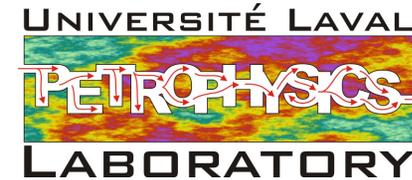
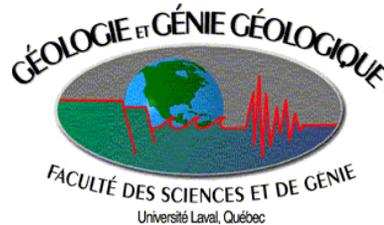




UNIVERSITÉ  
LAVAL



# Dispositifs pour mesurer le coefficient de couplage électrocinétique de roches poreuses en laboratoire

E. Walker<sup>(1)</sup>, P.W.J. Glover<sup>(1)</sup>, J. Ruel<sup>(2)</sup>, G. Lalande<sup>(2)</sup>, M. Jodouin<sup>(2)</sup>,  
J.Hadjigeorgiou<sup>(3)</sup>

(1) Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec, Canada,

(2) Département de génie mécanique, Université Laval, Québec, Canada,

(3) Département de génie des mines, de la métallurgie et des matériaux, Université Laval,  
Québec, Canada

(paglover@ggl.ulaval.ca; emilie.walker.1@ulaval.ca)

**76<sup>ème</sup> congrès de l'ACFAS, Québec, Canada, le 9 mai 2008.**

# Sommaire

I. Introduction aux phénomènes électrocinétique dans les roches poreuses.

II. Dispositif de mesure en régime continu.

III. Dispositif de mesure en fonction de la fréquence.

# I. Introduction aux phénomènes électrocinétiques dans les roches poreuses

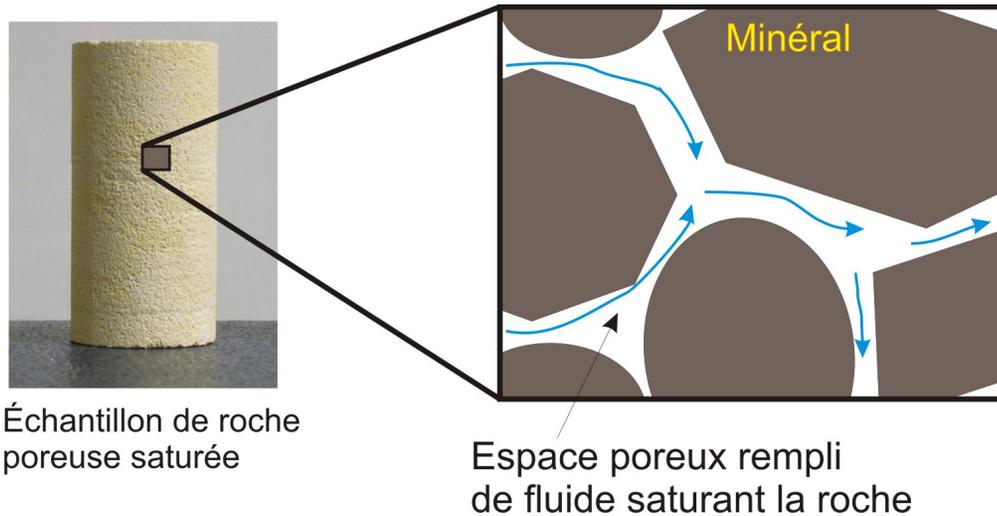
# L'interface roche-fluide



Échantillon de roche  
poreuse saturée

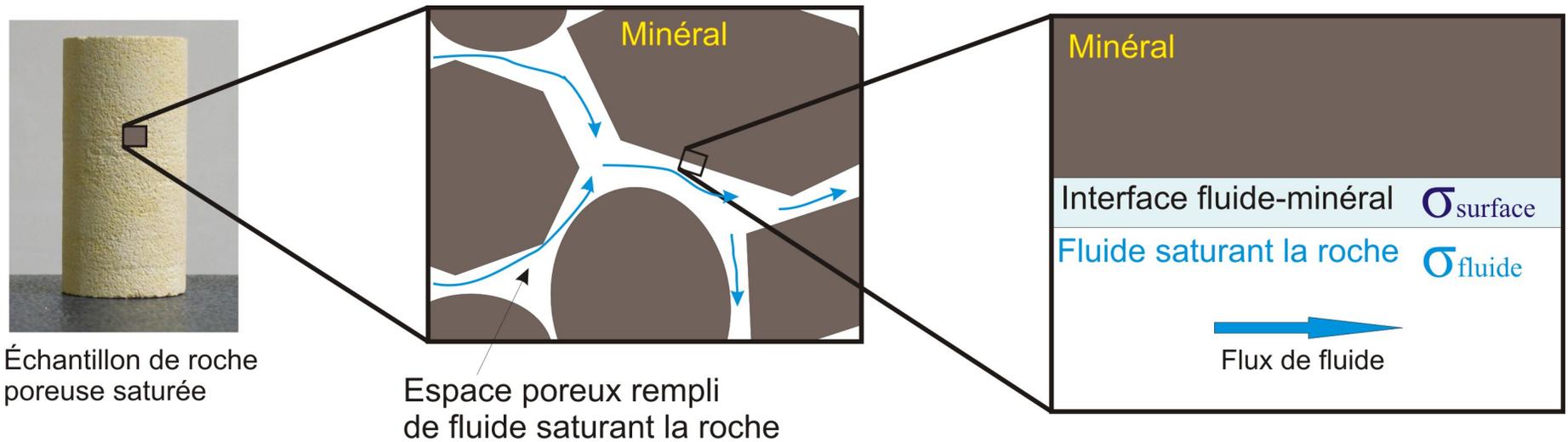
- Les flux de fluide et l'interface roche-liquide
- La conductivité de surface

