

Institut de **P**hysique du **G**lobe de **S**trasbourg



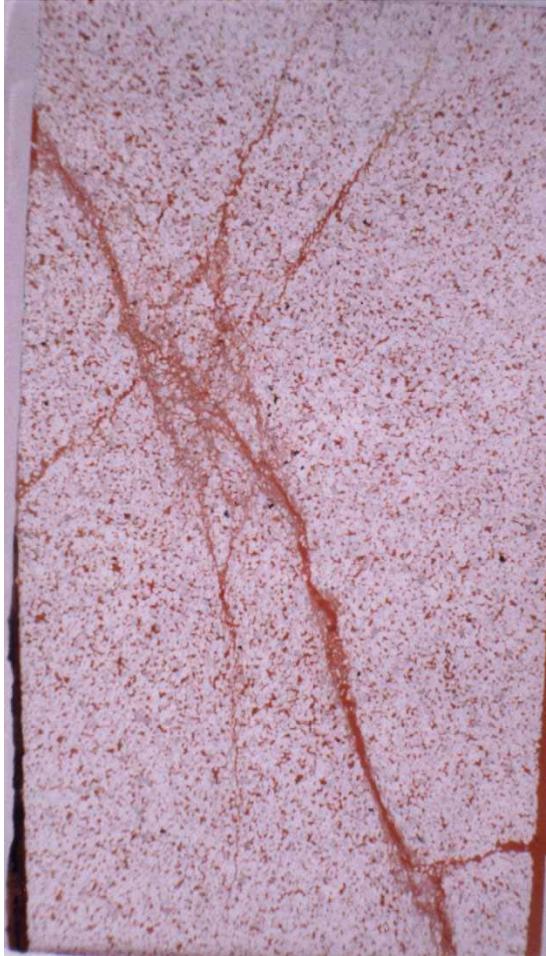
Les effets électriques liés aux circulations d'eau dans les roches

Laurence Jouniaux

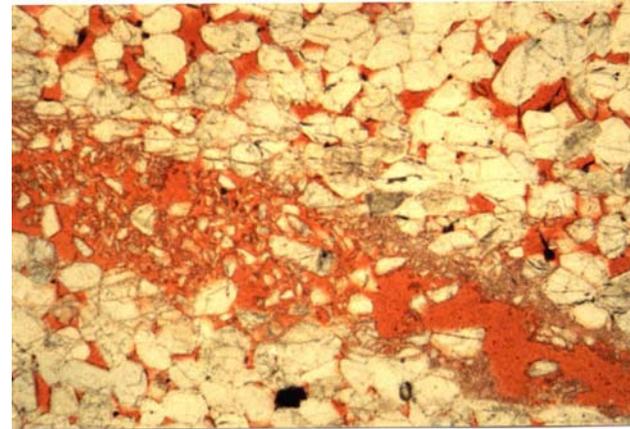
Habilitation à diriger des recherches

Institut de Physique du Globe de Strasbourg, 5 rue Descartes,
67084 Strasbourg Cedex, France

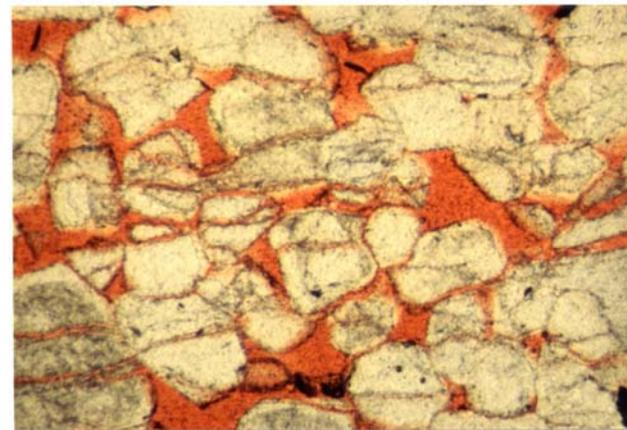
Circulation d'eau en milieux poreux et fracturés

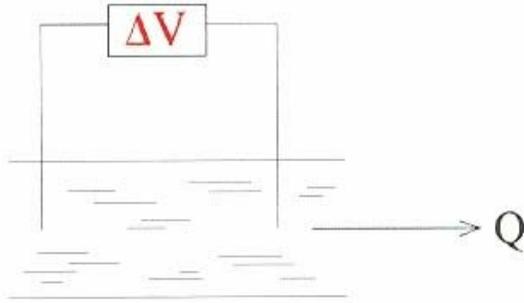
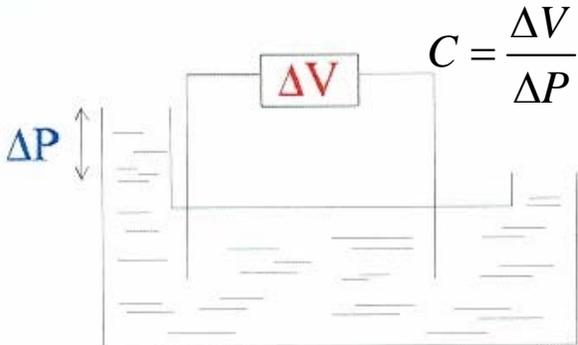


Largeur 25 mm



Taille des grains 200-300 micromètres

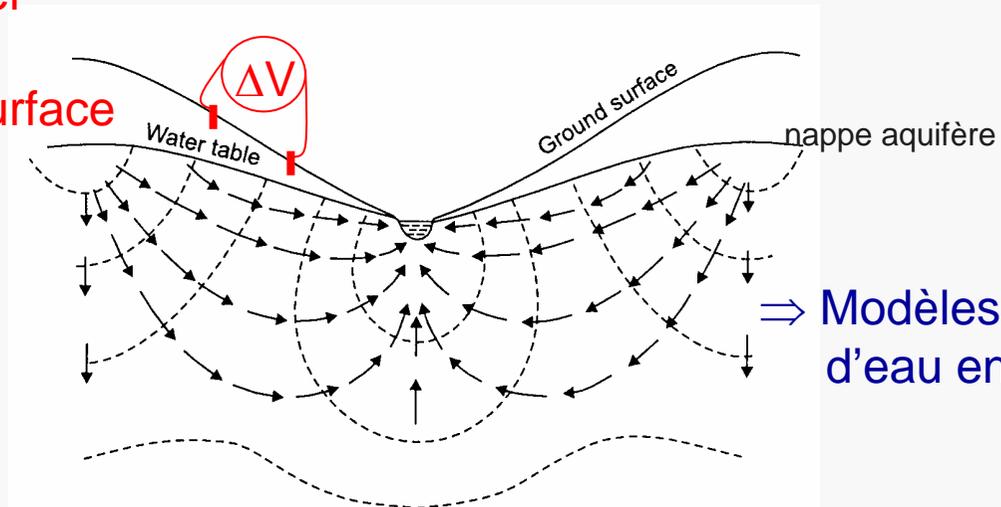


	Electro-osmosis	Electrofiltration potential
Imposed	Electric potential. ΔV	Pressure difference ΔP
Measured	Fluid flux Q	Electric potential ΔV
		

