

1 Introduction

Le géophysicien s'intéresse aux propriétés électriques des sols et roches car, comme par exemple la densité ou la susceptibilité magnétique, elles permettent de caractériser et d'imager le sous-sol. Les propriétés électriques peuvent être mesurées de plusieurs façons. Les trois propriétés fondamentales sont :

1. l'activité électrochimique : base de la polarisation spontanée (P.S.) ;
2. la résistivité : facilité avec laquelle on peut faire passer un courant électrique dans la roche ;
3. la constante diélectrique : capacité des roches à emmagasiner de l'énergie et à la restituer ; à la base de la polarisation provoquée (P.P.).

La mesure de ces propriétés permet d'atteindre une très vaste échelle de profondeurs d'investigation (Sondages DC : quelque mètres - Magnétotellurique : 20 à 100 km). Elles peuvent également permettre de faire ressortir des structures invisibles à d'autres méthodes (par exemple la table d'eau est très souvent mieux définie par les méthodes électriques).

Ces trois propriétés sont à la base des méthodes électriques présentées dans ce cours. On retrouve cette matière dans [Telford *et al.* \(1990\)](#) aux chapitres 5, 6, 8 et 9, et dans [Keary et Brooks \(1991\)](#) au chapitre 8. Le dénominateur commun aux méthodes présentées dans ce chapitre est qu'on mesure un potentiel électrique. Par ailleurs, les mêmes propriétés seront utiles en prospection *électromagnétique* (EM) (méthodes présentées à la suite de cette partie). C'est la façon dont les courants électriques sont générés qui fait la différence fondamentale entre les méthodes DC et EM.

Tableau 1.1: Total des dépenses mondiales par type de levé et d'application pour 1987 (en milliers de dollars U.S.)

Type	Terrestre	Transition zone ???	Marin	Aéroporté	En forage	Total
Exploration pétrolière	809,394	10,091	541,053	13,405	1,504	1,375,447
Développement	20,161	25	9,657	32	294	30,169
Exploration minérale	13,076		62	13,705	58	26,901
Environnement	443			92	91	626
Génie	2,100		8,580		235	10,914
Géothermie	1,095				30	1,125
Hydrogéologie	1,505				283	1,788
Océanographie			1,458	300		1,758
Recherche	3,217		6,190	802	184	10,393
Total	850,990	10,116	556,999	28,336	2,679	1,459,120

2 La polarisation spontanée

Par *polarisation spontanée*, on entend deux choses. D'abord on peut parler du phénomène physique comme tel, à savoir la génération de potentiels électriques dans les sols sans influence humaine. On utilise également cette expression pour désigner la méthode de prospection basée sur la mesure du phénomène. La polarisation spontanée est causée par l'activité électrochimique ou mécanique, soient (1) altération des sulfures ; (2) variation de la composition des roches aux contacts géologiques ; (3) activité bioélectrique du matériel organique ; (4) corrosion ; et (5) gradients thermiques et pression dans les fluides souterrains.

2.1 Les sources naturelles du potentiel électrique

2.1.1 Potentiel électrocinétique

Ce potentiel est observé lorsqu'une solution de résistivité ρ et de viscosité η traverse un matériau poreux. Ce phénomène a une origine mécanique ; il se produit généralement sous l'influence de la gravité. Sa valeur est donnée par

$$E_k = -\phi \frac{\Delta P \epsilon \rho}{4\pi \eta} \quad (\text{mV}) \quad (2.1)$$

avec ϕ étant le potentiel d'adsorption de l'interface solide-liquide ; ΔP étant différence de pression ; et ϵ étant constante diélectrique de la solution.

Ce potentiel est généralement d'effet négligeable, sauf lorsque la topographie a une incidence marquée sur la conduction hydraulique de l'eau d'imbibition, ou que la végétation agit suffisamment sur le drainage de l'eau souterraine.

