

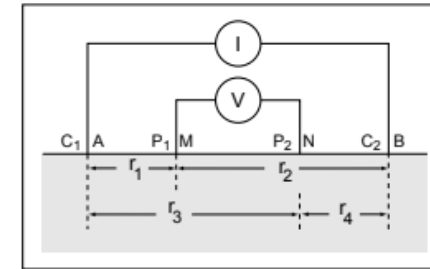
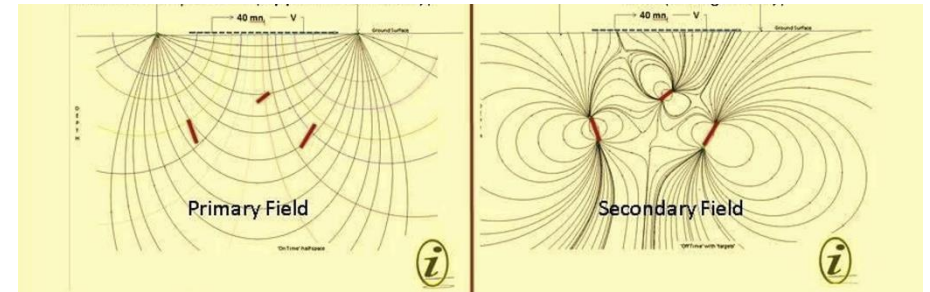
Principe de la méthode

- La Polarisation Provoquée temporelle, souvent nommée IP (Induced Polarization) en anglais, est une méthode électrique active qui consiste à mesurer l'effet capacitif du sous-sol en y injectant un courant continu et en mesurant la relaxation de la tension après la coupure de l'injection.
- La mesure est toujours effectuée à l'aide de 4 électrodes, deux pour l'injection du courant, et deux pour la mesure du potentiel.
- Lors de l'injection, les éléments chargeables du sol se chargent
- Lors de la coupure, les éléments chargés se déchargent en créant un champ électrique secondaire mesuré par l'appareil. Ce champ électrique est normalisé par rapport à la tension primaire pour être indépendant du courant.
- L'unité de mesure est l'ohm.m ($\Omega.m$) pour la résistivité et le mV/V pour la chargeabilité ; La résistivité obtenue est calculée à partir de l'ampérage injecté (I en mA) et de la différence de potentiel mesurée (ΔV en mV) selon la formule :

$$P = K \Delta V / I$$

avec $K = 2 \pi / (1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN)$

La chargeabilité est calculée comme suit : $M = \frac{1}{(T_2 - T_1)V_P} \int_{T_1}^{T_2} V_S dt$

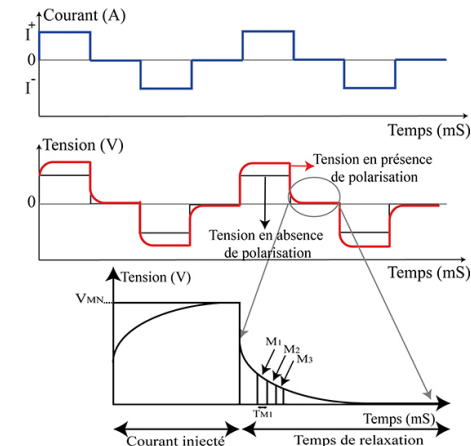


Applications

Historiquement et jusqu'à la fin du XXème siècle, la principale application de la mesure de la Polarisation Provoquée est la localisation de sulfures disséminés en prospection minière.

Toutefois, dans des temps plus récents, et grâce au développement des équipements, notamment de l'électronique, on l'utilise également pour

- La recherche de gisement de minerais ;
- L'archéométrie ;
- L'hydrologie
- L'environnement, (délimitation des panaches de pollutions)
- La recherche d'hydrocarbures en diagraphies ;
- L'exploration géothermique



