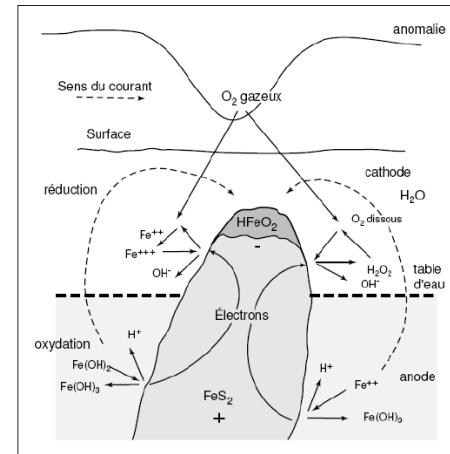
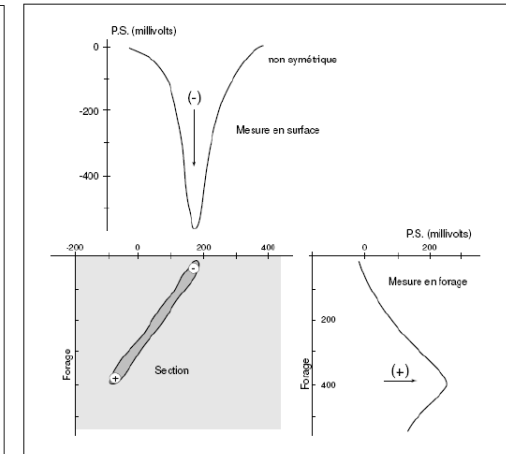


Principe de la méthode

- La polarisation spontanée est une méthode électrique passive qui consiste à mesurer la distribution du potentiel électrique naturel du sol, sans injection de courant. L'enregistrement de la différence de potentiel entre différents points du sol permet d'obtenir une courbe de potentiel spontanée. Ces mesures peuvent être effectuées en surface ou en forage, de façon ponctuelle (réalisation de cartes et de profils) ou continue (quelques heures à plusieurs années). L'unité de mesure est le millivolt « mV » ;
- La PS est liée à des phénomènes de polarisation complexe qui se produisent naturellement dans le sol. Ils peuvent ainsi être rattachés à des gradients hydrauliques (effet électrocinétique avec des phénomènes d'électrofiltration) de températures (effet thermoélectrique) et chimiques (effets électrochimiques avec des phénomènes d'électrodiffusion) ;
- Les phénomènes électrocinétiques sont liés entre autres au mouvement de l'eau (écoulement des nappes, variations des niveaux piézométriques) tandis que les phénomènes électrochimiques se produisent lorsque 2 formations en contact se comportent comme des solutions à concentration différente ou lorsqu'une masse conductrice se situe sous le niveau statique. Ces phénomènes, qui donnent parfois naissance à des courants induisant des différences de potentiel de plusieurs centaines de mV, sont à distinguer des courants telluriques provoquant des perturbations de la mesure. On peut également considérer d'autres forces générant de la PS et associées à la présence de contaminant organique (phénomène électro-redox) ainsi que les phénomènes PS liés à des gradients de températures (effet thermoélectrique) mais ces potentiels sont eux beaucoup plus faibles.



La PS dans la pyrite selon Sato et Mooney in Chouteau

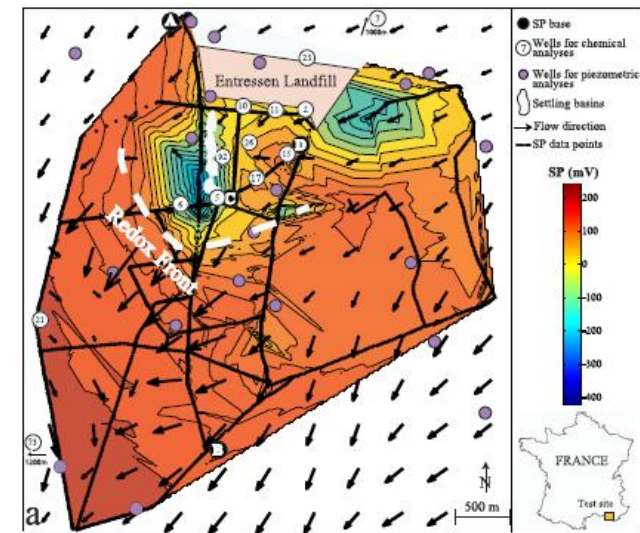


Le phénomène de PS en surface et en profondeur (Chouteau)

