

Résumé étendu

Les méthodes géophysiques non intrusives sont requises pour caractériser la zone vadose, les réservoirs d'hydrocarbures, ou les sites de stockages de CO₂. Nous proposons ici d'appliquer la méthode de polarisation spontanée aux écoulements diphasiques dont la phase mouillante est composée d'une saumure de salinité bien définie, et dont la phase non mouillante est un gaz inerte (N₂). Le coefficient de couplage électrocinétique ($C = \Delta V / \Delta P$) est une propriété fondamentale liée à la double couche électrique qui entoure les grains. Or, sa dépendance vis-à-vis de la saturation reste un sujet hautement débattu dans la littérature. Il s'agit ici de tester un modèle de perméabilité relative (Revil *et al.*, 2007) élaboré à partir du coefficient de couplage électrocinétique, en se basant sur les approches de Brooks et Corey (1964) (Figure 1) et de van Genuchten (1980).

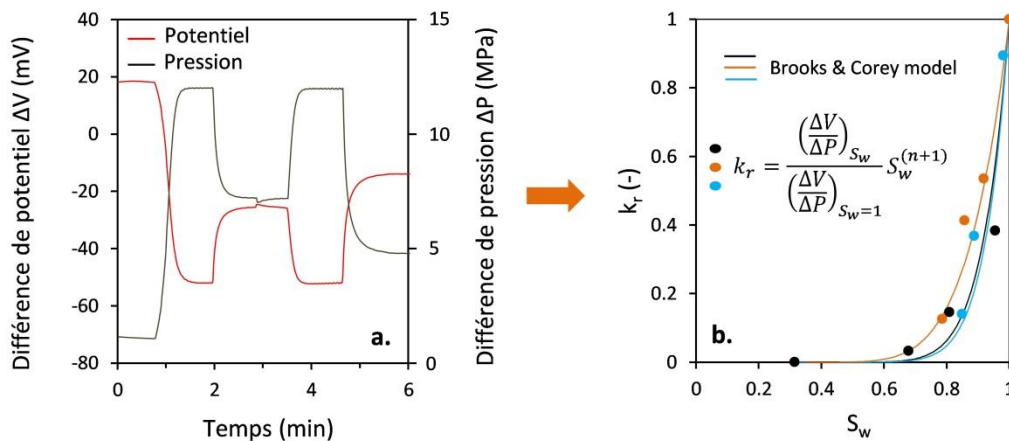


Figure 1. a) Calcul du coefficient de couplage électrocinétique ($C = \Delta V / \Delta P$) servant de base au modèle b) de perméabilité relative, en se basant sur l'approche de Brooks et Corey (1964).

Les échantillons sont saturés avec des saumures de différentes compositions, dont les ions sont mono- ou divalents et pour lesquelles la force ionique est comprise entre 10^{-4} et 10^0 Mol L⁻¹. La valeur absolue du coefficient de couplage électrocinétique augmente lorsque la force ionique de la solution diminue, ce qui a déjà été observé dans les roches gréseuses (Vinogradov *et al.*, 2010). Le potentiel zêta a été calculé en utilisant une version modifiée de l'équation d'Helmholtz-Smoluchowski, qui prend en compte les effets liés à la conductivité de surface. Comme pour le coefficient de couplage, la valeur absolue du potentiel zêta chute lorsque la force ionique augmente. Nous nous intéressons également aux effets liés à une injection de CO₂ et à la dissolution de la calcite sur la valeur de ce potentiel zêta.

Dans un deuxième temps, nous utiliserons la méthode de résistivité électrique, ainsi que la méthode de polarisation spectrale induite pour quantifier les effets liés à une injection de CO₂ en milieu poreux carbonaté. D'une part, nous nous assurons que la 2ème loi d'Archie

est valable en présence de CO_2 . D'autre part, nous tentons d'expliquer lequel de ces deux phénomènes, à savoir, (1) la dissolution du CO_2 gazeux dans l'eau, ou (2) la dissolution du carbonate de calcium (CaCO_3) et par conséquent, la mise en solution d'ions Ca^{2+} et HCO_3^- est responsable d'une augmentation brutale de conductivité (Figure 2). Les données sont analysées au regard de mesures effectuées sur une roche chimiquement neutre, vis-à-vis du CO_2 , c'est-à-dire, un grès de Fontainebleau.

