

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande

**Band:** 58 (1932)

**Heft:** 22

**Artikel:** Les sondages électriques: estimation de l'épaisseur de formations géologiques horizontales au moyen de mesures électriques exécutées en surface

**Autor:** Poldini, E.M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-44874>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 09.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN TECHNIQUE

Rédaction : H. DEMIERRE et  
J. PEITREQUIN, ingénieurs.

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE TECHNIQUE SANITAIRE

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Les sondages électriques. Estimation de l'épaisseur de formations géologiques horizontales au moyen de mesures électriques exécutées en surface* (suite et fin), par E.-M. POLDINI, ingénieur. — *Essai sur un modèle réduit de la galerie de fuite de Weltingen.* — *La logique et le sentiment dans l'architecture moderne.* — *Contrôle de la siccité des parquets et des bâtiments.* — CHRONIQUE. — « *Ende der Grosstadt* » et concours d'idées pour le plan d'extension de Berne. — *Un cours sur la prévention des accidents.* — CORRESPONDANCE. — BIBLIOGRAPHIE.

## Les sondages électriques

Estimation de l'épaisseur de formations géologiques horizontales au moyen de mesures électriques exécutées en surface.

par E. M. POLDINI, ingénieur.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

### II. Exemples de sondages électriques.

1. *Cas de terrains conducteurs reposant sur un socle résistant. Sondages électriques exécutés en vue de la construction du barrage de Littleton (New Hampshire U. S. A.).*

Il s'agissait de déterminer l'épaisseur du quaternaire formé de sables, de graviers et d'argiles, reposant sur des terrains métamorphiques fortement redressés. La résistivité spécifique moyenne du quaternaire était de 480 ohms

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 15 octobre 1932, page 273.

m<sup>2</sup>/m, celle du substratum de plus de 10 000 ohms m<sup>2</sup>/m.

L'application de l'abaque du terrain de 480 ohms reposant sur un socle de résistivité pratiquement infinie a fourni de bons résultats. Cet abaque est donné par la figure 8, sur laquelle on voit dessinées en trait fin les courbes théoriques représentant les sondages électriques calculés pour diverses épaisseurs  $h$  d'un mort terrain de résistivité  $\rho_1 = 480$ , reposant sur un socle de résistivité infinie.

En superposant à ce fond les sondages obtenus sur le terrain (figurés en pointillé épais) on lit immédiatement :

Sondage élec. U. P. 1	8 m	de graviers	quaternaires.
» » » 13 32	»	»	»
» » » 40 51	»	»	»

Les sondages mécaniques effectués après coup ont montré respectivement : 8.75 m., 31.05 m. et 51.05 m.

Voici le tableau récapitulatif de toutes les vérifications exécutées sur les sondages électriques de Littleton :

N <sup>o</sup> du sondage.	Diagnostic.	Vérification.
U. P. N <sup>o</sup> 1	8 m	8,75
U. P. » 9	31 »	31
U. P. » 10	31 »	30
U. P. » 11	16 »	17,05
U. P. » 12	13 »	15,05
U. P. » 13	32 »	31,05
U. P. » 14	45 »	43,50
U. P. » 15	61 »	59,25
U. P. » 20 bis	35 »	51,15
U. P. » 43	32 »	51,15
U. P. » 21	43 »	44,55
U. P. » 53	10 »	6,75
U. P. » 52	4 »	4,—
U. P. » 52 bis	5 »	4,75
U. P. » 7	8 »	13,—
U. P. » 40	51 »	51,05
L. D. » 10	16 »	17,50
L. D. » 13	53 »	55,75
L. D. » 14	39 »	36
L. D. » 27 bis	14 »	10,75
L. D. » 28	5 »	6,25
L. D. » 28 bis	6 »	6,60