Applications

Les principales applications de la mesure de la PS sont :

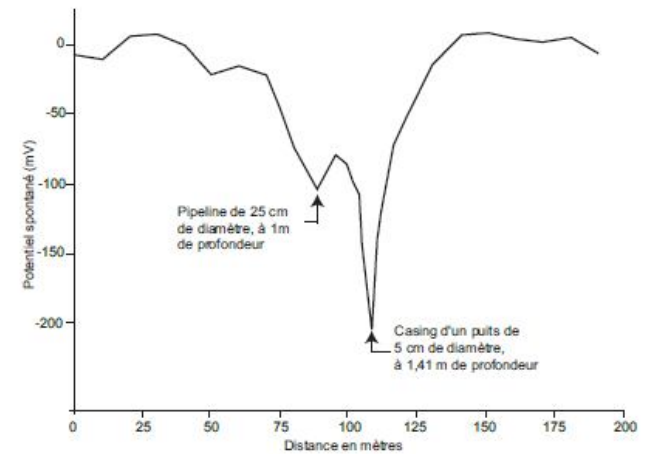
- La localisation des limites d'extension des zones ou des couches perméables ;
- La recherche de gisement de minerais ;
- L'étude de la circulation hydrothermale dans les édifices volcaniques pour la géothermie et la volcanologie et d'une manière plus générale, l'étude des circulations souterraines de fluide ;
- La recherche de fuite dans un barrage, une digue, ou dans une canalisation ;
- La délimitation des panaches de pollutions ;
- L'estimation de la résistivité de l'eau ;
- Une indication qualitative de l'argilosité des formations.



Carte obtenue à partir des mesures PS (Naudet)

Limitations / Contraintes / Interdits

- La multiplicité des sources à l'origine des signaux PS et la faible intensité des signaux mesurés sont les principales limitations de cette méthode pourtant simple à mettre en œuvre ;
- Des variations temporelles du champ magnétique terrestre peuvent perturber les mesures PS en induisant des courants électriques dans le sol ;
- Dans un corps métallique, une variation de température va générer un champ électrique à ses bornes. Si deux électrodes sont à des températures différentes, cela pourra générer un champ électrique parasite qui va induire des sources de bruits supplémentaires lors de la mesure PS. Pour s'affranchir de ce bruit, il faut veiller à ce que toutes les électrodes soient exposées à des températures similaires, notamment lors d'un monitoring sur plusieurs électrodes. Il est donc nécessaire de s'assurer d'une homogénéité des températures entre les électrodes ou alors de corriger les mesures de l'effet associé à la température le cas échéant ;
- Un effet bioélectrique peut être observé entre des zones boisées et non boisées, où les racines des arbres drainent l'eau souterraine et génèrent ainsi un potentiel électrique pouvant être confondu avec celui du phénomène étudié. Ces potentiels peuvent atteindre quelques dizaines de millivolts au niveau des racines. Pour s'affranchir de ce bruit, il ne faut pas effectuer des mesures proches de racines ou de plantes et retirer la partie supérieure du sol herbeux en creusant un trou d'une dizaine de centimètres dans lequel sont placées les électrodes de mesure ;
- Une prospection PS près de canalisations enterrées, de voies ferrées ou dans les régions habitées est difficile. En effet, les courants électriques circulant dans le réseau induisent d'importants courants électriques dans le sol. De même, en cas de fortes pluies suivies par des épisodes de fortes évaporations, les mesures risquent de fournir des résultats avec une qualité très variable.



