

### 9. Les sondages électriques

Lors de l'exécution d'un sondage électrique on recherche comment varie, en un point donné de la surface, la résistivité du sous-sol à la verticale. Pour cela on exécute en un même endroit une succession de mesures, en augmentant chaque fois toutes les dimensions du dispositif et de ce fait la profondeur d'investigation qui leur est proportionnelle. On explore à cet endroit une tranche de terrain de plus en plus épaisse et l'on met ainsi en évidence les changements de constitution géologique suivant la verticale. Les mesures peuvent être réalisées avec les dispositifs classiques : Schlumberger, Wenner, dipôle-dipôle, etc...

On représente la résistivité apparente mesurée en fonction de l'espacement du dispositif sur du papier bilogarithmique. La courbe obtenue est appelée "**courbe de sondage électrique**". Diverses méthodes d'interprétation permettent de restituer à partir de cette courbe une coupe géoélectrique du sous-sol ou chaque formation sera définie par son épaisseur et sa résistivité vraie. Cette méthode n'est applicable avec quelque rigueur que lorsque les terrains sont constitués de couches **horizontales uniformes latéralement**. En effet pour qu'un sondage électrique reflète les variations de la résistivité avec la profondeur il ne faut pas que les mesures soient affectées par des variations à l'horizontale. Il importe donc lors de l'exécution, de l'interprétation des sondages électriques d'éviter autant que faire se peut les variations à l'horizontale des résistivités. On voit trop souvent des sondages électriques qui donnent **des résultats aberrants** parce qu'ils ont été exécutés sur des terrains latéralement hétérogènes. En résolvant l'équation générale du potentiel à la surface de deux terrains parallèles, homogènes et isotropes, on peut construire une série de courbes représentant la résistivité apparente.

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n L^3}{[L^2 + (2n)^2]^{\frac{3}{2}}}$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad \text{et} \quad L = \frac{OA}{h_1}$$

Ainsi on a, si  $\rho_2 = \rho_1$ ,  $K = 0$  et  $\rho_a = \rho_1 = \rho_2$

Si  $OA \rightarrow 0$ ,  $L \rightarrow 0$  et  $\rho_a = \rho_1$

Si  $OA \rightarrow \infty$ ,  $L \rightarrow \infty$  et  $\rho_a = \rho_2$

Si on impose  $\rho_1/\rho_2 = \text{constante}$ , on aura  $K = \text{constante}$ , le membre de droite de l'équation est alors une fonction ne dépendant que de  $L$  c'est à dire du rapport  $OA/h_1$ . Par commodité, on représente  $\rho_a/\rho_1$  en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de  $\rho_2/\rho_1$  sur du papier bilogarithmique; dans ce cas la relation devient:

$$\log \frac{\rho_a}{\rho_1} = F \left( \log \frac{OA}{h_1} \right)$$

avec :  
 $\rho_1$  = résistivité du 1er terrain [ohm.m]  
 $\rho_a$  = résistivité apparente des 2 terrains [ohm.m]  
 $f$  = fonction  
 $OA$  = longueur  $AB/2$  [m]  
 $h_1$  = épaisseur du 1er terrain [m]

### 9.1 Abaque CH1

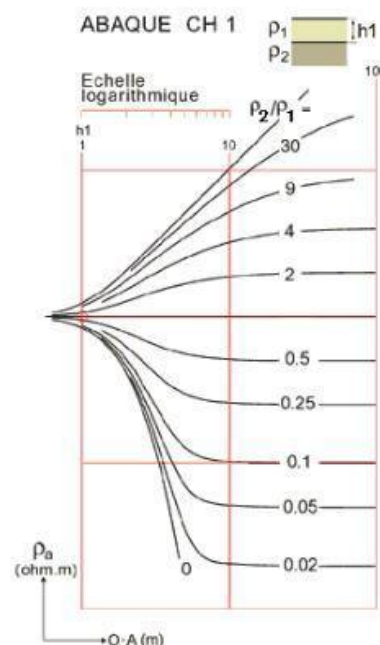
Les résultats du terrain peuvent être comparés grâce à l'abaque CH1 qui contient des courbes précalculées pour divers modèles (épaisseur et résistivité variables).