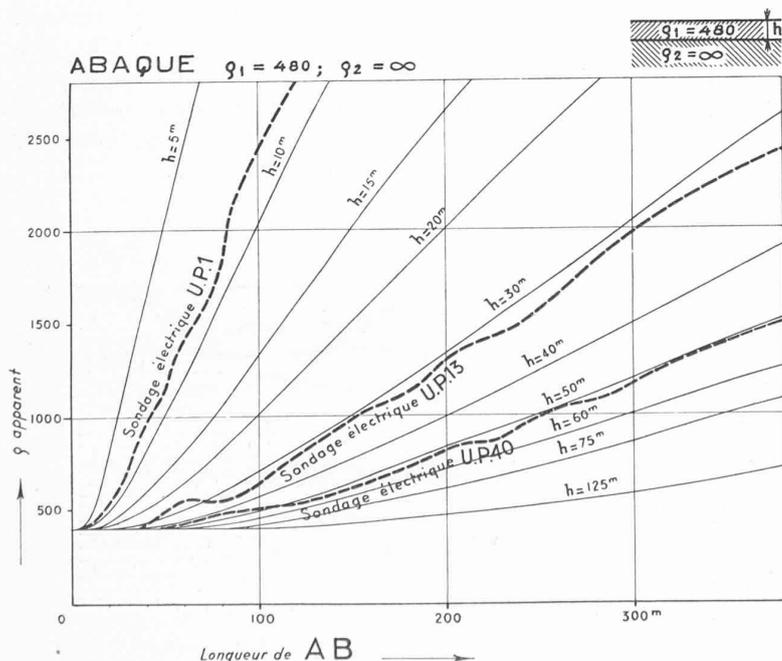


Fig. 8. — Trois sondages électriques (en traits pointillés épais) reportés sur leur abaque théorique (en traits fins). Il s'agit de la mesure d'épaisseurs d'alluvions, de résistivité moyenne  $\rho_1 = 450-500$  ohms m<sup>2</sup>/m, reposant sur un socle de résistivité pratiquement infinie.

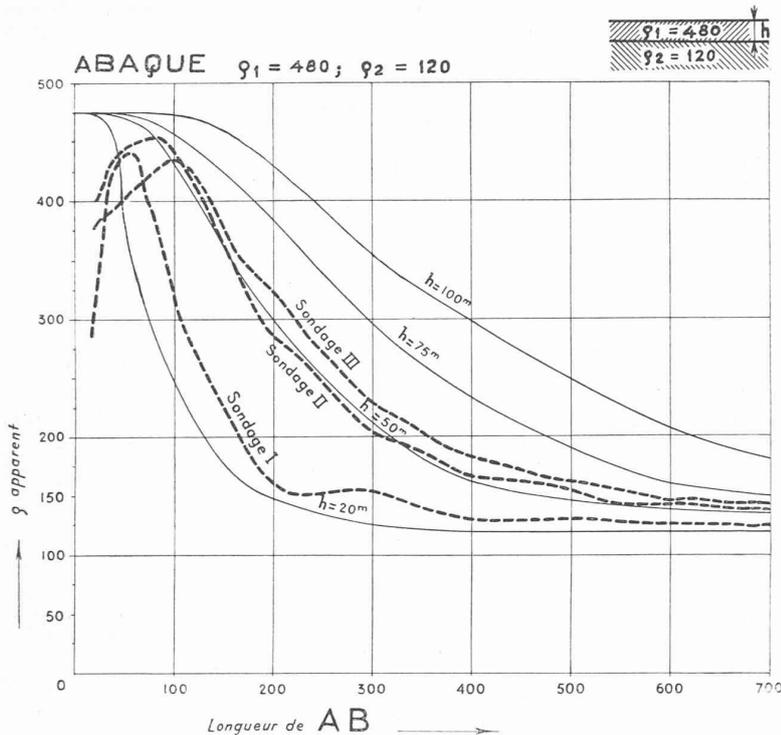


Fig. 9. — Mesure de l'épaisseur de calcaires de résistivité  $\rho_1 = 450$  à  $500$  ohms  $m^2/m$  reposant sur des marnes de résistivité  $\rho_2 = 120$  ohms  $m^2/m$ . Les trois sondages électriques (en pointillés) sont reportés sur leur abaque théorique  $\rho_1 = 480$ ;  $\rho_2 = 120$ .

