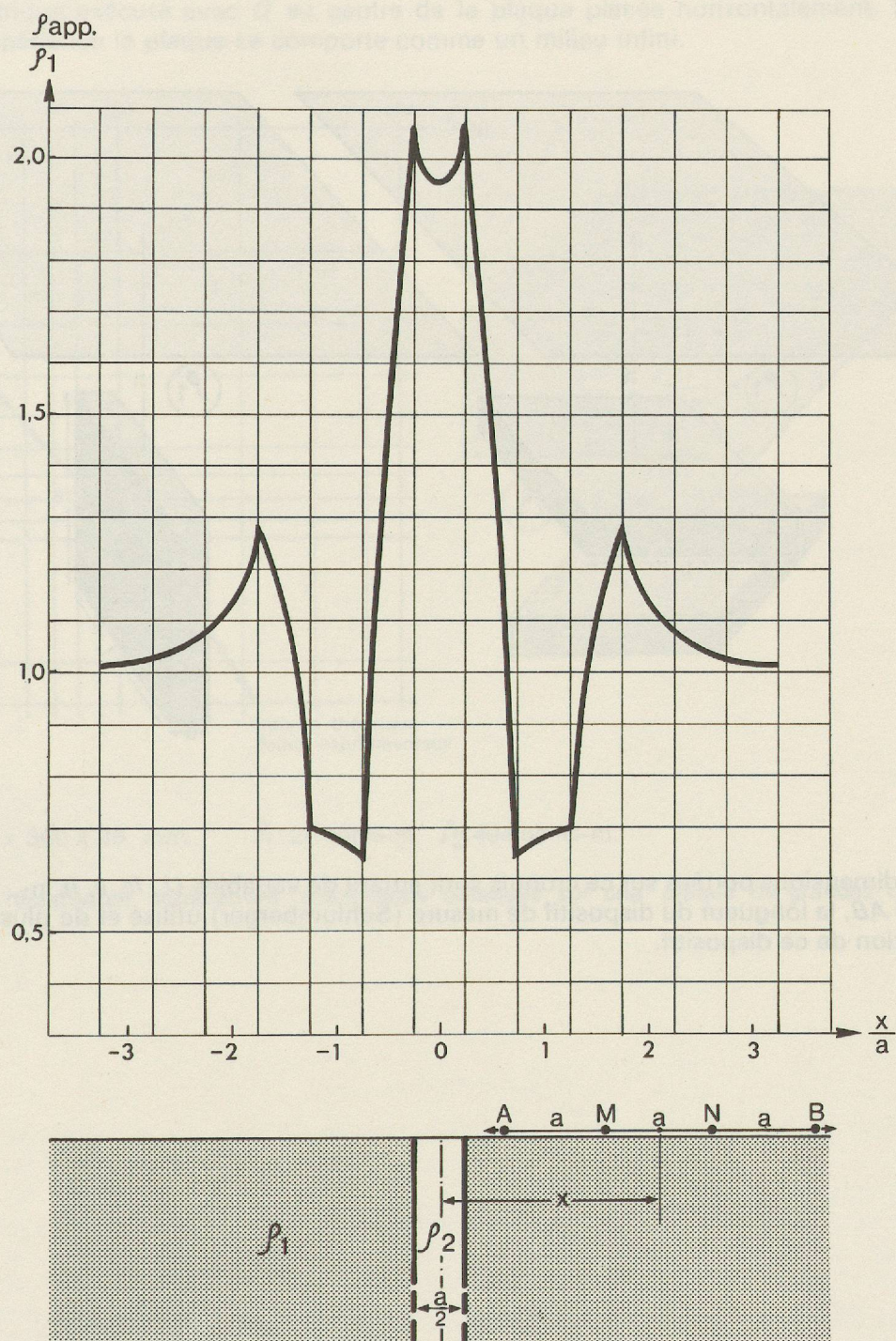


Figure 41

Premières expériences

Dans un premier temps nous nous sommes attachés à définir les variables à considérer dans un modèle réduit (plaque horizontale ou verticale) et à examiner l'allure générale des courbes de résistivités apparentes obtenues sur un tel modèle.

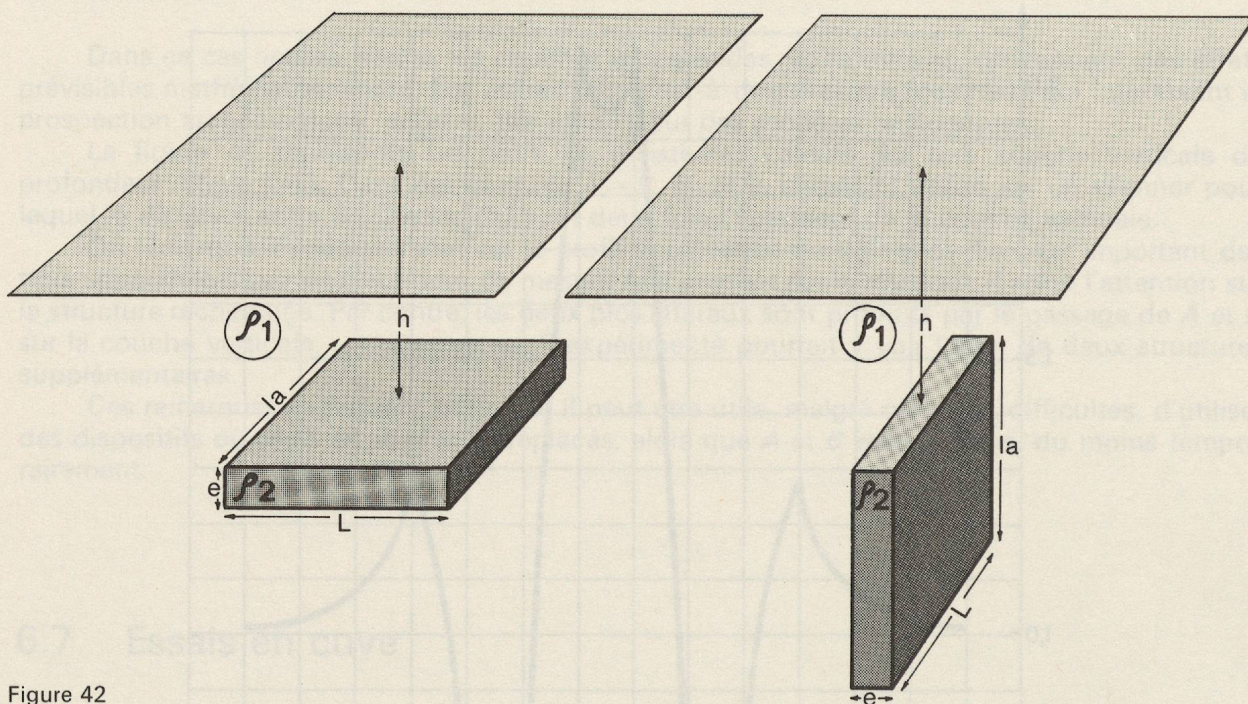
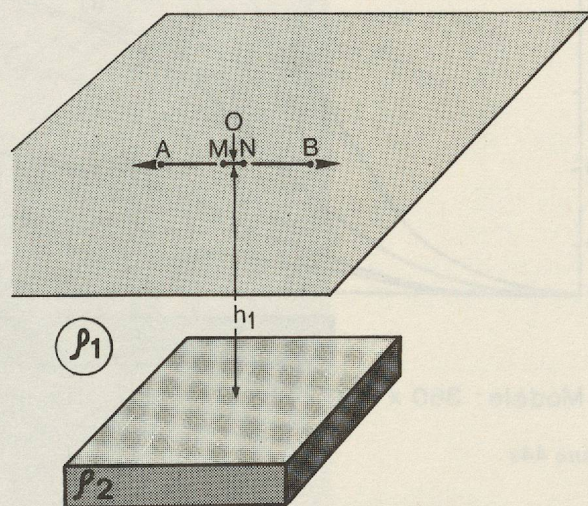
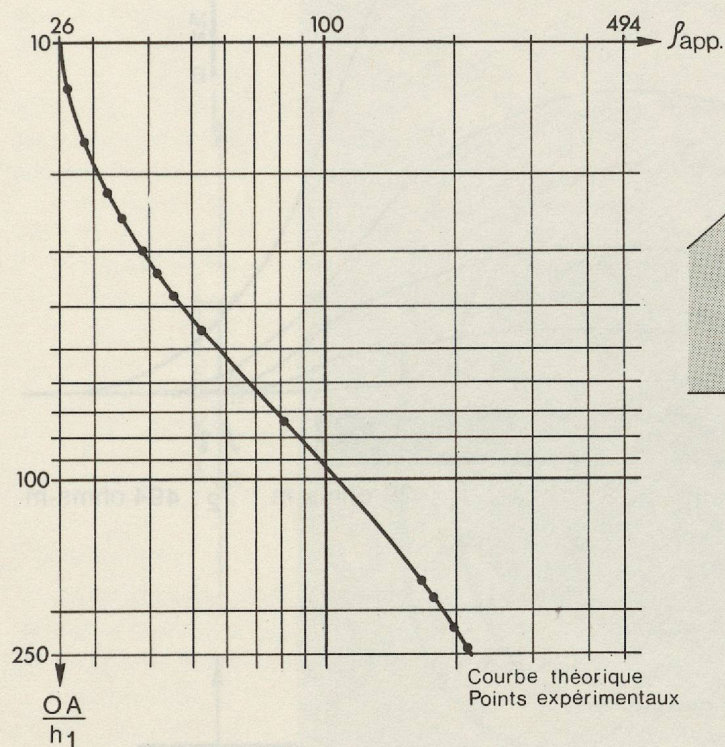


Figure 42

Les dimensions portées sur ce croquis sont autant de variables ($L, la, e, h, \rho_1, \rho_2$); on peut y ajouter AB , la longueur du dispositif de mesure (Schlumberger) utilisé et de plus la position et l'orientation de ce dispositif.

Allure générale des anomalies

Pour mettre en évidence l'allure générale des anomalies, nous nous sommes bornés tout d'abord à faire varier seulement AB/h d'une part, et d'autre part la position et l'orientation du dispositif par rapport à la plaque. Cette dernière a été choisie carrée avec $L=a=360$ mm, $e=25$ mm, $\rho_1=26$ ohms.m., $\rho_2=494$ ohms.m. La figure 43 rend compte des résultats d'un sondage électrique exécuté avec O au centre de la plaque placée horizontalement. Dans les limites de l'expérience la plaque se comporte comme un milieu infini.



Modèle 360 x 360 x 25 mm. ρ_1 : 26 ohms-m. ρ_2 : 494 ohms-m.

Valeurs des résistivités apparentes maximales obtenues sur une plaque de grandes dimensions.

