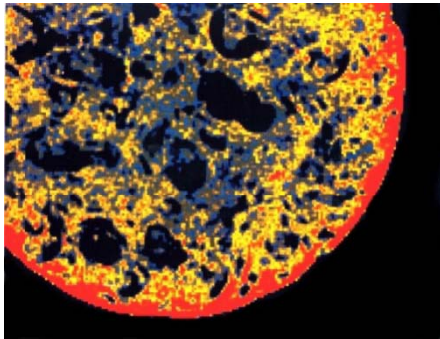


Pétrophysique – Études des gisements – Géophysique

Petrophysics– Reservoir engineering – Geophysics

Paul WJ Glover, PhD (UEA, RU), MSc (Newcastle, RU), BSc (Imperial College, RU), ARCS



Résultat d'une analyse de tomographie à rayons-X d'un échantillon de carbonate vacuolaire. La porosité est importante mais la conductivité électrique est faible à cause de la mauvaise connectivité des vides.

X-ray CT scan of a vuggy carbonate core prior to impedance spectroscopy measurement. The porosity is high, but electrical conductivity and permeability is low because the vugs are not well connected.



Le volcan Zao-san, Hokkaido, Japon. Les variations de potentiel spontané mesurées sur des volcans tel que celui-ci sont le résultat du flux hydraulique qui provient de phénomènes de convection. Des variations soudaines dans le flux de fluide en trois dimensions peuvent être calculées en utilisant les paramètres électrocinétiques. Cela permettra d'évaluer le risque d'une éruption.

The volcano Zao-san, Hokkaido, Japan. The measurement of spontaneous potential on volcanoes such as this are the result of convection-driven fluid flow in the subsurface. Sudden changes in the 3D fluid flow can be calculated using electro-kinetic parameters allowing the chance of eruptions to be judged.

Notre vie actuelle dépend des ressources naturelles qu'offre la Terre, telles que les réserves d'eau et ses ressources énergétiques. Les réservoirs souterrains nous fournissent de l'eau et des hydrocarbures. Ils permettront également un stockage éventuel du CO₂ à l'avenir. Mes recherches actuelles se concentrent sur les propriétés des roches poreuses dont sont constitués ces réservoirs. Il s'agit de comprendre des propriétés importantes de ces roches en laboratoire, comme leur porosité, leur perméabilité ainsi que les propriétés des ondes électriques et élastiques qui les traversent. Plus particulièrement, nous nous concentrons sur les mesures et la théorie des propriétés électriques et sismo-électrocinétiques qui permettent en effet de prédire quantité des fluides ainsi que la manière dont ils sont en mouvement dans le sous-sol.

Propriétés électriques et sismo-électrocinétique des roches.

Les phénomènes électrocinétiques mettent directement en relation les flux électriques et hydrauliques; en effet, lorsqu'une roche est soumise à un gradient de flux de fluide, on remarque l'apparition d'un courant électrique (alors appelé courant électrocinétique), et réciproquement. Ces phénomènes électrocinétiques sont de première importance car ce sont eux qui relient le flux de fluide aux variations du signal électrique enregistrées avant un tremblement de Terre majeur et autour des volcans. Une description détaillée de ces mécanismes nous permettra d'améliorer les prédictions des tremblements de terre et des éruptions volcaniques. La compréhension des phénomènes électrocinétiques pourra également mener à la cartographie de fluides se trouvant dans le sous-sol à partir des mesures électriques, à améliorer les méthodes de décontamination du sol ou à aider au développement de nouveaux outils d'analyse de forage. Il y a cependant deux obstacles majeurs à la compréhension de ces phénomènes. (a) Il n'existe aucune théorie impliquant les phénomènes électrocinétiques qui relie un flux de fluide fonction de la fréquence et la conduction électrique. (b) A l'heure actuelle, on ne comprend pas suffisamment bien les processus contrôlant le comportement des flux hydrauliques et électriques. Présentement, nous développons des méthodologies expérimentales afin de mesurer les propriétés électriques et électrocinétiques des roches en parallèle avec de nouvelles théories décrivant ces processus.

Modern life depends upon energy, water and the Earth's natural resources. Underground reservoirs provide us with water, gas and oil as well and perhaps a future place to dispose of CO₂. My research focuses on the physical properties of the porous rocks that compose these reservoirs. We aim to understand the important properties of rocks including porosity, permeability, and the electrical and elastic wave properties in the laboratory. We specialise in the theory and measurement of the electrical and seismo-electro-kinetic properties of reservoir rocks in an attempt to use the properties to predict the amount and flowability of water, gas, oil and CO₂ in the subsurface.

