

L'auscultation des terrains

Autor(en): **Schlumberger, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **4 (1936)**

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-5097>

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.

L'AUSCULTATION DES TERRAINS.

BODENUNTERSUCHUNG.

SOIL RESEARCH.

C. SCHLUMBERGER, Ingénieur en chef des Mines.

L'étude des terrains destinés à supporter les fondations des grands ouvrages d'art, ponts et viaducs en particulier, s'est faite à peu près uniquement, jusqu'à ces dernières années, par le moyen de forages mécaniques ou de petits puits, destinés à fournir des échantillons des terrains. Bien souvent, notamment dans les alluvions des grands fleuves, l'exécution des puits est empêchée par la présence de l'eau à une certaine profondeur, et la prise d'échantillons par sondages est très délicate lorsque les éléments alluvionnaires sont meubles et échappent à l'outil carottier. Ces difficultés techniques ne peuvent être surmontées que par des dépenses très élevées, de sorte que fréquemment la reconnaissance du sol est réduite au minimum, c'est-à-dire au seul emplacement de la fondation projetée. On omet ainsi toute étude sur une large surface, qui aurait permis peut-être de trouver, dans le voisinage, des terrains plus favorables et de choisir pour l'ouvrage un emplacement meilleur que celui primitivement adopté. Ces considérations générales sont évidemment d'une importance spéciale pour les régions couvertes d'eau, où l'étude des terrains est souvent hasardeuse et onéreuse.

Les méthodes de la géophysique, employées depuis une dizaine d'années sur une très large échelle pour la prospection des richesses minérales, ont également été appliquées avec succès aux études géologiques très locales et à très petite profondeur soulevées par les travaux du Génie Civil. Quelques publications ont en particulier décrit certaines applications de la méthode électrique aux études concernant les barrages¹⁾. Toutefois il semble qu'il reste encore beaucoup à faire dans cette voie et que le sujet mérite de retenir l'attention.

Avant d'exposer quelques exemples concrets, nous donnerons un court aperçu général sur les procédés électriques et sismiques, qui, à l'heure actuelle, sont les seuls susceptibles de rendre des services dans la prospection intéressant les fondations.

Principe de la méthode électrique.

La possibilité de distinguer électriquement les unes des autres les diverses natures de terrains résulte du fait que ceux-ci possèdent généralement des résistivités électriques différentes qui constituent pour eux un paramètre spécifique

¹⁾ La Méthode de la Carte des Résistivités du Sol, par C. et M. Schlumberger. (Annales des Mines 1930.)

Application de la Prospection Électrique à l'Étude des Projets de Tunnels et de Barrages, par C. Schlumberger et E. G. Léonardon. (Annales des Ponts et Chaussées 1931.)

Étude Géophysique sous-marine effectuée dans le Port d'Alger, par C. Schlumberger et Pierre J. Renaud. (Annales des Ponts et Chaussées 1933.)

souvent bien défini, correspondant à leur caractère lithologique. Rappelons que les éléments solides des roches sont pratiquement des isolants parfaits et que la conduction du courant se fait uniquement par l'eau d'imbibition. Une roche est donc d'autant plus conductrice qu'elle contient plus d'eau et que cette eau est elle-même plus riche en sels dissous. On exprime généralement la résistivité des terrains en ohms par mètre cube, cette unité convenant bien comme ordre de grandeur. Les chiffres pratiques s'échelonnent en effet entre un dixième et quelques milliers.

Les roches les plus conductrices sont les sables et marnes imbibés d'eau salée. Elles ont des résistivités de 0,5 à 10 ohms. Puis viennent les argilles non salées, entre 10 et 30 ohms, les marnes, entre 20 et 100, les calcaires entre 60 et 200, les schistes entre 70 et 300 suivant leur compacité et leur métamorphisme, les grès entre 50 et 1.000, les roches éruptives entre 1.000 et 20.000, etc...