Potentiels Spontanés en Sciences de la Terre

Mesures passives de potentiel électrique

Données de Potentiel
Spontané (PS)
mesuré près de la surface

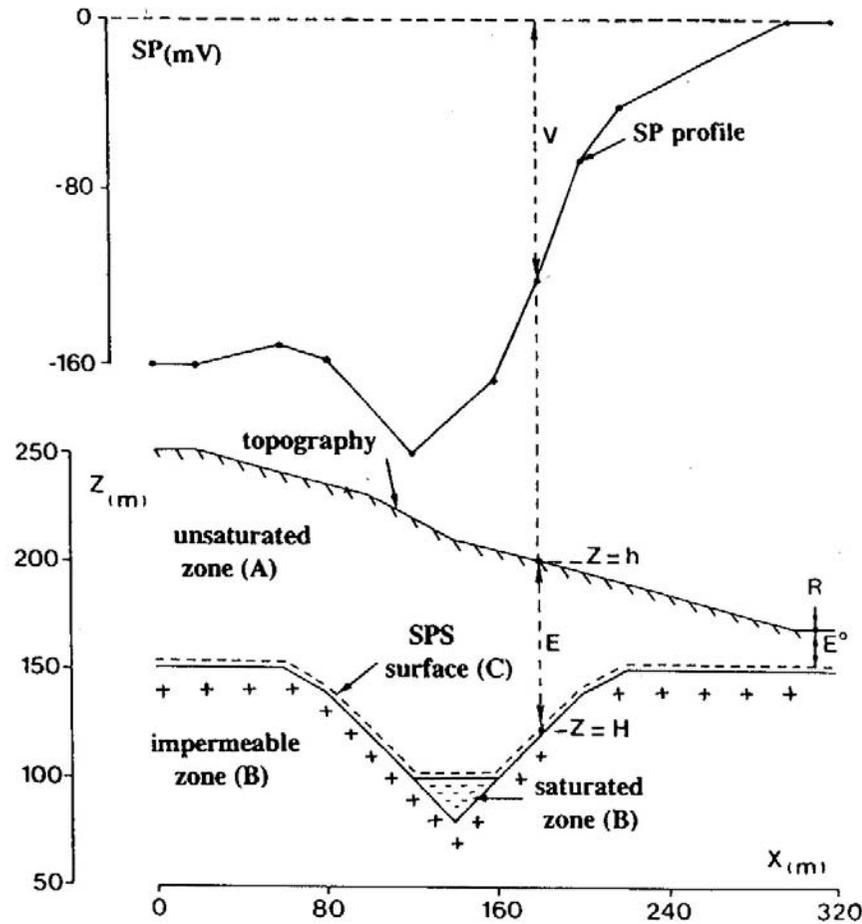


⇒ Modèles de circulation
d'eau en profondeur

Hypothèse : la principale source des variations de
Potentiels Spontanés est l'électrofiltration

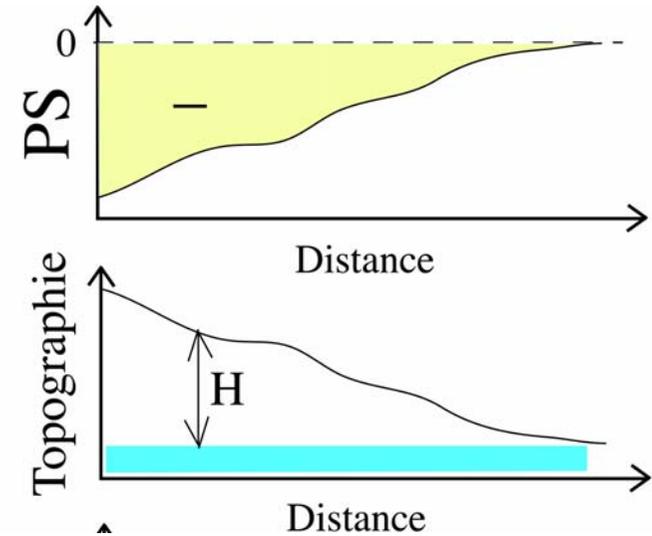
D'après P. Sailhac, Cours de Master 2-Hydrogéophysique, 2006