L'ensemble de ces résultats est excellent. Il tient à des conditions favorables. Lorsque celles-ci ne se trouvent pas réalisées, les sondages électriques sont faussés d'autant. Dans la majeure partie des cas, l'erreur moyenne obtenue dans la détermination de profondeurs d'alluvions, reposant sur un substratum rocheux, n'a cependant pas dépassé 10 %. Cette approximation est généralement suffisante pour dégrossir un problème et guider une campagne de sondages mécaniques.

2. Cas de terrains résistants reposant sur un socle conducteur. Sondages électriques exécutés en Afrique du Nord, en vue de l'implantation d'un barrage.

La succession stratigraphique était la suivante :

3. quelques mètres d'éboulis ;
  2. des calcaires sénoniens ;
  1. des marnes passablement calcaires ;
- le pendage des terrains était faible.

Il s'agissait de déterminer la profondeur du toit des marnes.

La résistivité moyenne des calcaires était de 450 à 500 ohms  $m^2/m$ , celle des marnes de 120 ohms  $m^2/m$  environ. Les éboulis de couverture se trouvaient être un peu plus conducteurs que les calcaires.

La figure 9 montre trois sondages électriques reportés sur l'abaque  $\rho_1 = 480$ ;  $\rho_2 = 120$ . Nous avons donc ici un cas inverse de l'exemple précédent, en ce sens que le substratum est plus conducteur que les terrains de couverture.

Les sondages électriques se lisent comme suit :

Sondage I	30 m de calcaires
» II	50 » »
» III	60 » »

Les sondages de vérification ont donné :

Sondage I	m 33,25
» II	» 56,—
» III	» 65

3. Simplification du sondage électrique, ramené à l'exécution d'une seule mesure. Localisation, dans des calcaires, de dépressions comblées par des schistes (Missouri U. S. A.).

Les gîtes de plomb et de zinc de l'Oklahoma et du Missouri (U.S.A.) sont inclus dans des calcaires et des dolomies mississippiens recouverts de schistes pensylvaniens. On a constaté qu'un certain type de ces gisements était toujours associé à des sortes de cuvettes remplies de schistes, qu'on nomme les « Shales pockets ». C'est notamment le cas dans les districts miniers de Waco, Oronogo Neck City etc... où le contour des « shales pockets » coïncide avec le « ore bearing ground », terrain contenant le minerai. Les shales pockets moyens mesurent environ 400 m de long sur 200 m de large. La figure 10 montre schématiquement le type de gîte de plomb-zinc du Missouri.

La connaissance des poches de schistes permet d'orienter les recherches des compagnies minières. On cherchait jusqu'ici ces dépressions par de petits sondages mécaniques espacés de 30 à 50 m. Ces derniers ont pu être avantageusement remplacés par des sondages électriques.

Les calcaires mississippiens ont une résistivité de l'ordre de 300 à 400 ohms  $m^2/m$ . Les schistes et les terrains remplissant les creux calcaires n'ont que 20 à 60 ohms  $m^2/m$ . L'exécution de sondages électriques semblait donc à conseiller et donna effectivement de bons résultats.

La figure 11 représente l'abaque  $\rho_1 = 25$ ;  $\rho_2 = 300$  ohms  $m^2/m$ . Les trois sondages électriques qui y sont reportés permettent de lire 28 m, 50 m et 80 m de terrains conducteurs, c'est-à-dire de schistes. Les sondages de vérification ont donné 30 m, 56 m et 85 m. La méthode était donc applicable.

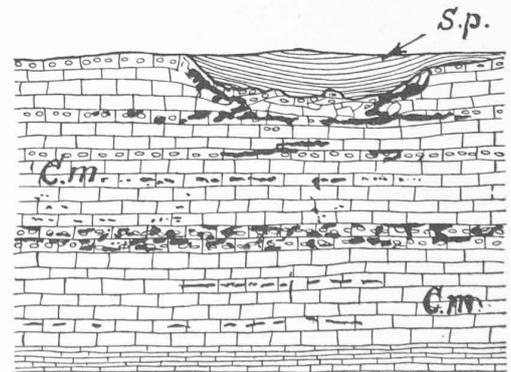


Fig. 10. — Coupe schématique d'un « shale pocket » (d'après W. Lindgren).