Figure 43

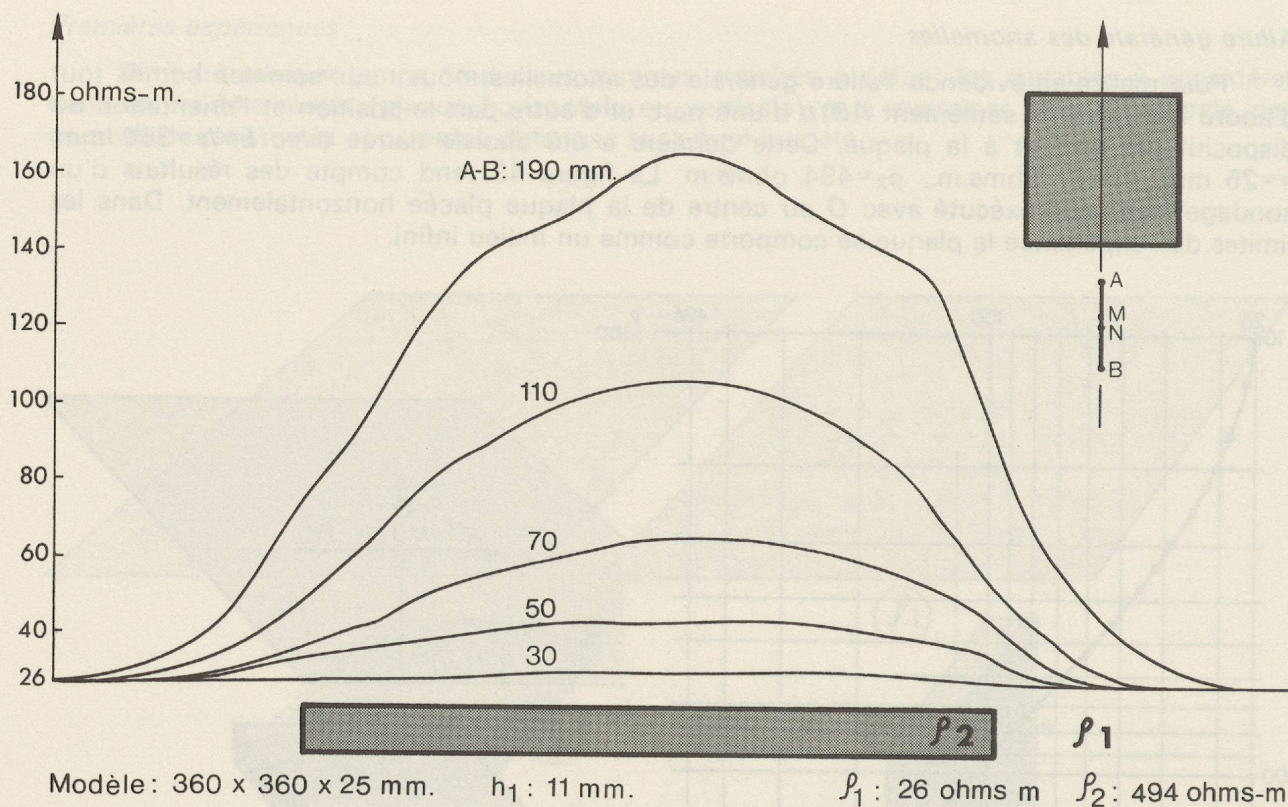


Figure 44a

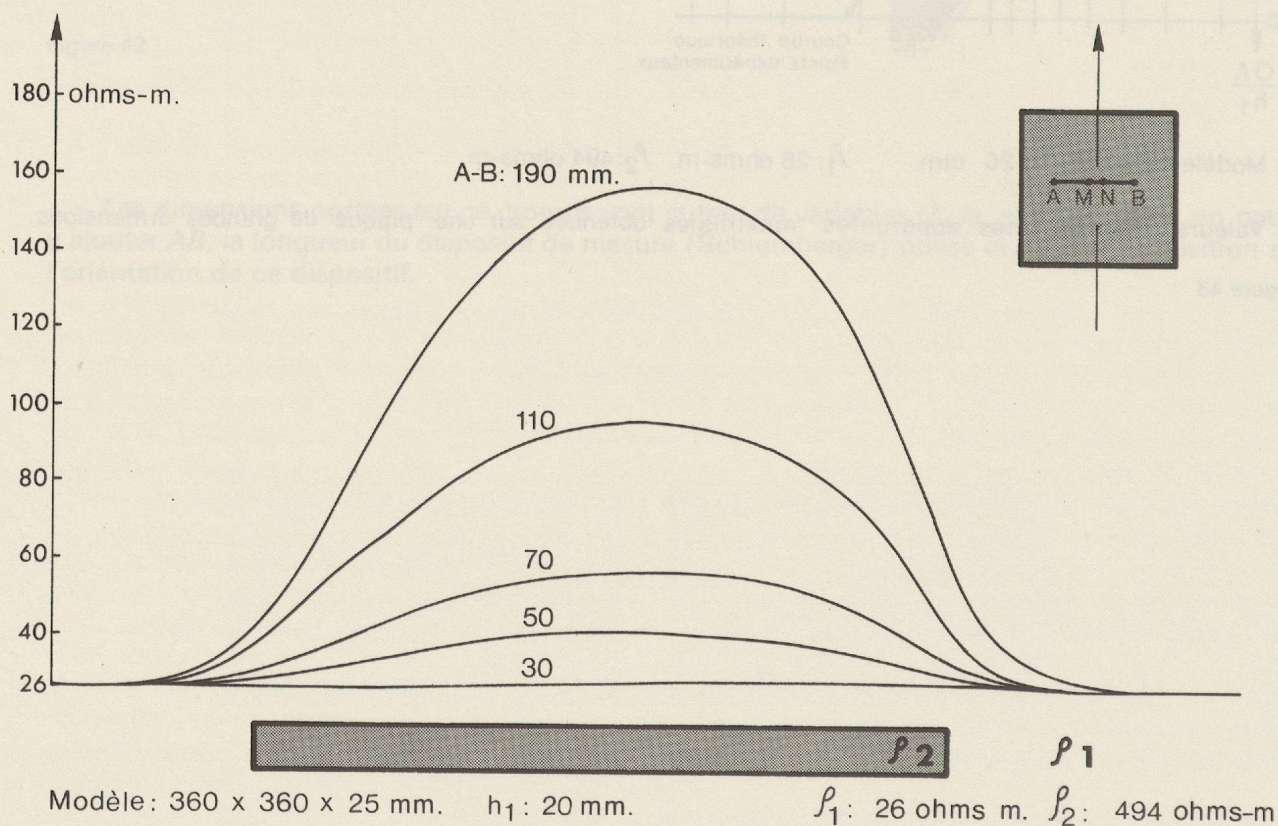


Figure 44b

Les figures 44_a et 44_b montrent l'allure des profils de résistivités lorsqu'on passe au-dessus de la médiane de la plaque horizontale avec un traîné longitudinal et un traîné transverse. L'effet de l'orientation du dispositif de traîné est mis en évidence sur la vue en plan de l'anomalie provoquée par la plaque carrée décrite ci-dessus (figure 45).

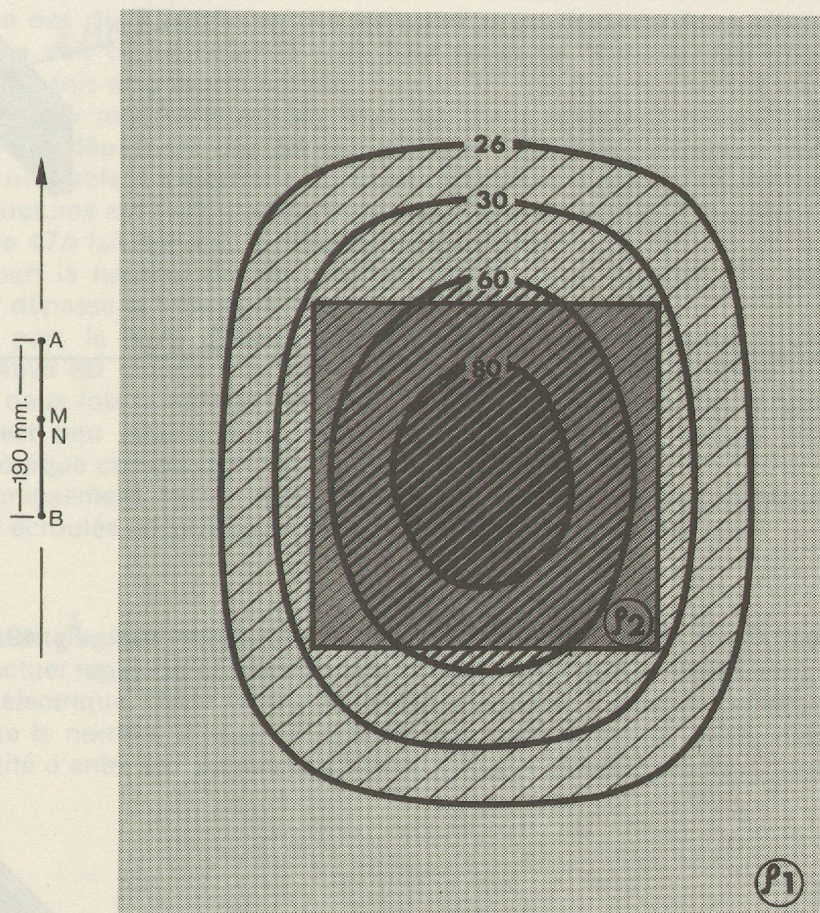


Figure 45

Modèle : 360 x 360 x 25 mm.
 $h_1 = 20$ mm.

$\rho_1 = 26$ ohms-m.
 $\rho_2 = 490$ ohms-m.

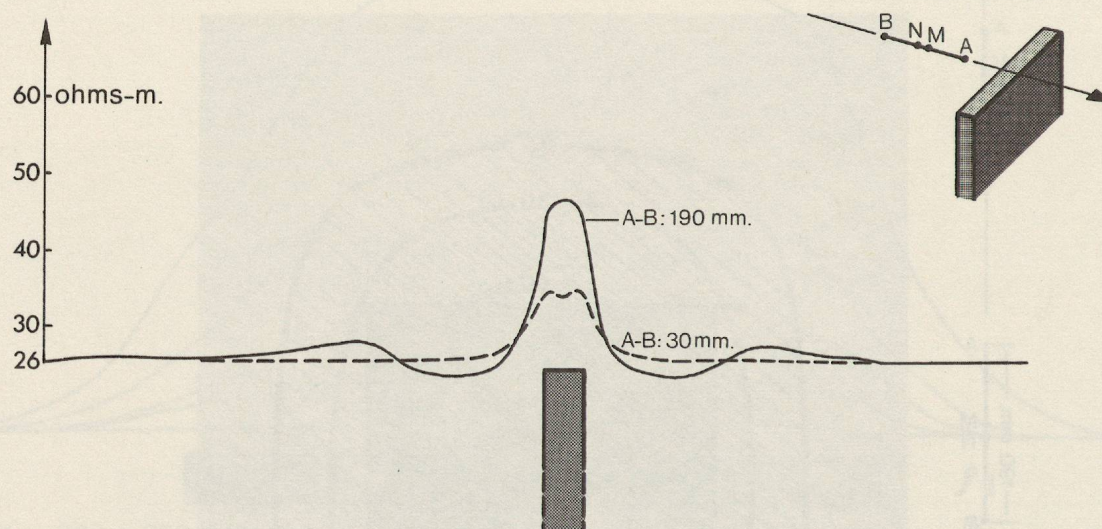
L'allure générale des anomalies sur une plaque verticale, qui peut être en archéologie assimilée à un mur, est elle aussi bien caractéristique.

La figure 46_a fait apparaître pour une ligne $AB=190$ mm un pic principal à l'aplomb du mur et deux pics secondaires latéraux. Pour les lignes plus courtes, $AB=30$ mm dans notre exemple, les pics latéraux disparaissent alors que le pic principal se subdivise en deux lobes. Quant à la figure 46_a, elle montre comment évoluent les résistivités des maxima lorsque les profils électriques recoupent le mur à diverses distances de ses extrémités.

L'examen même superficiel des anomalies obtenues sur une plaque carrée nous apporte déjà quelques renseignements :

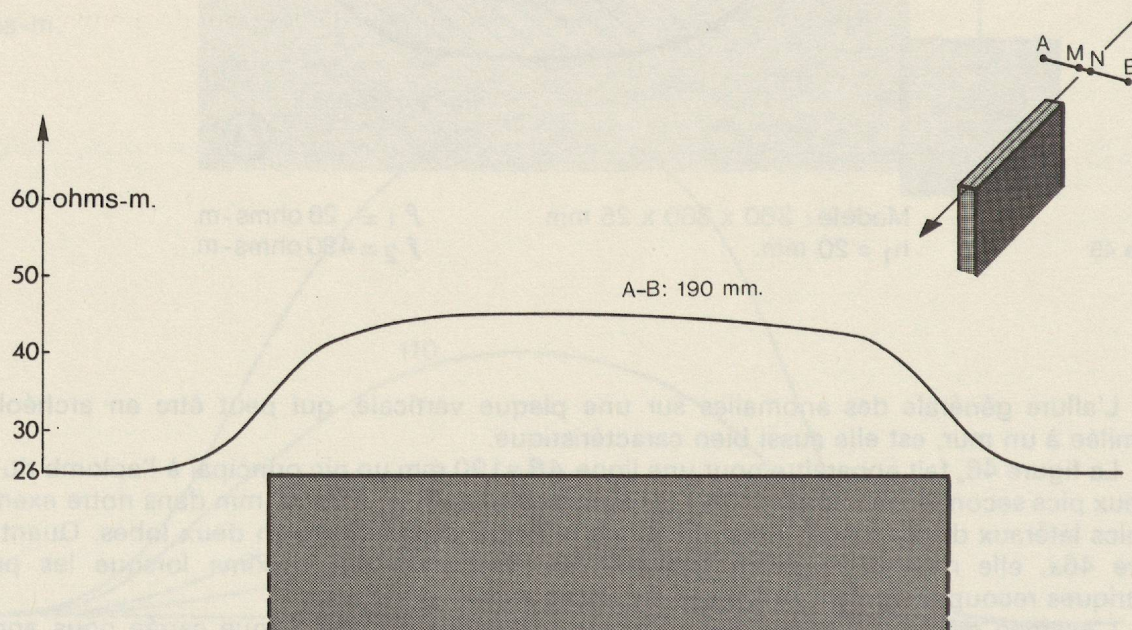
- Dans les limites fixées à l'expérience, l'anomalie observée est d'autant plus forte que le rapport AB/h est grand.
- Toutes choses restant égales par ailleurs, l'anomalie de la plaque verticale est moindre que celle de la plaque horizontale.

- Par contre, les maxima obtenus sur la plaque verticale décroissent lentement lorsqu'on s'approche des extrémités de celle-ci; alors que les maxima observés sur la plaque horizontale diminuent rapidement en direction des bords de cette dernière.
- En plan, l'anomalie est artificiellement allongée dans le sens parallèle au dispositif. D'autre part, elle diminue en amplitude mais aussi en largeur lorsque le rapport AB/h décroît.



Modèle vertical 360 x 360 x 25 mm. h_1 : 5 mm. ρ_1 : 26 ohms-m. ρ_2 : 494 ohms-m.

Figure 46a



Modèle vertical 360 x 360 x 25 mm. h_1 : 7 mm. ρ_1 : 26 ohms-m. ρ_2 : 494 ohms-m.

Figure 46b

Valeurs des anomalies maximales

Pour mieux simuler les problèmes archéologiques nous avons fait varier les dimensions mêmes de la plaque. Dans cette deuxième phase d'expériences, les changements portent non plus seulement sur AB/h et les orientations du dispositif, mais encore sur la largeur de la plaque lorsqu'elle est horizontale, sa hauteur lorsqu'elle est verticale (voir figure 42).

Pour simplifier un peu la lecture des résultats obtenus, les figures 47a et 47b ne fournissent que les résistivités maximales obtenues pour divers rapports de la/AB et AB/h .

Chacune des deux figures donne les courbes au-dessous desquelles les conditions pour que l'anomalie soit perceptible ne sont plus remplies. Nous avons choisi comme seuil de signification 1,3 fois et 2 fois la norme.

La figure 47a montre que pour tous les plans horizontaux envisagés, un dispositif de longueur AB ne dépassant pas $8h$ est efficace. Une telle longueur reste dans la pratique parfaitement utilisable. La méthode du traîné doit donc s'adapter facilement à la recherche de toutes les structures archéologiques même petites, assimilables à des plans horizontaux.