Potentiels Spontanés en Sciences de la Terre



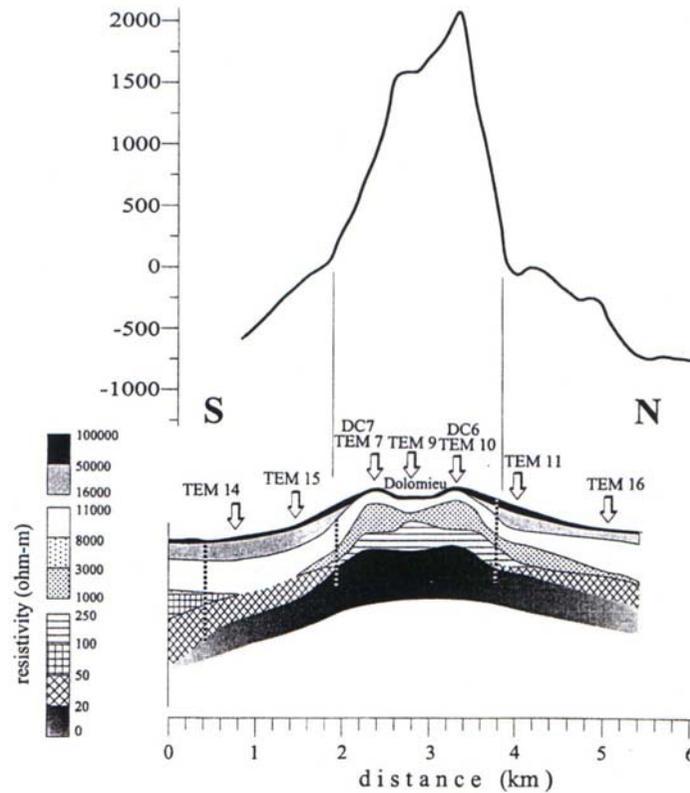
Aubert and Atangana, 1996

Mise en évidence d'aquifère, suivi hydrologique



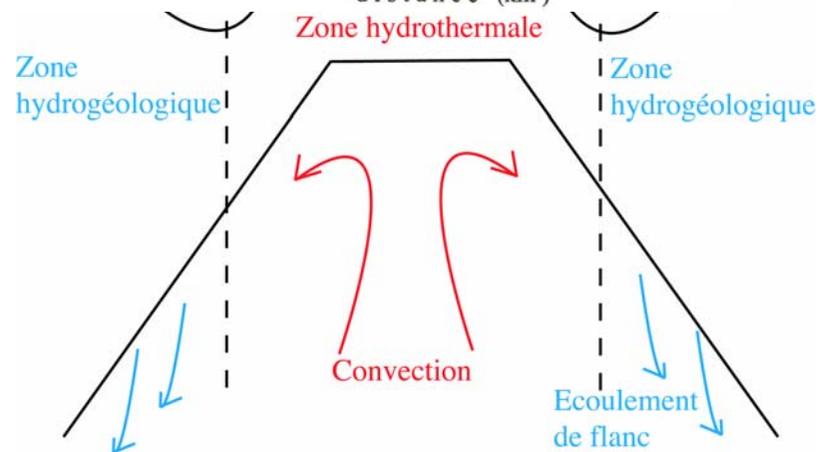
Aubert and Dana, 1994

Potentiels Spontanés en Sciences de la Terre



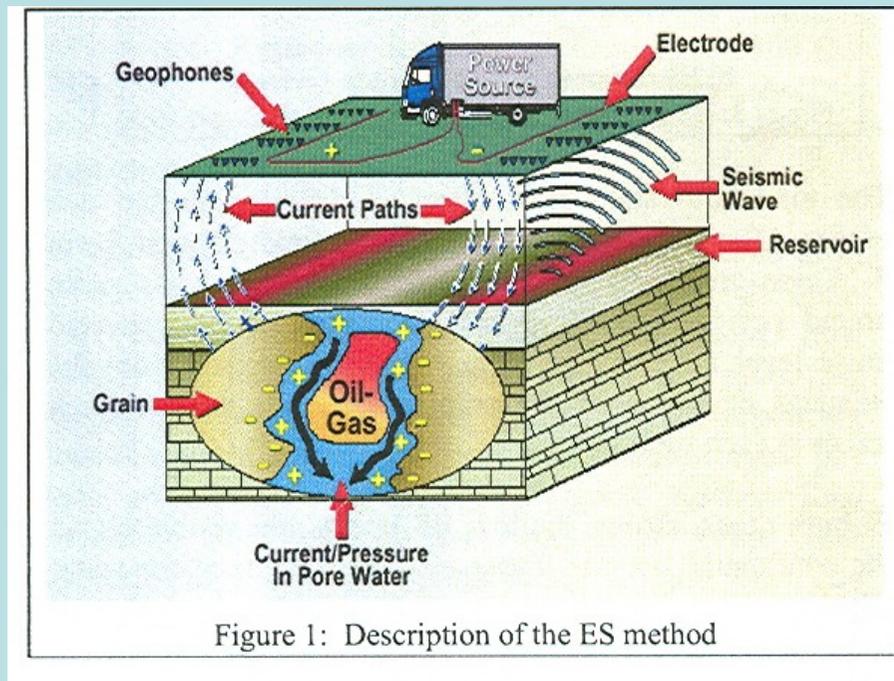
activité
volcanique

Lénat et al., 2000

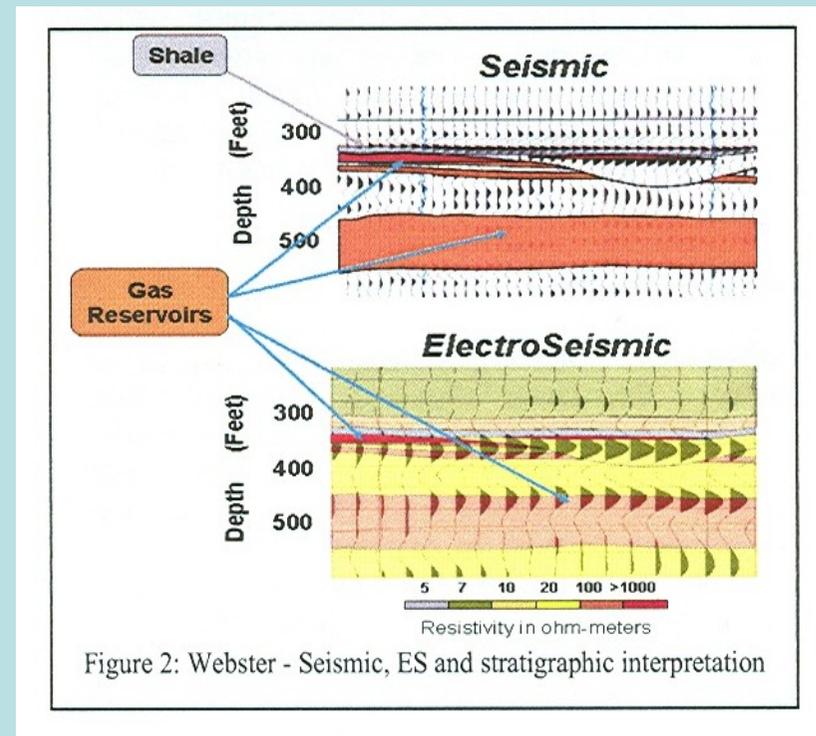


Finizola et al., 2003
Ishido et al., 1997
Malengreau et al., 1994

Investigations électro-sismiques : champ électrique induit par la propagation d'une onde sismique (mouvement relatif eau/roche)



Injection de courant en surface,
mesures sismiques en puits



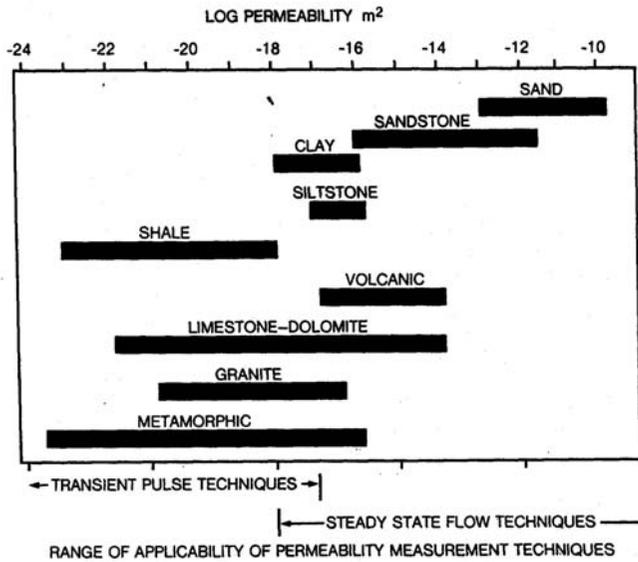
Méthode prometteuse pour :

- détection et caractérisation des fluides et de leurs mouvements
- détection de couche fine à contraste électrique
- suivi de l'interface huile/eau lors des phases de production

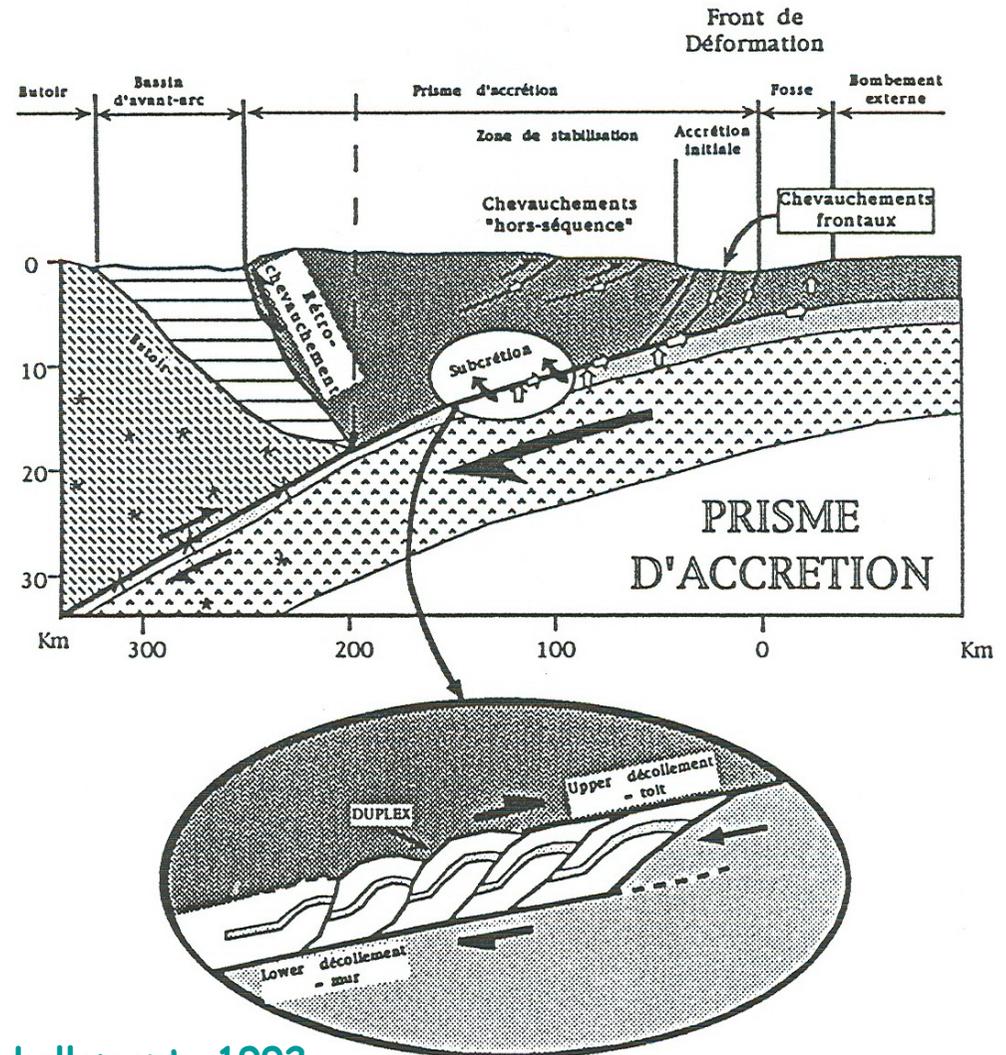
Thompson et al., 2005

Propriété de transport : perméabilité

- Rôle de la perméabilité dans la propagation du décollement d'un prisme d'accrétion



Meredith and Murrell, 1989



Lallemant, 1992

Parcours

1994

- Thèse de doctorat, Université Paris 6

94/95

- Post-doctorat au M.I.T. (Bourse Lavoisier)