Limitations / Contraintes / Interdits/ Sécurité

- La chargeabilité est bien plus difficile à mesurer que la résistivité. En effet, elle se mesure en mV/V, c'est à dire en pour mille de la tension primaire. Pour une tension de réception primaire de 100 mV, la tension secondaire mesurée sera de l'ordre de 0.1-3 mV
- Une bonne mesure consiste donc à maximiser le courant pour maximiser la tension secondaire (cf. Fiche ELEC04-Tomographie électrique)
- Selon la géologie et la qualité des résistances de contact, la polarisation provoquée est mesurée avec des résistivimètres multi-électrodes jusqu'à 100-150m de profondeur. Des investigations plus profondes nécessitent l'utilisation d'un émetteur forte puissance utilisé avec un récepteur séparé.
- En France, la loi exige dorénavant pour toute opération concernant des voltages au-delà de 50 V, de posséder une habilitation électrique haute tension pour utiliser les résistivimètres.
- La polarisation provoquée se mesurant juste après la coupure de l'injection, les phénomènes de couplage inductifs/capacitifs peuvent prendre le dessus sur le début de la courbe de chargeabilité. Ces phénomènes sont particulièrement présents dans les câbles multiconducteurs et sont amplifiés sur les sols conducteurs et pour les câbles de grandes longueurs.
- La polarisation provoquée nécessite, en théorie, de charger totalement le sol et d'attendre sa décharge complète. Elle se mesure donc avec des temps d'injection longs (supérieurs ou égaux à 2s). Cette mesure requiert également un nombre de stacks important (>10). Ces contraintes rendent les temps de mesure longs (plusieurs heures) . Privilégier les systèmes possédant plusieurs canaux pour ce type de mesures.
- Les phénomènes de polarisation d'électrodes peuvent entacher, voire empêcher la mesure de la polarisation provoquée. Il faut donc construire les séquences de manière à éviter une mesure de potentiel utilisant une électrode utilisée auparavant comme électrode d'injection.

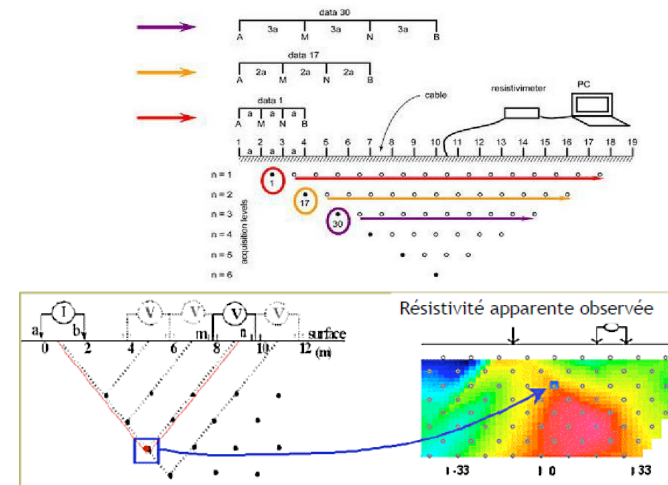


Schéma d'acquisition et de report des données

Moyens nécessaires à l'acquisition

• Equipements :

La mesure de la résistivité en mode TRE nécessite au moins un résistivimètre (Terrameter, Syscal ou VIP + Elrec pour les grands dispositifs, des câbles multi-électrodes, des électrodes, des connecteurs, et un marteau.

- Selon les instruments, la batterie peut être ou non intégrée au résistivimètre; Il est de toute façon nécessaire d'avoir une batterie externe (12V) ainsi qu'un chargeur de batterie.
- La mesure PP en TRE se fait toujours avec des électrodes en métal car les électrodes de mesure sont également utilisées pour l'injection.
- Positionnement : matériel pour le repérage des profils, jalons, décamètre, GPS, cartes
- Véhicules : 1 x véhicule de transport léger (camionnette, break), de préférence tout-terrains/tout-chemins, permettant le transport du personnel et des équipements. Les mesures se font ensuite à pied
- Personnel et compétences : 1 x opérateur qualifié pour la mise en œuvre, 1 x géophysicien qualifié pour l'interprétation (Chef de Mission), ~1 x aide non qualifié.



