

Tomographie de la résistivité électrique (ERT)

1 Principe de la mesure

Le sondage électrique est une méthode d'exploration du sous-sol qui repose sur la mesure de la résistivité électrique ρ (en $\Omega.m$). Celle-ci caractérise la capacité du courant électrique à circuler dans le milieu naturel : sa connaissance permet d'appréhender la structure et la lithologie du sous-sol. L'injection d'un courant d'intensité connue et la mesure de la distribution du potentiel électrique, nous donnent une estimation de la résistivité apparente (ρ_a) du sous-sol.

2 Procédure

2.1 Instruments de mesure

- Un système d'acquisition : l'ABEM qui contient les protocoles de mesure,
- Un résistivimètre ABEM qui mesure la résistivité apparente du milieu,
- Une batterie de 12V (chargée!),
- 64 électrodes en acier inoxydable,
- 4 câbles (jaunes) pour relier les électrodes au système d'acquisition, avec leurs bobines (faire attention à bien ranger les câbles pour qu'ils se déroulent facilement sur le terrain et prendre garde à ne pas laisser traîner les emboûts),
- Deux connecteurs de câbles,
- Un câble noir pour relier le résistivimètre à la centrale d'acquisition.

Les tensions utilisées peuvent atteindre plusieurs centaines de volts et l'intensité du courant peut atteindre 500mA, il faut donc faire attention aux **risques d'électrocution mortelle**.



FIG. 1 – Un câble noir qui relie une électrode à une prise



FIG. 2 – Le résistivimètre ABEM, la centrale d’acquisition et la batterie.

2.2 Protocole de mesure

L’installation des câbles et des électrodes (voir figure 1), le long d’un profil, se fait après l’observation du terrain et un temps de réflexion pour essayer de recouper au mieux les accidents géologiques. Il faut ensuite connecter tous les câbles à l’entrée du résistivimètre ABEM, lui-même relié à la centrale d’acquisition qui enregistre les résistivités apparentes mesurées(voir figure 2). Cet appareil, grâce à une batterie de 12V injecte le courant électrique entre les électrodes A et B et mesure le potentiel électrique entre les électrodes M et N. La centrale d’acquisition nous permet de choisir un des dispositifs (Schlumberger, Wenner, Dipôle-diôle...). Cet appareil contrôle la matrice de relais sur laquelle les câbles sont connectés et toutes les électrodes peuvent jouer, tour à tour, le rôle A, B, M ou N.

3 Les différentes configurations

Le courant est injecté via deux électrodes d’ injection – les électrodes A (pôle +) et B (pôle -) – et on mesure la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure – les électrodes M et N. Les électrodes sont séparées toujours par la même distance, choisie judicieusement pour avoir un minimum de profondeur d’investigation et une résolution adéquate à l’étude du milieu. Suivant le type de configuration, le volume de la zone sondée varie, mais la profondeur de pénétration interprétable vaut toujours à peu près $\frac{L}{8}$ pour un profil de longueur L (voir figure 3).

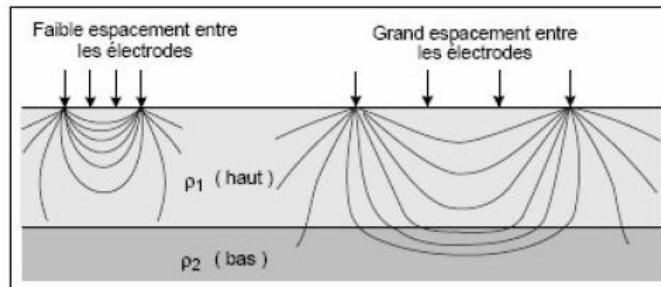


FIG. 3 – Schéma de la profondeur d’investigation par sondage électrique en fonction de la géométrie du dispositif

3.1 La configuration Schlumberger

$L = \frac{\overline{AB}}{2}$ et $l = \frac{\overline{MN}}{2}$. La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure 4.

$$\rho_a = \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \frac{V}{I} \quad (1)$$

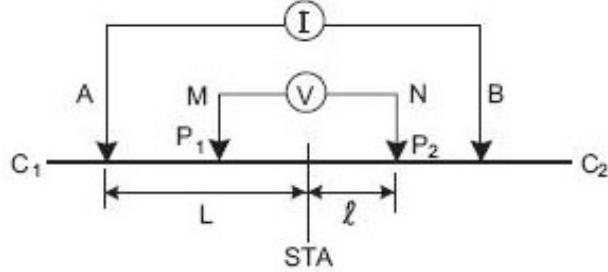


FIG. 4 – Configuration Schlumberger.

3.2 La configuration Wenner

$a = \overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB}$. La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure 5.