S.p. = schistes pensylvaniens  
C.m. = calcaires mississippiens  
le minerai est figuré en noir.

Echelle approximative : 1 cm. = 80 mètres.

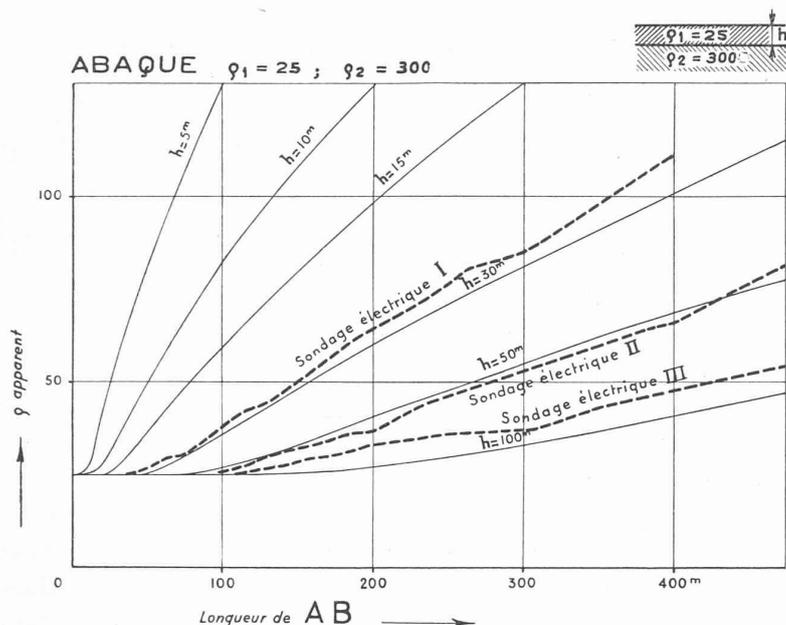


Fig. 11. — Sondages électriques mesurant l'épaisseur de schistes pensylvaniens qui recouvrent des calcaires mississippiens.

Mais dans ce cas, le travail de prospection géophysique ne s'est pas exécuté entièrement par les sondages électriques tels que nous les avons décrits. Une simplification est en effet possible lorsque les terrains sont très réguliers et que leur différence de résistivité est grande. On peut alors acquérir rapidement une notion approchée de l'épaisseur d'un recouvrement conducteur reposant sur un socle résistant. Il suffit pour cela d'une seule mesure. Voyons comment :

Supposons, d'une part, que l'on se trouve en présence d'une stratification grossièrement horizontale par rapport au dispositif  $AB$ , d'autre part, que les deux terrains  $\rho_1$  et  $\rho_2$  ont chacun une résistivité constante dans tout le domaine à prospector.

$$\text{La formule générale } \frac{\rho_a}{\rho_1} = F\left(\frac{L}{h}, \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

est alors certainement applicable. Nous venons de supposer que  $\rho_1$  et  $\rho_2$  y étaient des constantes. Si nous laissons invariable la longueur  $L$  de la ligne d'émission  $AB$ , la formule générale se particularise et devient

$$\rho_a = f(h) \text{ ou encore } h = \Phi(\rho_a),$$

calculable comme cas particulier de la formule générale.

Pour connaître  $h$  il suffira donc d'exécuter une seule mesure de résistivité avec une ligne de longueur donnée. Cette dernière devra être choisie de façon à être sensible aux variations de  $h$  (c'est-à-dire pour rendre la dérivée  $\frac{d\rho}{dh}$  aussi grande que possible). A la résistivité apparente  $\rho_a$  observée, la formule particulière

$h = \Phi(\rho_a)$  fera alors correspondre la profondeur cherchée.

Pour résoudre le problème pratiquement, on dessine la courbe correspondant à la fonction  $h = \Phi(\rho_a)$  (courbe que l'on peut obtenir expérimentalement sur le terrain en se rapportant à des sondages mécaniques connus, ou encore calculer à partir de  $\rho_1$  et  $\rho_2$ ). On lit ensuite directement sur cette courbe la valeur  $h$  correspondant à chaque mesure  $\rho_a$  exécutée.