# L'interface roche-fluide



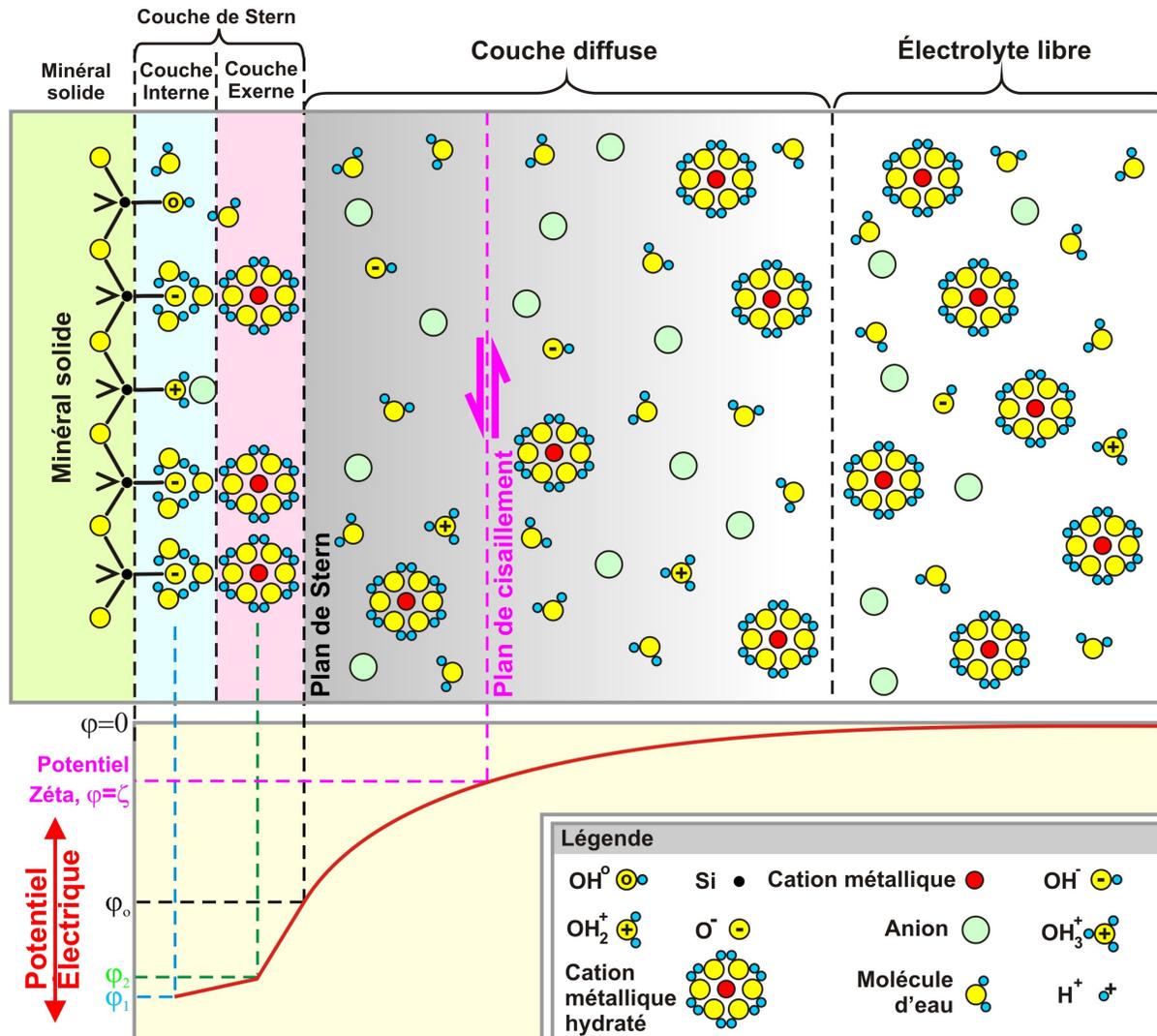
- Les flux de fluide et l'interface roche-liquide
- La conductivité de surface

# L'interface roche-fluide



- Les flux de fluide et l'interface roche-liquide
- La conductivité de surface

# La double couche électrique (EDL)



- Le modèle de *Gouy, Chapman et Stern*

L'électrolyte libre

La couche diffuse

La couche externe de Stern

La couche interne de Stern

- Le plan de cisaillement

- L'épaisseur de la EDL

# Les phénomènes électrocinétiques: Théorie.

- Formulation des phénomènes électrocinétiques en régime continu

Loi de Darcy,  $L_{11} = k/\eta$

$$\begin{bmatrix} Q \\ J \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla P \\ \nabla \varphi \end{bmatrix}$$

Loi d'Ohm,  $L_{22} = \sigma_f$

Phénomènes électrocinétiques  
 $L_{21} = L_{12} = \varepsilon \zeta / \eta,$

$k$ : perméabilité du milieu (D)  
 $\sigma_f$ : conductivité du fluide (S/m)  
 $\varepsilon$ : constante diélectrique du fluide  
 $\zeta$ : potentiel zéta (V)  
 $\eta$ : viscosité du fluide (Pa.s)  
 $P$ : pression de fluide (Pa)  
 $\varphi$ : potentiel électrique (V)

$$C_s = \frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{\varepsilon \zeta}{\eta \sigma}$$

$C_s$ : Coefficient de couplage électrocinétique

✓ Théorie validée pour des capillaires

✗ A améliorer pour les roches

- Formulation des phénomènes électrocinétiques en fonction de la fréquence pour des tubes capillaires: *Packard (1953)*

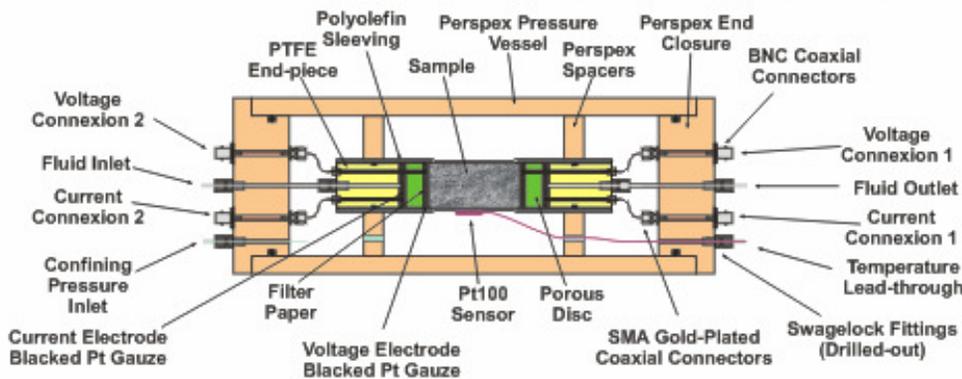
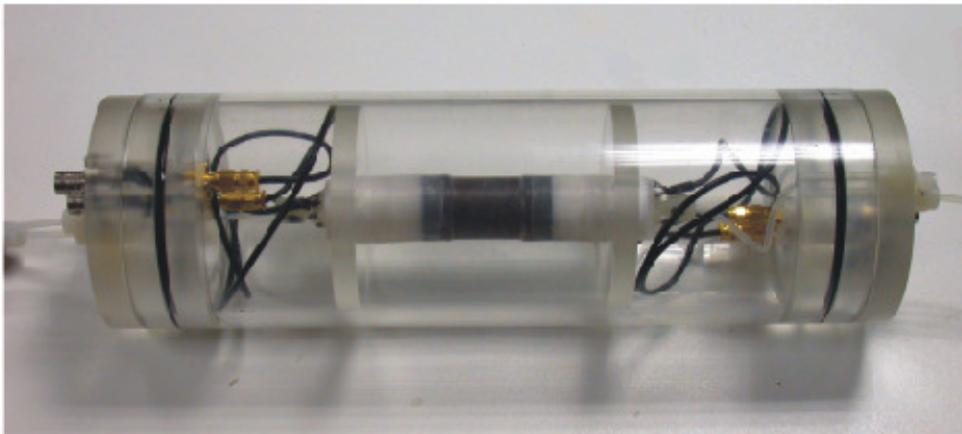
✓ Théorie à vérifier pour des capillaires

✗ Pas de théorie pour les roches

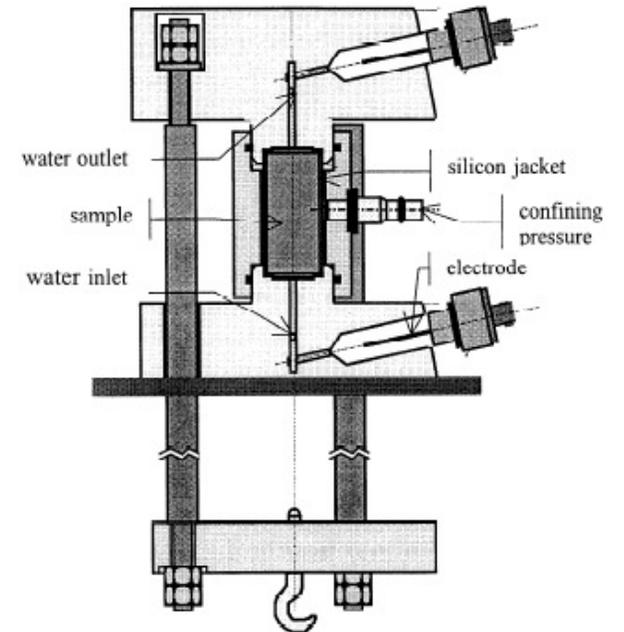
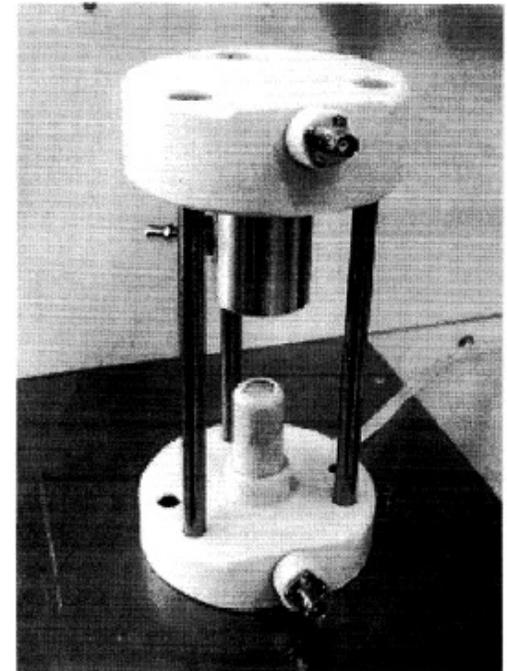
## II. Dispositif de mesure en régime continu