Influence de conduites métalliques sur le signal PS (Naudet)

Moyens nécessaires à l'acquisition

• Equipements :

La mesure de la polarisation spontanée nécessite au moins une paire d'électrodes impolarisables et un voltmètre ou un résistivimètre (Terrameter LS2, Iris Syscal ou Lippmann 4Point Light) :

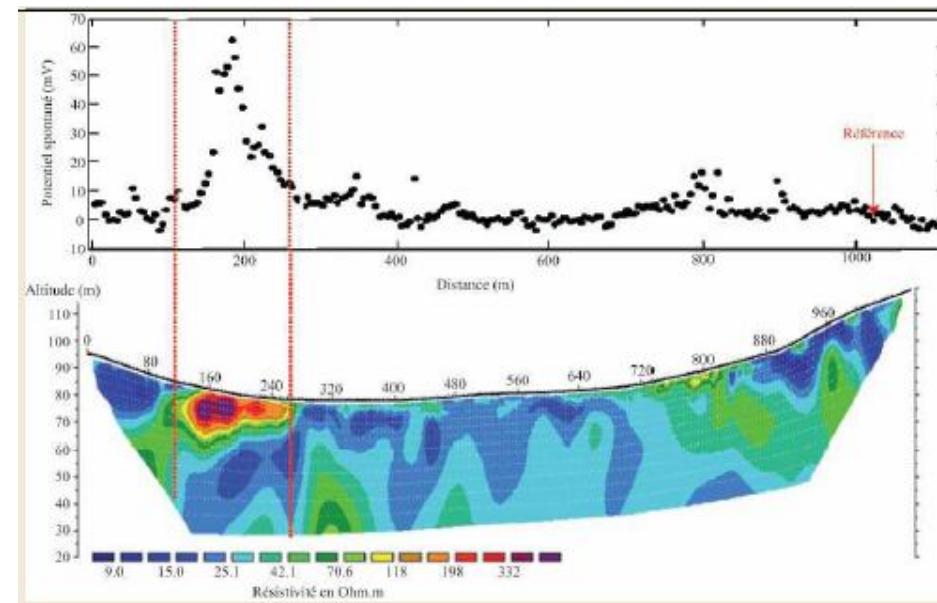
- Le voltmètre doit avoir une impédance d'entrée assez forte (supérieure à 200M Ω) pour que le courant venant de la terre pendant la mesure soit négligeable ;
 - Les électrodes employées doivent être non-polarisables pour éviter l'accumulation de charges à la surface de l'électrode métallique (potentiels parasites qui peuvent avoir un ordre de grandeur similaire aux valeurs que l'on veut mesurer). Elles doivent également avoir un coefficient de température assez faible (200 μ V/ $^{\circ}$ C) afin de garder une certaine stabilité lors des variations de température. Elle va être constituée d'un métal plongé dans une solution saturée de son propre sel (Cu dans SO₄Cu, Zn dans SO₄Zn), contenue dans un pot poreux qui permet à la solution de diffuser lentement et d'assurer le contact avec le sol
- **Positionnement** : matériel pour le repérage des profils, jalons, décamètre, GPS
 - **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.



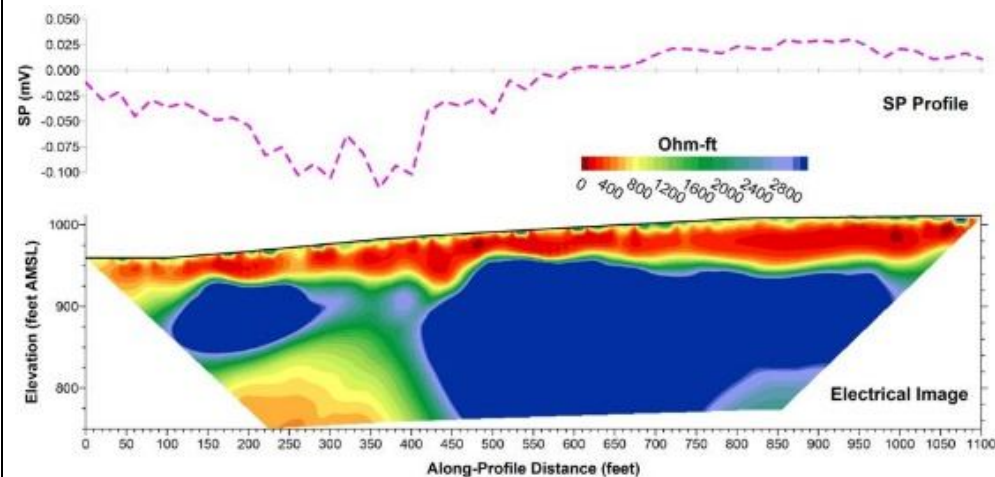
Exemple de matériel employé pour mesurer la PS

