

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

**Band:** 58 (1932)

**Heft:** 21

**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-44872>

### **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:** 14.03.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

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

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*, par E.-M. POLDINI, ingénieur. — *Le gratte-ciel de l'« Algemeene Bankvereniging », à Anvers.* — CHRONIQUE. — *Le linoléum en Suisse.* — NÉCROLOGIE : *Charles Magnenat.* — BIBLIOGRAPHIE. — DIVERS.

## Les sondages électriques

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

par E. M. POLDINI, ingénieur.<sup>1</sup>

Les méthodes de géophysique pratique, que l'on pourrait appeler les méthodes d'auscultation du sous-sol, se sont particulièrement développées durant ces dix dernières années. Utilisées d'abord uniquement à la recherche de gîtes métallifères, elles ont trouvé, depuis 1928, un emploi dans les études de fondation de barrages, pour la détermination des épaisseurs d'alluvions, etc.

L'une d'elles, appelée « le sondage électrique », s'attache à déterminer l'épaisseur de formations géologiques horizontales au moyen de mesures de potentiel exécutées en surface. Nous espérons intéresser les ingénieurs en leur exposant brièvement un peu de théorie à ce sujet, théorie que nous illustrerons ensuite par des exemples puisés dans la pratique.

La « Société de Prospection Electrique » (procédés Schlumberger) et la « Compagnie générale de Géophysique » ont bien voulu nous autoriser à publier ces résultats. Nous tenons à leur exprimer ici toute notre gratitude.

### I. Généralités.

L'analyse géophysique cherche à déceler les corps par leurs actions à distance. Elle se réalise par la mesure de champs (gravimétriques, magnétiques, électriques ou mécaniques) dont la variation, étudiée en surface, permet de déceler les hétérogénéités du sol en profondeur. C'est ainsi qu'un minerai de fer, par exemple, présentant une susceptibilité magnétique différente de celle des roches qui l'entourent, pourra être révélé par les anomalies locales qu'il provoque dans le champ magnétique terrestre. Une masse de sel de densité 2,3, enfouie dans des marnes de densité 2,4, sera diagnostiquée par les faibles

variations de gravité qu'elle occasionne et qu'on sait mesurer aujourd'hui, etc., etc.

Suivant les méthodes employées, suivant aussi les problèmes à résoudre, les précisions du diagnostic géophysique pourront être plus ou moins exactes.

La possibilité de distinguer électriquement, les unes des autres, les formations du sous-sol, résulte du fait que celles-ci possèdent très souvent des conductivités spécifiques variant dans des proportions considérables.

L'expérience a montré que chaque catégorie de roches ou d'alluvions, prise sous un grand volume, possède des résistivités spécifiques assez constantes. D'autre part, les résistivités spécifiques des divers terrains sont fréquemment dans un rapport assez élevé pour que les problèmes se présentent sous un jour favorable aux procédés géophysiques électriques.

Voici quelques valeurs à titre d'indication :

Sel gemme. . . . .	$1 \times 10^{15}$ ohms m <sup>2</sup> /m
granite sain . . . . .	5 000—10 000 »
granite décomposé . . . . .	1 000—5 000 »
calcaires . . . . .	100—1 000 »
marnes . . . . .	20—100 »
argiles . . . . .	10—30 »
marnes et sables imbibés d'eau salée . . . . .	0,5—10 »

Ces chiffres montrent que la connaissance du paramètre résistivité électrique peut être intéressante pour l'auscultation du sous-sol. Nous allons décrire l'une des applications les plus réussies de son étude : le sondage électrique.

#### Mesure de la résistivité électrique du sous-sol.

Supposons (fig. 1) un terrain homogène isotrope, de résistivité  $\rho$  limité par une surface plane du côté de l'air. Envoyons un courant continu d'intensité  $I$ , à l'aide d'une électrode ponctuelle  $A$ . L'écoulement du courant se fera par filets rectilignes, rayonnant autour de  $A$ , et produira des variations de potentiel dans le sol, à cause de la résistance ohmique de celui-ci. Pour représenter la répartition de ces potentiels, le plus simple est de considérer les sur-

<sup>1</sup> Laboratoire de Géologie de l'Université de Lausanne.