# Développement d'un dispositif pour les mesures de propriétés électrocinétiques en régime continu.

- Réflexion basée sur deux cellules existantes:
  - *Jouniaux et al. (2000)*.
  - *Glover (2001)*, cellule existant au laboratoire.



(Glover, 2001)



(Jouniaux et al., 2000)



## Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu.

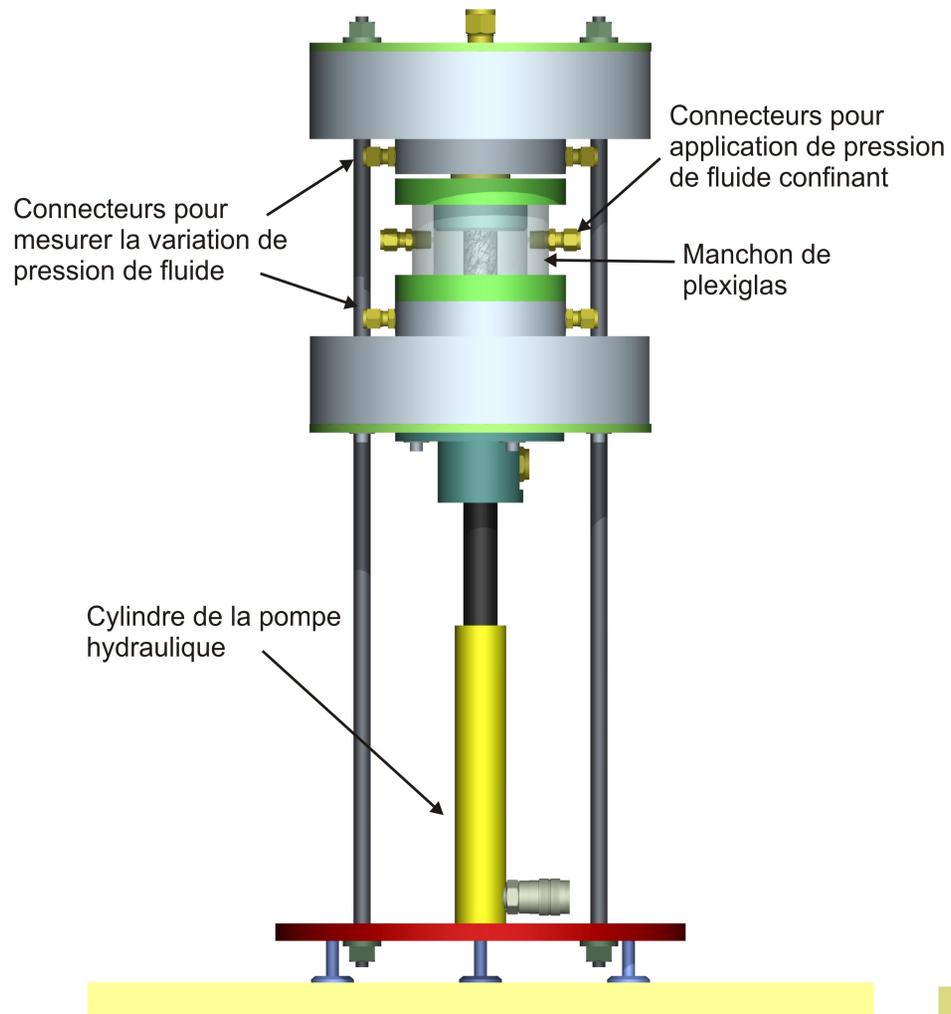
→ Nouvel appareil conçu et construit

(En collaboration avec le département de génie mécanique, Université Laval, Canada)

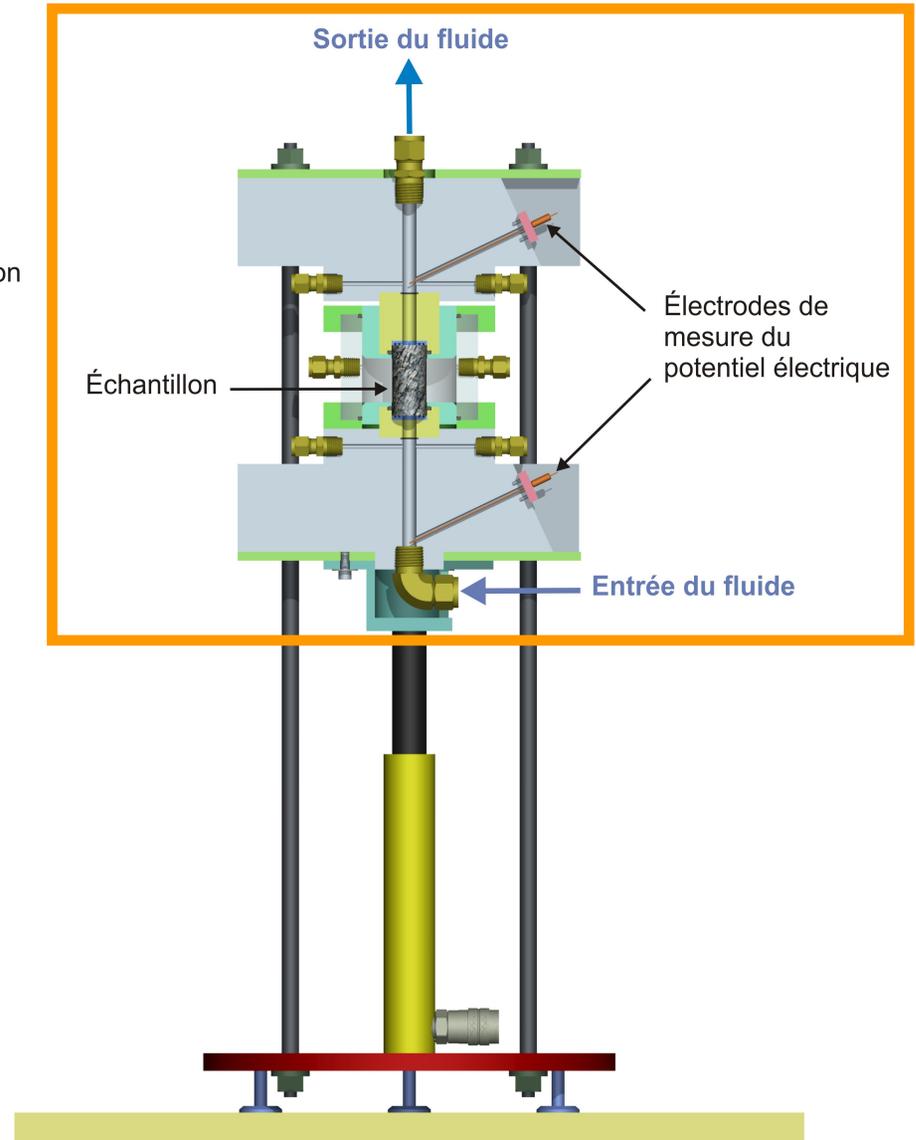
Dispositif de mesure en régime continu

Laboratoire de pétrophysique,  
Département de géologie,  
Université Laval.

# Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu.

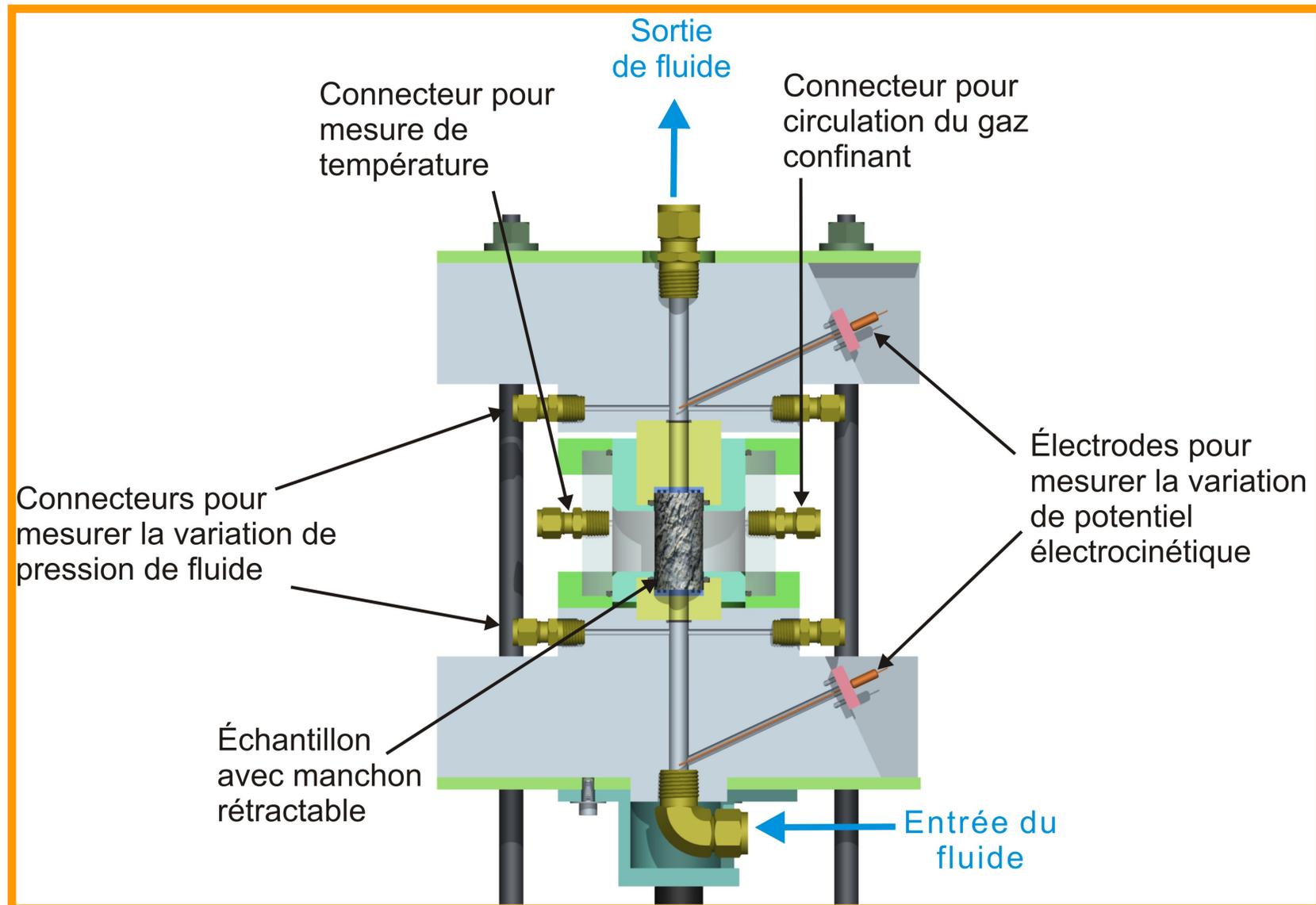


Vue de face

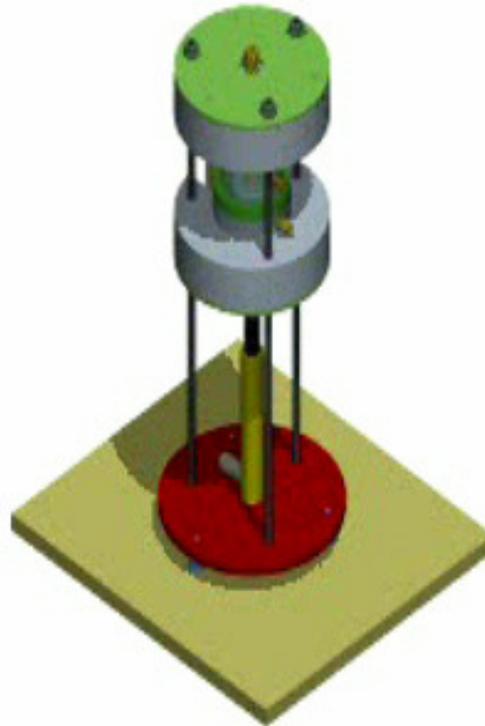


Vue en coupe

# Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu.



# Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu.



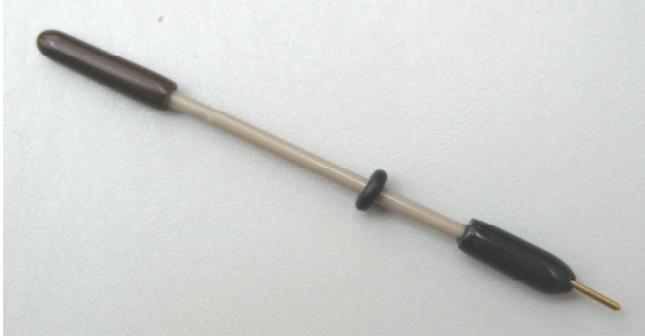
# Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu.

- Contrôle de la température  
→ Dispositif dans un cellier à température contrôlée

(*Transtherm, Ermitage, 1 temperature*)



# Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu.



- **Électrodes de mesure du potentiel électrocinétique.**

- Ag/AgCl, non polarisables.
- Saturées avec le fluide.



- **Capteurs de Pression dynamiques**

- Oméga DPX101-250
- Pour mesures à haute fréquences
- Temps de réponse : 1  $\mu$ s
- Pression jusqu'à 35 MPa



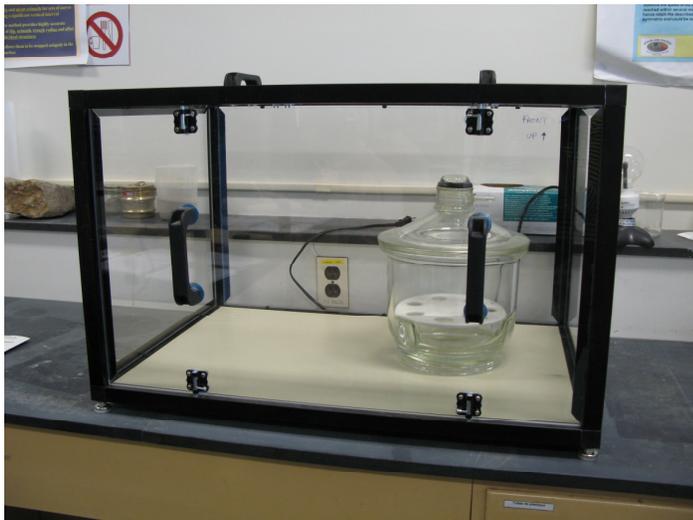
- **Flux de fluide** *Agilent quaternary pump*

- 4 fluides
- Flux de 0.06 à 300 cm<sup>3</sup>/h.