La figure 47b fait apparaître deux faits importants:

- D'une part la hauteur du plan vertical (la) ne joue que fort peu de rôle dès que cette hauteur dépasse la moitié de AB .
- D'autre part, la ligne d'émission AB nécessaire pour que se manifeste une anomalie significative est longue d'au moins $10h$; elle doit atteindre $40h$ pour que l'anomalie soit égale à deux fois la norme. Il découle de cette observation que le traîné de type Schlumberger est peu adapté à la mise en évidence de murs faisant partie d'une structure archéologique complexe.

Fort heureusement, les vestiges de murailles ou de parois s'accompagnent le plus souvent de matériaux écroulés constituant d'approximatifs plans horizontaux.

Conclusions

La cuve analogique construite à l'Institut de géophysique de l'Université de Lausanne permet d'effectuer rapidement des mesures sur des modèles très variés avec n'importe quel type de dispositif électrique. Cette facilité permettra d'adapter à chaque recherche sa technique.

Bien que le nombre d'essais à réaliser soit théoriquement infini, nous espérons pouvoir réduire quantité d'entre eux à quelques lois empiriques simples, valables pour de grands groupes de cas.

Figure 4/7b

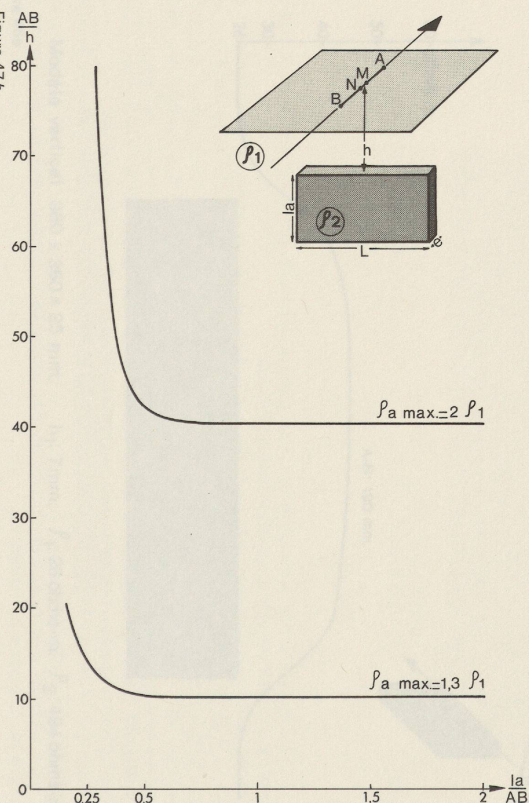
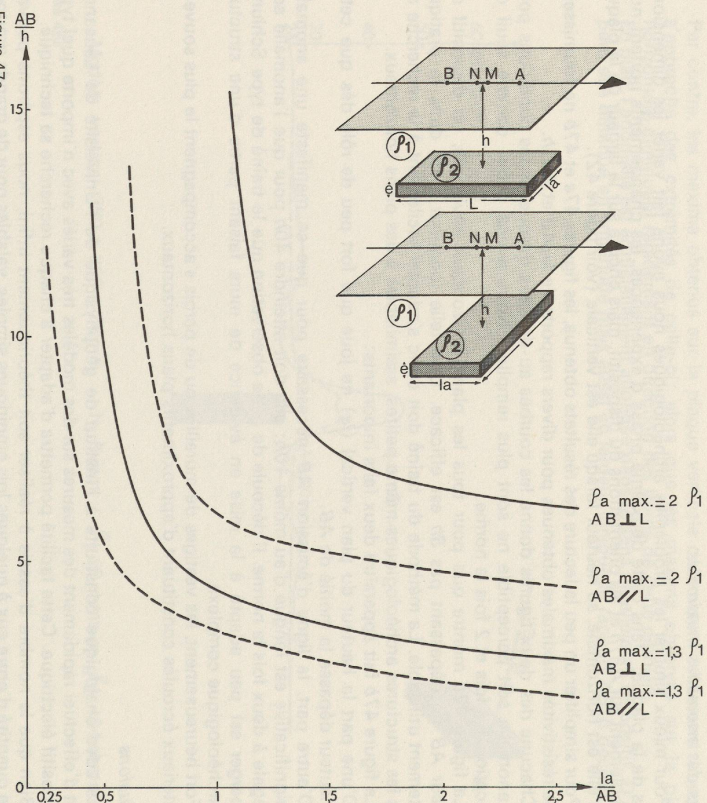


Figure 4/7a



Conditions à remplir en termes de $\frac{la}{AB}$ pour que le maximum de l'anomalie soit égal à $1,3 \times \rho_1$ et $2 \times \rho_1$.

6.8 Le pénétromètre-électrode

Le pénétromètre dynamique est généralement utilisé pour apprécier les qualités mécaniques des terrains de fondation et, dans une moindre mesure, comme outil de reconnaissance géologique. Divers auteurs ont publié des tables montrant les corrélations entre la résistance à l'enfoncement d'un pénétromètre donné et la nature des terrains traversés.

Les informations géologiques recueillies par ce procédé, bien que précieuses, restent souvent assez fragmentaires.

En transformant un pénétromètre en pénétromètre-électrode, il est possible d'améliorer la qualité des renseignements collectés grâce à la mesure simultanée de la résistance à l'enfoncement et de la résistivité électrique des terrains traversés.

Schéma sommaire du
pénétromètre - électrode

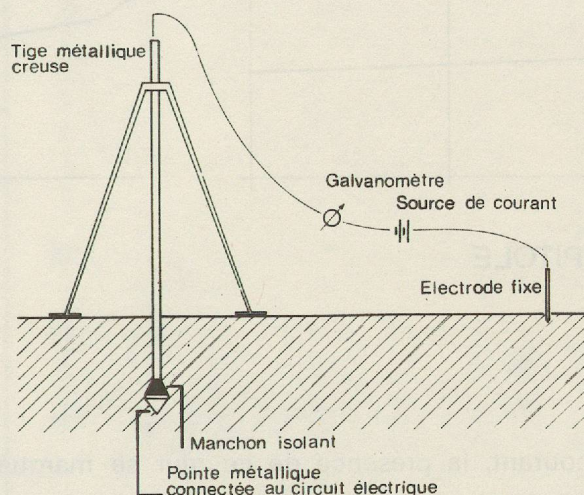


Figure 48

La tête mobile du pénétromètre, une électrode fixe et le sol sont connectés de façon à constituer un circuit électrique. Une tension constante (V) est appliquée à ce circuit, la mesure des valeurs successives prises par le courant (I) fournit immédiatement une image des valeurs relatives des résistivités électriques des couches traversées par la pointe du pénétromètre.

Ultérieurement, il est facile de calculer des résistivités vraies, et par conséquent caractéristiques, de ces couches.

Le pénétromètre en prospection archéologique

Jusqu'à présent, il ne semble pas que la prospection archéologique ait mis à profit les possibilités du pénétromètre.

Divers essais exécutés à Avenches semblent pourtant très concluants (figure 49).

Dans ce cas, la courbe de résistance à l'enfoncement suffit à elle seule à repérer le mur romain enfoui. Elle permet en outre d'en préciser la profondeur.

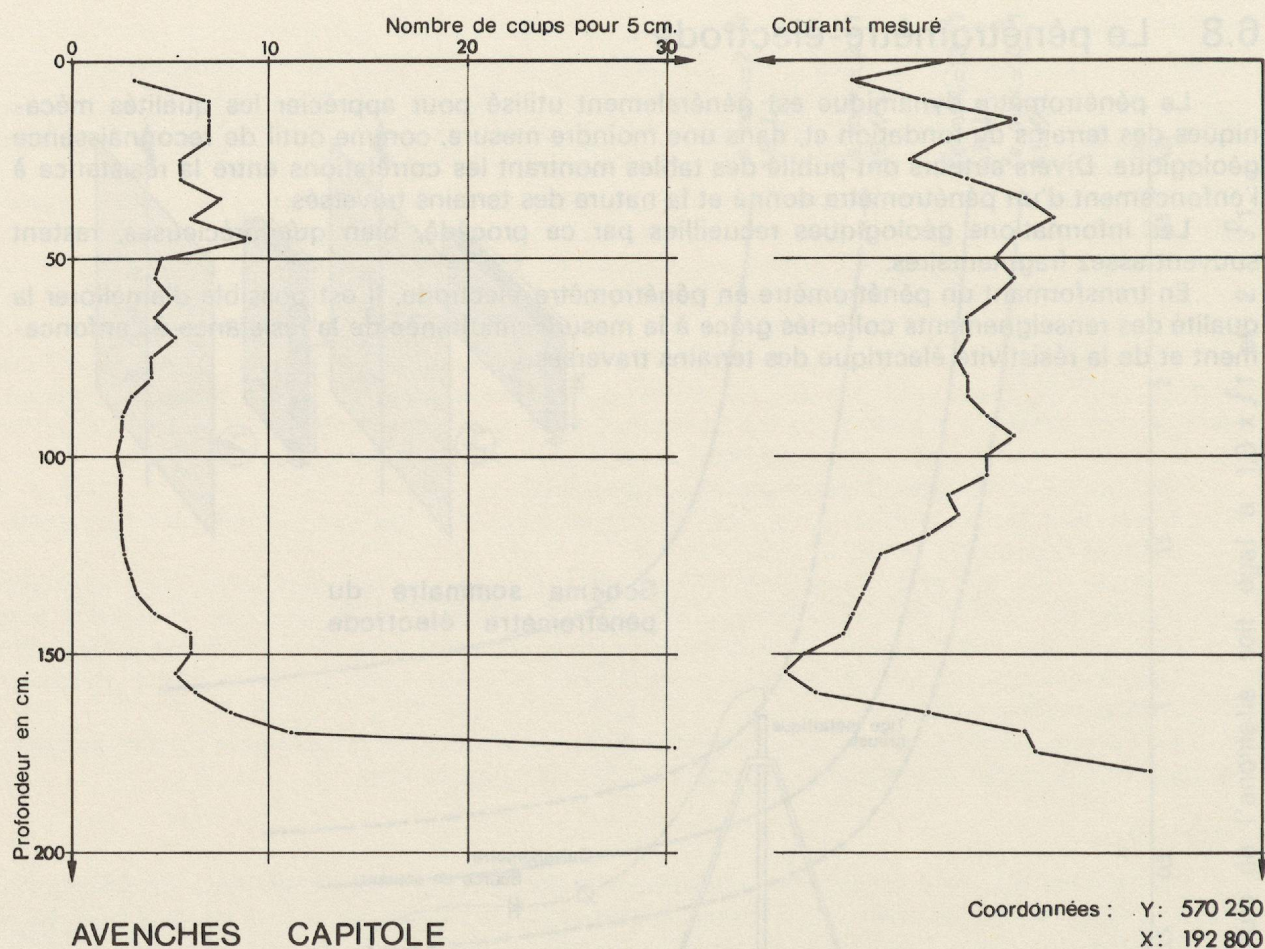
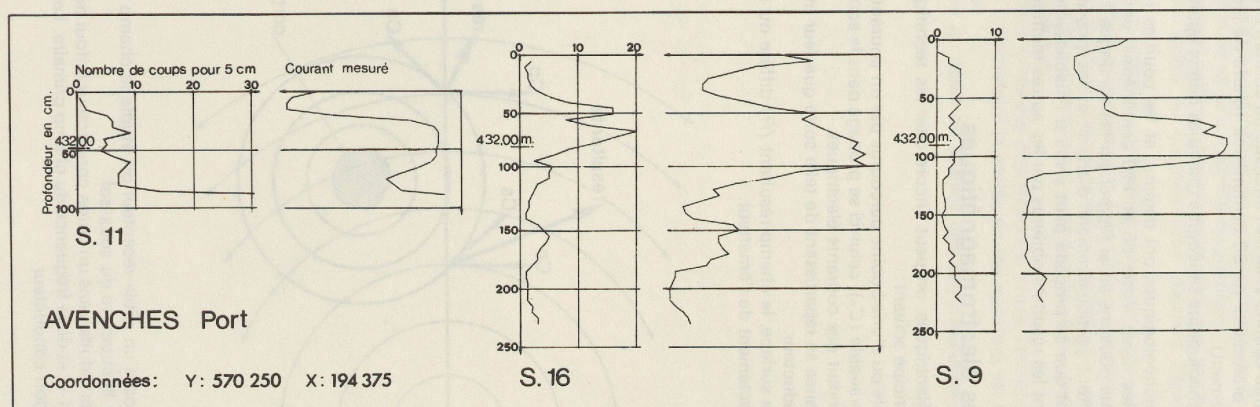


Figure 49

Sur la courbe de courant, la présence de ce mur se marque par une brusque chute d'intensité.

Dans l'exemple suivant (figure 50), l'utilité du pénétrömètre-électrode est encore plus évidente.

Figure 50



La courbe de pénétration comme celle de l'intensité du courant révèlent au *S11* la présence de vestiges romains à une profondeur de 80 centimètres (chute de l'intensité et augmentation de la résistance à l'enfoncement).

Au *S16*, la couche archéologique se réduit à quelques débris épars entre 150 et 180 centimètres.

Au *S9*, les vestiges archéologiques ont disparu, et les courbes reflètent la «stratigraphie normale» de la zone étudiée, avec, entre 65 et 110 centimètres, une couche de sable et de gravillons. Couche que nous pouvons aussi repérer sur les sondages 11 et 16.

Cet exemple permet tout particulièrement d'apprécier les possibilités du pénétrömètre-électrode. Il montre en effet que ce procédé peut servir à l'établissement d'une microstratigraphie qui complète utilement les résultats obtenus par les autres méthodes de prospection.

6.9 Les méthodes électromagnétiques

Parmi les méthodes électriques, on peut encore citer les techniques électromagnétiques. Elles sont basées sur le principe suivant :

Si au moyen d'un câble ou d'une bobine parcourus par un courant alternatif, on produit un champ électromagnétique variable (C_p), celui-ci se propage dans le sous-sol et, mis en présence d'un corps conducteur, y induit des courants électriques.