2.1.2 Potentiel de diffusion

Ce potentiel est dû à la différence de mobilité des ions dans une solution de concentration variable. L'équilibre ne peut se faire également de part et d'autre et un ΔV est généré. Il est de nature chimique. Pour NaCl à 25°C

$$E_d = -11.6 \log(C_1/C_2) \quad (\text{mV}) \quad (2.2)$$

Ce potentiel dépend de la température.

2.1.3 Potentiel de Nernst (shale potential)

Lorsque deux électrodes métalliques sont immergées dans une solution dont la concentration est différente pour les deux électrodes, il y a un ΔV de créé. Il s'agit d'un phénomène chimique.

$$E_s = -59.1 \log(C_1/C_2) \quad (\text{mV}) \quad (2.3)$$

à 25°C.

La combinaison des potentiels de diffusion et de Nernst définit le *potentiel de membrane*. Pour NaCl à $T^\circ\text{C}$, il a pour valeur :

$$E_c = -70.7 \frac{T + 273}{273} \log(C_1/C_2) \quad (\text{mV}) \quad (2.4)$$

Si par exemple $C_1/C_2 = 5$ et $T = 25$, on a une valeur de E_c de 50 mV, ce qui est une valeur significative et mesurable.

2.1.4 Potentiel de contact électrolytique

On observe le potentiel de contact lorsque deux électrodes de métaux différents sont introduites dans une solution électrolytique.

Lorsque les conditions sont rencontrées, la combinaison des trois derniers potentiels (diffusion, Nernst et contact regroupés sous l'appellation *potentiels de minéralisation*, voir la section 2.2) permet de générer des anomalies souvent bien distinctes du bruit de fond et *associées à des métaux*. On peut alors détecter la présence de gisements métallifères dans le sous-sol, par la seule mesure de ΔV à la surface.

2.1.5 Autres sources

Les variations de température ont un effet analogue au potentiel de diffusion, mais sont d'un effet mineur. La corrosion métallique (tuyaux, câbles, carcasses métalliques) produit des ΔV locaux. Les courants telluriques génèrent également des potentiels mesurables. Ces courants sont dus à l'induction de l'ionosphère, explosion nucléaire, tempêtes électriques. Finalement, un effet bioélectrique est observé à la frontière entre une clairière et la forêt. Dans ce cas, les racines des arbres drainent l'eau souterraine et génèrent ainsi un ΔV pouvant être confondus avec ceux produits par les sulfures (de l'ordre de quelques centaines de mV). Le potentiel est négatif du côté du boisé.

2.2 Le potentiel de minéralisation

Le potentiel de minéralisation est associé avec les sulfures métalliques, le graphite et certains oxydes métalliques telle que la magnétite. L'anomalie se produisant le plus souvent au dessus des sulfures métalliques (pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, sphalérite, galène, graphite) et présente une anomalie variant de quelques mV à 1 V, 200 mV étant considéré comme une bonne anomalie. Les potentiels observés sont toujours (ou presque) négatifs. Ces potentiels sont relativement stables dans le temps (à part les telluriques).

On doit bien distinguer le potentiel de minéralisation des bruits de fond dus à toutes les autres causes. L'amplitude de ΔV de chacune de ces causes varie beaucoup mais reste en général inférieure à 100 mV. Puisqu'ils peuvent être aussi bien positifs que négatifs, ils ont tendance s'annuler sur de grandes distances mais à une échelle plus grande, il va exister une régionale. Le bruit le plus inquiétant est dû au phénomène bioélectrique qui peut atteindre 100 mV, qui est reconnaissable si on fait attention.

Peut-on s'en servir comme méthode d'exploration ? Considérant qu'on peut avoir des ΔV allant jusqu'à 1 V au dessus de minéralisation et que ces ΔV sont stables dans le temps, la réponse est *oui*.