Exemple de matériel employé pour effectuer de la Tomographie de Résistivité Electrique

Mise en œuvre sur le terrain

- La méthode consiste à planter sur le terrain des électrodes de manière équidistante (entre 1 et 10 m) et de les connecter individuellement à un câble multi électrodes (appelé "flûte") à l'aide de connecteurs. Cette distance entre électrodes (appelée pas de mesures) est un compromis entre la résolution de surface recherchée et la profondeur d'investigation envisagée. Le résistivimètre est placé au centre du dispositif (Figure 4). On lance ensuite la séquence de mesures pré enregistrée par l'opérateur, et le résistivimètre procède alors successivement à toutes les combinaisons possibles d'électrodes pour le dispositif géométrique envisagé.
- Plusieurs dispositifs peuvent en effet être utilisés, selon l'objectif recherché et les conditions de mesures. Ils ont chacun des avantages et des inconvénients et leur choix peut s'avérer crucial pour la réussite de la campagne de mesures. On peut noter parmi les plus courants le Pôle-Pôle, le Pôle-Dipôle, le Dipôle-Dipôle, le Wenner, le Schlumberger et le multi gradient.
 - Dipôle-dipôle : évite la polarisation d'électrodes mais à n'utiliser que sur des sols très résistants car le signal est très faible.
 - Wenner-Schlumberger : signal maximum mais forte polarisation d'électrodes. N'utilise qu'une seule voie de mesure.
 - Multi-gradient : Bon compromis entre force du signal, utilisation de plusieurs voies de mesure et minimisation de la polarisation d'électrodes.
- Les profils de mesure devront être, dans la mesure du possible, perpendiculaires à la direction des anomalies recherchées. Si l'objectif est de grande taille, on peut effectuer plusieurs panneaux parallèles entre eux.
- Si l'objectif recherché est un objet 3D, il est alors utile d'effectuer des mesures 3D, ou à défaut plusieurs TRE avec des directions différentes.
- Si le profil de mesures s'avère trop court et qu'on souhaite le prolonger, il est assez classique une fois les mesures terminées, de rajouter une flûte d'électrodes au bout du dispositif, et de replacer le résistivimètre au milieu des deux dernières flûtes.
- Les logiciels d'acquisition sont maintenant familiers avec ce type de procédure appelée roll-along et poursuivent les nouvelles mesures en les raccordant aux mesures précédentes.

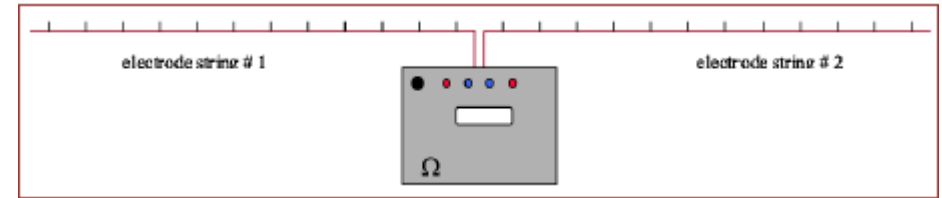
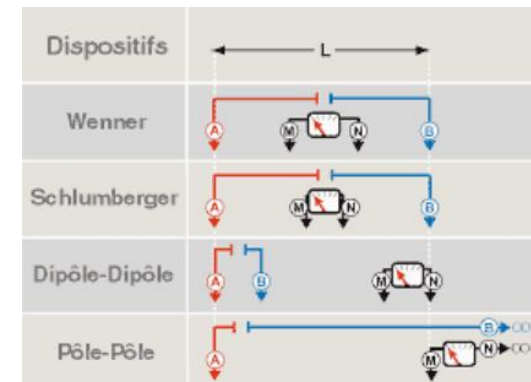