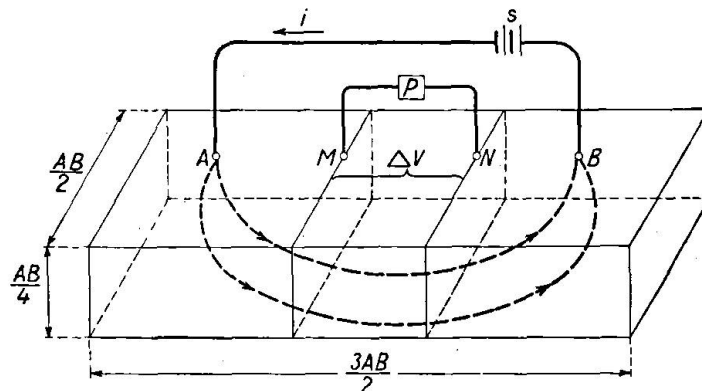


Fig. 1.

Voici quelques exemples précis:

Eau de mer	0,2 ohm
Vases du Port d'Alger	0,75 ohm
Alluvions de la Basse-Seine	7 ohm
Granits décomposés (Barrage de la Truyère)	3 à 5.000 ohms
Granits sains (Barrage de la Truyère)	10.000 ohms.

Ces chiffres extrêmement différenciés montrent dans quelles larges limites varie le paramètre.

Pour mesurer la résistivité des roches, on applique généralement la technique du quadripôle dont voici l'essentiel. On fait passer entre deux points A et B , à la surface du sol, un courant d'intensité i et on mesure la différence de potentiel ΔV qui en résulte par effet ohmique entre deux autres points M et N du sol. La mesure de i et de ΔV permet au moyen d'une formule simple de calculer la résistivité du sol, celui-ci étant supposé plan et homogène dans le „domaine“ intéressé par la mesure. Comme le sol ne remplit en général pas ces conditions et est plus ou moins hétérogène, la valeur donnée par la formule ne correspond pas à la résistivité vraie d'une roche déterminée, mais à une moyenne des résistivités des diverses roches intéressées par la mesure. On appelle cette moyenne la „résistivité apparente“ du sol entre M et N .

Avant d'aller plus loin, précisons la notion du „domaine“ intéressé par la mesure et pour cela supposons que le „quadripôle“ soit tel que les points M et N se trouvent sur la ligne AB et de part et d'autre du centre de celle-ci. Comme le montre la figure 1 tout se passe approximativement comme si la

totalité des filets de courant allant de A en B était canalisée à l'intérieur d'un parallépipède ayant une largeur égale à $\frac{AB}{2}$, une profondeur égale à $\frac{AB}{4}$ et une longueur égale $\frac{3}{2} AB$. Au centre, où se mesure la chute ohmique ΔV , les filets de courant sont sensiblement parallèles à AB . Le „domaine“ intéressé par la mesure est le parallépipède. Ce qui est extérieur à ce volume n'intervient pratiquement pas. Bien que cette image ne représente que très grossièrement la réalité, elle permet néanmoins d'expliquer les quelques notions essentielles suivantes.

La résistivité que l'on obtient avec un dispositif de mesure déterminé correspond à la résistivité moyenne prise dans le sens horizontal, d'une tranche de terrain dont l'épaisseur est approximativement égale à $\frac{AB}{4}$. Si donc on procède à une série de mesures en se déplaçant à la surface du sol, en conservant toujours la même longueur de ligne AB , on explore ainsi une tranche horizontale de terrain d'épaisseur constante égale à $\frac{AB}{4}$.

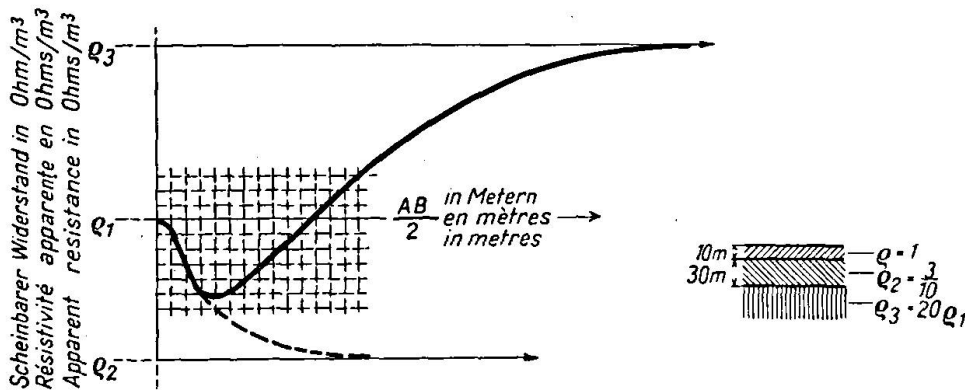


Fig. 2.