Dans le Missouri l'épaisseur des schistes pensylvaniens, qui recouvrent les calcaires mississippiens, a été mesurée de cette façon. Les chiffres obtenus ont permis de passer à la carte du toit du substratum résistant, c'est-à-dire des calcaires et dolomies sous-jacents. Cette carte a été dressée dans plusieurs districts miniers. Les «shales pockets» s'y voient nettement et leur contour est dessiné avec exactitude, ainsi que l'ont montré les sondages mécaniques de vérification. (Fig. 12.)

Le procédé du sondage électrique, réduit à une seule mesure, rend fréquemment de grands services à cause de sa rapidité d'exécution. Il ne saurait cependant être utilisé que si les conditions locales sont favorables et lorsqu'on préfère accroître plutôt le nombre des déterminations que la précision de chacune d'elles.

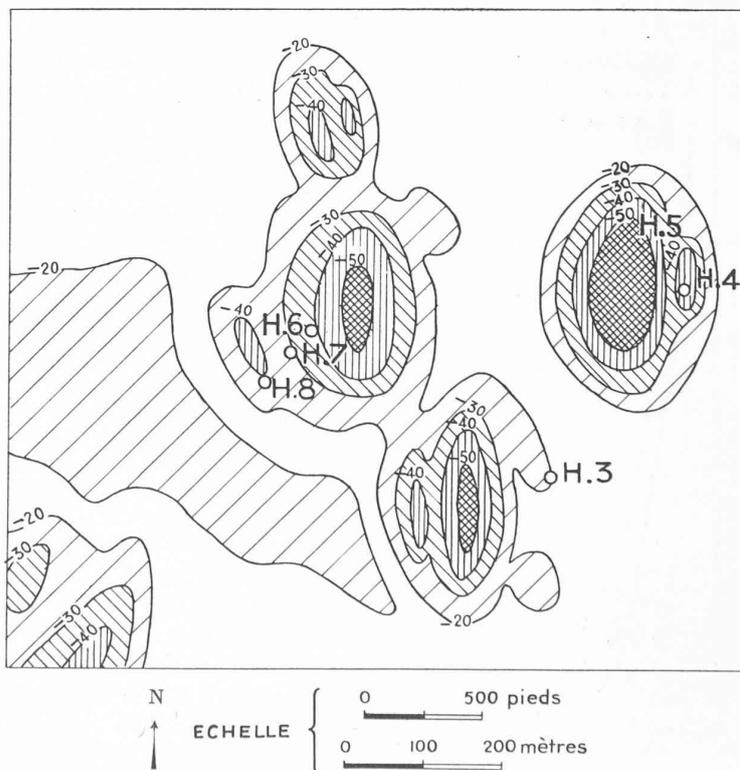


Fig. 12. — Carte du toit des calcaires mississippiens sous les schistes pensylvaniens dessinée d'après les mesures électriques. Les courbes de niveau sont cotées en pieds par rapport à la surface d'une plaine, prise comme plan de référence. H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>, sont des sondages de vérification.

#### 4. Cas de trois couches superposées. Sondage électrique exécuté en Alsace.

Le bassin potassique d'Alsace forme un synclinal d'orientation S. W. — N. E., qui s'enfonce profondément dans la plaine du Rhin, au nord de Mulhouse. La succession stratigraphique comprend :

3. des alluvions quaternaires ayant une résistivité spécifique de 300 à 500 ohms  $m^2/m$  ;

2. des marnes oligocènes montrant une résistivité de 5 à 10 ohms ;

1. des couches de sel gemme contenant, suivant les endroits, un ou deux niveaux de potasse. Ces couches de sel ont une résistivité pratiquement infinie.

La configuration du bassin vers le nord était inconnue, car une épaisse couverture d'alluvions le masque complètement. Pour étudier sa structure, de nombreux travaux géophysiques ont été entrepris ces dernières années.

