

Soutenance de thèse de Feras Abdul Samad le 14 mars 2017

Salle de Conférences de l'UFR TEB - Tour 46-56 - 2^{ème} étage - site Jussieu – UPMC

**Polarisation provoquée :
expérimentation, modélisation et applications géophysiques**

Résumé : Nos travaux de recherche visent à approfondir les connaissances sur les phénomènes de Polarisation Provoquée (PP) en utilisant les approches spectrales et temporelles. En effet, les mécanismes produisant les signaux observés dans le champ d'application de cette méthode d'investigation géophysique sur large gamme de fréquences (entre 1 mHz et 20 kHz) ne sont pas encore complètement identifiés. Deux sujets particuliers ont été plus spécialement abordés dans le cadre de cette thèse.

Premièrement, nous avons cherché à comprendre l'origine du signal observé à haute fréquence (> 1 kHz). Pour cela, nous avons effectué des mesures de la résistivité complexe sur de l'eau ou des électrolytes à différentes conductivités. Différents types d'électrodes de mesure de potentiel ont été testés. Les résultats montrent de manière similaire des écarts par rapport à la réponse attendue à haute fréquence, dépendants du type d'électrode et de la conductivité du milieu. Ils montrent l'importance de prendre en compte l'influence des électrodes de potentiel sur les mesures de Polarisation Provoquée Spectrale (PPS). Avec un modèle basé sur un circuit électrique équivalent, et destiné à représenter la réponse à haute fréquence, nous proposons un mode de correction possible de ces effets.

Deuxièmement, nous avons exploré le mécanisme responsable de la polarisation dans un milieu contenant des particules semi-conductrices. Il est établi que les temps de relaxation des phénomènes de polarisation fournissent des informations directes sur certains paramètres caractérisant la polarisation du milieu. Cependant, cette dépendance du temps de relaxation reste encore à clarifier. Nous avons effectué des mesures expérimentales sur un milieu sableux non-consolidé et saturé contenant différents types de semi-conducteurs. La réponse spectrale de la polarisation a été étudiée en faisant varier la concentration et le type de l'électrolyte, la taille et la teneur des particules semi-conductrices insérées. Ces expérimentations mettent bien en évidence à la fois l'importance de la taille de grain et de la concentration de l'électrolyte porale sur le mécanisme de polarisation, alors que la réponse d'un milieu sableux sans inclusion semi-conductrice ne dépend pas de la concentration de l'électrolyte. Afin de relier les observations des mesures expérimentales à un modèle physique réel, nous avons entrepris une simulation numérique 2D basée sur les équations de Poisson-Nernst-Planck (PNP). Ces modélisations, par éléments finis, ont été conduites aussi bien dans le domaine temporel que dans le domaine spectral. Les résultats expérimentaux sont conformes à ceux de la simulation numérique et montrent une décroissance comparable du temps de relaxation avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte.

Finalement, une campagne géophysique de terrain sur un site paléo-miniers contenant des particules semi-conductrices complète l'approche de laboratoire et constitue une démarche d'"up-scaling". Des mesures de polarisation provoquée dans le domaine temporel permettent de délimiter les zones de scories sur un site archéologique et enfin d'estimer le volume de ces résidus.

Mots-clés : Polarisation Provoquée Spectrale, effet aux hautes fréquences, mécanisme de polarisation, particules semi-conductrices, équation de Poisson-Nernst-Planck, site métallurgique

Abstract : The research work submitted in this PhD dissertation aims to improve our understanding of the Induced Polarization (IP) phenomena using the time and spectral approaches. In fact, the physical mechanisms responsible for the induced polarization response over the frequency range (from 1 mHz to 20 kHz) are not completely understood. In particular, within the framework of this thesis, two subjects have been addressed.

In the first stage, we tried to understand the origin of the signal observed at high frequency (> 1 kHz). For this purpose, Spectral Induced Polarization (SIP) measurements have been carried out on tap water samples. Four types of measuring electrodes (potential electrodes) were tested. As a result, a phase deviation from the expected response has been observed at high frequency. The resulted deviation in phase appears to be dependent on the electrode type and conductivity. The results showed the importance of taking into account the influence of potential electrodes on SIP measurements. To correct for those effects, a model based on an equivalent electrical circuit, and designed to represent the high frequency response, has been proposed.

In the second stage, the mechanism, responsible for the polarization response, in mineralized medium containing semi-conductors particles, has been investigated. The relaxation times of the polarization phenomena provide direct information of certain parameters characterizing the medium polarization. However, the dependency of the relaxation time on those parameters is still to be clarified. We carried out experimental measurements on a non-consolidated saturated sand medium containing different types of semiconductors. The spectral response of this medium was studied by varying the concentration and the type of the electrolyte, in addition to the size and content of semi-conductor particles. These experiments show clearly the importance of both the grain size and the concentration of the porous electrolyte on the polarization mechanism. Whereas, the response of a sandy medium without semi-conductor inclusion is not dependent on the concentration of the electrolyte. In order to link the experimental observations to a physical model, we performed a 2D numerical simulation based on Poisson-Nernst-Planck (PNP) equations. The simulation was made by using the finite elements method, and the solution was calculated in time and frequency domains. The experimental results are qualitatively in accordance with numerical simulation. It showed a comparable decrease in the relaxation time when increasing the electrolyte concentration.

In the last stage, field measurements on a paleo-mining site containing semi-conductors particles have been acquired to complete the laboratory approach and constitute an up-scaling approach. Time-domain Induced polarization measurements allowed us to define the zones of slag in the archaeological site and eventually led to estimate the slag volume.

Keywords: Spectral induced polarization, high frequency effect, polarisation mechanism, semi-conductor particles, Poisson-Nernst-Planck equations, paleo-mining site.