1995

- Chargée de recherche au CNRS
Laboratoire de Géologie
de l'Ecole Normale Supérieure de Paris



2002

- Thèse de Xavier Guichet, Université Paris 7



2003

- Thèse de Sylvain Bourlange, Université Paris XI

2004

- Mobilité Institut de Physique du Globe de Strasbourg

2005

- Thèse de Clarisse Bordes, Université Joseph Fourier, Grenoble

Plan

- Potentiels d'électrofiltration : mesures sur du sable en condition non saturé ; effet de la précipitation de calcite
-> conséquences pour l'interprétation des mesures de PS
Thèse de Xavier Guichet, 2002
- Zone de subduction de Nankai (Japon) : apport des mesures de perméabilité sous pression
Thèse de Sylvain Bourlange, 2003
- Phénomènes sismo-électromagnétiques : étude au Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (Rustrel)
Thèse de Clarisse Bordes, 2005
- Projets

Plan

- Potentiels d'électrofiltration : mesures sur du sable en condition non saturé ; effet de la précipitation de calcite
Thèse de Xavier Guichet, 2002
- Zone de subduction de Nankai (Japon) : apport des mesures de perméabilité sous pression
Thèse de Sylvain Bourlange, 2003
- Phénomènes sismo-électromagnétiques : étude au Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (Rustrel)
Thèse de Clarisse Bordes, 2005
- Projets

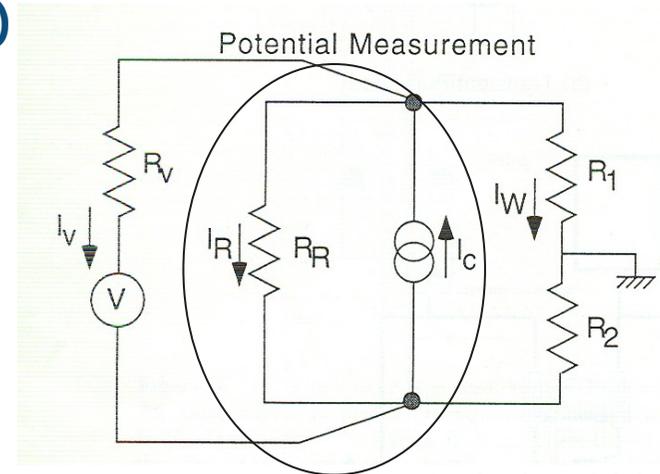
Electrokinetic phenomena

- Équations couplées de la densité de courant électrique I (A/m²) et du flux hydrique J (m/s)

$$-I = \underbrace{\frac{\sigma_f}{F} \text{grad}V}_{I_R} - \underbrace{\left(\frac{\varepsilon\zeta}{\eta F^0}\right) \text{grad}P}_{I_C}$$

$$-J = -\frac{\varepsilon\zeta}{\eta F^0} \text{grad}V + \frac{k}{\eta} \text{grad}P$$

Overbeek, 1952
Pride, 1994



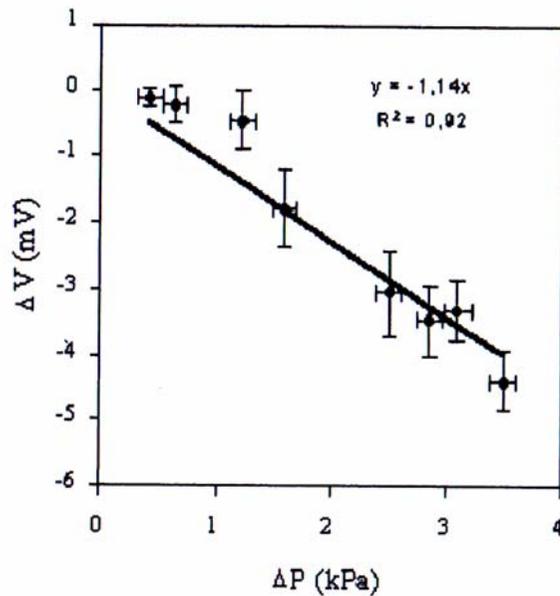
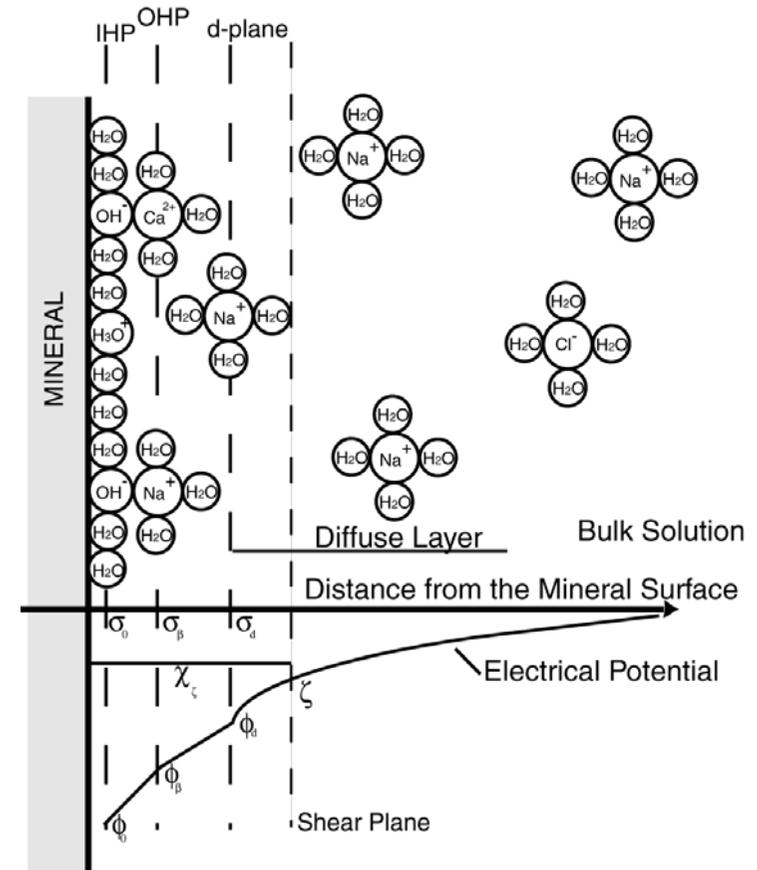
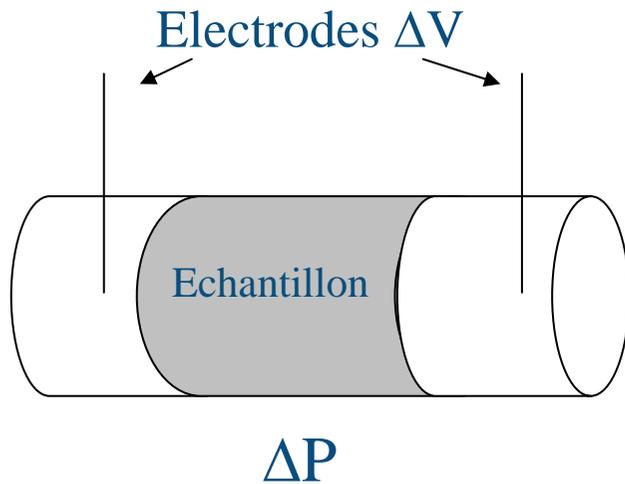
Yoshida, 2001

$$C \times \sigma_r = \frac{\Delta V}{\Delta P} \times \sigma_r$$

- Paramètre mesurable, dépend de
- la conductivité de l'eau (σ_f)
 - la nature des minéraux
 - du pH de l'eau
 - la saturation partielle en eau ?