Nous donnons, ci-dessous, un sondage électrique effectué, au N. E. de Colmar, il y a bientôt deux ans et qui fut vérifié récemment par un sondage mécanique. Les mesures ont été poussées jusqu'à  $AB=8000$  m. Pour des raisons de présentation, nous avons dessiné la figure à deux échelles différentes.

Sur la partie droite du dessin (fig. 13) le début du sondage électrique est reporté sur l'abaque  $\rho_1 = 350$   $\rho_2 = 10$ . On y voit une épaisseur de 200 m de terrains de résistivité  $\rho_1 = 350$  ohms  $m^2/m$ , c'est-à-dire 200 m d'alluvions, reposant sur l'oligocène.

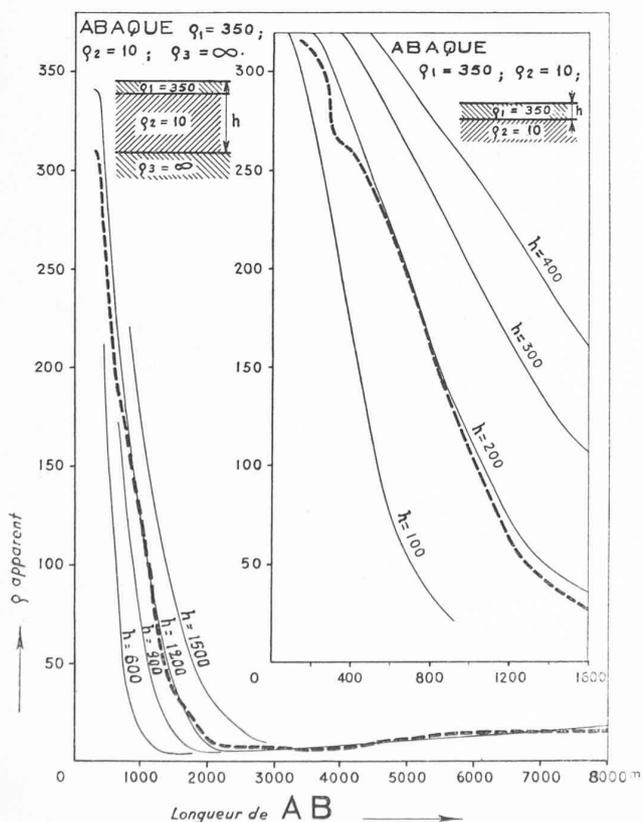


Fig. 13. — Sondage électrique réalisé au N.-E. de Colmar. (Cas de trois formations horizontales de résistivités différentes).

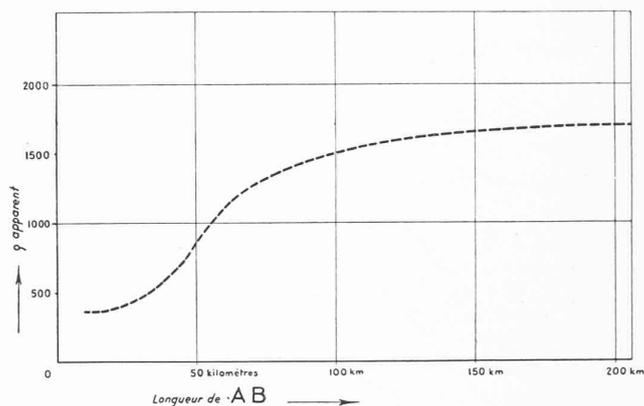


Fig. 14. — Sondage électrique de Vitré poussé jusqu'à une distance des pôles  $AB = 200$  km.

Sur la partie gauche du dessin, le sondage électrique est figuré en entier, jusqu'aux valeurs de la résistivité apparente correspondant à  $AB = 8000$  m. L'abaque théorique, dessiné en traits fins, représente le cas de 3 terrains :  $\rho_1 = 350$  ;  $\rho_2 = 10$  et  $\rho_3 = \infty$  (l'épaisseur du premier terrain  $\rho_1$  et celle du second terrain  $\rho_2$  étant supposées dans le rapport constant de 1 à 5). Le graphique montre clairement le sel infiniment résistant à 1200 m.