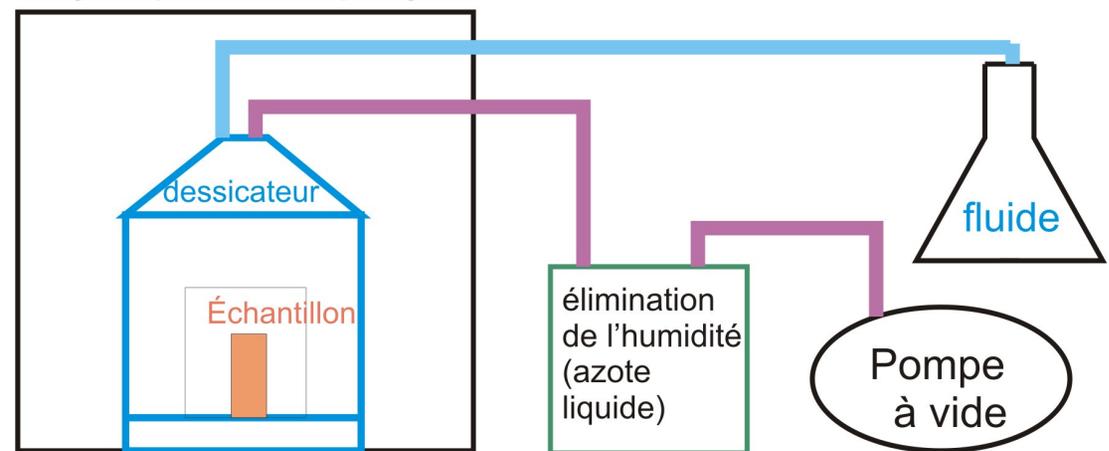
## Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu. Coupe et saturation des échantillons de roches



- Cylindre diamètre: 1" à 1.5". Longueur: 2" à 3"
- Séchage puis saturation à vide à l'aide du dispositif du laboratoire.
- Manchon de polyoléfine rétracté à la chaleur



Cage de protection en plexiglas

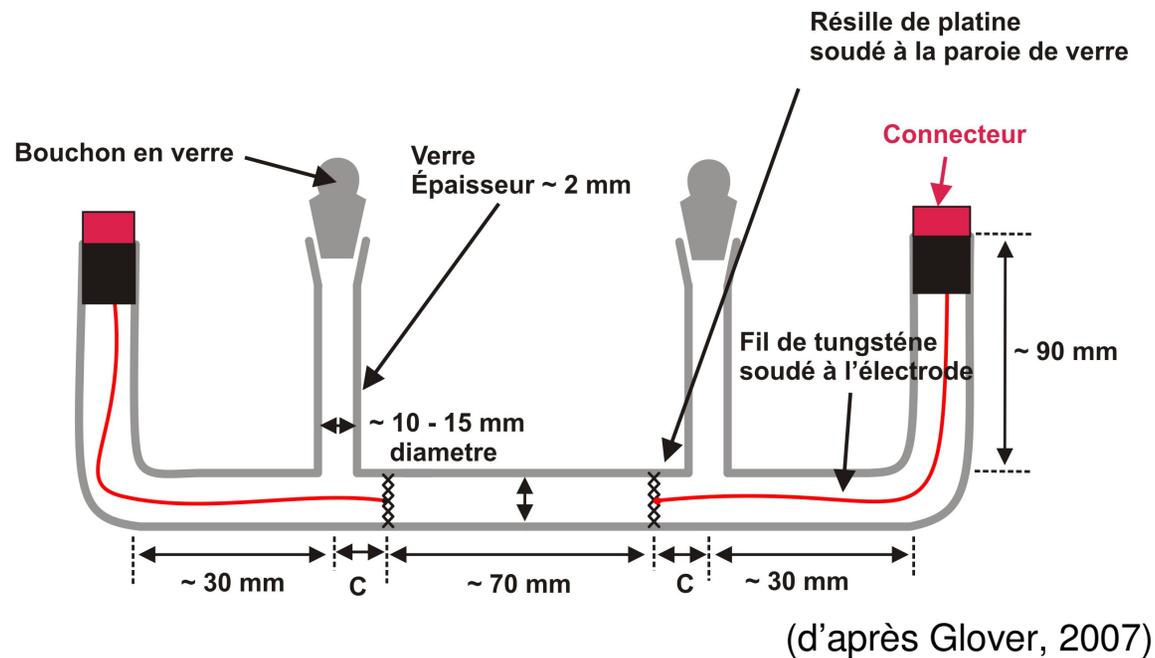


# Dispositif de mesures des propriétés électrocinétiques en régime continu. Mesure de la conductivité des fluides saturants.



- Cellule de conductivité des fluides, créée avec l'aide de François Dion d'après Glover (2007).

- Cellule à améliorer après les premiers tests



# Obtention de données sur les propriétés électrocinétiques de roches poreuses en régime continu.

- Test de la cellule

Échantillons de billes de verre → théorie connue

Échantillons de fluides

Échantillon de roches préalablement testées

Sensibilité et précision du dispositif ?

- Mesures:

Variation de pression de fluide

Potentiel électrocinétique

- Expériences:

Pour différentes roches

Pour différents pH de fluide → pH=2 à pH=10

Pour différentes concentration de fluide → 2 M. à  $10^{-5}$  M.