Mise en œuvre sur le terrain

- Avant chaque démarrage de mission, il convient de relever la différence de potentiel au sein des couples d'électrodes une fois qu'elles sont placées dans un bac rempli d'eau salée non saturée. La différence doit être inférieure à 2 mV et les couples ainsi formés doivent être soigneusement étiquetés pour pouvoir les conserver ensemble durant toute l'étude. Si cette valeur est trop forte, on peut essayer de l'améliorer en remplaçant l'une des électrodes.
- Avant le début de la mission puis à la fin de chaque journée d'acquisition, les paires électrodes sont reliées entre elles par un même fil électrique puis placées dans un bac rempli d'eau salée non saturée afin d'éviter de réduire la porosité des céramiques qui assurent le contact à la base de électrodes.
- Les profils de mesure devront être, dans la mesure du possible, perpendiculaires à la direction des anomalies recherchées, avec une distance entre points de mesure comprise entre 3 et 30 m.
- Deux types de dispositifs peuvent être mis en œuvre, la technique dite de "Base-Fixe" et la technique dite de "Gradient" :
 - « Base fixe » : Une première électrode fixe, située dans un endroit calme et représentatif de l'étude, va servir de base. Une seconde électrode est déplacée le long du profil de façon à mesurer la distribution de potentiel électrique. Les mesures étant faites avec la même base, la lecture du potentiel est directe par rapport à un point fixe et cela rend les erreurs liées à la différence de potentiel entre électrodes négligeables. L'inconvénient de cette technique réside dans la longueur des profils, limitée par la longueur des câbles. Cette technique est donc le plus souvent utilisée pour des zones à prospecter relativement petites (< 1 km²) ;
 - « Gradient » : Les 2 électrodes sont simultanément déplacées le long du profil, en conservant un intervalle constant entre elles. Cela revient alors à mesurer la différence de potentiel le long d'un dipôle constitué de deux électrodes fixes. Cette technique est utilisée pour cartographier des zones étendues (> 1 km²). En additionnant les valeurs successives mesurées, on obtient un profil de potentiel comparable à celui obtenu avec le premier dispositif mais en risquant néanmoins d'ajouter également les erreurs de zéro au fur et à mesure de la progression.
- Pour les 2 dispositifs, les mesures doivent se faire en suivant un programme qui inclura une réoccupation régulière d'une station de référence pour permettre de mieux corriger la dérive et de réduire les erreurs de zéro.
- Lors de la mesure sur chaque nouvelle station, on observe bien souvent une fluctuation de la différence de potentiel, obligeant l'opérateur à relever une valeur moyenne. La mesure est considérée comme étant stable si on observe entre 2 valeurs consécutives une différence inférieure à 0,1 mV.
- Lorsque les mesures deviennent instables, l'opérateur peut raccourcir la longueur du profil en changeant de base.
- On peut également réaliser un suivi PS de l'infiltration de l'eau en mettant en place des électrodes à différentes profondeurs.
- Par ailleurs, pour ne pas induire de dérive supplémentaire lors de chaque programme d'acquisition, il faudra essayer de garder une température assez similaire entre l'électrode de référence et l'électrode mobile, en évitant par exemple de réchauffer l'électrode mobile en la tenant trop longtemps dans sa main et en évitant de toucher l'ensemble du dispositif pendant la mesure.