Ces courants secondaires se répartissent de telle sorte que leur champ électromagnétique (C_s) s'oppose au champ inducteur.

En chaque point de la surface, le champ résultant (R) diffère du champ primaire, c'est-à-dire du champ arrivant directement de l'émetteur.

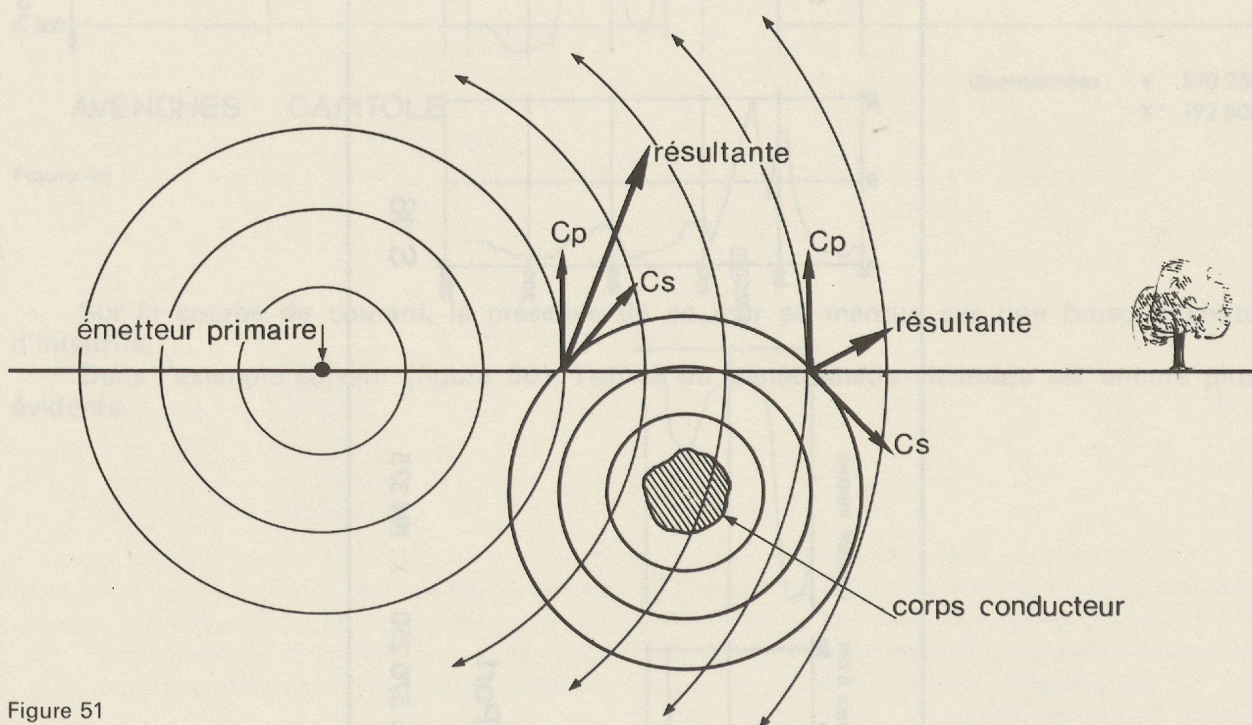


Figure 51

A l'aide d'une bobine ou d'un câble récepteur on étudie le champ résultant, ce qui permet de tirer des conclusions sur la structure du sous-sol.

L'intensité des courants induits dans un corps conducteur enfoui dépend entre autres de la résistivité électrique de celui-ci et de la fréquence du champ primaire. Les courants sont d'autant plus forts que le corps est bon conducteur.

En surface, grâce à la bobine réceptrice, c'est la partie magnétique du champ que l'on mesure; si bien que les résultats sont influencés non seulement par la conductibilité du sous-sol mais aussi par les variations de sa susceptibilité magnétique.

De récentes prospections archéologiques ont montré que des fossés, des remblais ou des tuiles qui sont décelables grâce au magnétomètre peuvent l'être aussi par les méthodes d'induction.

Ces effets, liés à la susceptibilité, sont faibles comparés à ceux causés par la conductibilité, aussi les techniques électromagnétiques sont-elles surtout utilisées pour la recherche de corps conducteurs. C'est ainsi que l'on emploie souvent, en archéologie, des détecteurs de mines, qui révèlent la présence de métaux. Ces derniers sont de très bons conducteurs, leur résistivité est de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-4} ohm.m.

Malheureusement, dans le cas des détecteurs de mines, l'émetteur et le récepteur sont très proches l'un de l'autre, c'est pourquoi la portée de ces appareils est très faible, ce qui en limite considérablement l'usage.

C'est le plus souvent au cours de fouilles que ces détecteurs peuvent rendre de grands services.

Complémentaires de la mesure de la conductibilité, les mesures de la susceptibilité magnétique ont permis de découvrir des structures souterraines que les méthodes de conductibilité ne pouvaient pas révéler. En fait, les fouilles ont montré que les anomalies magnétiques sont souvent dues à des structures souterraines, et que la mesure de la susceptibilité magnétique est une méthode très efficace pour la détection de ces structures. Les anomalies magnétiques sont dues à la présence de métaux, et la mesure de la susceptibilité magnétique permet de les détecter. Les anomalies magnétiques sont dues à la présence de métaux, et la mesure de la susceptibilité magnétique permet de les détecter. Les anomalies magnétiques sont dues à la présence de métaux, et la mesure de la susceptibilité magnétique permet de les détecter.



INSTITUT DE GÉOPHYSIQUE - UNIVERSITÉ DE CAEN - D. Carlier 1978

6.10 Exemples de prospection

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE DE RECONNAISSANCE (Figure 52).

Villa romaine - Mornex - Genève - Suisse.

La figure 52 illustre la toute première prospection archéologique exécutée par l'Université de Lausanne. Nous verrons qu'elle illustre aussi le rôle que peut jouer la chance dans une telle prospection.

A Mornex, les archéologues avaient repéré des fragments de tuiles romaines dispersés dans les prés. Il semblait difficile, sans l'aide de la géophysique, de fixer l'emplacement de la villa d'où paraissaient provenir ces débris.

Les mesures électriques, exécutées sur toute la surface où se rencontraient des tuiles, montrent d'une part que la résistivité du terrain est basse, moins de 80 ohms.m, et d'autre part qu'elle varie très peu. Les circonstances extra-archéologiques sont donc très favorables.

Quelques valeurs, bien groupées, font apparaître une très nette anomalie. Des mesures complémentaires délimitent une surface où la résistivité atteint au moins deux fois et jusqu'à quatre fois la norme. A première vue, nous pouvions penser que cette surface recouvrait l'ancienne habitation romaine.

En fait, les fouilles ont montré que l'anomalie repérée correspond parfaitement aux zones où le sol de la villa a subsisté plus ou moins endommagé. Par contre, des murs relativement importants ont été découverts par les archéologues hors des zones que signalent les résistivités électriques.

Les essais en cuve, que nous décrivons au paragraphe 6.7, ont montré que malgré ses murs importants, la villa de Mornex nous aurait complètement échappé si des pavements et des fragments d'hypocauste n'avaient pas subsisté.

En fait, le dispositif de mesure utilisé ne permettait pas de repérer des murs tels que ceux mis au jour par la suite. Mais cela nous l'ignorions au moment de cette première prospection; seule la chance nous a évité un échec.



Figure 52

A l'aide d'une balance sur un câble récepteur on mesure le champ résultant de la somme des courants sur la structure du sol.

L'intensité des courants induits dans un sol est une fonction de la résistivité électrique de celui-ci et de la fréquence du champ primaire. Les courants sont d'autant plus forts que le corps est plus conducteur.

MORNEX ~ VILLA ROMAINE

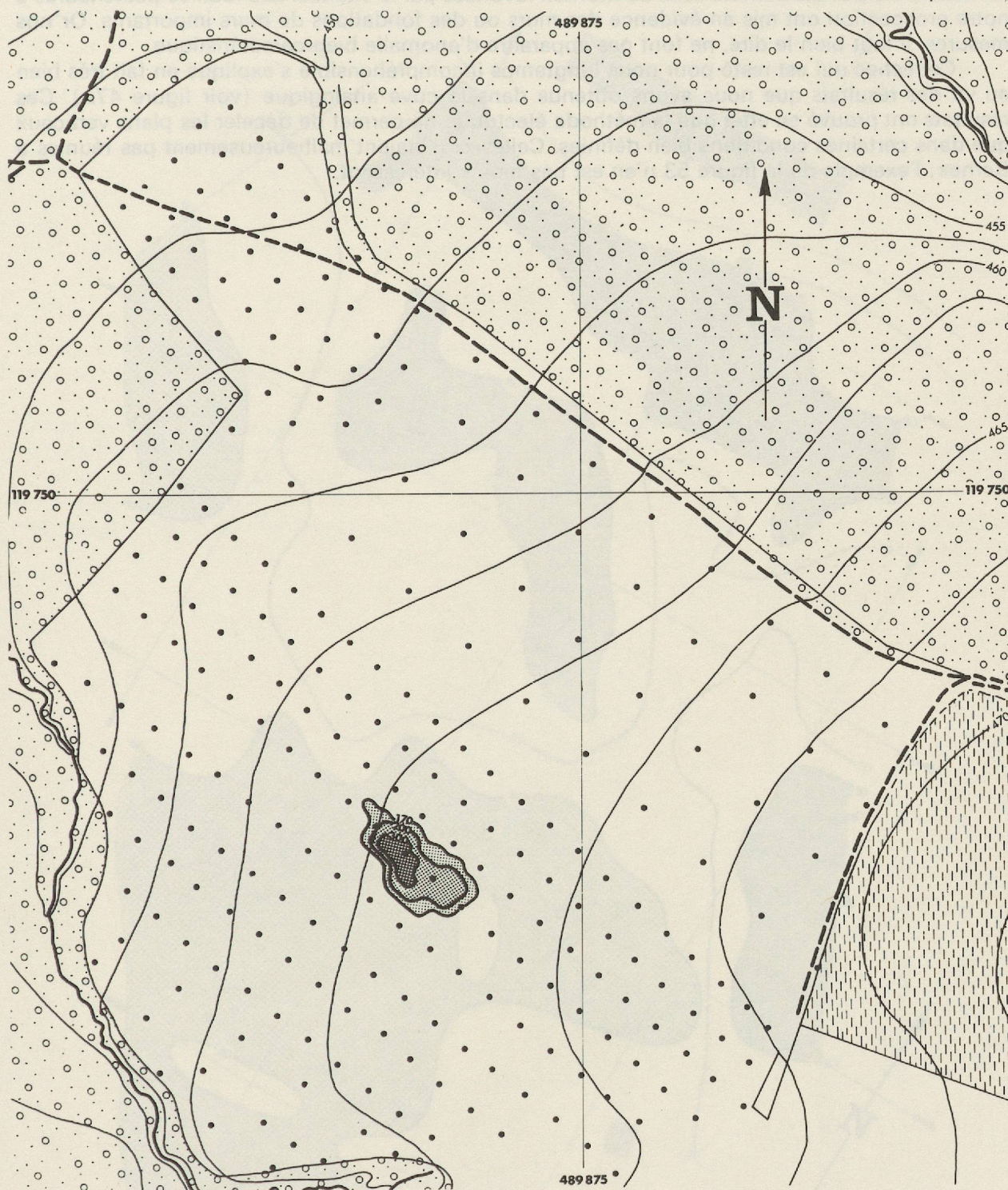
RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

A-B: 5 m.

• Stations de mesures

Valeurs en ohms-m.

Echelle 20 m.



INSTITUT DE GEOPHYSIQUE · UNIVERSITE DE LAUSANNE

D. Chapellier 1973

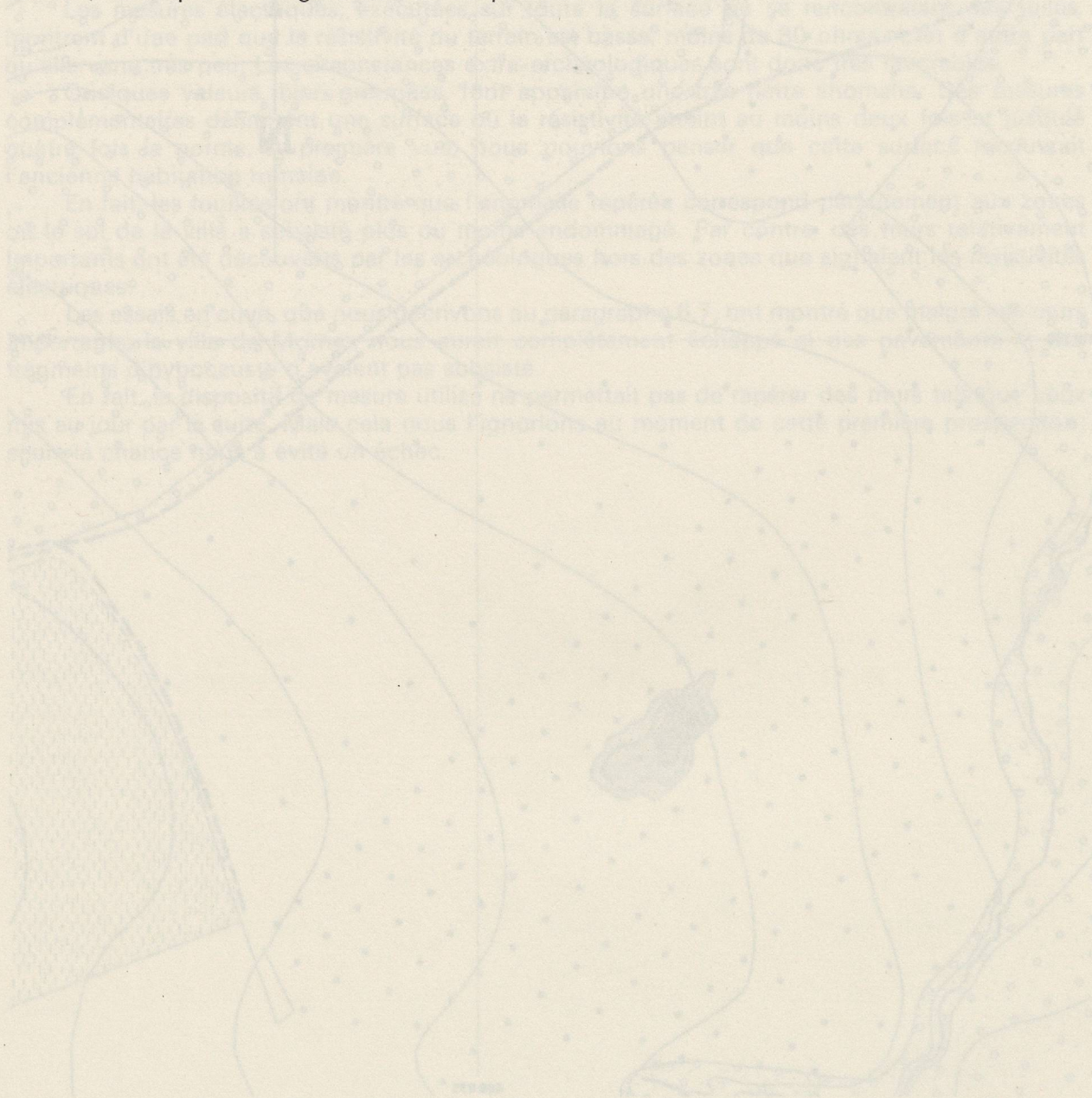
Étude géoélectrique de reconnaissance (Figure 52)

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE DE SEMI-DÉTAIL (Figure 53).