Pour différentes saturations

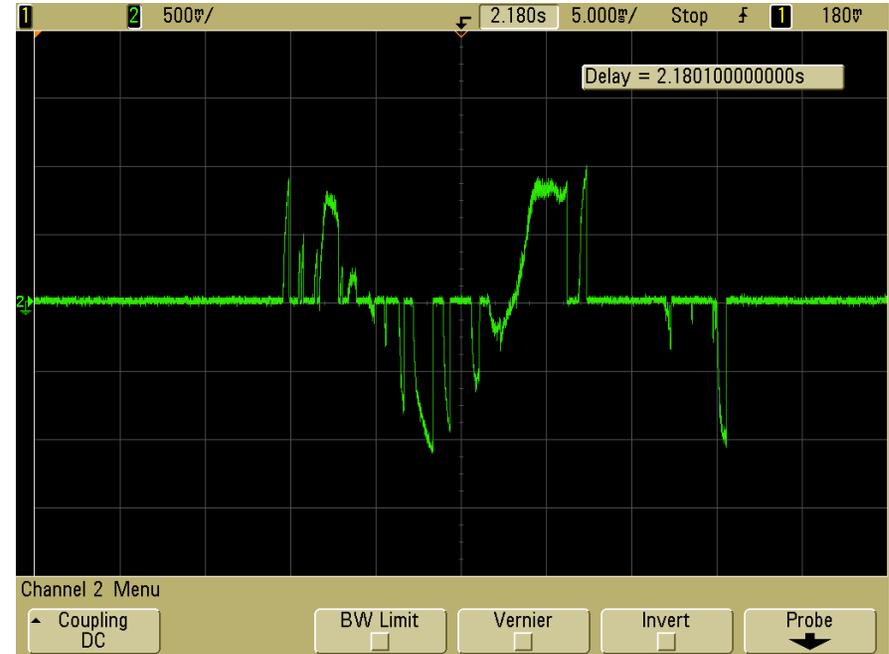
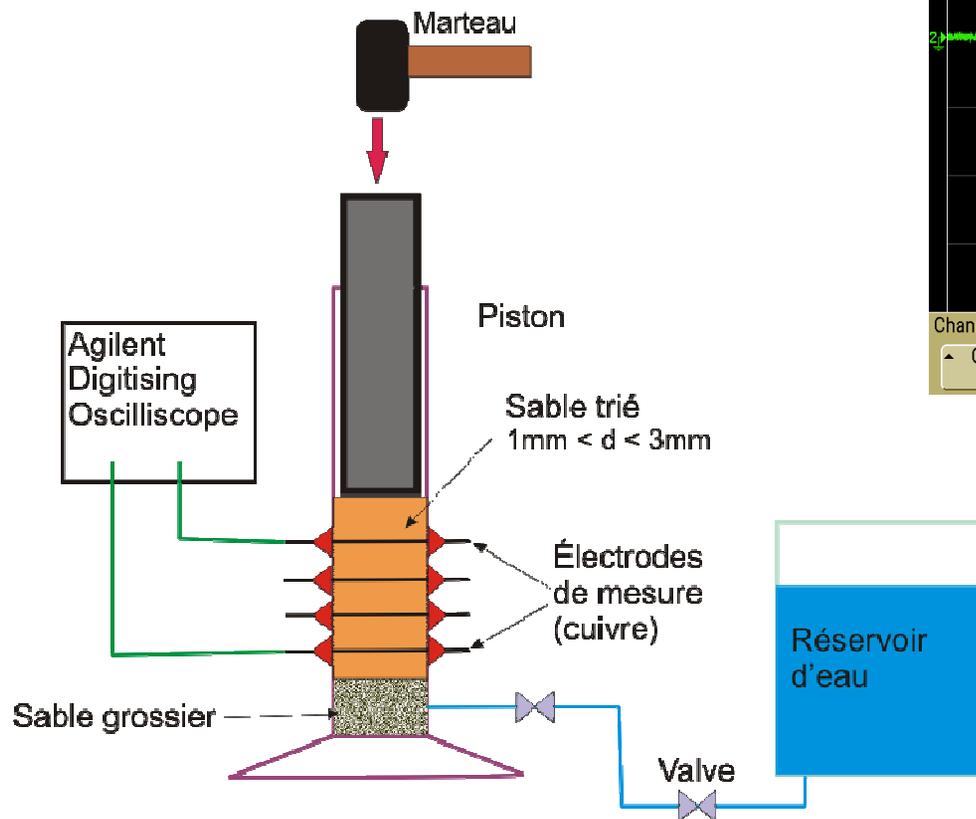
Pour différentes températures

Pour différentes vitesse de flux de fluide

### **III. Dispositif de mesure en fonction de la fréquence**

# Existe-t-il un potentiel électrocinétique fonction de la fréquence ?

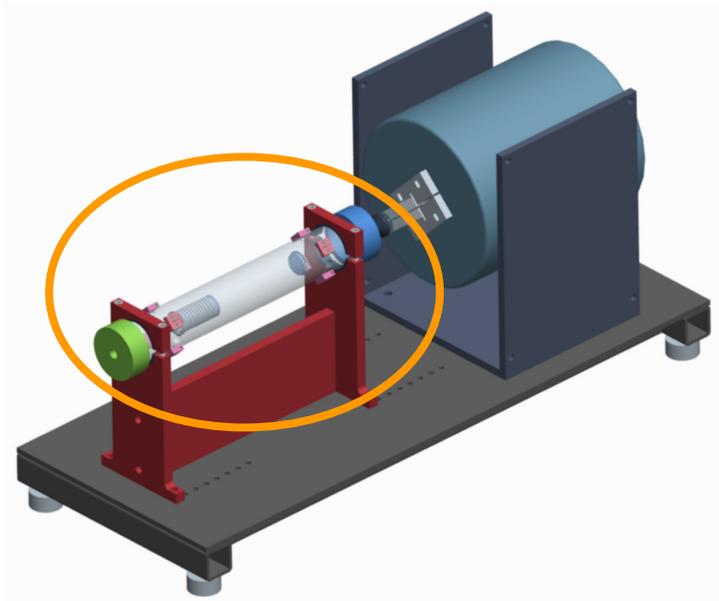
Possibilité de mesures en fonction de la fréquence dans des matériaux naturels: Test « du marteau » *Paul Glover (2007)*.



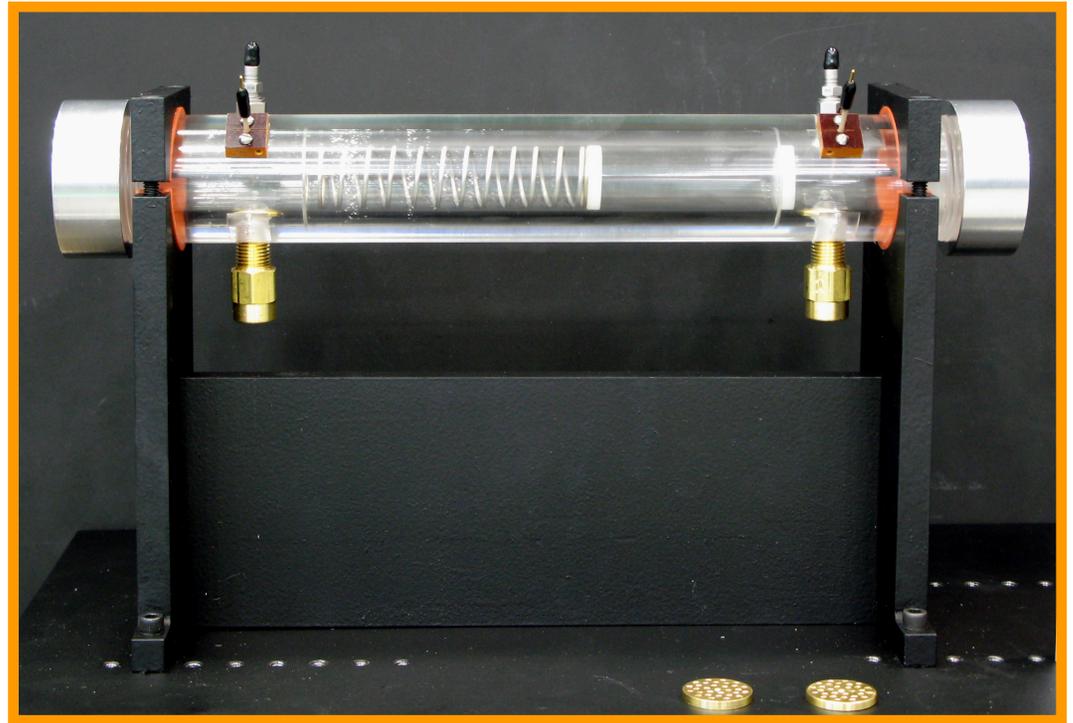
échantillon de sable ordinaire,  
 $0.1\text{mm} < \text{diamètre des grains} < 1\text{mm}$ ,  
Saturé avec un fluide à  $0.1\text{M}$  de NaCl.  
Échelle verticale: 1 carré = 1V.  
Échelle horizontale: 1 carré = 5ms.