Le sondage mécanique exécuté par la suite a traversé 198 m d'alluvions et a rencontré le sel à 1125 m.

#### 5. Sondage électrique exécuté en vue de l'étude de la lithosphère et poussé jusqu'à une longueur de ligne $AB = 200$ km.

C'est dans la région de Vitré (Bretagne), sur ce que les géologues appellent le rameau armoricain de la chaîne hercynienne, que le plus grand sondage électrique a été réalisé<sup>1</sup>. Les mesures ont été exécutées à Vitré même. Une ligne téléphonique, connectée au sol, sert comme circuit de mesure  $AB$ , et le sondage fut poussé jusqu'à  $AB = 200$  km. La prise  $A$  se déplaçait en direction Vitré-Rennes, la prise  $B$  en direction Vitré-Laval. Des précautions techniques spéciales avaient été prises.

On peut envisager que, lors de cette expérience, la conductibilité de l'écorce terrestre a été étudiée sur ses cinquante premiers kilomètres de profondeur environ. La figure 14 représente la courbe des résistivités apparentes obtenue.

Les résultats montrent que la résistivité du sous-sol de la région de Vitré croît rapidement entre 0 et 25 km de profondeur. Elle paraît tendre ensuite vers un maximum, voisin de 1700 ohms  $m^2/m$ , à une profondeur de 50 km.

Il est possible qu'en reprenant les expériences avec des lignes plus longues, on arrive un jour à « voir électriquement » le magma conducteur sous-jacent. Ce sera là un des rares moyens qui nous permettront d'évaluer l'épaisseur de la lithosphère.

#### Conclusions.

Nous avons ainsi passé en revue diverses applications possibles du sondage électrique. Celles-ci vont de la mesure de l'épaisseur de quelques mètres de gravier à l'étude

<sup>1</sup> Les données que nous mentionnons à ce propos ont déjà fait l'objet d'une publication. Voir C. et M. Schlumberger: Electrical Studies of Earth Crust at Great Depths — American Institute of Mining and Metallurgical Engineers — Techn. public. n° 315. 1929.

de la variation de la conductibilité de l'écorce terrestre, sur ses cinquante premiers kilomètres.

Il serait fastidieux de multiplier les exemples. Nous nous bornerons à transcrire notre impression générale, impression qui résulte d'une cinquantaine de types d'étude que nous avons appris à connaître.

Pour qu'un sondage électrique soit pratiquement réalisable, il faut que les terrains sur lesquels on l'exécute soient, autant que possible, des corps de raison. Les conditions les meilleures sont donc réunies par des formations horizontales, continues, à paramètres électriques constants. En plus, une surface topographique aussi plane que possible est souhaitable pour l'exécution des mesures.

Les données complexes de la nature correspondent-elles à ces desiderata ?

On pourrait craindre, de prime abord, que les différentes roches soient des solides trop hétérogènes, au point de vue électrique, pour se prêter à une étude géophysique. Cette objection est à écarter. L'expérience montre, en effet, que les formations géologiques, prises sous un volume de plusieurs centaines de mètres cubes ont chacune une résistivité spécifique assez constante. Il est possible, par exemple, de différencier dans une région donnée, des argiles d'avec des graviers et des graviers d'avec du granite, par des paramètres qui sont dans le rapport 1 : 10 : 1000, alors que la résistivité spécifique du sable, de l'argile et du granite, prise individuellement, ne variera, au maximum, que de 20 % d'un point à un autre. Et nous ne citons pas un cas spécialement favorable. Aussi pouvons-nous affirmer que les caractéristiques électriques des roches se prêtent généralement au genre d'étude dont nous parlons.

Reste la forme géométrique des objets étudiés, car le sondage électrique présuppose une certaine extension horizontale des solides. Celle-ci est très fréquemment réalisée par la stratification naturelle. Dans d'autre cas, comme pour la mesure de l'épaisseur d'alluvions reposant sur une surface irrégulière, on n'obtient, évidemment, qu'un chiffre moyen, tenant compte de tout ce qui se trouve sous le dispositif *AB*. Nous avons dit que la profondeur d'investigation de celui-ci équivalait grossièrement à  $AB/4$ . Il sera donc aisé de se rendre compte, dans chaque cas particulier, des possibilités limites d'application de la méthode.