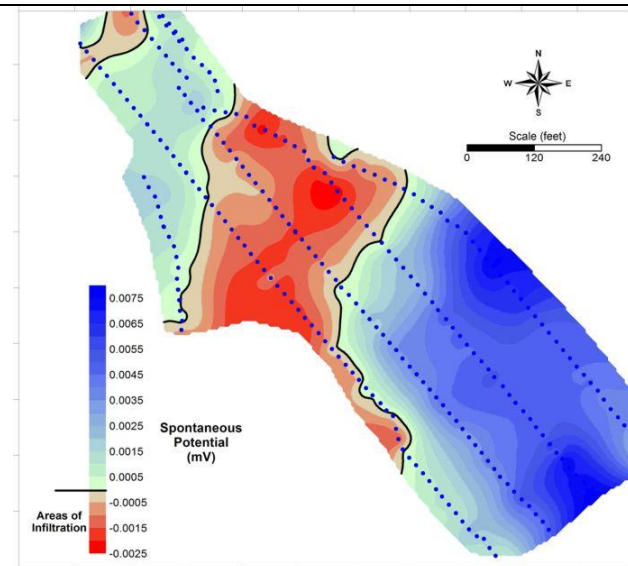
Mesure PS et ERT réalisés sur le bassin versant de Roujan-Hérault (Fugro)



Profils PS et ERT (Enviroscan)

Traitement et interprétation des données

- Cette méthode permet d'obtenir des profils et ou des cartes d'équipotentiels qui conduisent à mettre en avant des anomalies positives et négatives, potentiellement associées à des transferts d'eau ou à des minéralisations. L'amplitude des signaux électriques mesurés à la surface du sol varie de quelques mV à quelques V en valeur absolue
- Bien que l'origine des signaux de PS résulte de nombreux et divers mécanismes, il est possible, lorsque les mesures PS sont associées à d'autres mesures électriques, de réaliser des inversions de ces données surtout dans le cas de sources PS d'origine électrocinétique.

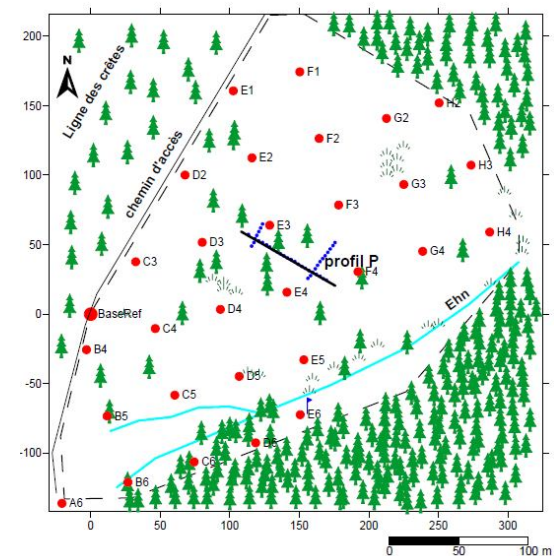


Cartes PS d'équipotentiels (Enviroscan)

Résultats et livrables

Le rapport d'étude comprendra :

- Le contexte géologique détaillé afin d'interpréter correctement les résultats de la prospection géophysique.
- Les conditions d'intervention sur site (perturbations électromagnétiques, 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.
- Localisation des points en coordonnées X, Y.



Plan de position des mesures (P. Sailhac)

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 prospector
 - 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
- **1974**, Elford W.M, Geldart L.P., Sheriff R.E., Keys D.A., Prospection géophysique, tome 2, Polarisation spontanée
- **2003**, Milsom.J., Field Geophysics, Third Edition
- **2004**, Mainault A, Application de la méthode du potentiel spontané à l'hydrogéologie : expérimentation sur modèle réduit d'aquifère
- **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
- **2012**, Genelle F., Les méthodes géophysiques pour la caractérisation des couvertures d'installation de stockage de déchet

Liens

- www.georeva.eu
- <http://www.iris-instruments.com/>
- <http://www.sdec-france.com> (électrodes impolarisables)
- www.nonpolarizingelectrode.com (électrodes impolarisables)