(*Glover, 2007, communication personnelle*)

# Dispositif de mesure des propriétés électrocinétiques en fonction de la fréquence.



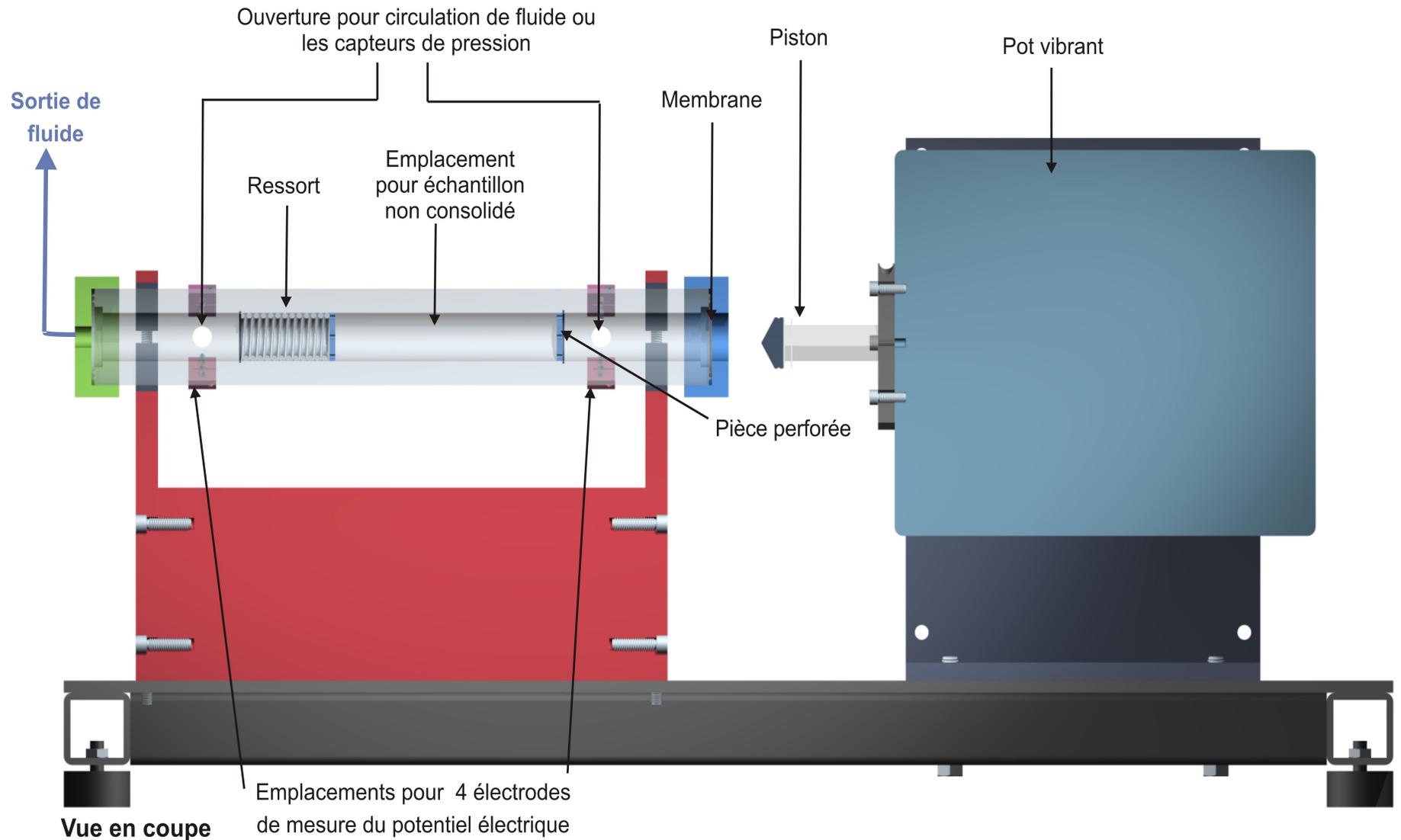
*Dessin: G. Lalande & M. Bergeron*



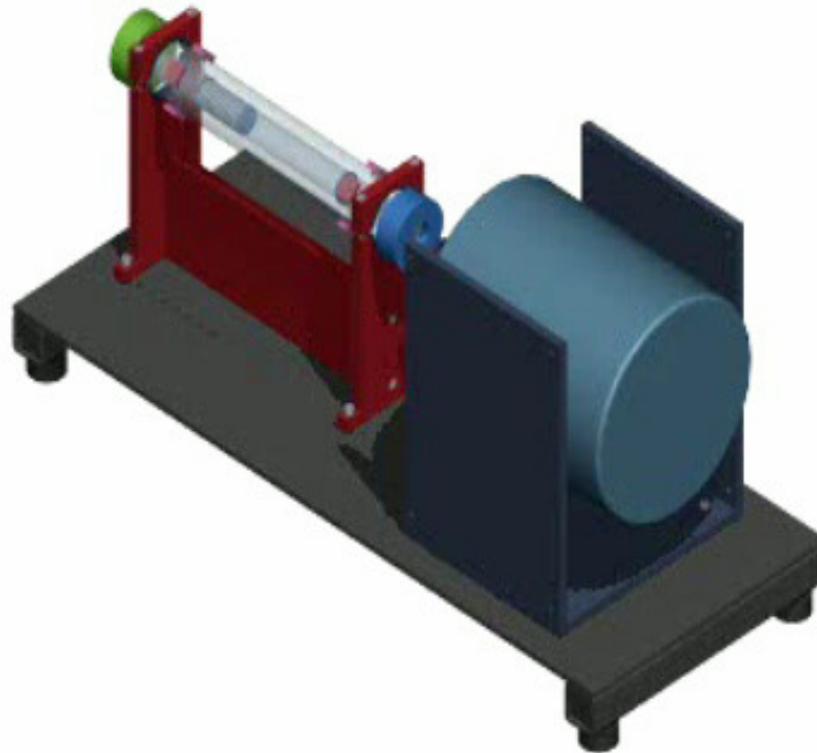
Dispositif de mesure en fonction de la fréquence.

Laboratoire de pétrophysique, Département de géologie, Université Laval.

# Dispositif de mesure des propriétés électrocinétiques en fonction de la fréquence.



# Dispositif de mesure des propriétés électrocinétiques en fonction de la fréquence.



# Obtention de données sur les propriétés électrocinétiques de roches poreuses en fonction de la fréquence.

- Test et calibration de la cellule

- Mesures:

  - Variation de pression de fluide

  - Potentiel électrocinétique

  - Fréquence d'injection du fluide

- Expériences:

  - Pour différentes roches

  - Pour différents pH de fluide → pH=2 à pH=10

  - Pour différentes conductivités de fluide

# Applications

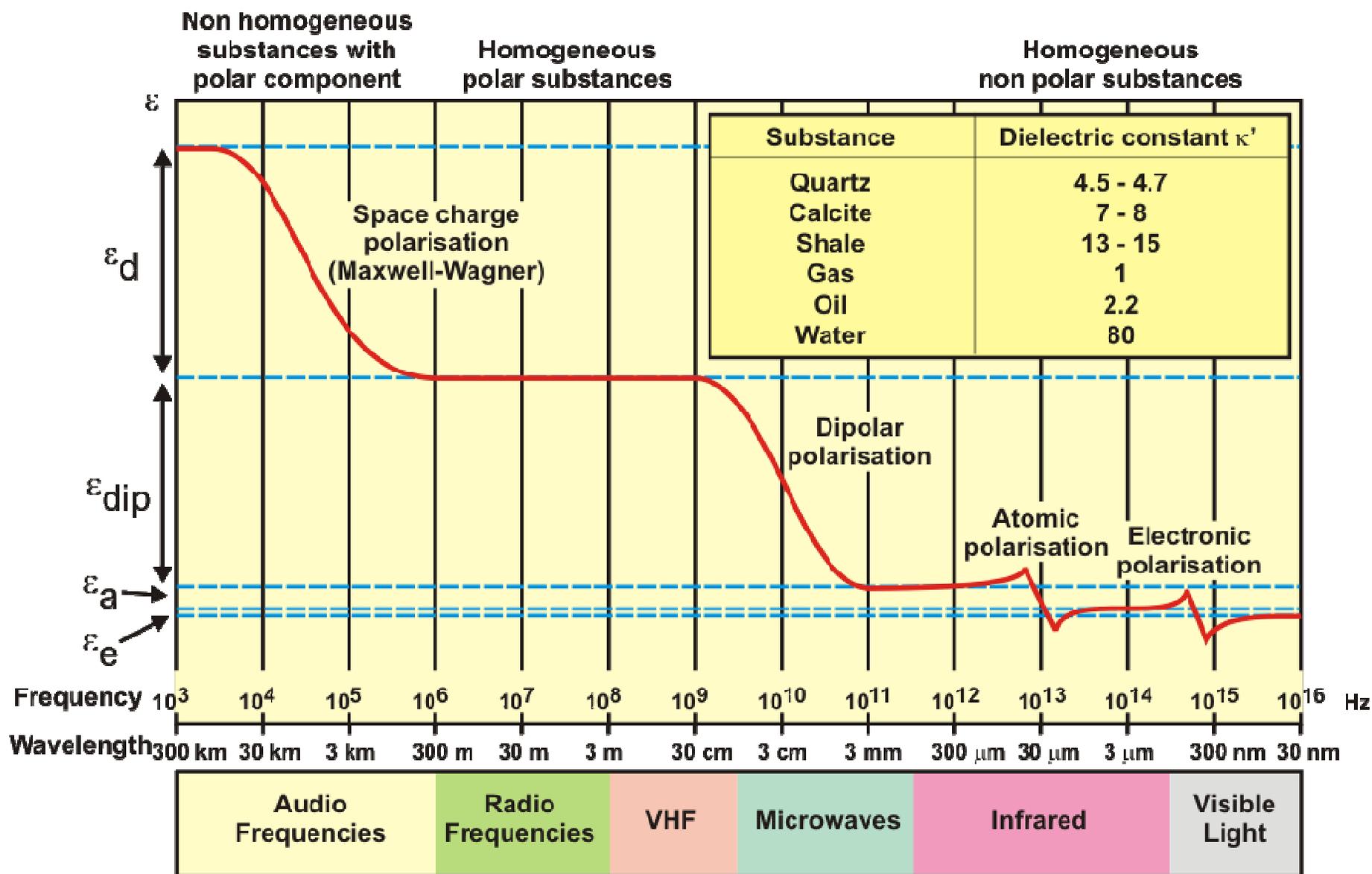
Et si on arrive à développer et vérifier des théories sur les phénomènes électrocinétiques dans les milieux poreux ?

- ✓ Application à la prospection d'hydrocarbures et au contrôle et la gestion des réservoirs.
- ✓ Gestion des réservoirs d'eau.
- ✓ Cartographier et surveiller des sols pollués.
- ✓ Application à la stimulation de tremblement de terre.
- ✓ Applications aux zones sismiques.
- ✓ Applications aux zones volcaniques.
- ✓ Surveillance la fonte du pergélisol.
- ✓ Drainage des rejets miniers acides.

**Merci pour votre attention.**



# Polarisation en fonction de la fréquence



# Critères de choix pour les roches à étudier.

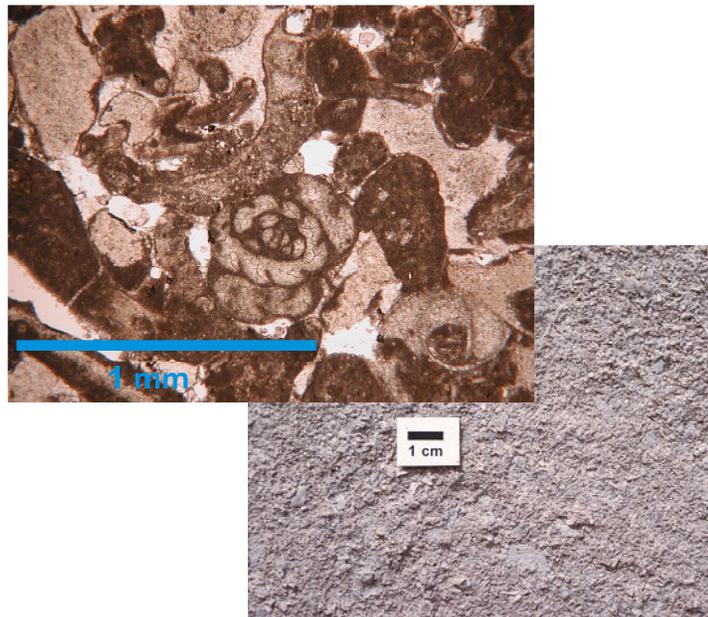
## Critères de choix des roches:

- Roches modèles:
  - Propriétés déjà étudiées
  - Microstructure connue
- Porosité et perméabilité suffisantes
- Roche de minéralogie simple
  - Répétabilité des mesures
  - Fiabilité des mesures
- Caractère homogène
- Savoir où se les procurer

**→ Choix de quatre roches**

# Roches choisies pour effectuer les mesures de potentiel électrocinétique

## Calcaire de l'Indiana



(Maryland Geological Survey)

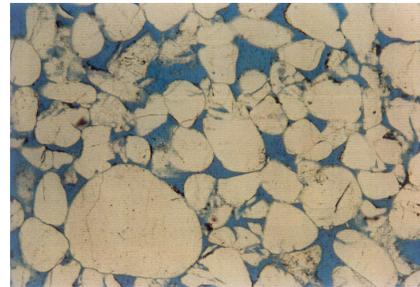
$\Phi = 13 - 18 \%$

90% calcite, 10% dolomite

## Grès de Lochaline

99.9% quartz

### Forme non-cimentée

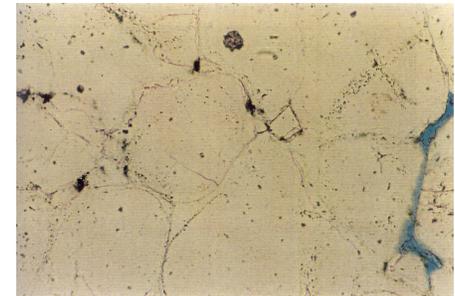


(A. Alzadjali, 1997)

$\Phi = 18-25 \%$

k = 500-2000 mD

### Forme cimentée



$\Phi = 2-8 \%$

k = 1-5 mD

# Roches choisies pour effectuer les mesures de potentiel électrocinétique

## Grès de Berea

*(Cleveland Quarries)*



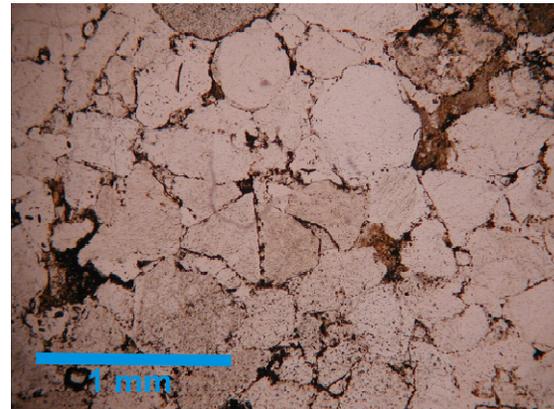
$\Phi = 20 - 24 \%$

80% quartz, 5% feldspath, 6% calcite,  
8% argile

$k = 1500 - 7000 \text{ mD}$

## Grès de Potsdam

80% quartz, 15% feldspath, 5% divers



1 pouce