Figure 4 : Schéma du résistivimètre entouré des deux flûtes



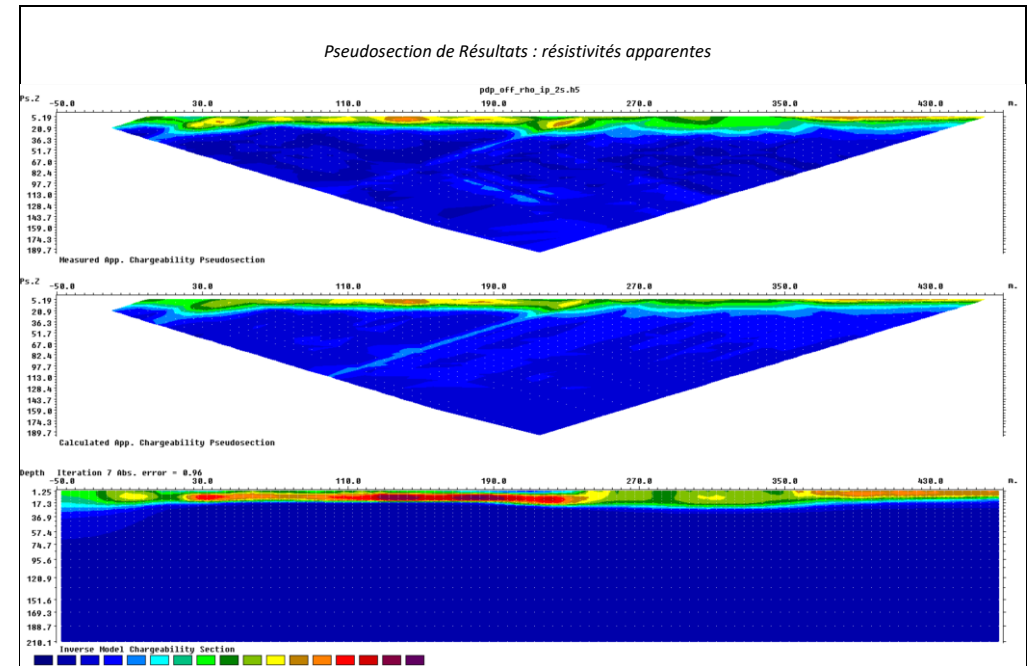
Flûtes multiélectrodes en place sur le terrain



Différents dispositifs d'acquisition

Traitement et interprétation des données

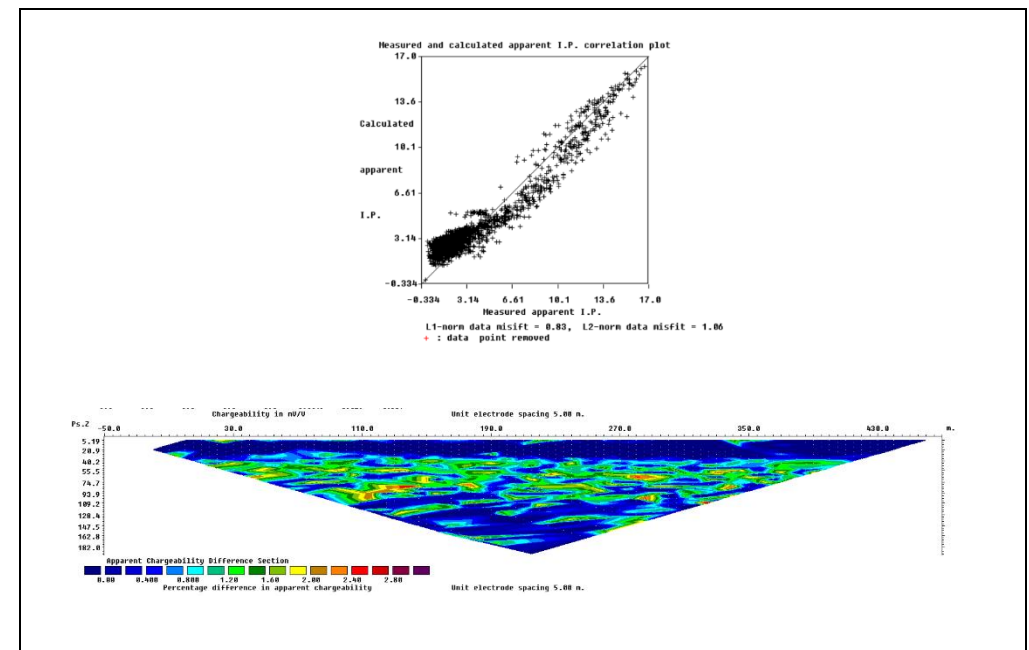
- Il est nécessaire d'effectuer un "nettoyage" des données avant de lancer les calculs et interprétations. Lors de ce nettoyage sont éliminées les valeurs aberrantes (chargeabilité négatives, outliers), celles où la différence de potentiel mesurée est trop faible, et ne peut être significative, et celles où l'écart type, qui rend compte de la stabilité de la mesure lors des stacks est trop élevé. Un filtrage dans la pseudo-section permet également d'enlever des mesures non-aberrantes en elles-mêmes mais pas en accord avec les mesures voisines
- Une fois les données nettoyées, une carte de résultats présente les valeurs de résistivité obtenues sous forme de gammes de couleurs. C'est la "Pseudosection de Résultats"
- On cherche ensuite à obtenir le modèle géologique qui aurait généré cette carte de résultats de façon la plus proche par la méthode d'inversion. Une fois ce "Modèle" obtenu, on calcule les résistivités/chargeabilité apparentes que l'on aurait mesuré avec ce modèle. C'est la "Pseudosection Calculée"
- Le logiciel compare alors les deux cartes de résultats et calcule un pourcentage d'erreur point à point, que l'on souhaite être le plus faible possible.
- Un des problèmes majeurs est la non-unicité des solutions, c'est à dire qu'il existe une infinité de modèles pouvant donner le même résultat.
- C'est donc ici qu'apparaît un point très important. Il est absolument indispensable d'avoir une bonne connaissance de la géologie locale, soit par l'étude de documents, soit par l'information de forages existants, soit encore par l'intermédiaire d'un géologue compétent dans la région étudiée, pour concevoir un modèle réaliste dans le milieu considéré.
- Il est notamment possible de "diriger" les calculs d'inversion en introduisant des paramètres de résistivité, de profondeur, ou de pendages de structures qui cadrent les calculs dans la direction souhaitée
- La RMS exprimée pour la PP en valeur absolue doit être inférieure à quelques mV/V. Il est recommandé d'analyser les différences entre pseudo-section mesurée et calculée pour analyser les zones de la pseudo-section les moins bien reproduites et être prudent dans leur interprétation (Figures à droite).