Inversement, si restant en une même station, on procède à une série de mesures en augmentant chaque fois la longueur de la ligne AB , les chiffres obtenus correspondent à des tranches de sol de plus en plus épaisses. C'est ce que l'on appelle „un sondage électrique“.

Examinons le cas simple suivant qui est particulièrement important dans la pratique et qui peut être traité mathématiquement d'une façon rigoureuse. Le sol est supposé constitué par une succession de couches horizontales, chacune homogène dans le domaine soumis à la mesure. Soient p_1 et h_1 la résistivité, l'épaisseur de la première couche p_2 et h_2 les mêmes données pour la couche immédiatement en-dessous, p_3 et h_3 les données pour la 3ème couche. Supposons: $p_1 > p_2$, $p_3 > p_2$ et enfin, admettons que la troisième couche est très épaisse vis-à-vis des deux autres. Constituons un diagramme pour représenter les diverses valeurs de la résistivité apparente, obtenues avec un quadripôle $ABMN$ de grandeur croissante. Portons en ordonnées les résistivités apparentes et en abscisses les longueurs AB correspondantes. Si AB est tout petit, seule la couche supérieure intervient, de sorte que la résistivité apparente est égale à p_1 . Lorsque AB croît la deuxième couche, plus conductrice, fait sentir son influence et la résistivité apparente diminue. Elle passe par un minimum pour croître ensuite sous l'influence de la troisième couche et si celle-ci était infiniment

épaisse, on obtiendrait pour la résistivité apparente une valeur asymptotique égale à p_3 pour un AB infini.

L'examen d'un diagramme de sondage électrique obtenu sur le terrain permet de calculer par approximation successives toutes les inconnues du problème, pourvu toutefois que le nombre de couches superposées ne soit pas trop grand et pourvu que celles-ci soient bien horizontales et homogènes dans tout le domaine étudié. On a donc ainsi les résistivités p_1 , p_2 et p_3 des couches, d'où l'on peut déduire leur caractère lithologique, et les épaisseurs h_1 , h_2 et h_3 , c'est-à-dire la profondeur des divers toits.

Le cas suivant, fréquemment rencontré dans la pratique, correspond à ces hypothèses. Le sol est constitué par des alluvions sableuses moyennement résistantes; en dessous se trouve un lit d'argile conductrice et le tout est supporté par une roche ancienne très résistante et d'épaisseur pratiquement infinie, constituant un bed-rock. Le sondage électrique permettra de déterminer la surface topographique du toit du bed-rock. L'exactitude des déterminations sera bonne, pourvu toutefois que l'hypothèse de couches horizontales homogènes dans le domaine de chaque mesure électrique reste suffisamment vraie. Le relief du toit du bed-rock ne doit donc pas être trop accidenté vis-à-vis de la profondeur de celui-ci, cette profondeur constituant l'unité relative de longueur du problème en question. Avec un relief tourmenté les mesures électriques ne pourront plus donner que des indications grossièrement qualitatives.

Exemple d'application des sondages électriques.

1° Barrage d'Ariel. Nous donnons ici, fig. 3, un exemple d'application du sondage électrique à l'étude des fondations d'un barrage. Il s'agit du barrage Ariel, établi sur la rivière Lewis, Etat de Washington, Etats-Unis.