Villa romaine - Bernex - Genève - Suisse.

L'étude de Bernex, exécutée elle aussi avant nos recherches sur le repérage des plans verticaux, n'a pas été comme celle de Mornex favorisée par la chance. Les fouilles postérieures à notre prospection ont mis en évidence des murs ou des fondations de murs importants. Or nos mesures, il faut bien le dire, ne font pas apparaître d'anomalie bien caractéristique.

Cet échec qui est resté pour nous longtemps incompréhensible s'explique en fait très bien au vu des résultats que nous avons obtenus dans la cuve analogique (voir figure 47b). Ces résultats ont prouvé en effet que la méthode électrique ne permet de détecter les plans verticaux que dans certaines conditions bien définies. Celles-ci n'étaient malheureusement pas réunies à Bernex; l'exemple de la figure 53 n'en est pas moins intéressant.



BERNEX ~ VILLA ROMAINE

RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

A-B: 9 m.

Echelle 10 m.

Valeurs en ohms-m.



INSTITUT DE GEOPHYSIQUE
UNIVERSITE DE LAUSANNE

D. Chapellier 1973

Étude géoélectrique de semi-détail (Figure 53)

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE GÉNÉRALE ET DE DÉTAIL (Figures 54 et 55).

Villa romaine - La Chaux - Vaud - Suisse.

Les figures 54 et 55 illustrent deux stades de la prospection électrique exécutée sur l'emplacement probable d'une ville romaine.

Une carte des résistivités obtenue avec une ligne d'émission (*AB*) longue de 9 mètres (figure 54) permet de situer grossièrement l'emplacement des bâtiments anciens qui se disposent approximativement selon un rectangle.

Un examen plus approfondi de cette carte fait apparaître cinq taches particulièrement remarquables présentant des résistivités supérieures à 140 ohms.m.

La tache la plus intéressante, située au centre de la figure 54, est limitée à l'est et au nord par un talus très probablement artificiel. La surface de cette anomalie, plus de 1200 mètres carrés, laisse supposer une construction importante; les résistivités élevées qui la caractérisent sont certainement l'indice de vestiges relativement bien conservés. On peut penser qu'il s'agit, pour une part du moins, de sols construits en matériaux durs: dallages, briques et peut-être mosaïques.

L'importance du site nous a semblé justifier des études ultérieures magnétiques et électriques.

La prospection magnétique n'a fait que confirmer les principaux résultats reportés sur la figure 54. Les anomalies individuellement ininterprétables se concentrent dans et en bordure immédiate des zones de haute résistivité.

La figure 55 reproduit des fragments de trois profils exécutés dans la tache résistante principale déjà mentionnée. A l'est de cette tache apparaît un mur massif actuellement caché sous un talus. Plus à l'ouest, des vestiges importants se succèdent sur plus de quarante mètres.

Pour expliquer le détail de ces anomalies, on peut avancer diverses hypothèses; seules des fouilles pourront trancher. A en croire les résultats de la géophysique, l'intérêt de ces fouilles ne fait aucun doute.

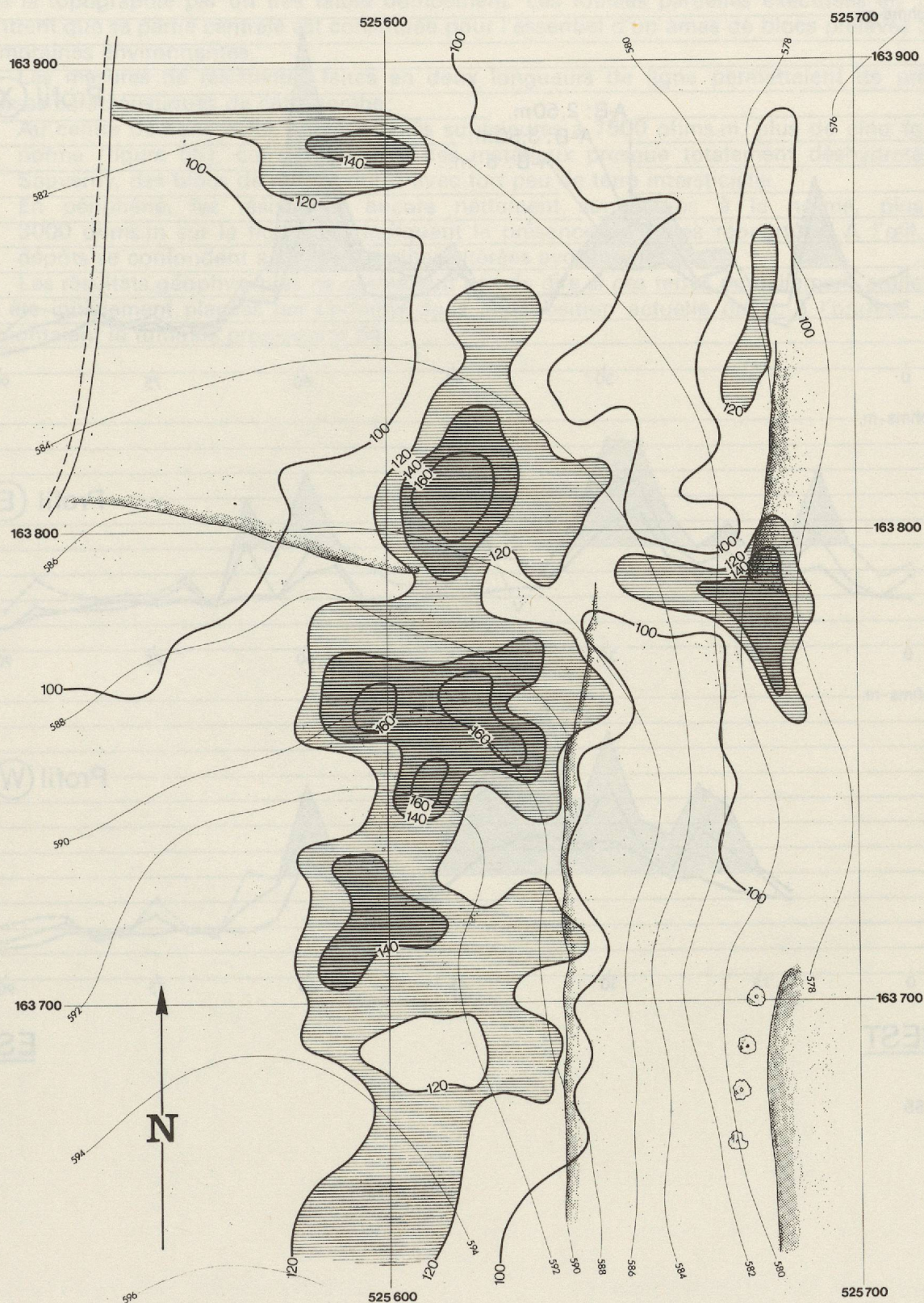
LA CHAUX ~ VILLA ROMAINE

RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

A-B: 9 m.

Echelle : $\frac{10m}{\text{cm}}$

Valeurs en ohms-m.



INSTITUT DE GEOPHYSIQUE · UNIVERSITE DE LAUSANNE

D. Chapellier 1973

Étude géoélectrique générale et de détail (Figures 54 et 55)

LA CHAUX

Résistivités électriques apparentes

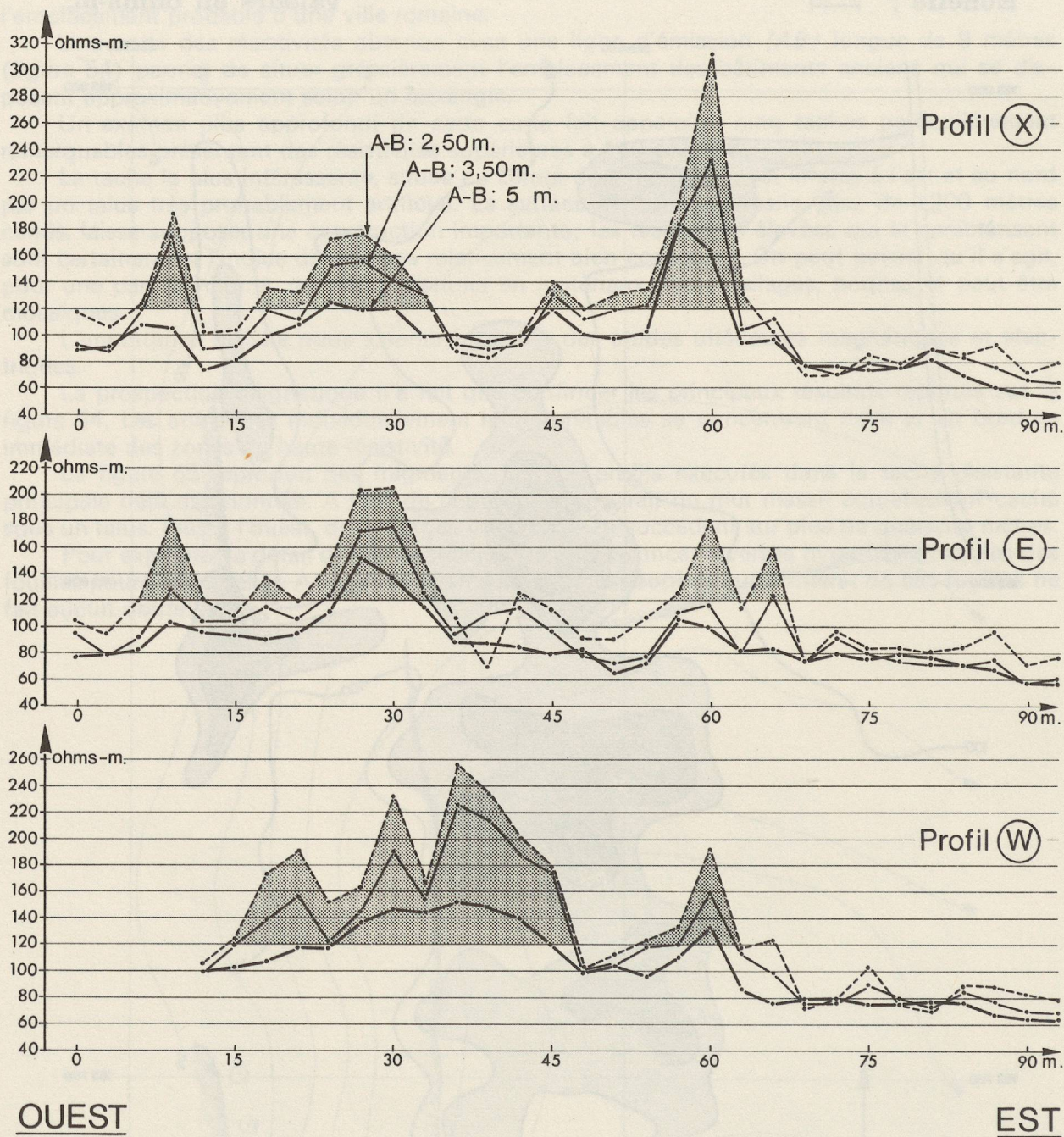


Figure 55

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE DE DÉTAIL (Figures 56 et 57).

Tumulus de Sauverny - Genève - Suisse.

Ce tumulus signalé à notre attention par des archéologues de l'école de Genève se marque dans la topographie par un très faible bombement. Les fouilles partielles exécutées en 1973 montrent que sa partie centrale est constituée pour l'essentiel d'un amas de blocs prélevés dans les moraines environnantes.

Les mesures de résistivités faites en deux longueurs de ligne permettaient de prévoir diverses caractéristiques de cette tombe :

- Au centre de l'anomalie, les résistivités supérieures à 7500 ohms.m, plus de cinq fois la norme (figure 56), correspondent à des matériaux presque totalement déshydratés; à Sauverny, des blocs de roches dures avec fort peu de terre intersticielle.
- En périphérie, les résistivités encore nettement supérieures à la norme, plus de 3000 ohms.m sur la figure 56, indiquent la présence de terres rapportées. A l'œil, ces dépôts se confondent avec les moraines altérées avoisinantes.