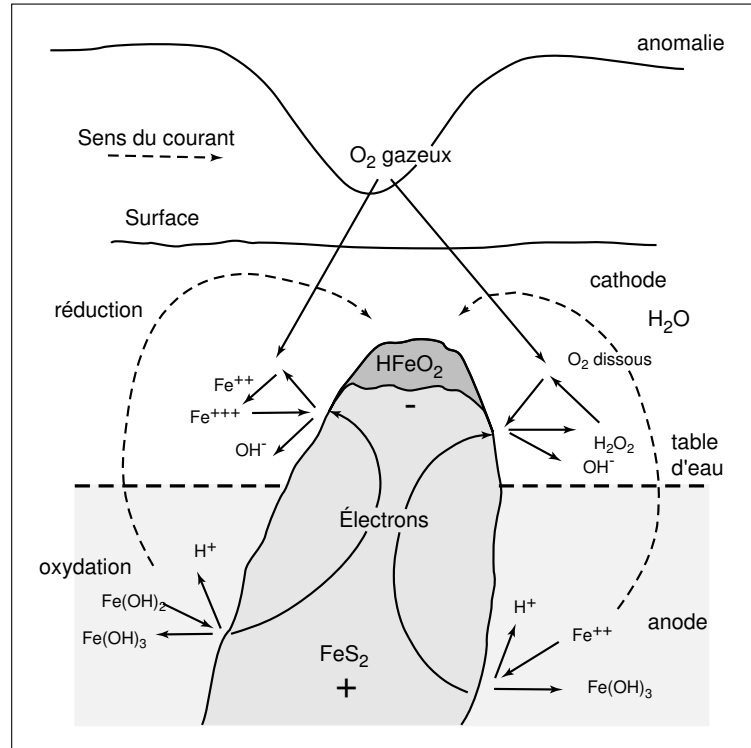


Figure 2.1: La P.S. dans la pyrite selon [Sato et Mooney \(1960\)](#).

2.2.1 Mécanisme supposé de la P.S.

Plusieurs modèles sont proposés mais aucun n'explique entièrement le phénomène. La meilleure théorie est celle de [Sato et Mooney \(1960\)](#). Ces auteurs supposent qu'il s'agit d'un phénomène d'oxydoréduction (voir figure 2.1). Deux réactions chimiques de signes opposés se font de part et d'autre de la nappe phréatique. Au dessus, la tête du gisement agit comme une cathode, il y a une réaction de réduction (gain d'électrons). Au dessous, la base du gisement agit comme une anode où il y a réaction d'oxydation (perte d'électrons). La zone minéralisée ne sert qu'à transporter les électrons de l'anode vers la cathode.

D'après le modèle de Sato et Mooney, l'anomalie ΔV_{max} pour le graphite est 0,78 V ; 0,73 V pour la pyrite ; et 0,33 V pour la galène.

Ce modèle présente certaines lacunes. On a déjà rencontré des valeurs de 1.5 V au dessus du graphite. La théorie suppose également que la minéralisation est conductrice, or on a des anomalies au dessus de la sphalérite qui n'est pas un bon conducteur.

2.3 La P.S. comme méthode de prospection

Grâce à sa grande simplicité, la P.S. est une très vieille méthode. Un dénommé Robert Fox l'a utilisée en 1830 pour trouver l'extension de dépôts de Cuivre.

Théoriquement, on peut faire des mesures de P.S. avec un équipement aussi simple qu'un voltmètre et deux électrodes. Cependant, afin de s'assurer d'une bonne qualité des données, il faut compter sur un matériel approprié. Le choix des électrodes s'avère de première importance. En effet, la performance des électrodes dépend de leur *polarisation* et de leur *dérive*. La polarisation est le potentiel

mesuré entre une paire d'électrode en l'absence d'une source externe, c'est un effet dû uniquement à l'équipement qui vient donc perturber la mesure. La dérive est la variation dans le temps de la polarisation. On sait par exemple que des électrodes métalliques (acier) sont polarisables. Si on utilise des piquets métalliques, il y a réaction électrochimique pouvant créer des ΔV de l'ordre de ce qu'on veut mesurer. On préférera utiliser des « pots-poreux », plus chers, mais beaucoup moins polarisables. Il s'agit d'une électrode métallique immergée dans une solution sursaturée de son propre sel (Cu dans CuSO_4 ou Zn de ZnSO_4) contenue dans un pot poreux qui permet la diffusion lente de la solution et fait contact avec le sol. Tant que la solution est saturée, il n'y a pas de polarisation.