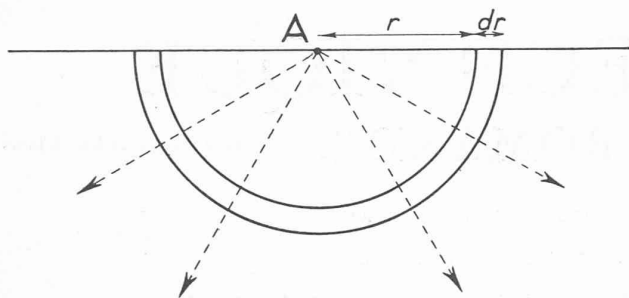


Fig. 1.

faces équipotentiellles qui, dans le cas considéré, sont des sphères centrées sur A.

L'application de la loi d'Ohm entre les sphères équipotentiellles  $r$  et  $r + dr$  s'écrit :

$$-dV = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} I, \quad (1)$$

formule qui permet de déterminer la résistivité spécifique d'un terrain homogène isotrope, pour peu que l'on puisse mesurer, par un moyen quelconque, le gradient radial du potentiel.

Dans la pratique géophysique, la nécessité d'avoir des lignes maniables et d'exécuter des mesures faciles a conduit au mode d'expérimentation suivant (fig. 2) :

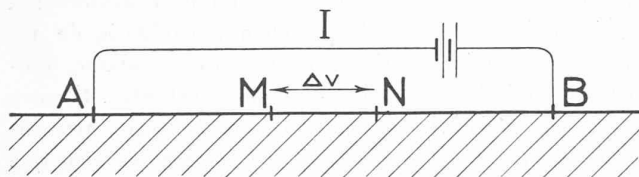


Fig. 2. — Dispositif expérimental utilisé pour les mesures de résistivité du sous-sol.

On ferme un circuit d'intensité  $I$  par la terre, à l'aide de deux piquets  $AB$  fichés dans le sol. Soit  $\Delta V$  la différence de potentiel créée par le courant entre les points  $M$  et  $N$ . Soient enfin  $r_M$  et  $r'_M$  les distances respectives de  $A$  et  $B$  au point  $M$ ,  $r_N$  et  $r'_N$  les distances de  $A$  et  $B$  au point  $N$ .

Calculons la résistivité. L'intégration de la formule (1) ci-dessus, nous permet de connaître le potentiel qui s'établit à une distance  $r$  de l'une des électrodes, prise isolément. Celui-ci sera :

$$V = \frac{I}{2\pi} \rho \frac{1}{r}. \quad (2)$$

L'action conjuguée des électrodes  $A$  et  $B$  donnera donc

$$\text{potentiel en } M = V_M = \frac{I}{2\pi} \rho \left( \frac{1}{r_M} - \frac{1}{r'_M} \right), \quad (3)$$

$$\text{potentiel en } N = V_N = \frac{I}{2\pi} \rho \left( \frac{1}{r_N} - \frac{1}{r'_N} \right), \quad (4)$$

c'est-à-dire

$$\Delta V = V_M - V_N = \rho I \frac{1}{2\pi} \left( \frac{r'_M - r_M}{r_M r'_M} - \frac{r'_N - r_N}{r_N r'_N} \right) \quad (5)$$

$$\text{et finalement} \quad \rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

où  $K$  est un coefficient caractéristique de la disposition géométrique des quatre points  $A, M, N, B$ . Ce coefficient a la dimension d'une longueur.

En exprimant  $I$  en centiampères,  $\Delta V$  en millivolts et  $r_M, r'_M, r_N$  et  $r'_N$  en décimètres, on mesure les résistivités électriques spécifiques du sous-sol en ohms-mètre carré par mètre, unité pratique fréquemment utilisée en géophysique.

Le calcul que nous venons de faire se rapporte à des terrains homogènes et isotropes. Dans le cas de terrains hétérogènes nous pourrions continuer à porter dans la formule (6) les valeurs expérimentales de  $I$  et  $\Delta V$  et nous en déduirions un nombre  $\rho_a$ , ayant les dimensions d'une résistivité, que nous appellerons « résistivité apparente ». Celle-ci est fonction des dimensions du dispositif  $AMNB$  et de la répartition des résistivités du sous-sol.

#### Profondeur d'investigation et dimensions du dispositif de mesure $AB$ .

Nous n'avons pas encore parlé des dimensions du dispositif de mesure  $AB$ . Il est évident que la portion du sous-sol embrassée dans une expérience dépend de la distance des pôles  $AB$  et que le volume de terrain exploré par le courant sera d'autant plus large et plus profond que  $AB$  sera grand.

#### Les sondages électriques.

Soient (fig. 3) deux corps homogènes et isotropes, de résistivité  $\rho_1$  et  $\rho_2$ , dont la surface de séparation est un plan indéfini, parallèle à la surface. Soit  $h$  l'épaisseur de la tranche supérieure de résistivité  $\rho_1$ .