Dans le calcul de ces courbes théoriques, l'épaisseur  $h$  et la résistivité  $\rho_1$  de la première couche peuvent être considérées comme égale à l'unité. Cela élimine deux paramètres pour le calcul des courbes de sondage correspondant à un modèle donné. En résolvant l'équation générale du potentiel à la surface de deux terrains parallèles, homogènes et isotropes, on peut construire une série de courbes représentant la résistivité apparente. Par commodité, on représente  $\rho_a/\rho_1$  en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de  $\rho_2/\rho_1$  sur du papier bilogarithmique. On a la relation suivante :

### 9.2 Paramètres géoélectriques

Une couche électrique peut être décrite à l'aide de deux paramètres fondamentaux, sa résistivité  $\rho$  et son épaisseur  $h$ . L'ensemble de ces courbes porte le nom d'abaque CH1. (PDF) Elles représentent  $\rho_a/\rho_1$  en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de  $\rho_2/\rho_1$  (avec  $OA = AB/2$ ). Ces courbes sont reportées sur une échelle bilogarithmique de même décade que le papier bilog. Chaque courbe de cet abaque correspond à la courbe d'un sondage électrique exécuté sur un sous-sol composé de deux terrains ou le premier terrain a une épaisseur et une résistivité unité.

Si on considère un modèle à  $n$  couches, on obtient :



**Figure 1 :** Conductance longitudinale et résistance transverse

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i} = \frac{H}{\rho_1}$$

avec  $\rho_1$  = résistivité longitudinale

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n = \sum_{i=1}^n h_i \rho_i = H \rho_t$$

avec  $\rho_t$  = résistivité transverse

Ces paramètres  $T$  et  $S$  sont appelés les paramètres de Dar Zarrouk. Ils sont à la base des méthodes d'interprétation. Ils sont définis par rapport à une colonne de section unitaire de  $1\text{m}^2$  de section.

### 9.3 Sondages paramétriques

Il est rarement possible d'aboutir à une interprétation quantitative de sondage électrique isolé. Ces sondages ne peuvent fournir que des indications qualitatives sur la nature des terrains. Ce n'est que l'étude comparative des traits communs et des déformations progressives d'un ensemble de sondages électriques qui permet d'aboutir à des données plus précises. Nous avons vu aussi que pour qu'un sondage électrique rende compte des variations de la résistivité avec la profondeur, il faut que celle-ci ne varie pas latéralement. La meilleure approche consiste à établir une carte de résistivités avant d'implanter des sondages électriques dans les zones où il existe peu ou pas de variations latérales.

La détermination des valeurs absolues de  $h$  et  $\rho$  suppose d'autres circonstances favorables. La première chose à faire lorsque l'on désire implanter des sondages électriques dans une zone inconnue est un étalonnage. S'il existe dans la région à étudier des forages mécaniques assez profonds, ils peuvent fournir un étalonnage quantitatif des sondages électriques exécutés à leur emplacement. A défaut de forages des affleurements des principaux terrains en présence permettront d'effectuer un certain nombre de ces sondages d'étalonnage que l'on nomme "sondages paramétriques".

### 9.4 Modèle à 1 couche

Si le milieu est constitué d'une couche homogène, isotrope, d'épaisseur infinie et de résistivité finie, la résistivité apparente mesurée sera une ligne droite dont l'ordonnée est la résistivité  $\rho_1$  de ce milieu.