Par ailleurs, les caractéristiques d'un bon voltmètre sont une haute résolution (1 mV), une dynamique élevée (+/- 10 VDC), une impédance de contact élevée (10-100 M Ω), un filtre de rejet AC et la robustesse nécessaire au travail sur le terrain. La possibilité de mesurer la résistance de contact aux électrodes afin de s'assurer que les connexions sont bonnes est également une caractéristique importante. Également, le câblage doit être isolé par une gaine résistante aux manipulations de terrain. Finalement, comme la résistance de contact aux électrodes est généralement élevée, la résistance des câbles est de seconde importance.

2.3.1 Prise des mesures

On distingue deux façons principales de prendre des mesures : la configuration du gradient et la configuration à base fixe. Pour la configuration du gradient, la paire d'électrodes se déplace simultanément, d'un point de mesure à l'autre. On fait en général des mesures le long d'une ligne pour ainsi obtenir un profil. Plusieurs profils parallèles les uns aux autres permettront de couvrir une surface donnée. Cette méthode présente l'avantage d'être rapide. Les désavantages sont qu'il faut additionner toutes les valeurs pour obtenir ΔV , les erreurs de zéro s'additionnent et il faut veiller à garder toujours la même polarité des électrodes.

La configuration à base fixe consiste à ne déplacer qu'une électrode tout en gardant l'autre fixe. L'électrode mobile est déplacée de façon à couvrir la surface d'investigation. Les avantages sont que la lecture est directe puisque les mesures sont faites avec une même référence, et les erreurs de zéro entre les deux électrodes ne s'accumulent pas. Le désavantage principal est qu'on doit manipuler des fils pouvant être très longs. Actuellement, les systèmes d'acquisition modernes permettent de relier un réseau d'électrodes à l'instrument et d'effectuer rapidement nos mesures.

2.4 Interprétation des résultats

L'interprétation se fait traditionnellement par contours ou par profils, tel qu'illustré à la figure 2.2. L'anomalie est située directement au dessus du corps la générant (figure 2.3), mais peut être déplacée par un effet topographique (figure 2.4). L'interprétation est surtout qualitative. On peut avoir idée du pendage avec le gradient des courbes de contours. La forme du corps anomal est indiquée par la forme des contours.

Par ailleurs, il existe une certaine quantité de courbes types pour des corps de géométries simples (Corwin, 1990). Ces courbes représentent simplement ce qu'on mesurerait en surface, au dessus des corps en question. Ces corps simples sont : la source ponctuelle, la ligne horizontale, la sphère, le cylindre, la « feuille » verticale. On se sert de ces courbes types pour les comparer à nos mesures et ainsi déterminer approximativement la forme et la profondeur du corps générateur de notre anomalie.

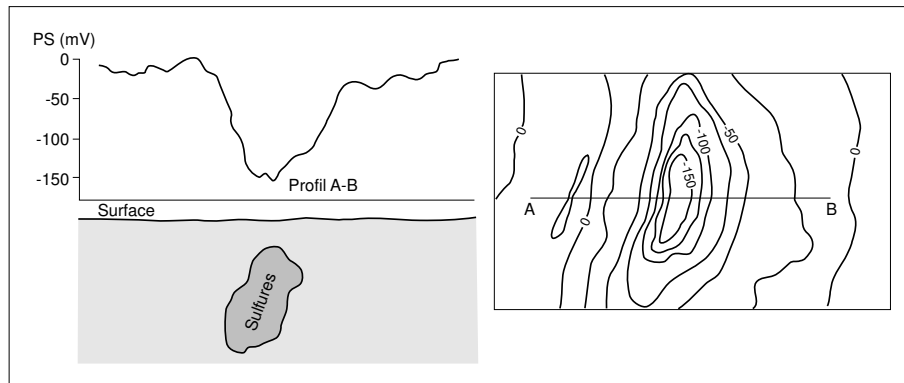


Figure 2.2: Exemple type d'une anomalie P.S. au dessus de sulfures massifs, en profil et en contours.