Si nous effectuons une mesure avec une ligne  $A_1 B_1 = h/2$ , nous obtiendrons une résistivité apparente voisine de  $\rho_1$ , car le courant  $I$  circulera presque exclusivement dans la couche supérieure. Avec un dispositif  $A_2 B_2 = 8h$ , par exemple, la résistivité apparente commencera à tendre, par contre, déjà vers  $\rho_2$  qu'elle n'atteindrait que pour une valeur de  $AB = \infty$ .

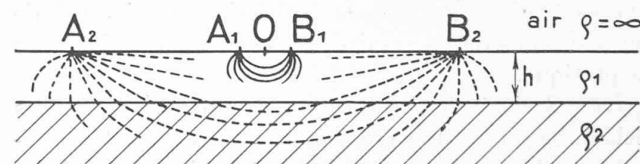


Fig. 3. —

Dans la pratique, on constate que le terrain  $\rho_2$  ne se fait sentir nettement qu'à partir de  $AB = 4h$  environ. Cette notion empirique se traduit fréquemment en disant que la profondeur d'investigation est égale au quart de la longueur de la ligne d'émission  $AB$ .<sup>1</sup>

Supposons que nous exécutions une série de mesures en agrandissant progressivement notre dispositif  $AB$  de part et d'autre de son centre  $O$ , que nous laissons fixe (fig. 4).

Traçons la courbe des résistivités apparentes  $\rho_a$  en fonction de la longueur  $AB$ , les valeurs de  $\rho_1, \rho_2$  et de  $h$  étant données.

<sup>1</sup> Sur le terrain les dimensions du dispositif de mesure sont déterminées par la longueur des câbles étendus rectilignes sur le sol. Aussi désigne-t-on couramment la distance des pôles  $AB$  par le terme de « longueur de la ligne d'émission  $AB$  » ou en abrégé « longueur de  $AB$  ».

La résistivité part évidemment de  $\rho_1$  et tend vers  $\rho_2$  à mesure que croît la longueur  $AB$ . Nous aurons la courbe I (fig. 4) que nous appellerons un « sondage électrique », puisqu'elle exprime la variation de la résistivité apparente en fonction de la distance  $L$  des pôles  $AB$ , c'est-à-dire en fonction de la profondeur d'investigation électrique.

Soit une valeur de  $\rho_a$  comprise entre  $\rho_1$  et  $\rho_2$ , et correspondant à une mesure exécutée avec une ligne  $AB = L$  sur une épaisseur  $h$  de terrain.

Toutes choses étant égales ailleurs, nous retrouverons évidemment la valeur  $\rho_a$  pour une épaisseur  $2h$  et une ligne  $AB = 2L$ , puis pour une épaisseur  $3h$  et une ligne

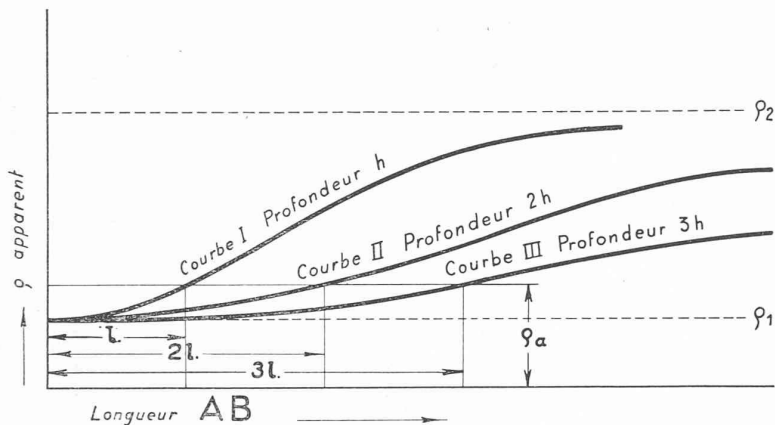


Fig. 4. — Procédé graphique permettant de construire l'abaque  $\rho_a = f(h, L)$  à partir d'un sondage électrique réalisé sur cas connu.