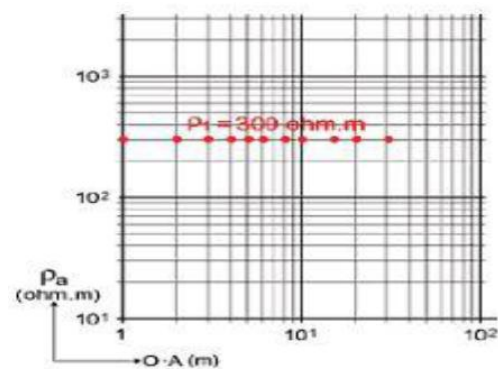


Figure 2: Sondage dans un modèle à une

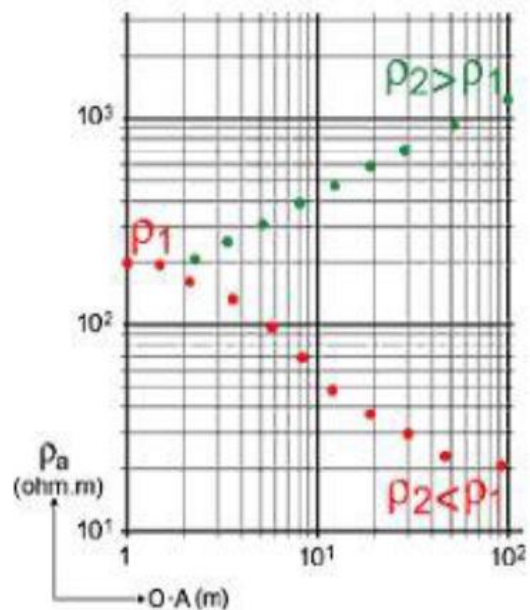
### 9.5 Modèle à 2 couches

#### 9.5.1 Principe

Si le sous-sol est composé de deux couches, une première couche d'épaisseur  $h_1$  et de résistivité  $\rho_1$  surmontant un substratum d'épaisseur infinie et de résistivité  $\rho_2$ , alors le sondage électrique débute, pour les petits espacements, par une portion de ligne droite où la résistivité apparente  $\rho_a$  est plus ou moins égale à la résistivité  $\rho_1$  du premier terrain. Puis, à fur et à mesure que l'espacement augmente, la courbe monte ou descend selon que  $\rho_2$  est plus grande ou plus petite que  $\rho_1$  et finalement atteint une valeur asymptotique qui est celle de  $\rho_2$ . L'espacement  $OA$  auquel on atteint la valeur de  $\rho_2$  dépend de trois facteurs :

- L'épaisseur de  $h_1$
- La valeur du rapport de résistivités
- Le dispositif utilisé

L'effet de l'épaisseur de  $h_1$  est assez évident. Plus l'épaisseur du premier terrain est importante plus il faudra un grand espacement pour obtenir la résistivité du second terrain. Cela est vrai pour n'importe quel dispositif et pour n'importe quel rapport de  $\rho_2/\rho_1$ . Cependant quelque soit le dispositif utilisé il faut des OA plus grands pour atteindre  $\rho_2$  quand  $\rho_2$  est résistant ( $\rho_2/\rho_1 > 1$ ) que quand  $\rho_2$  est conducteur ( $\rho_2/\rho_1 < 1$ ).



*Fig. 3 : Sondage dans un modèle à deux couches*

### 9.5.2 Interprétation

Si notre sondage a pour résistivité  $\rho_1 = 10$  ohms.m, on translate la courbe théorique verticalement et si  $h_1 = 10$ m on translate la courbe horizontalement. L'interprétation des sondages électriques se fait donc par **simple superposition** de **l'abaque CH1** et du graphique obtenu sur le terrain sur papier bilog. Les valeurs ( $\rho_1$  et  $h_1$ ) lues sous **la croix à gauche de l'abaque CH 1** sont la résistivité et l'épaisseur du premier terrain, obtenues après une double translation à partir de l'abscisse 1 et de l'ordonnée 1. La valeur de  $\rho_2$  est la valeur atteinte par l'asymptote de la courbe choisie. On voit ici qu'il n'est pas toujours nécessaire de pousser les mesures pour avoir la valeur de  $\rho_2$ . On arrive ainsi à une **précision de 5 à 10 %**. L'erreur commise lors de l'estimation de l'épaisseur du premier terrain sera d'autant plus grande que l'imprécision sur  $\rho_1$  sera élevée, il est donc important d'avoir suffisamment de mesures au début du sondage.