Phénomènes d'électrofiltration

Principe de la mesure

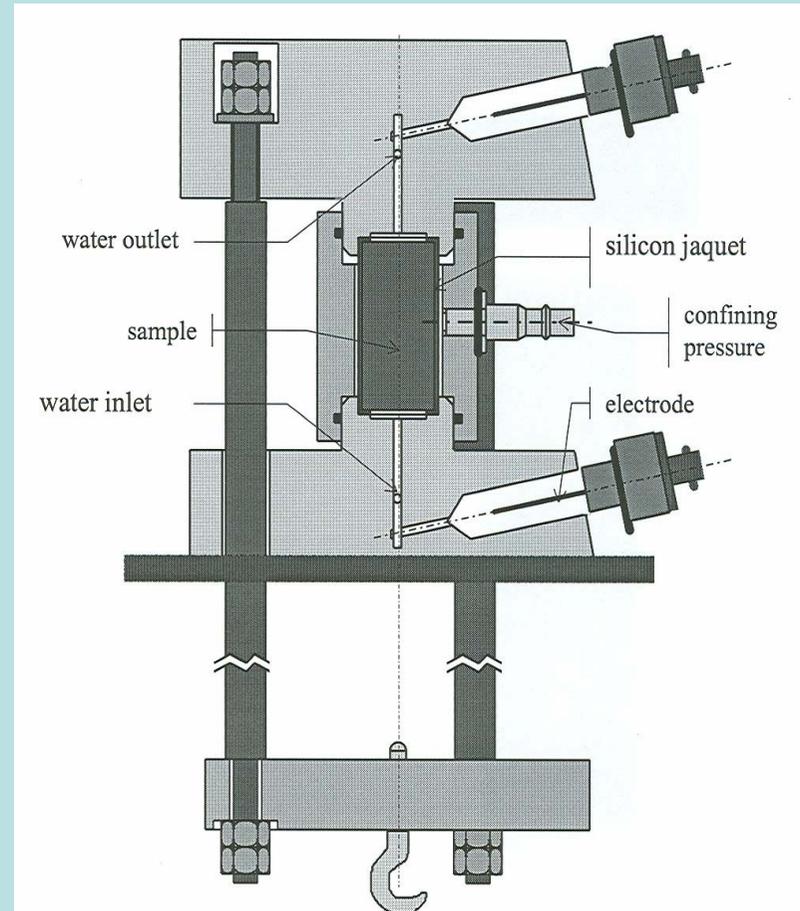
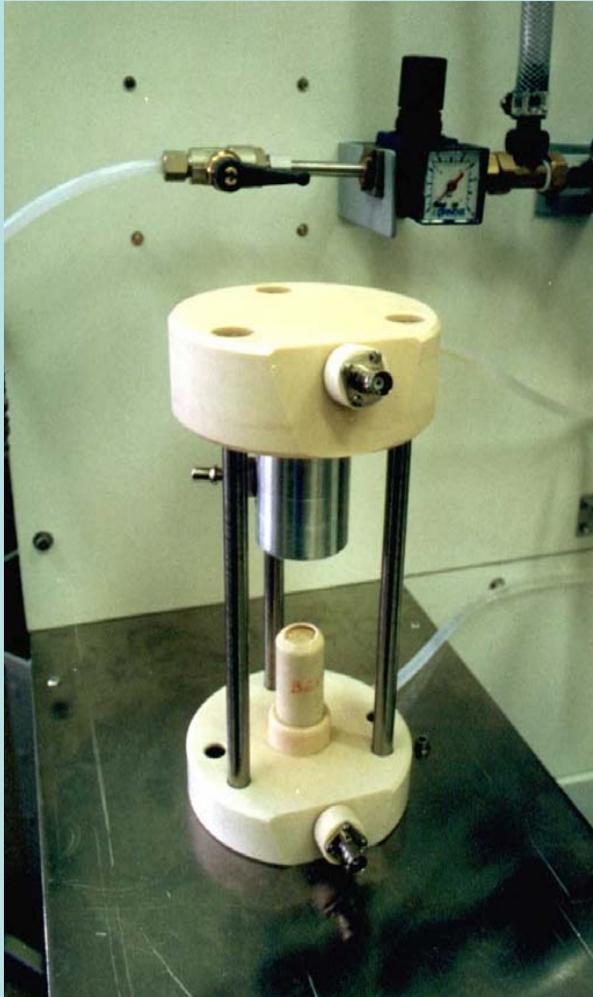


$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{\epsilon \zeta}{\eta \sigma_f}$$

Davis et al., 1978

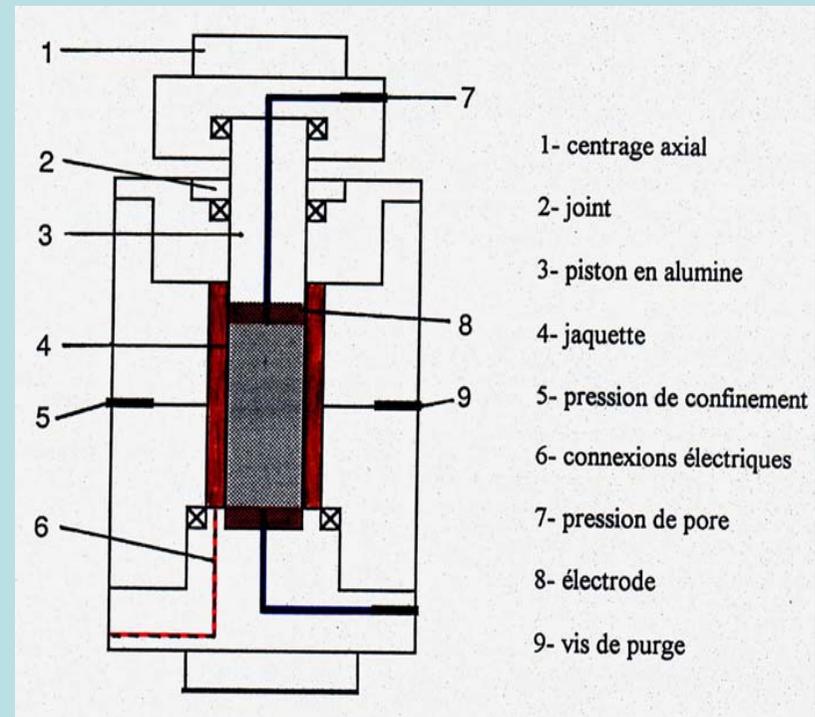
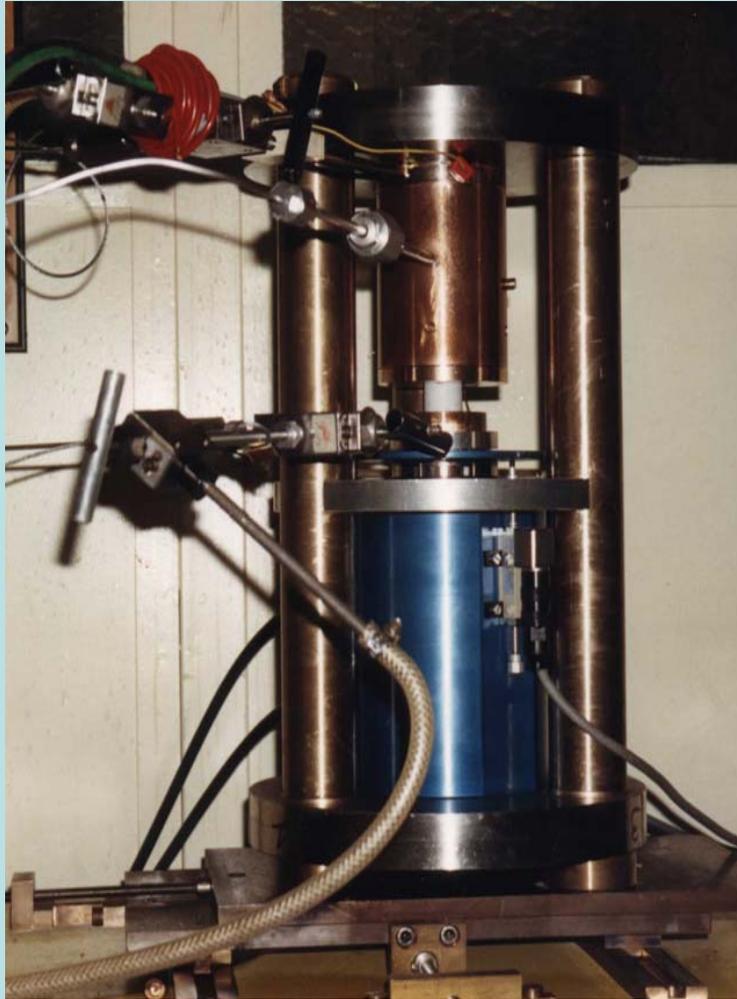
Le signal électrique est positif ou négatif suivant le signe du potentiel à l'interface roche/eau