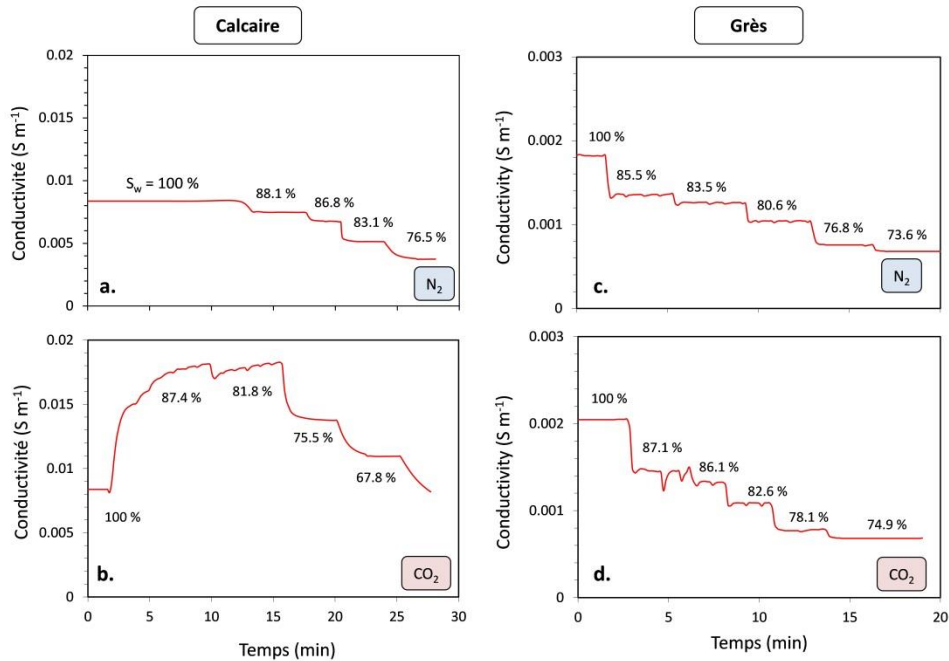


Figure 2. Conductivité durant a phase de drainage pour un calcaire des Estailades sous a) N_2 et b) CO_2 , ainsi que pour un grès de Fontainebleau sous c) N_2 et d) CO_2 .

Nous étudierons enfin l'effet d'une injection de CO_2 en milieu carbonaté sur les composantes réelles et imaginaires de la conductivité complexe (Figure 3), ainsi que sur la chargeabilité normalisée du milieu. Pour ce faire, nous calculerons les indices de saturation réels (n) et imaginaires (p) sur un calcaire des Estailades. Enfin, nous exprimerons la conductivité en quadrature (composante imaginaire de la conductivité complexe), la chargeabilité normalisée, ainsi que le temps de relaxation en fonction de la conductivité de l'eau porale. Les résultats obtenus nous permettront d'affirmer ou non si chacun de ces trois paramètres peut être considéré comme un paramètre de polarisation de la double couche électrique, et si oui, s'il s'agit de la couche de Stern ou de la couche diffuse.

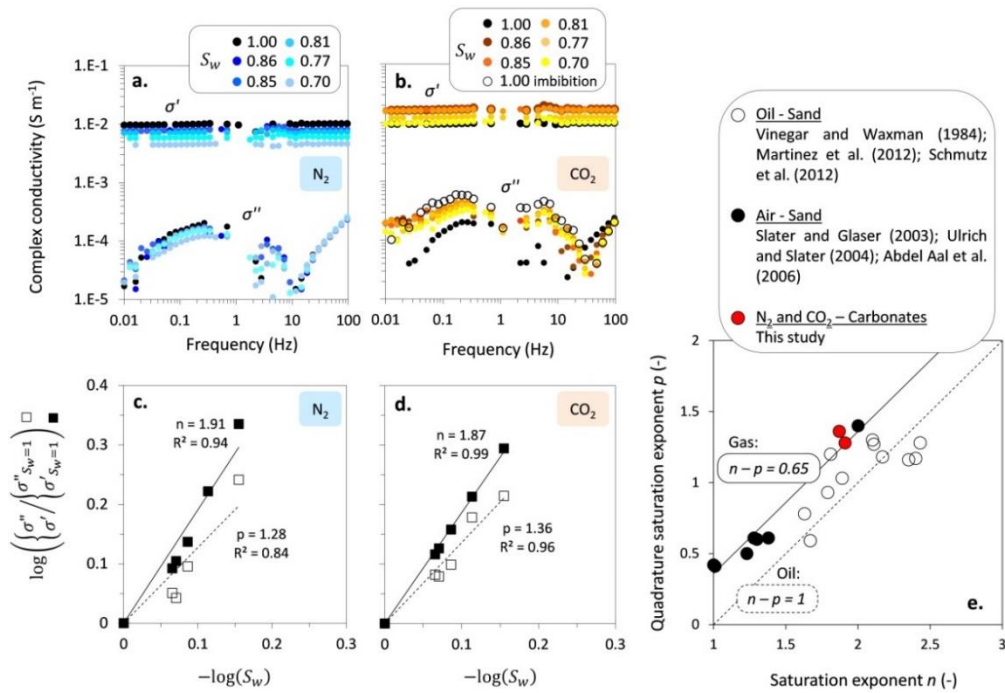


Figure 3. Réponse électrique du milieu poreux en utilisant la méthode de polarisation spectrale induite en fonction de la saturation en eau, dans le calcaire des Estailades ($\sigma_w = 0.17 \text{ S m}^{-1}$). Les données de conductivités en phase et en quadrature sont représentées lors d'un drainage sous a) N₂ et b) CO₂. Les exposants de saturation réels (n) et complexes (p) sont également représentés lors d'un drainage sous c) N₂ et d) CO₂. e) Comparaison entre les indices n et p observés dans la littérature.

Bibliographie :

- Brooks, R. H., and Corey, A. T. (1964). Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No. 3, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 22-27.
- Revil, A., Linde, N., Cerepi, A., Jougnot, D., Matthäi, S., and Finsterle, S. (2007). Electrokinetic coupling in unsaturated porous media. *Journal of Colloid and Interface Science*, 313, 315-327.
- Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898.
- Vinogradov, J., Jaafar, M. Z., and Jackson, M. D. (2010). Measurement of streaming-potential coupling coefficient in sand-stones saturated with natural and arti-ficial brines at high salinity. *Journal of Geophysical Research*, 115, B12204.