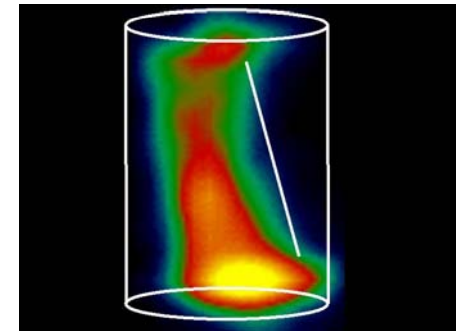
Electrical and seismo-electro-kinetic rock properties

Fluid flow and electrical flow are linked at a fundamental level by electro-kinetic phenomena, where fluid flow through a rock causes an electrical current to flow or vice versa. These phenomena are important because electrical signals measured before major earthquakes and around volcanoes are linked to fluid flow by electro-kinetic mechanisms. Accurate description of the mechanisms would enable us to improve the prediction of both earthquakes and volcanoes. The link may also allow fluid flow in the deep earth to be mapped from electrical measurements, aid the development of new oil, gas and water borehole tools, and provide methods for cleaning contaminated soils. There are two major problems. (a) There is no AC theory linking fluid flow and electrical conduction through electro-kinetic processes. (b) The major controlling influences on fluid and electrical flow through rocks and soils is not sufficiently understood. We are developing experimental methodologies to measure the electrical and seismo-electro-kinetic properties of rocks in parallel with the theory describing these processes. The research implies that we design, build and test our own equipment as commercial versions are not available.



Cellules de conductivité de fluide à électrodes de platine noircies au platine, construites par Paul Glover pour mesurer la conductivité des fluides en fonction de la fréquence avec une grande précision.

A platinum-blacked fluid conductivity cells constructed by Paul Glover to allow high quality electrical conductivity measurements on fluids as a function of frequency.



Le flux de fluide à travers une roche réservoir poreuse qui est canalisé par l'interaction entre la tortuosité naturelle de la roche et la chimie des pores mesuré par tomographie par émission de positon.

Fluid flow through a porous reservoir rock that is channelled by the interaction between the natural tortuosity of the rock and the pore chemistry as measured by positron emission tomography.

Pétrophysique – Études des gisements – Géophysique

Petrophysics– Reservoir engineering – Geophysics

Paul WJ Glover, PhD (UEA, RU), MSc (Newcastle, RU), BSc (Imperial College, RU), ARCS



Le nouveau porosimètre à Hélium pour des échantillons cylindriques de 1 ou 1.5 pouces de diamètres.

The new helium porosimeter for 1 inch and 1.5 inch cores.



La cellule de spectroscopie d'impédance à faible pression installée dans une chambre à température contrôlée, construite à partir d'un cellier à vin.

The low pressure impedance spectroscopy cell installed in a temperature controlled chamber modified from a wine cabinet.

Avancement des travaux sur les mesures expérimentales.

Une cellule de mesure électrocinétique en régime continu a été conçue en collaboration avec le département de génie mécanique. La construction de la cellule a débuté en décembre 2007 pour s'achever en mars 2008. Les tests débiteront immédiatement après la livraison. Actuellement, nous travaillons également à la conception d'une cellule de mesure des propriétés sismo-électrocinétiques et fonction de la fréquence. Un nouveau porosimètre à hélium, qui a une précision qui n'est pas disponible ailleurs, a été conçu, construit et mis en jeu. La construction du nouveau perméamètre Klinkenberg est aussi bien avancée.

Nous avons aussi développé des méthodes de mesures du pH et de la conductivité électrique complexe de fluides saturants à l'aide d'une cellule à électrode de platines noircies au platine. Ce dispositif est plus fiable et précis que les appareils de mesure de conductivité présents dans le commerce. De plus, cette cellule a été conçue afin de mesurer la conductivité complexe aux mêmes fréquences que l'on utilise pour la spectroscopie d'impédance. Nous avons tenté de stabiliser nos mesures de conductivité électrique complexe en installant la cellule de spectroscopie d'impédance à basse pression dans une chambre à température contrôlée.

Advances in experimental measurement

A DC electro-kinetic cell has been designed in collaboration with the department of mechanical engineering. Construction began in december 2007 for delivery and testing in march 2008. Currently, we are also working on the design of a cell that will allow AC seismo-electro-kinetic measurements to be carried out.