D'une façon générale les sondages électriques sont utiles pour dégrossir les problèmes et guider les campagnes de sondages mécaniques. Ils permettent de réduire le nombre de ces derniers et par conséquent de travailler à meilleur marché. Certains problèmes, inabordables par sondages mécaniques pour raisons de prix, ont avantageusement pu être traités par sondages électriques.

Aujourd'hui l'étude rationnelle du sous-sol tend à commencer par l'examen géologique, suivi de l'examen géophysique, pour aboutir aux sondages mécaniques. Ainsi comprise, ainsi encadrée, l'analyse géophysique constitue certainement un échelon important et logique dans les recherches multiples que l'ingénieur est appelé à effectuer pour ses travaux miniers et de génie civil.

## Essai sur un modèle réduit de la galerie de fuite de Wettingen.

Le *Bulletin technique* a eu l'occasion de signaler déjà<sup>1</sup> l'essai exécuté au *Laboratoire de recherches hydrauliques annexé à l'Ecole polytechnique fédérale* sur un modèle à échelle réduite de la chambre d'équilibre et de la galerie de fuite de l'usine de Wettingen.

Grâce à l'heureuse combinaison d'un écoulement de l'eau alternativement libre et en charge dans la galerie, M. le professeur *E. Meyer-Peter* était arrivé à la conclusion que la chambre d'équilibre, située à l'amont de la galerie de fuite, c'est-à-dire à la sortie même des aspirateurs des turbines, pourrait être de dimensions considérablement réduites, sa section passant de plus de 2000 m<sup>2</sup> (dans le cas où la galerie serait restée toujours en charge) à 423 m<sup>2</sup> seulement (si l'on tolère partiellement l'écoulement à nappe libre). Le calcul avait confirmé l'idée mais, devant la nouveauté de la méthode et l'importante économie proposée, la ville de Zurich n'hésita pas, avant d'en venir à l'exécution, à réaliser l'essai que lui proposait le professeur Meyer sur un modèle réduit.

\* \* \*

La *fig. 1* montre l'aménagement général de l'installation hydraulique de Wettingen ; les *fig. 2 et 3*, les dimensions de la galerie et les niveaux caractéristiques de l'eau, dont le plus défavorable est, dans le cas présent, celui des crues exceptionnelles, surtout si l'on provoque à ce moment-là la mise en marche des trois groupes de l'usine simultanément.

Pour tenir compte de la place disponible dans le laboratoire à l'époque de l'essai, le modèle au 1 : 30<sup>e</sup> ne réalise pas la disposition réelle, mais bien une disposition symétrique des ouvrages, les uns par rapport aux autres, ce qui n'entraîne d'ailleurs aucun autre inconvénient qu'une interprétation symétrique, elle aussi, des résultats.

<sup>1</sup> Voir le n° du 9 juillet 1932, page 167.

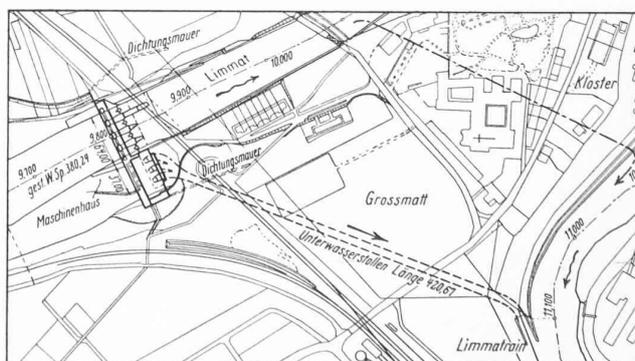


Fig. 1. — Plan de situation de l'aménagement hydraulique de Wettingen. Echelle 1 : 8000.

Légende : Gest. W. Sp = Niveau de la retenue.  
 Maschinenhaus = Usine génératrice.  
 Unterwasserstollen = Galerie de fuite.  
 Dichtungsmauer = Mur d'étanchéité.