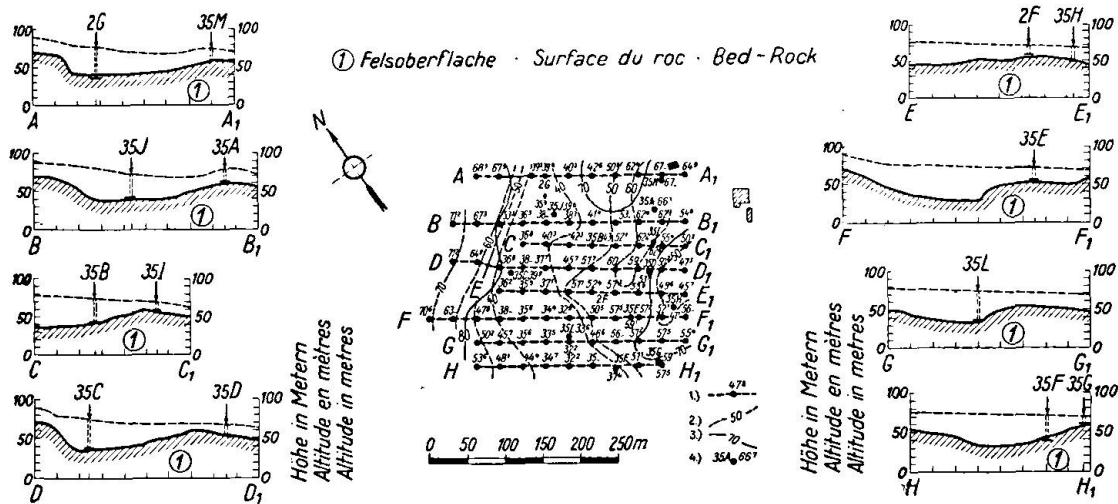


Fig. 3.

Cette étude a été exécutée en 1929. La Figure centrale indique l'emplacement des divers sondages électriques exécutés, avec les courbes de niveau, cotées en mètres, du toit du bed rock d'après la prospection électrique. Les figures de droite et de gauche constituent quelques coupes qui montrent la bonne approximation des sondages électriques telle qu'elle a été vérifiée par des forages ultérieurs. Dix sept forages mécaniques ont ainsi contrôlé l'étude électrique et montré qu'elle avait obtenu très rapidement des résultats dont la précision était largement suffisante pour l'établissement du projet. Il s'agissait cepen-

dant de conditions assez difficiles. Le recouvrement était constitué par des alluvions hétérogènes, comprenant en particulier une couche argileuse conductrice à la surface, recouvrant des sables et galets roulés résistants. Le bed-rock lui-même présentait une résistivité très inférieure à celle de ces sables et graviers.

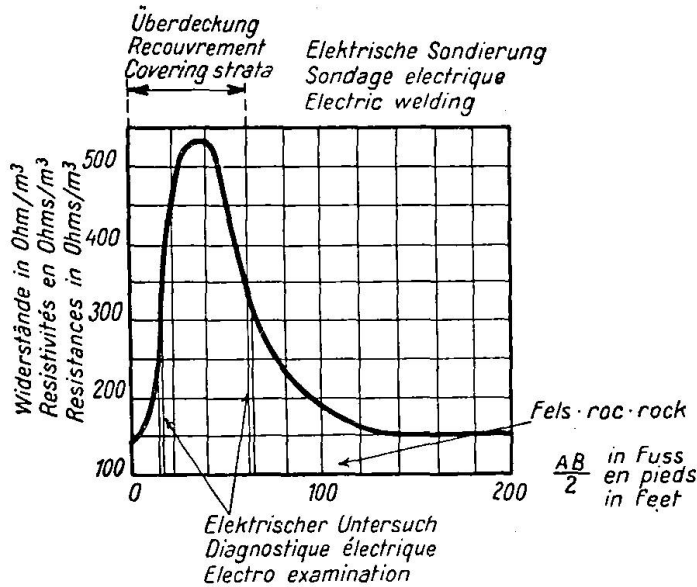


Fig. 4.

La figure 4 ci-jointe donne un exemple de diagramme des sondages électriques obtenus. Sous quelques pieds d'argile superficielle, on rencontre une dizaine de mètres de sable et graviers dont la résistivité est voisine de mille ohms, puis de bed-rock, dont la résistivité est de 150 ohms seulement.

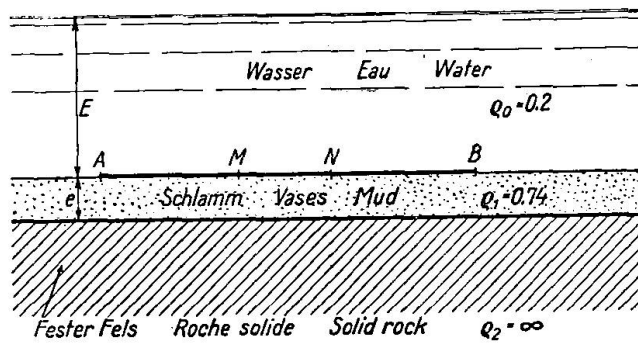


Fig. 5.