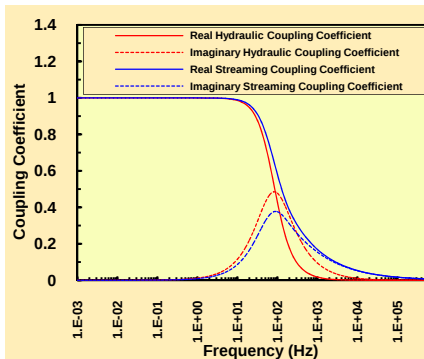
A new purpose-built helium porosimeter has been designed, constructed and commissioned, which will contribute to our ability to measure the basic properties of rocks with an accuracy not possible with commercial instruments. Construction of the new klinkenberg gas permeameter is well advanced and progress has been made in completing our suite of sample coring, preparation and saturation apparatuses. In addition, we have been developing methods for the measurement of the pH and complex electrical conductivity of pore fluids using platinum blacked electrode cell. This approach is more accurate than commercial fluid conductivity instruments and allows us to measure the pore fluids at exactly the same frequencies that we use to measure the rock samples during impedance spectroscopy. We have attempted to stabilise our measurement of complex electrical conductivity by installing the low pressure impedance spectroscopy cell in a temperature controlled chamber.

Advances in theoretical development

We have modified existing theories to produce a simple AC theory of hydraulic and electro-kinetic streaming potential coupling coefficients for capillary tubes before investigating the effect of mixing tubes of different sizes. The results (shown below) show variations that are similar to those found in impedance spectroscopy, but which are not exactly the same. Experiment should allow us to determine if the theory shows a real difference. Meanwhile, manipulation of the electro-kinetic equations has led to a new way of predicting permeability. Both of these advances will be offered for publication in 2008.

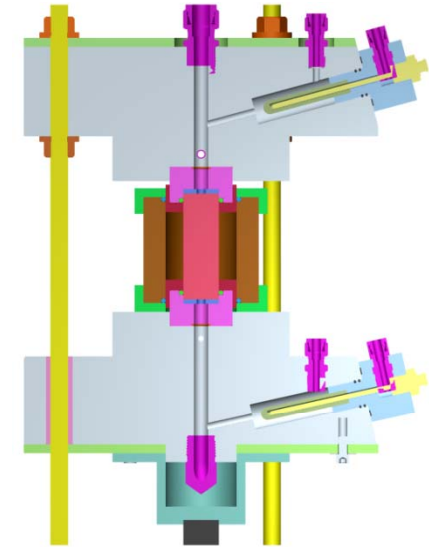
Avancement de l'étude théorique

Nous avons modifié les théories existantes afin de produire des théories simples sur les coefficients de couplage hydraulique et électrocinétique en fonction de la fréquence pour des tubes capillaires. Des études sur des milieux constitués de tubes de différentes tailles ont été effectuées par la suite. Les résultats (ci-dessous) montrent des variations similaires à celles observées pour la spectroscopie d'impédance, mais qui ne sont pas parfaitement identiques. Les expériences vont donc nous permettre de déterminer si la théorie met en évidence une différence réelle. D'autre part, l'étude et la modification des équations régissant les phénomènes électrocinétiques ont mené à une nouvelle façon de prédire la perméabilité d'un milieu poreux. Ces deux points feront l'objet de publications courant 2008.



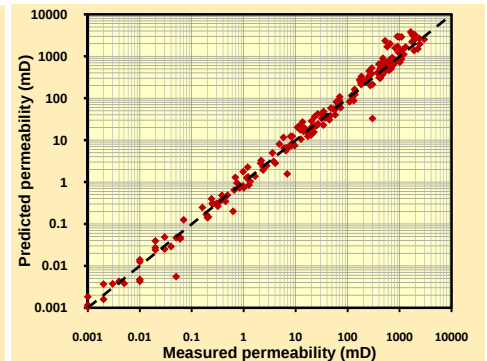
Les coefficients de couplage hydraulique et électrocinétique en fonction de la fréquence pour un milieu poreux théorique composé de particules sphériques de 0.1 mm de diamètre disposées de manière aléatoire.

The hydraulic and electro-kinetic streaming potential coupling coefficients as a function of frequency for a theoretical porous medium composed of 0.1 mm spherical particles arranged randomly.



Conception de la nouvelle cellule pour mesures électrocinétiques en régime continu. Elle est faite d'acier inoxydable, de laiton, de PTFE et d'autres polymères. Elle sera prête à être testée en mars 2008.

Design of the new DC electro-kinetic cell. It is constructed from stainless steel, brass, PTFE and other engineering polymers and will be ready for testing in March 2008.