Dispositif de mesures de laboratoire sur carottes de diamètre 25 mm et longueur 50 mm



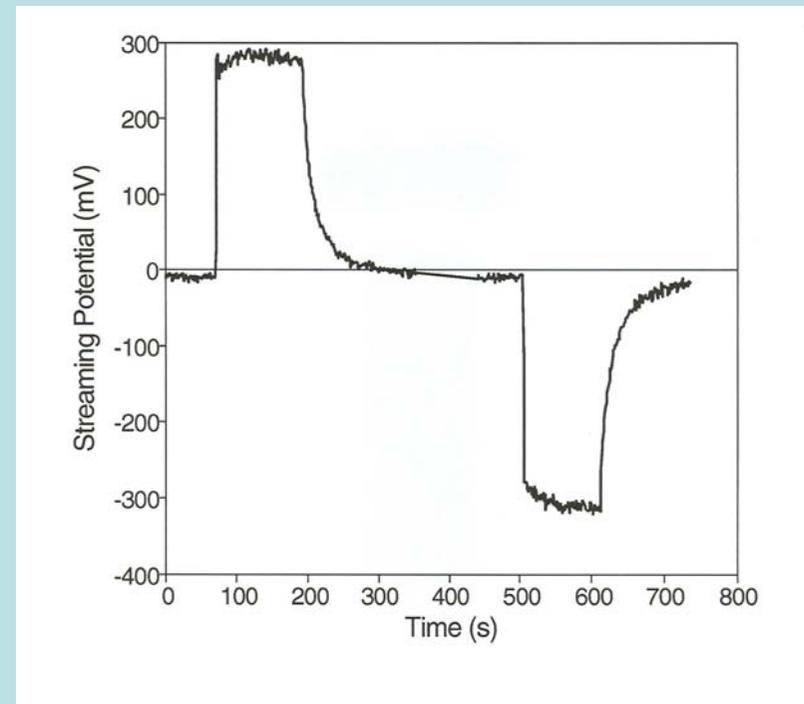
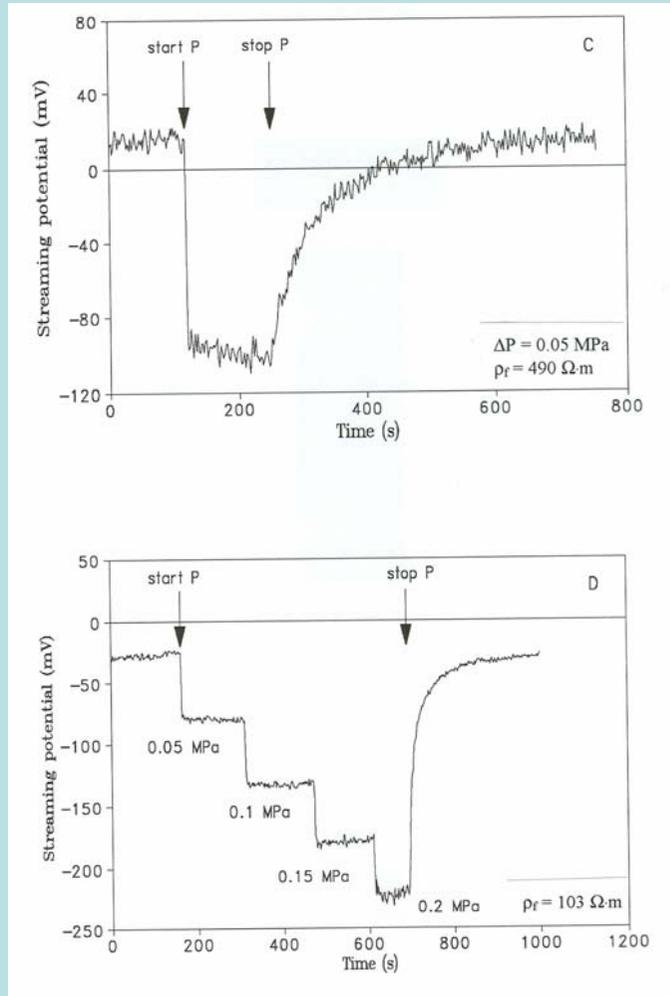
Jouniaux et al., *J.G.R.*, 2000

Dispositif de mesures de laboratoire sur carottes de diamètre 25 mm et longueur 50 mm presse triaxiale



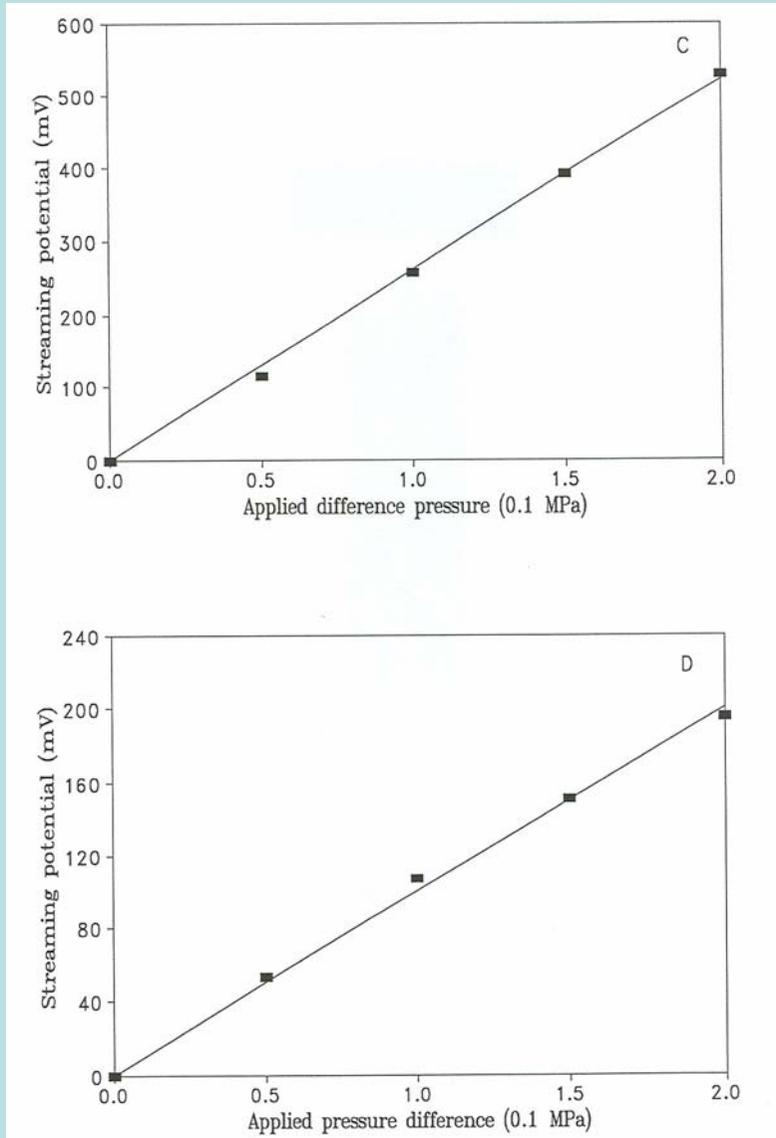
Jouniaux and Pozzi, *J.G.R.*, 1995

Electrofiltration



Jouniaux and Pozzi, *J.G.R.*, 1995
Jouniaux and Pozzi, *J.G.R.*, 1997

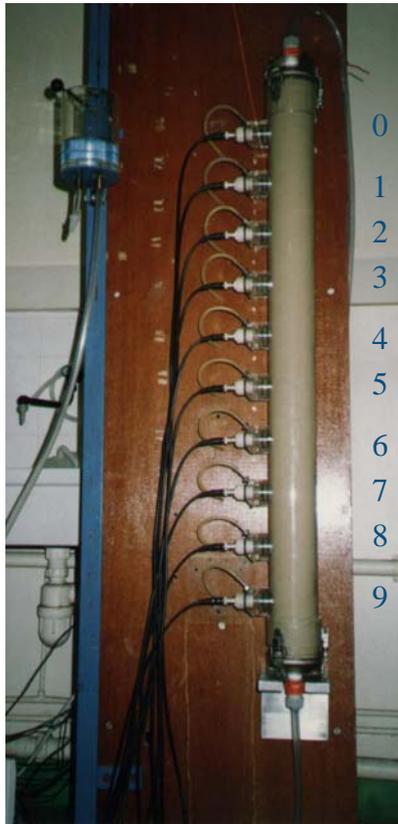
Le signal d'électrofiltration est proportionnel au gradient de pression d'eau