A titre de renseignement statistique, disons que deux cent cinquante six déterminations ont été effectuées en moins de trois mois, chaque sondage électrique revenant à 28 dollars.

2° Port d'Alger. Bien que le travail dont nous allons parler maintenant ait fait l'objet d'une publication antérieure, en 1933, nous croyons bon de le mentionner ici à nouveau, car il constitue un exemple typique d'application des méthodes électriques à une prospection sous un important recouvrement d'eau.

Il s'agissait à Alger de déterminer par des sondages électriques l'épaisseur des vases meubles en divers points de la rade. Au point de vue pratique le problème se présentait de la façon suivante (Fig. 5).

Sous une certaine épaisseur E connue, d'eau de mer, de résistivité p_0 , on rencontrait une certaine épaisseur e de vases, de résistivité p_1 , reposant sur un substratum cristallin infiniment résistant et très épais. Le problème a été traité en disposant le quadripôle de mesure au fond de la mer, de façon à limiter autant que possible la grosse influence perturbatrice du recouvrement très conducteur constitué par l'eau de mer.

Par des observations préliminaires on avait constaté que la résistivité p_0 de l'eau de mer était très sensiblement constante et égale à 0,2 ohm m³ et que la résistivité p_1 des vases était elle-même régulière et égale à 0,74 ohm. Ce dernier chiffre montre que ces vases, qui constituent un sol meuble imprégné d'eau de mer et qui ne doivent leur conductibilité qu'à cette seule eau, en contiennent environ 25 % en volume. Quant à la valeur p_2 de la résistivité du substratum, elle a été trouvée très grande vis-à-vis de celle des vases et à fortiori de celle de l'eau de mer, de sorte que dans les calculs on peut la considérer comme infinie. Enfin, disons que l'épaisseur e de la couche d'eau passe

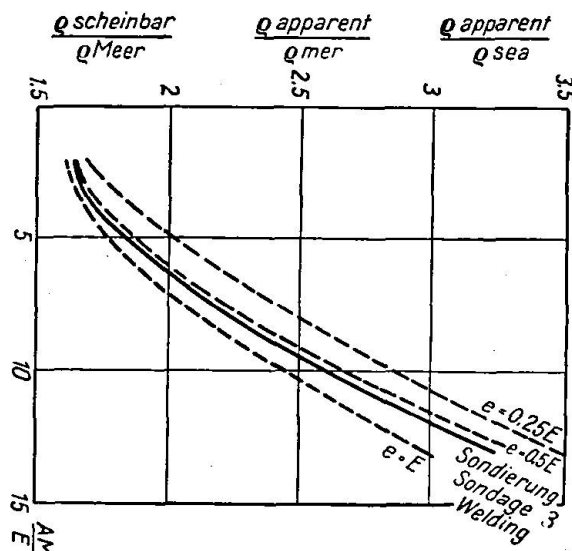


Fig. 6.

de quelques mètres à l'intérieur du port, à 35 mètres en rade et que le quadripôle envisagé est tel que $AM = NM = NB = \frac{AB}{3}$.

Voici comment se présentent les abaques théoriques d'interprétation.

Pour chaque abaque on porte en abscisses, non pas la longueur AB du quadripôle, mais le rapport $\frac{AM}{E}$, ce qui revient à prendre l'épaisseur de l'eau comme unité de longueur. D'une manière analogue on porte en ordonnées, au lieu de la résistivité apparente p le rapport de celle-ci à la résistivité p_0 de l'eau. Chaque abaque correspond à une épaisseur e des vases et, puisque E est pris comme unité de longueur, on a la série de courbes: $e = nE$, où n désigne un nombre quelconque.

On a représenté sur la figure 6, en trait pointillé, trois abaques théoriques correspondant à:

$$e = E, \quad e = 0,5E \quad \text{et} \quad e = 0,25E$$

et en trait plein le diagramme d'un des sondages électriques effectués.