Les résultats géophysiques ne permettent pas de dire si ces terres partiellement argileuses ont été initialement placées par l'homme dans leur position actuelle ou si, à l'origine, elles surmontaient le tumulus proprement dit.

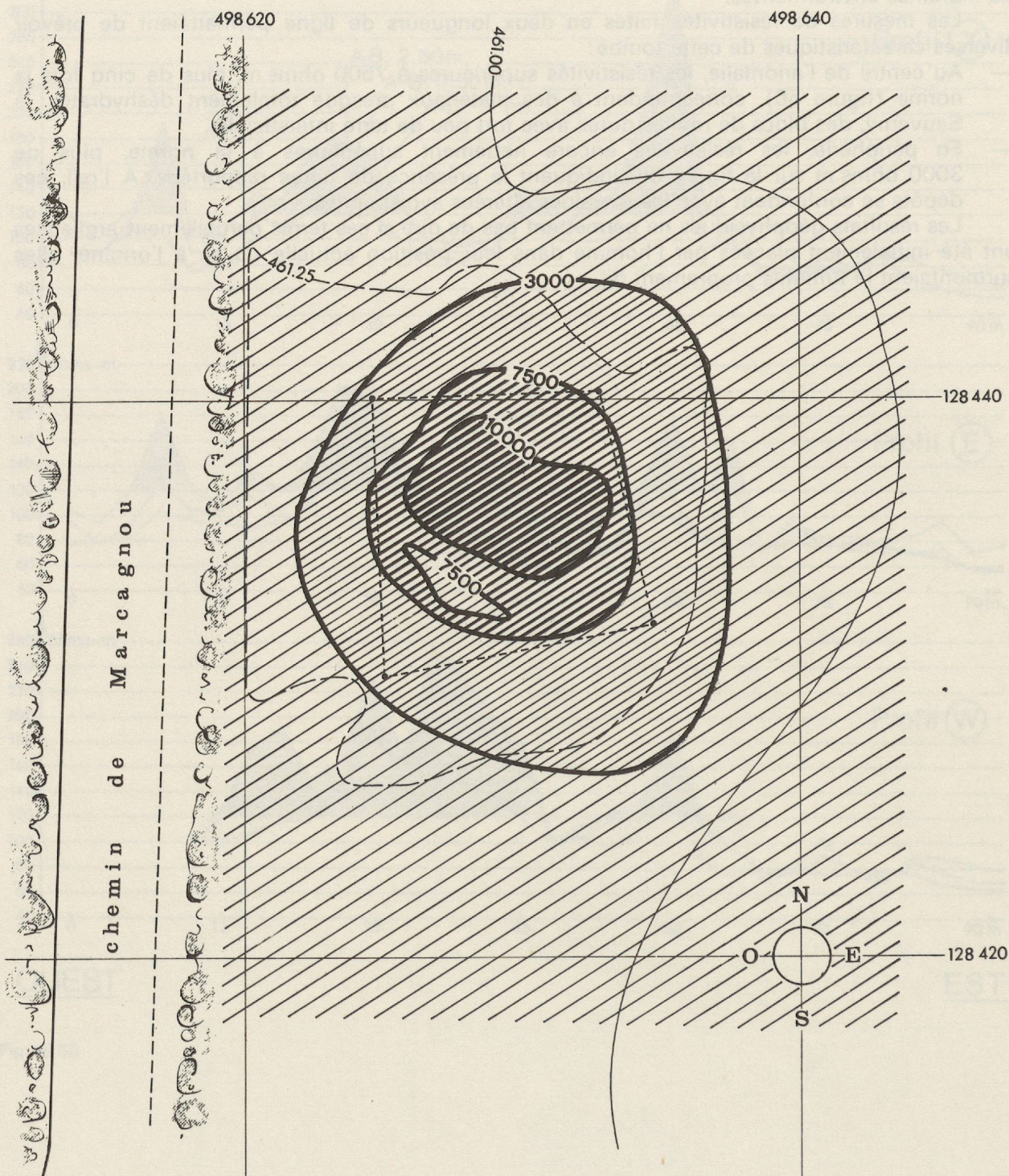
TUMULUS DE SAUVERNY

RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

A-B: 3,50 m.

Echelle: 2,5m.

Valeurs en ohms-m.



INSTITUT DE GEOPHYSIQUE
UNIVERSITE DE LAUSANNE

D. Chapellier 1973

Étude géoélectrique de détail (Figures 56 et 57)

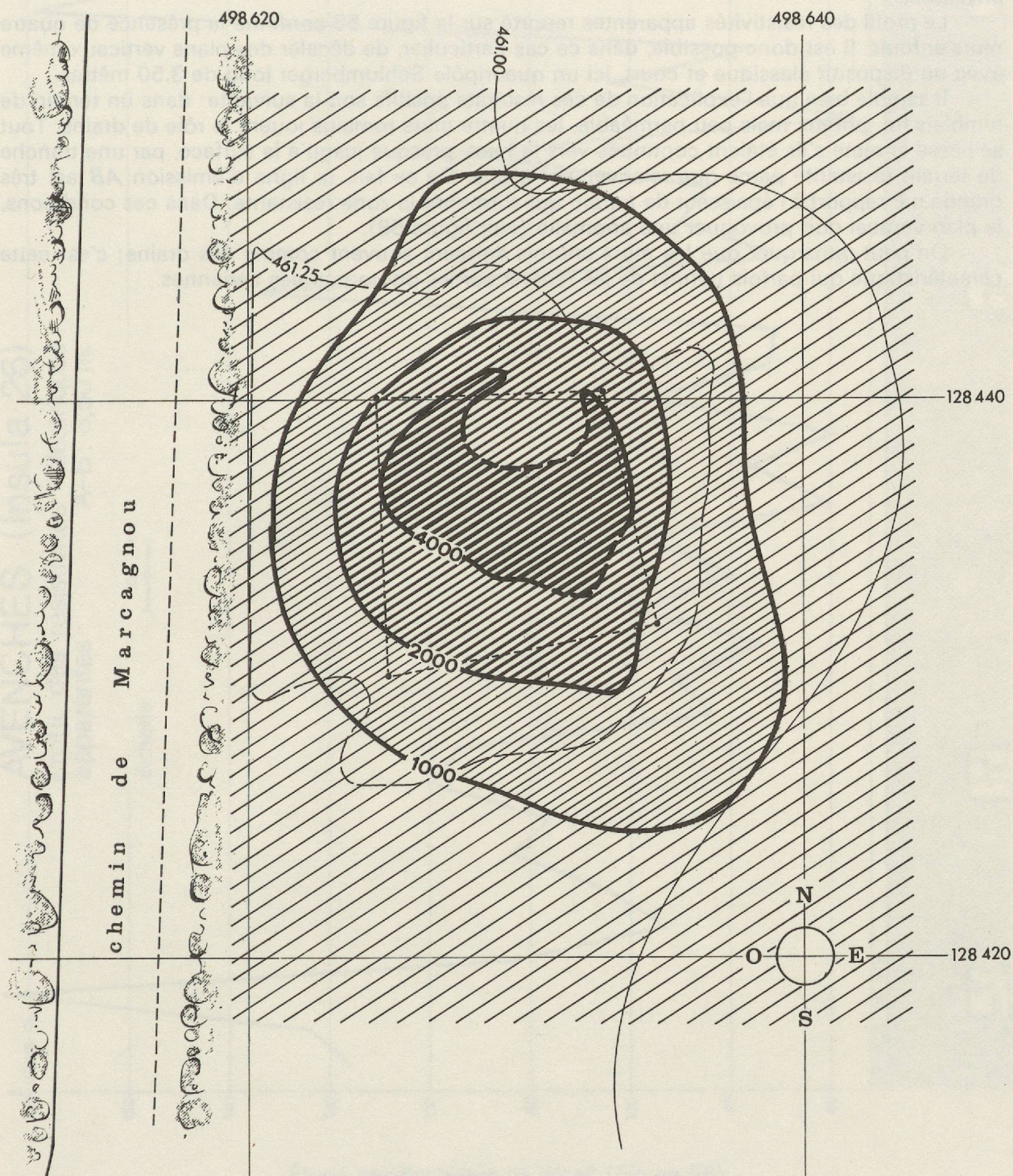
TUMULUS DE SAUVERNY

RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

A-B: 5 m.

Echelle: 2,5m.

Valeurs en ohms-m.



INSTITUT DE GEOPHYSIQUE
UNIVERSITE DE LAUSANNE

D. Chapellier 1973

Figure 57

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE DE DÉTAIL (Figure 58).

Insula 26 - Avenches - Vaud - Suisse.

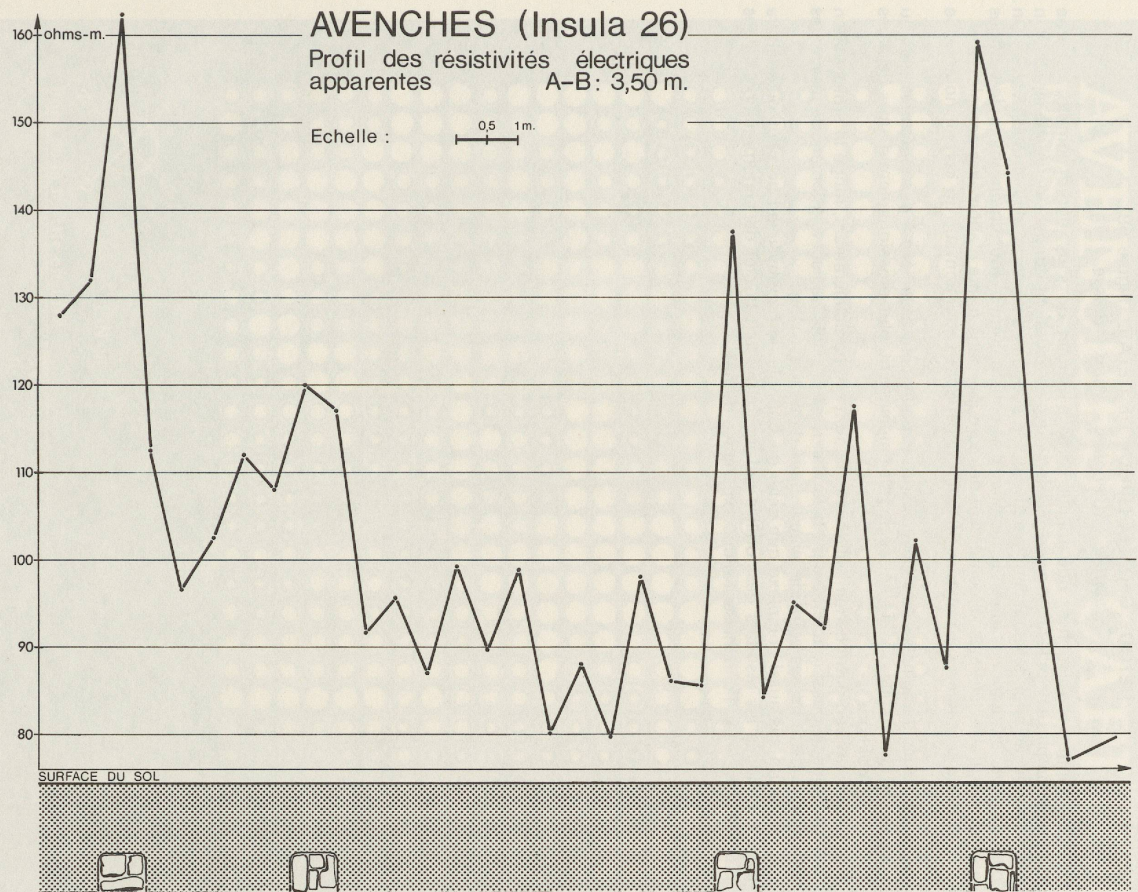
L'insula 26, fouillée il y a plusieurs années, a été remblayée après relevé du plan des vestiges romains.

Cette insula constitue donc un excellent terrain d'exercice où tester les méthodes géophysiques.

Le profil des résistivités apparentes reporté sur la figure 58 confirme la présence de quatre murs enfouis. Il est donc possible, dans ce cas particulier, de détecter des plans verticaux même avec un dispositif classique et court, ici un quadripôle Schlumberger long de 3,50 mètres.

Il semble bien que l'explication de ces résultats positifs soit la suivante: dans un terrain de remblais fin, poreux mais peu perméable, les quatre murs romains jouent le rôle de drains. Tout se passe comme s'ils étaient continués vers le haut, presque jusqu'à la surface, par une tranche de terrain résistante parce que relativement sèche. De ce fait, la ligne d'émission *AB* est très grande par rapport à l'épaisseur de terrain qui surmonte la zone résistante. Dans ces conditions, le plan vertical doit provoquer une anomalie (voir figure 58).

On peut remarquer que les murs enfouis agissent souvent comme des drains; c'est cette caractéristique qui parfois permet de les repérer sur les photographies aériennes.



ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE DE DÉTAIL (Figure 59).

Capitole - Avenches - Vaud - Suisse.

Le Capitole d'Avenches, une fouille partielle permet de s'en rendre compte, est une structure complexe dont les méthodes géophysiques ne sauraient donner une image simple. On peut observer en effet des murs à divers niveaux, d'époques différentes, d'orientation variée. On peut observer en outre des amas de matériaux de construction et tout un ensemble de vestiges que les mesures électriques se contentent de regrouper sous forme d'anomalies complexes.