Résultats et livrables

Le rapport d'étude comprendra :

- Le contexte géologique le plus détaillé possible afin d'interpréter correctement les résultats de la prospection géophysique.
- Les conditions d'intervention sur site (Environnement électrique, routes, débroussaillage, etc.).
- Une carte de localisation des points de mesure géo référencée.
- Les résultats bruts.
- Les résultats interprétés avec les cartes ou profils résultants et commentaires sur la mise en évidence de structures nouvelles.
- Carte d'interprétation regroupant tous les résultats de la prospection géophysique et proposition d'implantation de forages de reconnaissance par exemple.



Dialogue donneur d'ordre / prestataire

- A la charge du donneur d'ordre
 - Cahier des charges détaillé avec objectifs clairs
 - Plans et documents relatifs à l'ouvrage, à la zone à prospecter
 - Informations concernant les accès et la sécurité du site, et les autorisations administratives.
 - Documents relatifs à d'éventuelles investigations antérieures
- A la charge du prestataire
 - Proposition explicite : Justification de la méthode proposée, adaptation à l'objectif, description des avantages et limitations, facteurs d'influence et/ou non maîtrisable, précision des mesures et résultats finaux réalistes.
 - Rapport d'étude de qualité professionnelle : Rappel des objectifs, méthodologies appliquées, discussion des résultats, conclusions et recommandations pratiques.

Pour aller plus loin...

- **1956**, Prospection électrique, manuel interne CGG
- **1966**, Kunetz G., Principles of Direct Current Resistivity Prospecting, Geopublication Associates
- **1990**, Telford W.M, Geldart L.P., Sheriff R.E., Applied geophysics, 2nd Edition, Resistivity methods, Chapter 8
- **2003**, Milsom.J., Field Geophysics, Third Edition
- **2004**, Naudet F., Les méthodes de résistivité électrique et de potentiel spontané appliquées aux sites contaminés
- **2005**, Chouteau M & Giroux B., Méthodes électriques
- **2007**, Ogilvy & al (1979) in Pascal Sailhac
- **2009**, Avancées Thème Détection – Géophysique, Fugro

Liens

- www.iris-instruments.com
- www.georeva.eu