Les résultats obtenus, dans cette première application en mer de principes du sondage électrique (et dont trois ont été vérifiés par des forages mécaniques)

ont été satisfaisants. Ils démontrent que cette technique nouvelle, qui pourra être encore l'objet de perfectionnements pratiques, mérite d'être essayée lorsque les forages mécaniques rencontrent de graves difficultés d'exécution (rade soumise au ressac) ou lorsque la reconnaissance des terrains sous-marins doit porter sur une surface trop large pour être bien explorée par un petit nombre de forages.

La prospection en eau douce se ferait d'ailleurs dans des conditions techniques plus favorables, par suite d'un moindre écart entre les résistivités de l'eau et du sol sous-jacent.

Principe de la méthode sismique.

La prospection sismique s'exécute aujourd'hui suivant deux techniques dénommées „par réflexion et par réfraction“.

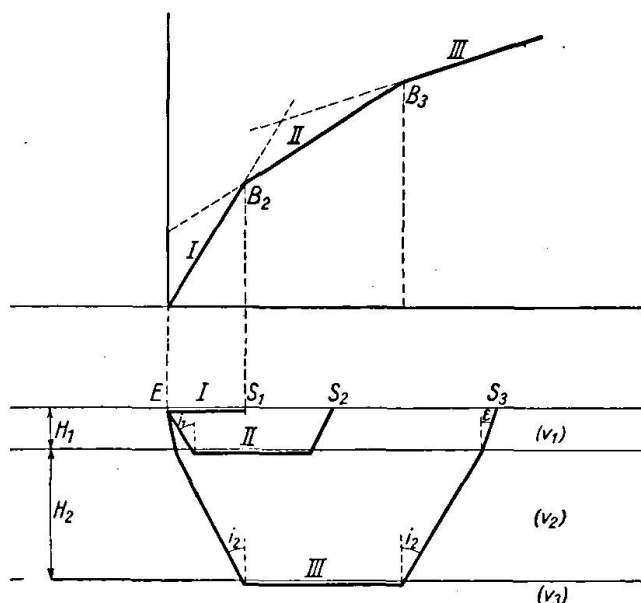


Fig. 7.

Le premier de ces principes consiste à observer la réflexion verticale (ou l'écho) contre une couche souterraine rigide d'une ébranlement provoqué par une explosion à la sortie du sol. Elle n'est applicable, avec les appareils actuels, que pour les grandes profondeurs (plusieurs centaines de mètres).

La réfraction permet au contraire des mesures peu profondes et convient donc aux études géologiques relatives aux fondations d'ouvrages. Voici très brièvement le principe de cette méthode.

L'explosion d'une charge de dynamite en un point E provoque un ébranlement du sol. Une série de sismographes $S_1, S_2, S_3 \dots$ etc... placés le long d'un alignement étudie la propagation du front d'onde produit par cette explosion. Chaque sismographe est connecté à un oscillographe qui enregistre sur un film, en fonction du temps en millièmes de seconde, l'instant de l'explosion et l'arrivée du front d'onde.

Le dépouillement du film fait donc connaître le temps mis par chacune des ondes qui se propage dans le sol pour atteindre les séismographes; mais on ne s'occupe, le plus souvent, que de l'onde parvenant la première au sismographe; c'est cette durée de propagation minimum qui est la grandeur physique mesurée.

Ces mesures de temps sont portées en ordonnées sur un diagramme dont les abscisses correspondent à la distance entre les divers sismographes et le point d'explosion. Ce diagramme, appelé courbe dromochronique, se présente sous forme d'une série de segments de droite, comme l'indique la figure 7, lorsque le sol comporte plusieurs couches horizontales possédant des vitesses de propagation différentes et croissant avec la profondeur. La pente des divers éléments de droite constituant la courbe dromochronique est inversement proportionnelle à la vitesse des diverses couches superposées. La position des points de brisure B_2 et B_3 permet de calculer très simplement les épaisseurs de ces couches.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs les plus usuelles des vitesses de propagation en mètres par seconde dans divers terrains.

Nature des terrains	V.
Eboulis, décombres	300
Alluvions tertiaires (Alsace)	800 à 1.500
Sables	1.000
Eau	1.400
Argiles	1.800
Marnes	2.000 à 2.500
Calcaires tendres	3.200 à 3.600
Calcaires compacts	4.500
Roches cristallines	5.000

Exemple d'application: Recherche d'un sol de fondation.