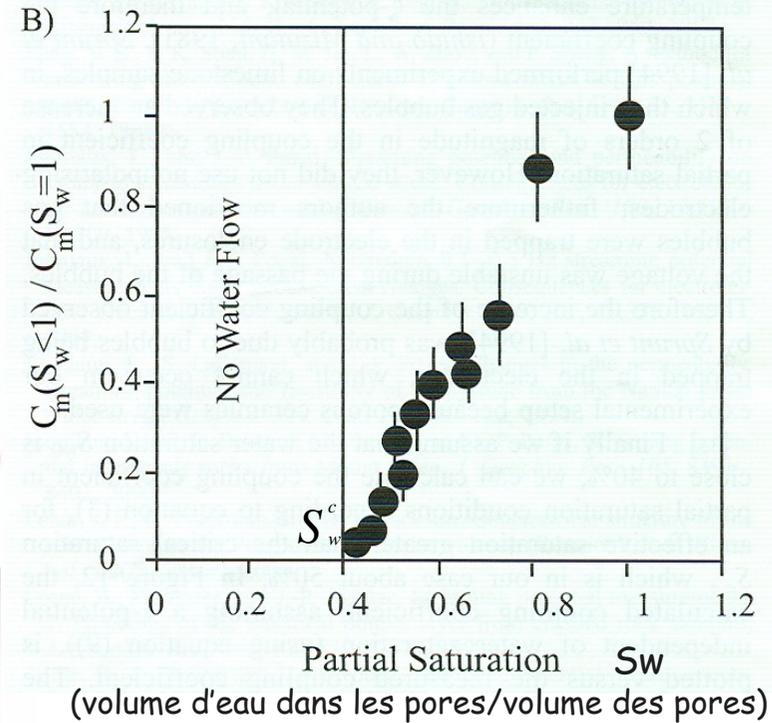
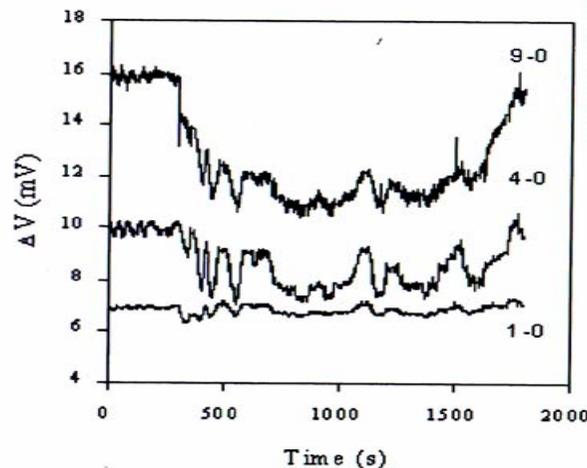
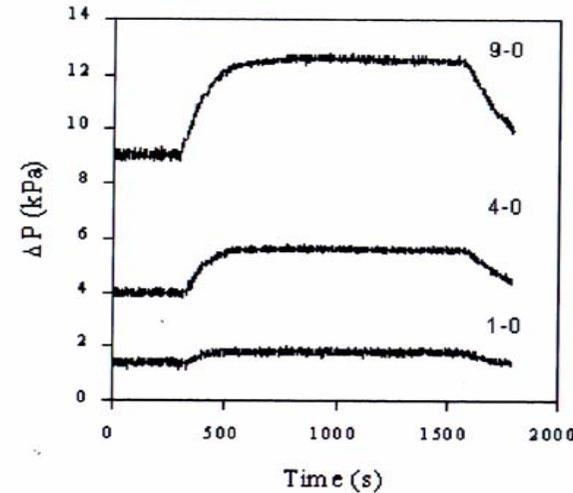
Jouniaux and Pozzi, J.G.R., 1997

Electrofiltration dans du sable, en condition non saturé

Programme National de Recherche en Hydrologie « thème circulation des fluides dans la croûte »



Etude expérimentale



$$C(S_w \leq 1) = \frac{\varepsilon \zeta}{\eta \sigma_f} S_e$$

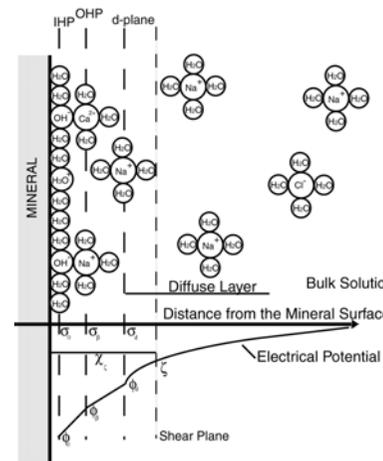
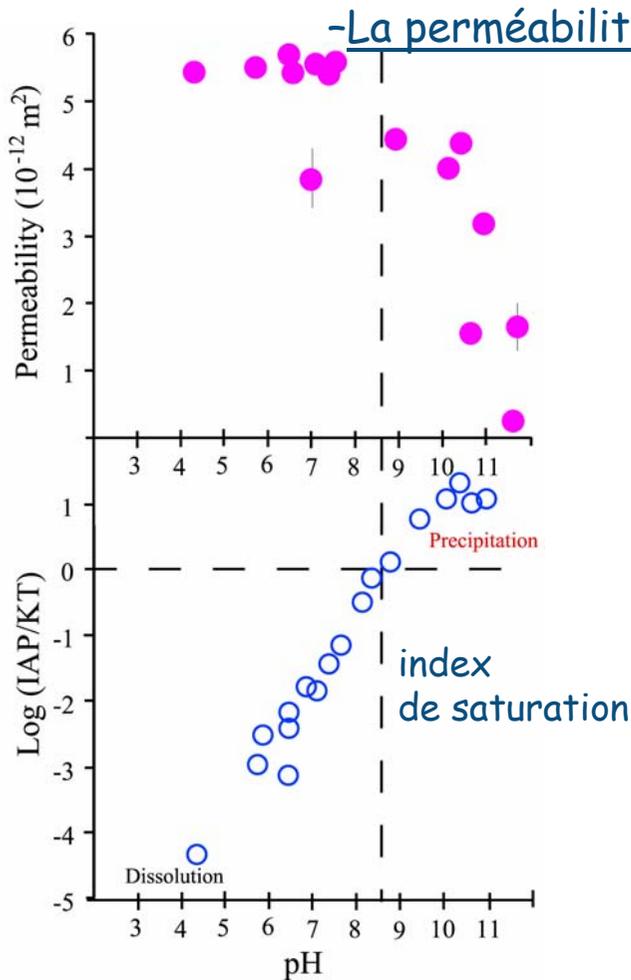
$$S_e = \frac{S_w - S_w^c}{1 - S_w^c}$$

Conséquences : interprétation des Potentiels Spontanés en terme d'écoulements d'eau en zone non-saturée, sols, zones hydrothermales