La perméabilité au gaz de roches réservoirs de la mer du Nord (Royaume Uni) peut être déduite des équations électrocinétiques en fonction de la perméabilité Klinkenberg (Unités : millidarcies).

Permeability to gas of reservoir rocks from the UK North Sea predicted from electro-kinetic equations as a function of the measured klinkenberg permeability (units : millidarcies).

Pétrophysique – Études des gisements – Géophysique

Petrophysics– Reservoir engineering – Geophysics

Paul WJ Glover, PhD (UEA, RU), MSc (Newcastle, RU), BSc (Imperial College, RU), ARCS

Publications – Publications

Glover, Zadjali, Frew, Permeability prediction from MICP and NMR data using an Electro-kinetic Approach, *Geophysics*, Vol. 71, No. 4 July-August 2006 P. F49–F60.

Glover, Comment on “Permeability prediction from MICP and NMR data using an electrokinetic approach” P. W. J. Glover, I. I. Zadjali, and K. Frew, 2006, *Geophysics*, 71, No. 4, F49–F60, *Geophysics*, Vol. 72, No. 4 July-August 2007; P. X3–X5.

Glover, Bormann, The characterization of trough and planar cross-bedding from borehole image logs, *Journal of Applied Geophysics* 62 (2007) 178–191.

Glover, The use of electrical surveying and predictive deconvolution in the search for Anglo-Saxon grubenhäuser at New Bewick, Northumberland, UK, *Proc. 36th International Symposium on Archaeometry*, Québec 2006, 1-4.

Présentations – Presentations

Glover, Blouin, Modelling increased soil radon emanation caused by instantaneous and gradual permafrost thawing due to global climate warming, *European Geophysical Union Annual Congress 2007 (EGU 2007) 15-20 April 2007 (EGU2007-A-07657)*.

Glover, The discovery of an Anglo-Saxon grubenhaus at New Bewick, northern UK using electrical surveying and predictive deconvolution, *European Geophysical Union Annual Congress 2007 (EGU 2007) 15-20 April 2007 (EGU2007-A-10463)*.

Glover, Bormann, The characterization of trough and planar cross-bedding from borehole image logs *European Geophysical Union Annual Congress 2007 (EGU 2007) 15-20 April 2007 (EGU2007-A-10472)*.

Walker, Baud, Déformation et rupture dans les calcaires à forte porosité: Expériences Triaxiales, *JSTE, Université Laval*, 16 mars 2007.

Organisation de congrès – Conference organisation

ERE 9 : Archaeometry: The use of geoscientific techniques to probe the archaeological environment, *European Geophysical Union Annual Congress 2007 (EGU 2007) 15-20 April 2007 – Session convenorship*.

Étudiants – Students

Emilie Walker (PhD)
Mélicca Jodouin (BSc-MSc)
Guillaume Lalande (BSc)
Mathieu Bergeron (BSc)
Nicolas Déry (BSc)

Évaluation – Reviewer

G³
Transport in Porous Media
Earth and Planetary Science Letters
Journal of Geophysical Research
eEarth
Annales Geophysicae
Journal of Archaeological Science

National Science and Research Council Canada
US Department of Energy

Subventions – Funding

NSERC - Individual discovery grant :
Unification of fluid flow and electrical conduction in rocks and soils \$ 43000 per annum (2006-2010)

NSERC - Research Tools and Instruments - Category 1 : The measurement and application of electro-kinetic measurements in hydrocarbon-bearing rock fractures \$ 62100 (2007-2008)

Service externe – External Service

GASTEM Inc., Québec
Intragaz Inc., Québec

Cours

Géophysique du globe (Session d'automne)
Méthodologie de la recherche (Session d'automne)
Conception en génie géologique I (Session d'hiver)
Analyse géologique des diagraphies (Session d'hiver)
Pétrophysique (Session d'hiver)

Laboratoire de Pétrophysique

Impédancemètre (SOLARTRON SI 1260)
Système d'acquisition de données (KEITHLEY 2700/LabView) – mesures de potentiel
électrocinétique, température, pression et débit
Porosimètre à l'hélium (conçu et fait en laboratoire)
Perméamètre à gaz (conçu et en construction en laboratoire)
Conductivité et susceptibilité à terrain
Système de caractérisation des fluides (pH et propriétés électriques)
Système de déposition électrolytique – préparation d'électrodes (INSTEK)
Cellules de mesure de l'impédance complexe des roches
Cellules pour la mesure des propriétés électriques des sols
Nouvelle cellule pour mesures électrocinétiques en régime continu
Nouvelle cellule pour mesures électrocinétiques en fonction de fréquence