Au cours d'une étude faite en Meurthe-et-Moselle pour une Compagnie de Chemins de Fer, on a rencontré le cas de trois couches horizontales superposées. Il s'agissait d'étudier un banc de calcaire recouvert d'une couche superficielle de marnes. L'étude sismique a fait apparaître un troisième terrain plus profond constitué par des dolomies.

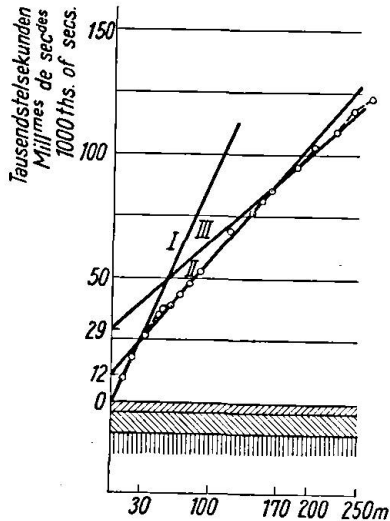


Fig. 8.

Nous donnons ci-dessous une des courbes dromochroniques relatives à ce cas (fig. 8). Les résultats sont réguliers. Trois segments de droite figurent bien l'ensemble des résultats observés.

La première droite (I) correspond à la vitesse des marnes de recouvrement, la deuxième (II) à celle des calcaires, la troisième (III) à la vitesse des dolomies sous-jacentes.

L'étude des pentes de ces trois droites et de la position des points de brisure a permis de déterminer les épaisseurs des terrains. On a obtenu 8 m. 25 pour la couche des marnes, 28 m. 20 pour la profondeur du toit des dolomies. La moyenne de profondeur du calcaire pour deux sondages mécaniques voisins du profil de mesure a été de 7 m. 50, l'épaisseur de la couche calcaire étant de 27 mètres sur un affleurement visible, mais assez éloigné.

Conclusions.

On retiendra de cet exposé que les prospections géophysiques effectuées pour l'étude des fondations, qu'il s'agisse de barrages, de digues en mer, de

pires de ponts etc. . . , sont utiles surtout pour rechercher, dans une région assez étendue, le meilleur emplacement possible et lorsque un recouvrement assez épais d'eau, d'alluvions ou de terres meubles masque la roche solide sur laquelle doit s'appuyer l'ouvrage.

En principe la géophysique voit flou. Par contre, elle voit large et elle permet de battre de vastes régions d'une manière presque continue et sans lacune. Elle présente des caractéristiques exactement inverses des forages. Ceux-ci donnent un renseignements très précis, mais absolument local, qu'il est parfois bien hasardeux d'extrapoler sur une aire tant soit peu large. L'interprétation des mesures géophysiques est presque toujours améliorée, lorsque l'on peut partir d'un ou plusieurs points de repères, où la nature et la profondeur des diverses couches sont déjà connues exactement par un forage. Il ne s'agit plus alors que d'évaluer dans une aire donnée les variations de ces conditions initiales, ce qui peut souvent se faire avec une grande précision.

Malgré le prix notable que coûte une prospection géophysique, à cause de l'obligation de faire venir une équipe de spécialistes, nul doute néanmoins qu'elle ne rende souvent des services importants en permettant de réduire le nombre des sondages de reconnaissance et en facilitant le choix de l'emplacement optimum pour l'implantation de l'ouvrage.

Bien entendu l'étude géophysique doit suivre immédiatement la première reconnaissance géologique. Elle doit donc précéder l'exécution des premiers travaux. Enfin elle doit toujours être contrôlée par quelques forages, qui vérifieront l'exactitude de l'interprétation des mesures et corrigeront parfois certaines erreurs systématiques affectant l'ensemble du diagnostic.

Résumé.

Les forages mécaniques, les puits, les sondages ne permettent pas toujours de trouver l'emplacement le meilleur pour les fondations d'un ouvrage d'art, et leur exécution présente souvent de réelles difficultés occasionnant des dépenses élevées.

Les prospections géophysiques effectuées pour l'étude des fondations sont utiles pour rechercher, dans une région assez étendue, le meilleur emplacement possible et lorsque un recouvrement assez épais d'eau, d'alluvions ou de terres meubles masque la roche solide sur laquelle doit s'appuyer l'ouvrage. Elles doivent être contrôlées par quelques forages. Ceux-ci donnent un renseignement précis mais très local tandis que les prospections géophysiques donnent une indication générale mais permettent d'ausculter de vastes régions.