$AB = 3L$ , etc. En partant de la courbe I il est donc possible de construire graphiquement les courbes II, III, etc., correspondant aux valeurs  $2h, 3h$ , etc. De sorte que nous aboutirons à un abaque exprimant la valeur des résistivités apparentes en fonction de la longueur  $AB$  et de  $h$ , pourvu que nous puissions nous rapporter expérimentalement à un point où la succession des couches est déjà connue. Ce pourra être un sondage mécanique, par exemple, sur lequel nous exécuterons notre premier sondage électrique. Il suffira ensuite de reporter sur l'abaque un sondage électrique quelconque, exécuté sur des terrains horizontaux, de résistivités identiques, pour voir sur quelle courbe il se superpose et lire ainsi l'épaisseur  $h$  de la couche  $\rho_1$ .

En d'autres termes, pour un rapport  $MN/AB$  donné et fixe, c'est-à-dire pour un quadripôle toujours semblable à lui-même, l'équation du problème sera du type

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

$L$  désignant la longueur de la ligne d'émission  $AB$ .

Si donc les deux terrains conservent dans tout le domaine à prospecter des résistivités constantes, l'épaisseur  $h$  du recouvrement sera en tout point proportionnelle à la longueur de la ligne  $L$  pour laquelle la résistivité apparente prend une valeur arbitraire, fixée à l'avance. Pour étalonner cette relation de proportionnalité, il suffira d'exécuter un sondage électrique en un point où l'épaisseur  $h$  soit connue, par exemple à l'aplomb d'un sondage mécanique.

Ce départ du point connu, toujours souhaitable par le contrôle qu'il permet, n'est pas indispensable. Il est, en fait, généralement inutile, depuis que diverses méthodes de calcul ont permis de déterminer explicitement la fonction

$$F\left(\frac{L}{h}, \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

et d'en construire les abaques représentatifs.

S. Stefanescu et C.-M. Schlumberger ont, en effet, réussi à exprimer sous forme d'intégrale définie le potentiel à la surface du sol, dans le cas de  $n$  couches superposées d'épaisseurs et de résistivités données<sup>1</sup>.

De son côté, Hummel<sup>2 et 3</sup> a examiné et résolu le problème pour deux ou trois couches horizontales en utilisant la méthode des images de Thompson.

La comparaison des abaques calculés et des résultats obtenus sur le terrain permet généralement des estimations satisfaisantes ne s'écartant pas, en moyenne, de plus de 10 % de la vérité.

L'excellence des résultats obtenus dépend évidemment :

- de l'homogénéité des formations considérées ;
- du rapport des résistivités  $\rho_1$  et  $\rho_2$ , qui doit être aussi élevé que possible ;
- de la régularité du plan de séparation des divers milieux sous le dispositif  $AB$ .

En un mot, il faut que les solides sur lesquels se font les expériences soient, autant que possible, des corps de raison.

#### Réalisation pratique du sondage électrique.

Deux lignes sont nécessaires pour l'exécution des mesures (voir fig. 2) :

- la ligne  $AB$  destinée à envoyer le courant dans le sol ;
- la ligne de mesure  $MN$ .

Les qualités à demander aux câbles sont : une faible résistance ohmique, une grande résistance mécanique, un isolement parfait et un poids léger. Ces conditions, plutôt contradictoires, sont assez difficiles à obtenir en pratique. La qualité la plus importante est celle de l'isolement parfait. Si elle n'est pas réalisée, il se produit des fuites, particulièrement entre le circuit d'émission  $AB$  et le circuit de mesure  $MN$ . Ces fuites faussent complètement les résultats et c'est là un des points les plus délicats lorsqu'on travaille sur sol humide.

Les prises de terre  $A$  et  $B$  sont constituées par un certain nombre de piquets de fer enfoncés dans le sol. Leur multiplication diminue évidemment la résistance ohmique des contacts  $A$  et  $B$  et permet de faire croître le courant  $I$ . Les mesures s'en trouvent facilitées. Suivant les terrains, le nombre de piquets employés varie de 1 à 20.

<sup>1</sup> S. Stefanescu et C. et M. Schlumberger : « Sur la distribution électrique potentielle d'une prise de terre ponctuelle dans un terrain à couches homogènes et isotropes ». (*Journal de Physique et du Radium* 1930. Série VII, tome 1. N° 4, p. 132-140.)

<sup>2</sup> J.-H. Hummel : « Der Scheinbare Spezifische Widerstand ». (*Zeitschrift f. Geophysik*, 1929, tome V, N° 3-4, p. 89.)

<sup>3</sup> J.-H. Hummel : « Der Scheinbare Spezifische Widerstand bei vier planparallelen Schichten ». (*Zeitschrift f. Geophysik* 1929, tome V, N° 5, p. 228.) Voir aussi : Ollendorf : Die Erdströme, Berlin 1928. Verlag Springer.