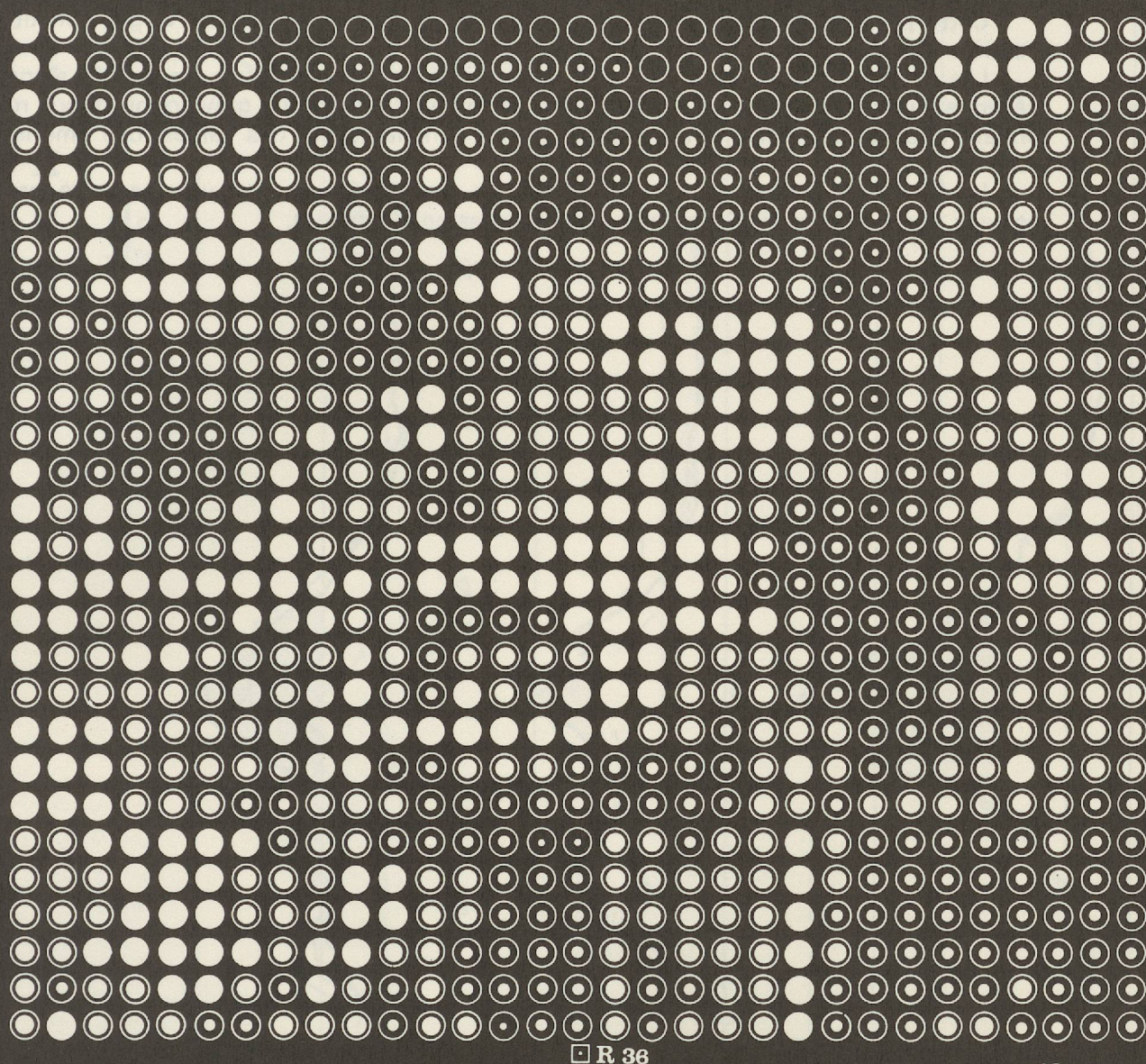
L'étude présentée sur la figure 59 attire cependant l'attention sur un certain nombre de points:

- Les plages d'anomalies très élevées sont certainement associées à des structures plus ou moins horizontales, qu'il s'agisse de sols empierrés ou plus prosaïquement d'amas de blocs de démolition.
- On observe en outre certains alignements dont un, particulièrement, longe la prolongation du mur sud-ouest rencontré dans la fouille. Il est possible que cet alignement de résistivités relativement basses coïncide avec le tracé d'une rue.

Dans un cas aussi complexe que celui du Capitole, le géophysicien ne peut qu'attendre avec impatience les résultats des fouilles qui lui fournissent la clef de l'interprétation de ses propres mesures et l'enrichissent d'une expérience de plus.

AVENCHES ~ CAPITOLE

RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES



□ R 36



□ N 28

□ N 36

Echelle: 10 m.

- < 100 ohms m.
- 100-150 ohms-m.
- 150-200 ohms-m.
- 200-250 ohms-m.
- > 250 ohms-m.

Bord de la fouille en 1972



INSTITUT DE GEOPHYSIQUE
UNIVERSITE DE LAUSANNE

D. Chapellier 1973

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE GÉNÉRALE (Figures 60 et 61).

Route d'accès au port romain d'Avenches - Vaud - Suisse.

Les figures 60 et 61 montrent comment les mesures de résistivité ont permis de localiser avec précision la route romaine menant d'Aventicum à ce qui fut son port sur le lac de Morat.

Cette prospection, qui nous a été suggérée par le Professeur H. Bögli, constitue une première étape dans la recherche du port lui-même.

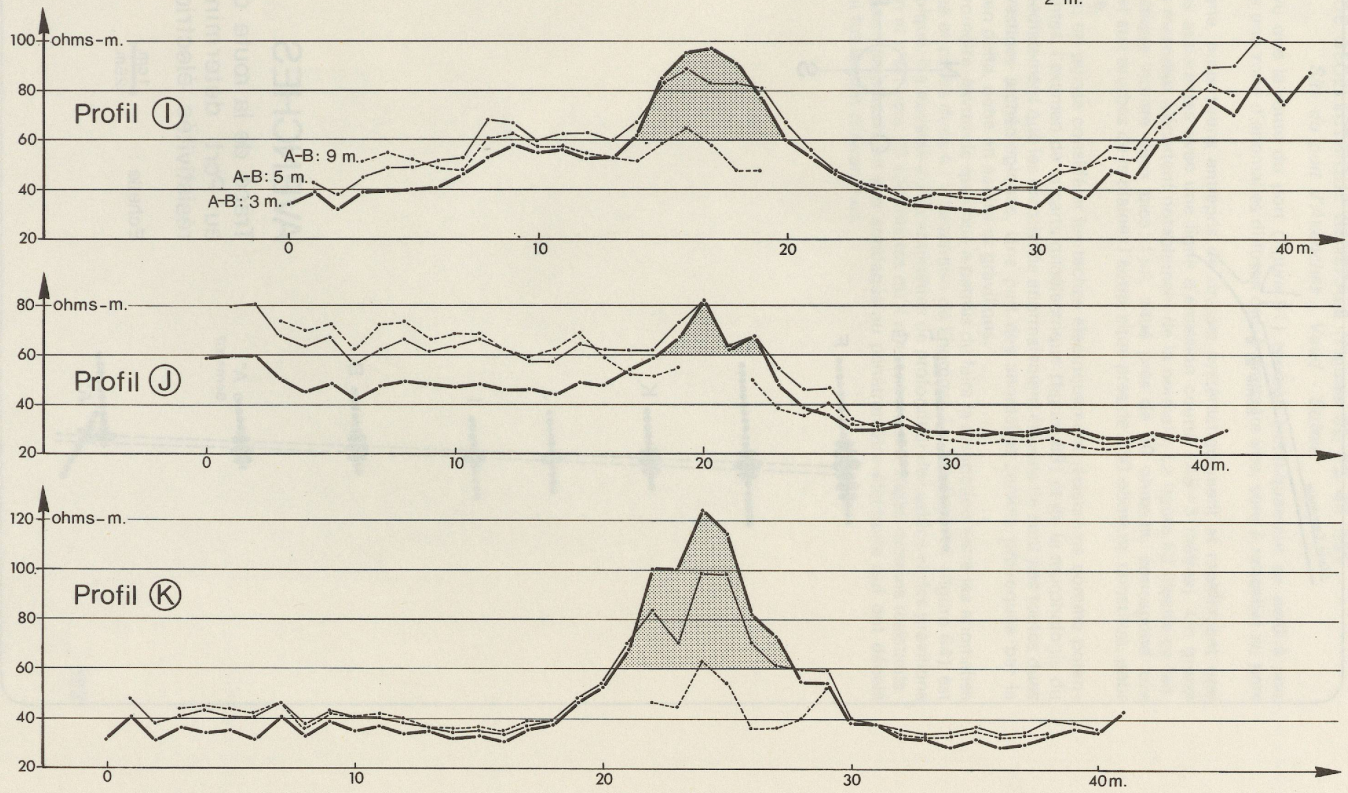
Les profils de résistivités i , j , et K , représentés en détail sur la figure 60, signalent la présence d'une épaisseur relativement forte de matériaux pierreux, graviers ou débris rocheux, formant une bande rectiligne à travers la plaine constituée par des sables, des limons et des tourbes.

La figure 61 schématise la répartition des résistivités sur chacun des onze profils de mesures. Sur cette figure, l'axe de la route se dessine clairement.

AVENCHES (Route d'accès au Port)

Profils des résistivités apparentes
au travers de la route romaine

Echelle : $\frac{1 \text{ cm.}}{2 \text{ m.}}$



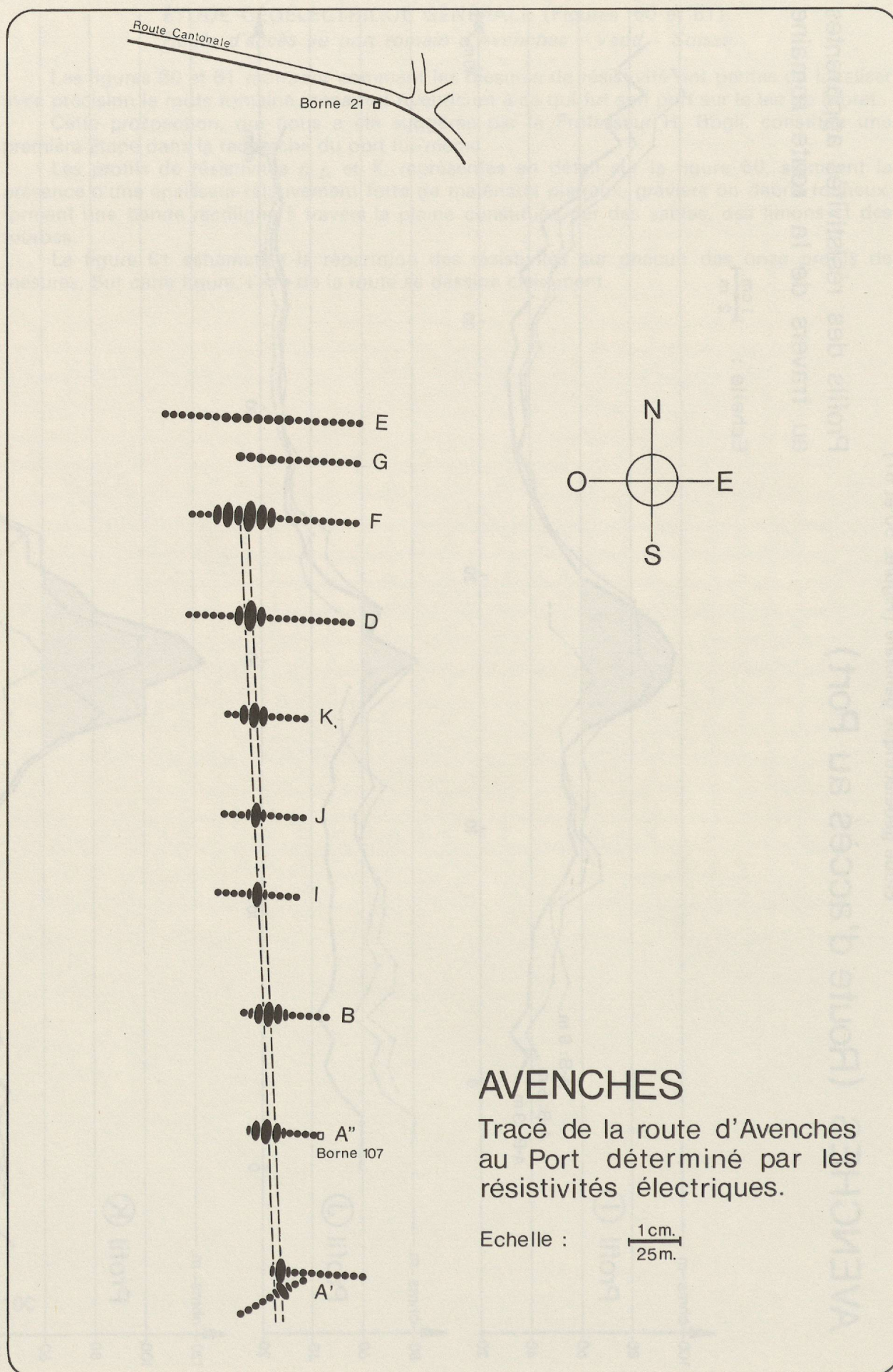


Figure 61

ÉTUDE GÉOÉLECTRIQUE GÉNÉRALE (Figures 62, 63, 64, 65).

Site du port d'Avenches - Vaud - Suisse.

Nous avons vu que la route du port (figure 61) repérée électriquement se perd à son extrémité nord dans une zone d'anomalies diffuses qui, à première vue, sont à rattacher au port lui-même.