L'auteur expose le principe de la méthode électrique et celui de la méthode sismique.

La première méthode est basée sur la résistivité électrique différente des terrains. Pour mesurer cette dernière on applique généralement la technique du quadripôle. Le diagramme d'un „sondage électrique“ permet de déterminer le caractère lithologique et l'épaisseur des couches auscultées. Exemples: Barrage d'Ariel aux États-Unis, port d'Alger (sondage électrique en mer).

La deuxième méthode — prospection sismique — s'exécute „par réflexion et par réfraction“. C'est la réfraction qui convient aux études géologiques relatives aux fondations d'ouvrage (mesures peu profondes). L'explosion d'une charge de dynamite provoque un ébranlement du sol; la propagation des ondes est enregistrée par des sismographes et des oscillographes. La courbe „dromochronique“ permet d'étudier les couches et de déterminer leur épaisseur. Exemple: Une étude faite en Meurthe et Moselle.

Zusammenfassung.

Die günstigste Lage von Fundamenten eines Bauwerkes kann nicht immer mit Bohrungen, Schächten und Sondierungen gefunden werden. Die Ausführung dieser Untersuchungsverfahren bietet oft große Schwierigkeiten und verursacht beträchtliche Ausgaben.

Für die Planung von Fundamenten sind geophysikalische Aufschlußverfahren notwendig, besonders um in ausgedehnten Gebieten die beste Lage zu finden und wo mächtige Schichten von Wasser, Anschwemmungen oder beweglichen Böden auf dem tragfähigen Felsuntergrund liegen. Diese Verfahren müssen mit einigen Bohrungen noch geprüft werden. Diese letztern geben genaue, aber nur örtliche Aufschlüsse, während die geophysikalischen Methoden allgemeine Angaben von großen Gebieten geben.

Der Verfasser erklärt die Grundlagen des elektrischen und des seismischen Verfahrens.

Das erste beruht auf dem verschiedenen elektrischen Widerstand der Böden. Für die Messung desselben wird allgemein der Vierpol verwendet. Mit dem Schaubild einer elektrischen Sondierung kann die Schichtart und -stärke bestimmt werden. Beispiele: Staumauer in Ariel (U. S. A.), Hafen von Algier (elektrische Sondierung im Meer).

Das zweite Verfahren — seismische Untersuchung — arbeitet mit der Zurückwerfung und Brechung. Die letztere wird hauptsächlich bei geologischen Untersuchungen für Fundamente benützt (Messungen in geringer Tiefe). Die Explosion einer Dynamitladung erzeugt eine Erschütterung des Erdbodens. Die Fortpflanzung der Wellen wird durch Seismographen und Oszillographen aufgezeichnet. Mit der dromochromischen Kurve können die Schichten und ihre Mächtigkeit ebenfalls untersucht werden. Beispiel: Untersuchung im Departement Meurthe und Moselle (Frankreich).

Summary.

The most suitable position for the foundations of a structure cannot always be defined by borings, trial wits and probings. The execution of such investigations causes often great difficulties and considerable expenses.

For the planning of foundations geo-physical methods are necessary, particularly for finding the best position in extended areas, and to locate the positions of water-logged soils, filling and other unstable strata lying above bearing rock.

The methods available still require to be checked by borings. Borings give exact, but only local informations, whilst geo-physical methods allow to investigate the soil conditions of large areas.

The author gives the necessary explanations of the basic principles of the electric and seismic process. The first method is based on the different electric resistance of different soils. To measure these resistances mostly a 4-pole arrangement is used. The diagrams plotted from the measurements taken allow to determine the nature and thickness of various strata. Example: Barrage at Ariel (U. S. A.), Port of Algier (electric soundings in the sea).

The second method, seismic tests, operates on the principle of reflection and refraction. The latter is chiefly used for geological investigations of foundation sites (measurements for low depth). The explosion of a dynamite charge causes vibration in the ground. The propagation of waves is recorded by seismographs and oscillographs. The nature and thickness of strata can be examined also by dromochromatic curves. Example: Investigation carried out in Departement Meurthe et Moselle, France.