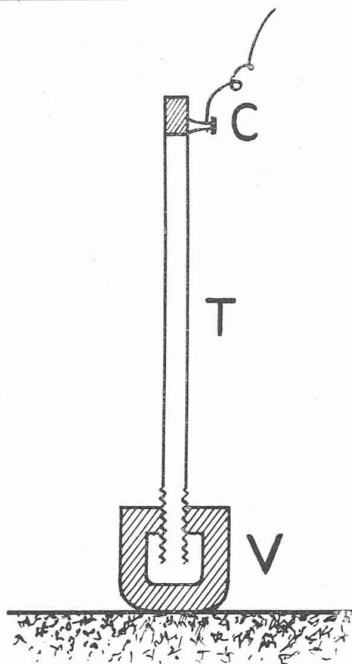


Fig. 5. — Electrode impolarisable.

Les contacts *M* et *N* ne se réalisent pas au moyen de piquets de fer. Si on touche le sol avec deux électrodes métalliques réunies par une ligne, on forme, en effet, une pile dont le sol humide constitue l'électrolyte. La force électromotrice de cet élément, nulle avec deux électrodes identiques et un sol parfaitement homogène, est d'autant plus élevée que les deux électrodes sont fichées dans des milieux plus dissemblables. En pratique, cette force électromotrice atteint facilement une centaine de millivolts, alors que les mesures à effectuer peuvent ne porter que sur quelques millivolts.

Pour remédier à ce défaut, on peut avoir recours à des électrodes impolarisables. Le type suivant (fig. 5),



Fig. 7. — Exécution d'un sondage électrique. L'opérateur est à l'appareil de mesure. Devant lui trois batteries de piles sèches pesant chacune 12 kg. Le câble en réserve sur les deux bobines va permettre d'éloigner progressivement les pôles A et B.



Fig. 6. — Débarquement de prospecteurs qui vont mesurer l'épaisseur des alluvions d'une rivière canadienne. Le matériel électrique nécessaire, que l'on voit sur la gauche, ne pèse que 60 à 80 kg.

décrit par Schlumberger<sup>1</sup> donne toute satisfaction.

Un tube *T* de cuivre rouge est serti dans un vase poreux *V*, qui contient une solution de sulfate de cuivre en présence d'un excès de cristaux de ce sel. En arrosant le sol avec une solution de  $CuSO_4$  aux endroits où doivent être déposées les électrodes impolarisables *M* et *N* on réalise une chaîne galvanique :

: Solution : Solution : Electrolyte : Solution : Solution :  
 Cuivre:  $CuSO_4$  :  $CuSO_4$  : hétérogène :  $CuSO_4$  :  $CuSO_4$  : Cuivre  
*M* : du vase : du : contenu : du : du vase : *N*  
 : poreux : sol : dans le sol : sol : poreux :

dont la force électromotrice est extrêmement faible, de l'ordre du millivolt en général. Pour éliminer le résidu parasite, qui peut être dû à des causes multiples (phénomènes d'électroinfiltration, différence de température ou de composition chimique des deux électrodes), il suffira d'exécuter, avec un même dispositif *AMNB*, deux mesures successives du  $\Delta V$  correspondant aux deux sens possibles du courant *I* dans la région d'émission, et à prendre la moyenne.

La source génératrice, branchée sur la ligne *AB*, doit être de poids aussi réduit que possible, pour éviter l'encombrement sur le terrain. Cette question est liée à la sensibilité des appareils de mesure. Le perfectionnement des instruments permet, aujourd'hui, de n'employer que des piles sèches, groupées par batteries. Trois de ces batteries, pesant chacune 12 kg, suffisent généralement pour un ou deux mois de travail.

D'une façon générale, toutes les questions d'appareillage sont délicates, car les instruments ont à subir l'épreuve du terrain, qui exige des qualités toutes spéciales de robustesse et de simplicité.

Des perfectionnements successifs permettent aujourd'hui de travailler avec des lignes de longueur moyenne (600 m par exemple) en utilisant 60 à 80 kg de matériel. Cet équipement est suffisant pour les problèmes de recherche intéressant les 100 premiers mètres à partir de la surface. Mais l'investigation peut être poussée beaucoup plus loin, et le matériel nécessaire à une ligne d'émission de 8 km peut encore être transporté sur une camionnette.

<sup>1</sup> C. Schlumberger. Etude sur la Prospection électrique du sous-sol, page 34. Gauthier-Villars. Paris 1920 (réimprimé en 1930).

(A suivre.)