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (2)$$

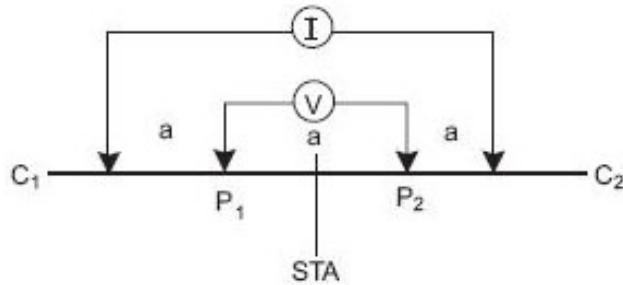


FIG. 5 – Configuration Wenner.

3.3 La configuration Dipôle-dipôle

$a = \overline{AB} = \overline{MN}$ et $\overline{AB} = \frac{a}{2}$. La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure 6.

$$\rho_a = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{V}{I} \quad (3)$$

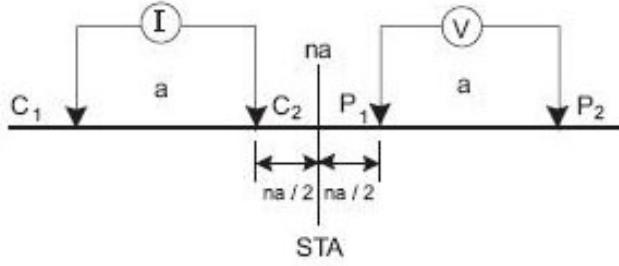


FIG. 6 – Configuration Dipôle-dipôle.

4 Interprétation des pseudo-sections et modèles de résistivité

4.1 Définition d'une pseudo-section

La première étape dans l'interprétation des données en tomographie électrique consiste à construire une **pseudo-section**. Une pseudo-section est une carte de résultat qui présente les valeurs des résistivités apparentes calculées à partir de la différence de potentiel mesurée aux bornes de deux électrodes de mesure ainsi que de la valeur du courant injecté entre les deux électrodes d'injection. La couleur d'un point sur la pseudo-section représente donc la valeur de la résistivité apparente en ce point.

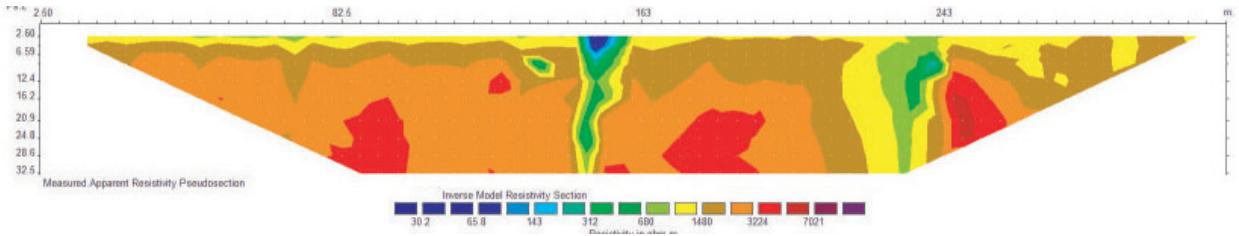


FIG. 7 – carte de pseudo-section

Pour comprendre ce que ces points représentent, prenons l'exemple de mesures réalisées dans la configuration Wenner et intéressons nous au quadrupôle (1,2,3,4) de la figure 8. Le courant est injecté entre les deux électrodes d'injection (1 et 4), puis la différence de potentiel est mesurée entre les deux électrodes de mesure (2 et 3), le calcul de la résistivité apparente se fait automatiquement dans la boîte d'acquisition (voir équation 2 pour la configuration Wenner).

La résistivité apparente du quadrupôle (1,2,3,4) sera positionnée à l'intersection de la droite passant par l'électrode 2 et de celle passant par l'électrode 3 et faisant un angle de - et $\pm \frac{\pi}{4}$, respectivement, avec l'horizontale. De même pour le quadrupôle (1,3,5,7), on positionne la résistivité apparente à l'intersection des droites passant par les électrodes de mesure (3,5) et faisant un angle de - et $\pm \frac{\pi}{4}$ avec l'horizontale. On représente ainsi l'ensemble des valeurs mesurées aux bornes de chaque quadrupôle par des points. La profondeur de ces points augmente avec l'écartement entre les électrodes de mesure et leur position indique le quadrupôle de mesure le long du profil. Pour 16 électrodes, il existe 35 combinaisons possibles de quadrupôles.

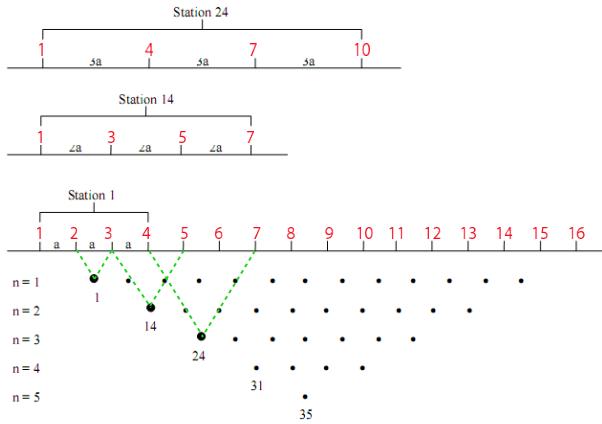


FIG. 8 – Principe de construction d'une pseudo-section pour la configuration Wenner

4.2 Le modèle d'inversion

Toutes les méthodes d'inversion tentent essentiellement de déterminer un modèle de subsurface qui se rapproche au mieux des mesures. Un modèle est une représentation mathématique idéalisée d'une portion de la Terre. Il existe **une application mathématique** : la méthode des éléments finis ou des différences finies qui permet de passer de l'espace des **mesures** : la résistivité apparente à l'espace des **paramètres physiques du modèle à estimer** : la valeur de la résistivité en chaque point de la section.