Dans cette zone, nous avons entrepris de dresser systématiquement et rapidement une carte des résistivités apparentes avec une ligne d'émission courte ($AB=3$ mètres). Un grand nombre des valeurs mesurées s'écartent notablement de la normale. La figure 62 illustre ce fait. La répartition statistique montre deux pics; l'un, situé près de 50 ohms.m, correspond aux sables, aux limons et aux tourbes de la plaine; l'autre, situé près de 130 ohms.m, constitue, pour la région, l'anomalie.

Bien qu'à priori on puisse considérer les taches électriquement résistantes comme potentiellement intéressantes, l'examen de la carte géoélectrique (figure 63) et de la morphologie du terrain indique immédiatement que les résistivités anormalement élevées ne sont pas toutes dues à la présence de vestiges archéologiques. Une part des anomalies semble provoquée par la présence d'un ancien delta, riche en sables et gravillons.

C'est le pénétrromètre-électrode qui nous a permis de faire la distinction entre les anomalies d'origine géologique et celles dues à l'intervention de l'homme. Le sondage 14 (figure 64) est particulièrement typique, il a traversé à 25 centimètres de profondeur des sables et des gravillons du delta postromain et c'est vers 70 centimètres qu'il rencontre les vestiges romains résistants.

La figure 65 fixe l'emplacement des sondages au pénétrromètre-électrode qui ont décelé des restes de ce qui fut le port d'Avenches.

AVENCHES Port

Répartition statistique des résistivités électriques apparentes

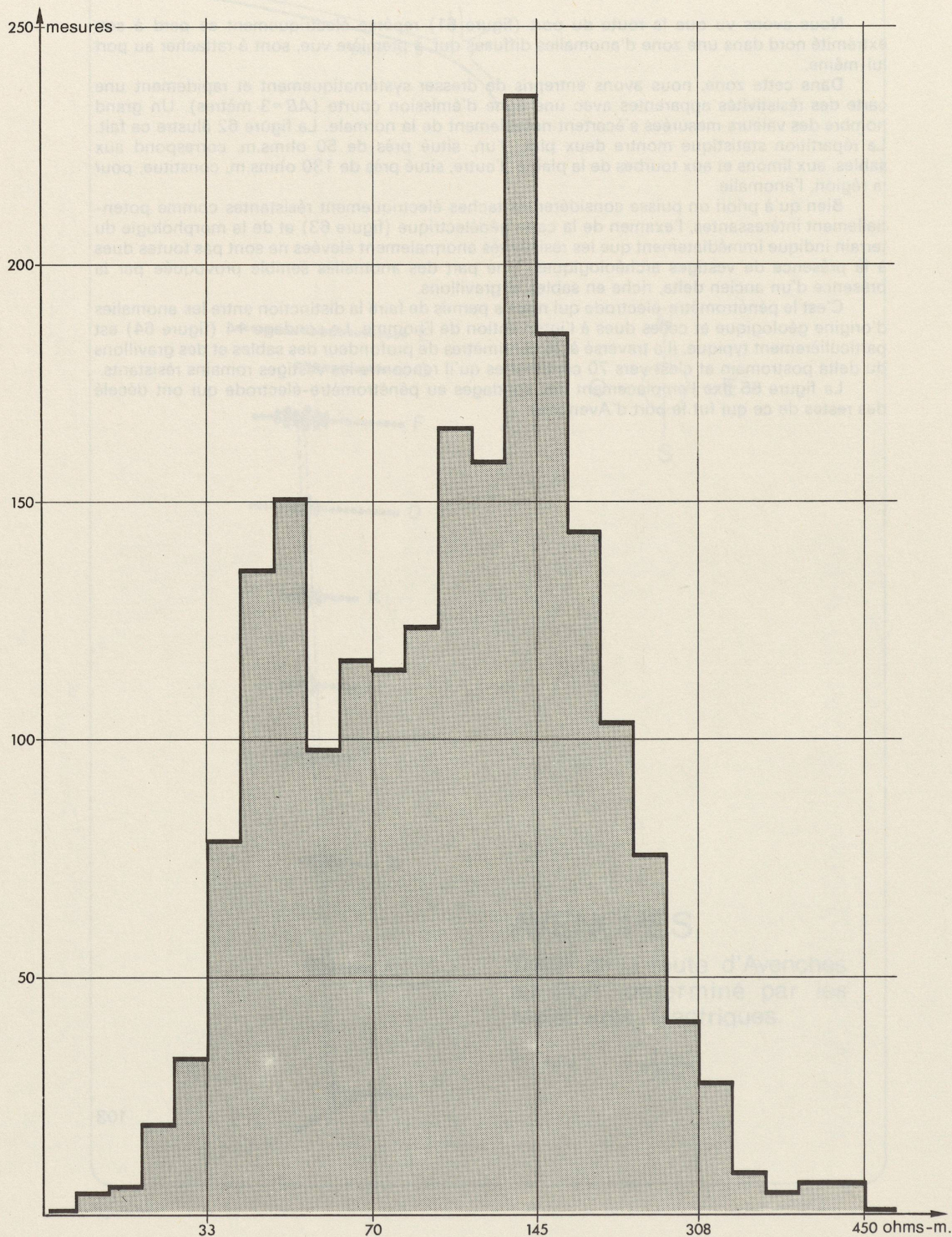
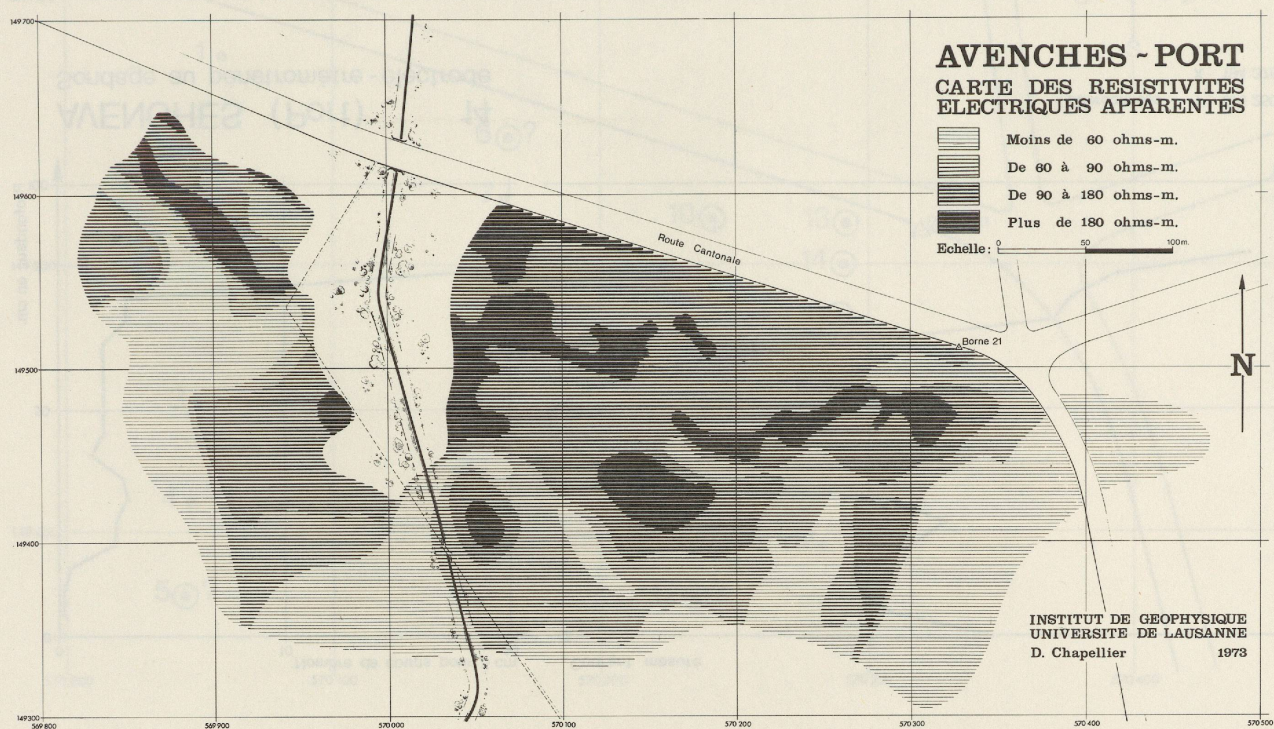
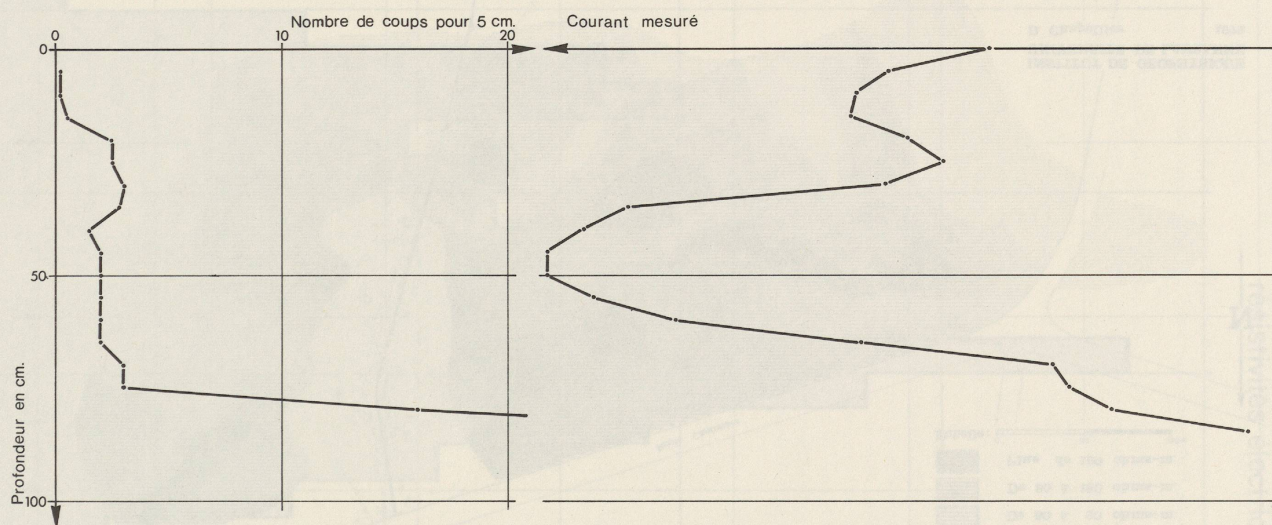


Figure 62

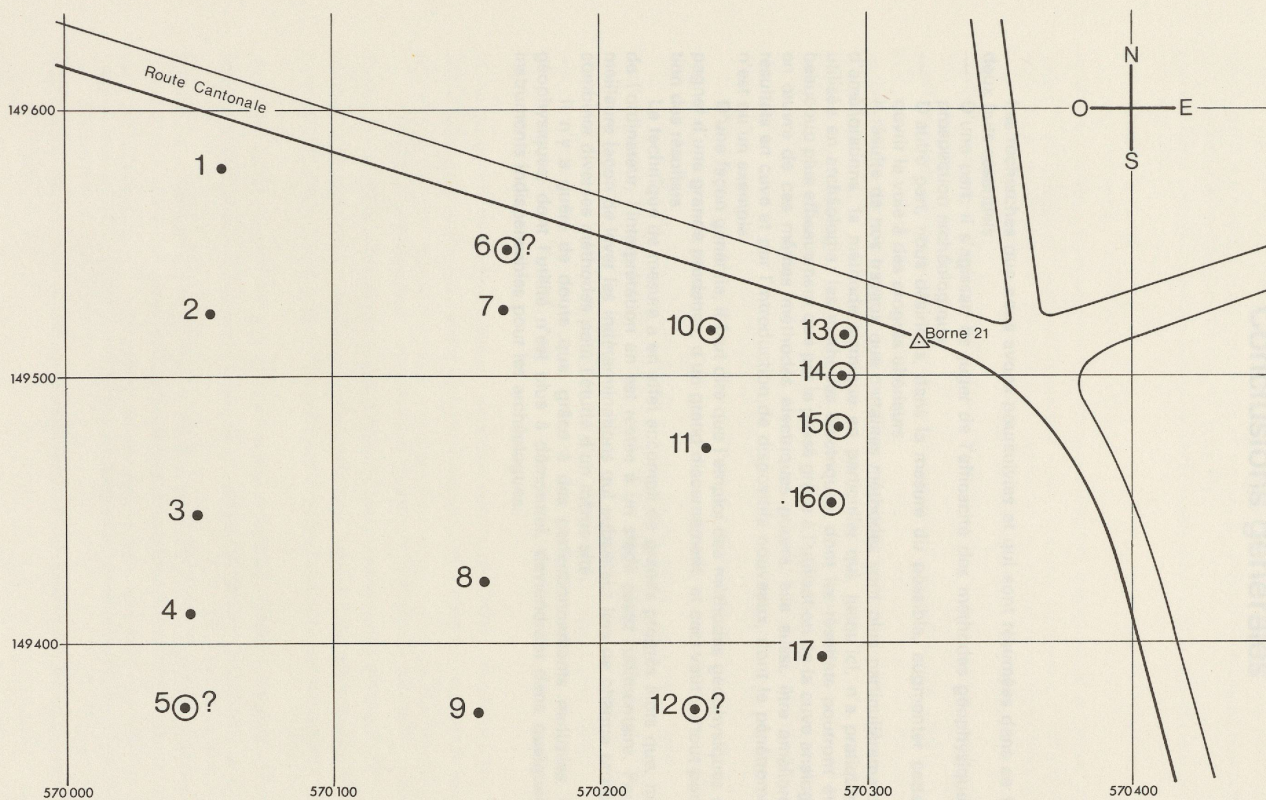
Figure 63





AVENCHES (Port) 14
Sondage au pénétromètre - électrode

Coordonnées : Y : 570 250
X : 194 375



AVENCHES (Port)

Emplacement des pénétromètres