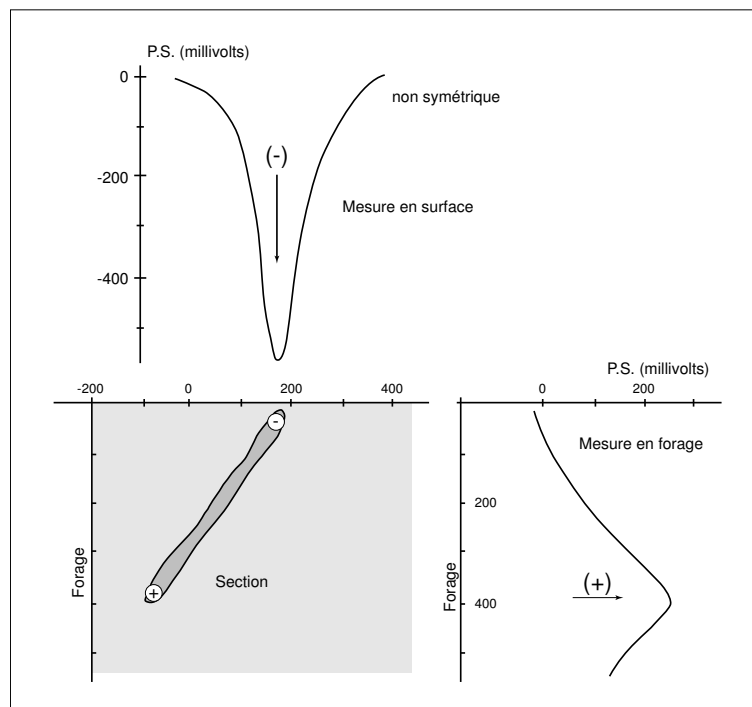


Figure 2.3: Le phénomène de P.S. en surface et en profondeur.

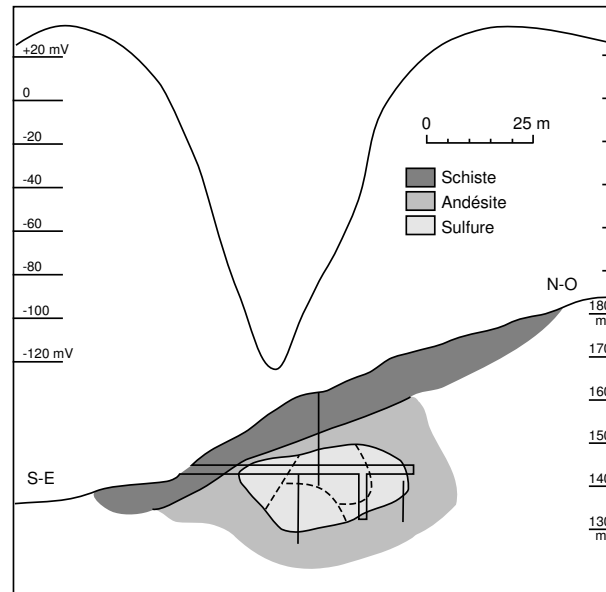


Figure 2.4: Anomalie P.S. déplacée par un effet topographique.

2.5 Désavantages de la méthode

La méthode P.S. présente les désavantages suivants. S'il n'y a pas de réaction de P.S., on ne détecte rien. L'investigation est limitée en profondeur à moins de 60 m (200'). L'interprétation quantitative est difficile à réaliser (bien qu'on puisse trouver certains modèles mathématiques pour l'interprétation dans [Corwin \(1990\)](#)).

2.6 En conclusion

La P.S. a rôle mineur en exploration. L'interprétation est difficile due au caractère erratique des anomalies, et le rayon d'investigation est limité. Par contre, elle est rapide, économique, et peut être utilisée en conjoncture avec une autre méthode.