Nous avons utilisé le logiciel *res2dinv* pour obtenir des modèles à partir de nos données (la pseudo-section). Le programme d'inversion peut être utilisé pour différentes configurations d'électrodes notamment celles décrites dans le paragraphe 3 (Wenner, Schlumberger, Dipôle-Dipôle). Chaque type de configuration a ses avantages et inconvénients. Il faudra donc choisir, à l'aide du logiciel d'inversion, la meilleure configuration en fonction des structures géologiques que l'on cherche à mettre en évidence.

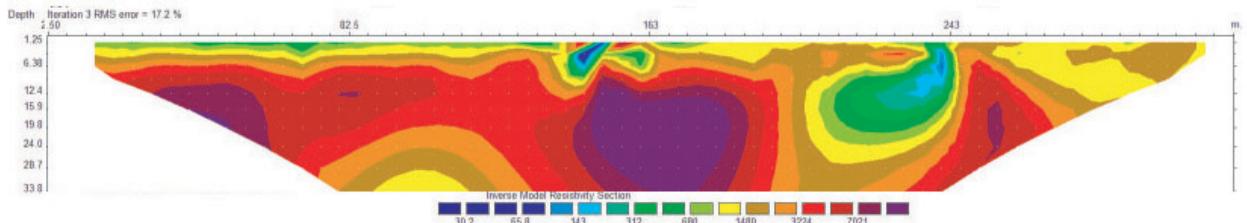


FIG. 9 – Modèle d'inversion

Plusieurs méthodes d'inversion (robuste, moindres carrées, simple ...) sont fournies avec le logiciel et il est conseillé d'en tester plusieurs afin de choisir celle qui correspondra le mieux au terrain. Le logiciel permet de supprimer les "mauvaises" mesures afin qu'elles ne soient pas incluses dans le calcul du modèle. Il existe deux types d'erreurs : systématiques et aléatoires. Les erreurs systématiques se produisent lorsqu'un problème surgit au cours de l'acquisition des données (problèmes de câbles, mauvais contact entre le sol et les électrodes). Les erreurs aléatoires concernent les paramètres que l'on ne peut pas contrôler (variation diurne, tempête magnétique) et qui sont plus difficiles à mettre en évidence.

4.3 Pseudo-section calculée

Cette image (figure 10), utilise la distribution des résistivités calculées à partir du modèle. Il donne la résistivité apparente que l'on aurait mesurée si l'on avait une distribution de résistivités du sous-sol identique au modèle calculé. On l'appelle la pseudo-section calculée.

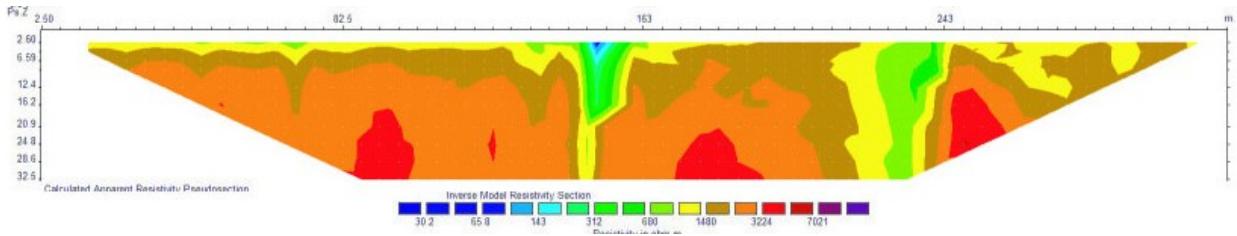


FIG. 10 – carte de pseudo-section calculée

Simplement : on fait des mesures de résistivités apparentes, l'inversion des données nous donne une carte de résistivité (le modèle) et si on calcule à partir de ce modèle les résistivités apparentes, on obtient une pseudo-section calculée.

Le logiciel compare ensuite la pseudo-section mesurée et modélisée et fournit un pourcentage d'erreur entre les deux. Il faut choisir le modèle de résistivité de façon à minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et calculée.

Le problème des méthodes d'inversion dans le domaine de la géophysique concerne la non unicité des solutions : pour une mesure i.e une pseudo-section (figure 7), on peut générer de nombreux modèles d'inversion (figure 9) qui s'approchent de la valeur de résistivité apparente mesurée.