Guichet, Jouniaux, and Pozzi, J.G.R., 2003

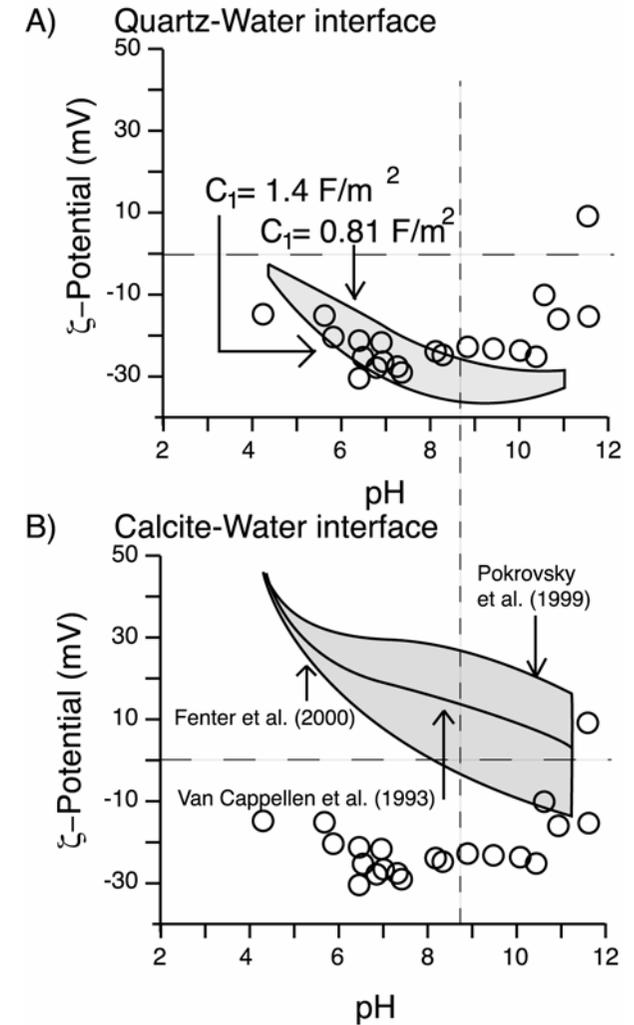
Effet de la précipitation de calcite-Travail expérimental et modélisation

programme ACI "prévention des catastrophes naturelles"



Modélisation triple couche

Le potentiel change de signe



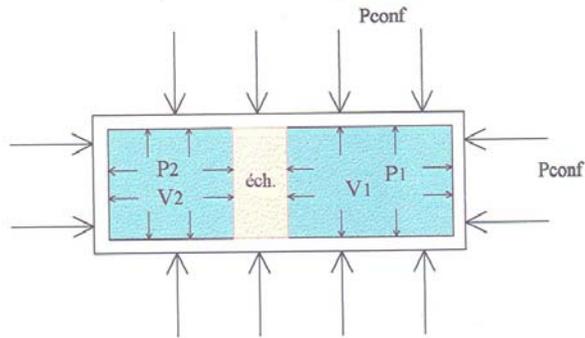
Conséquences : interprétation des Potentiels Spontanés lors de présence de précipitation de minéraux secondaires → sens de circulation de l'eau ?

Plan

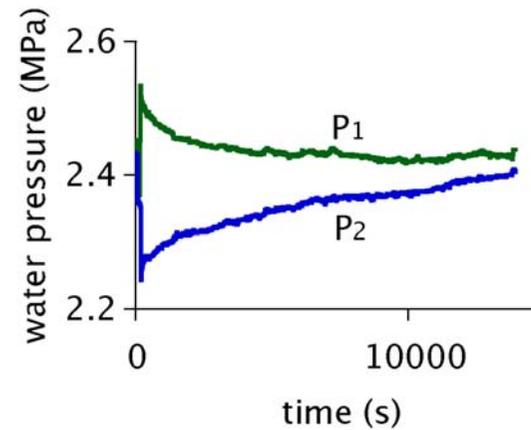
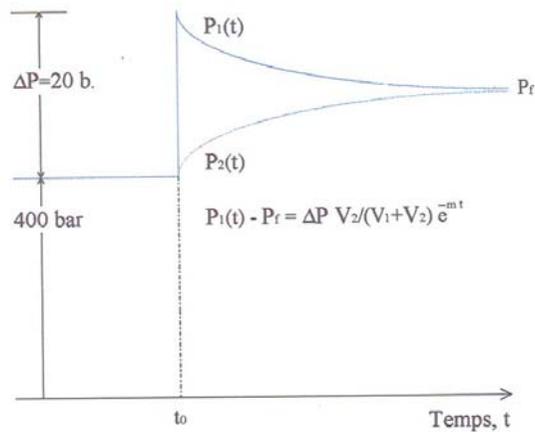
- Potentiels d'électrofiltration : mesures sur du sable en condition non saturé ; effet de la précipitation de calcite
Thèse de Xavier Guichet, 2002
- Zone de subduction de Nankai (Japon) : apport des mesures de perméabilité sous pression
Thèse de Sylvain Bourlange, 2003
- Phénomènes sismo-électromagnétiques : étude au Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (Rustrel)
Thèse de Clarisse Bordes, 2005
- Projets

Mesure de perméabilité par diffusion d'un pulse de pression

Diffusion d'un gradient de pression de fluide



Clay and silt



Brace et al., 1968; Jouniaux et al., G.R.L., 1994

D'après Bourlange et al., EGU, 2005

Perméabilité des échantillons du prisme de Nankai



Profondeur : 520-530 m

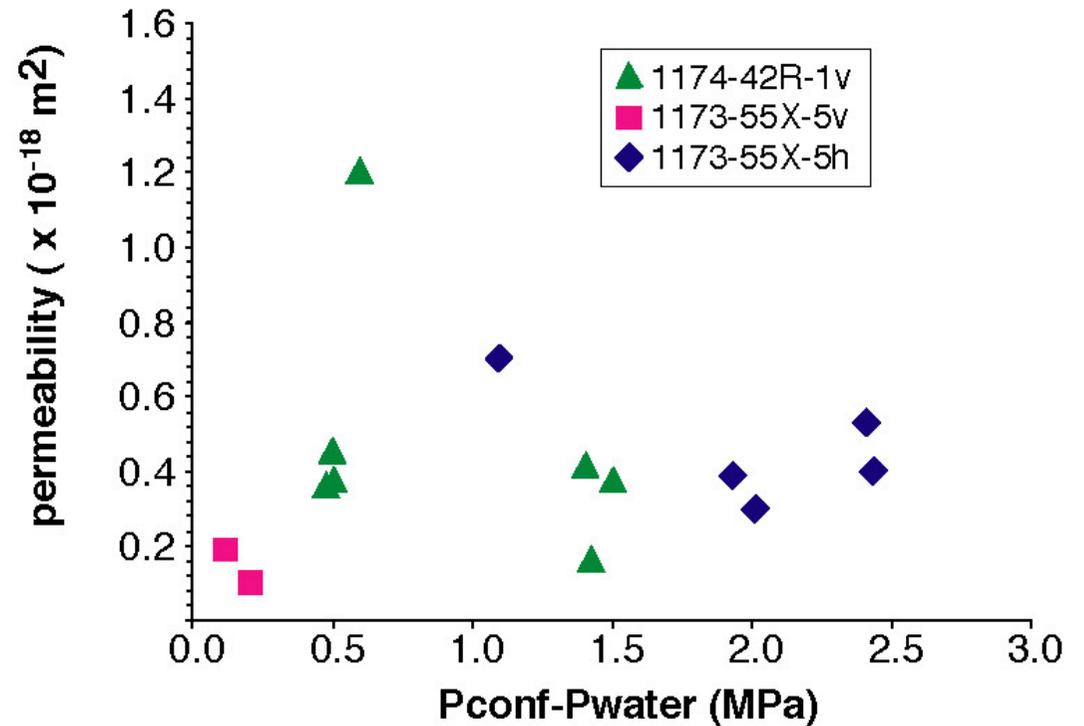
Permeability of unfractured samples

$10^{-19} - 10^{-18} \text{ m}^2$

Drained compressibility

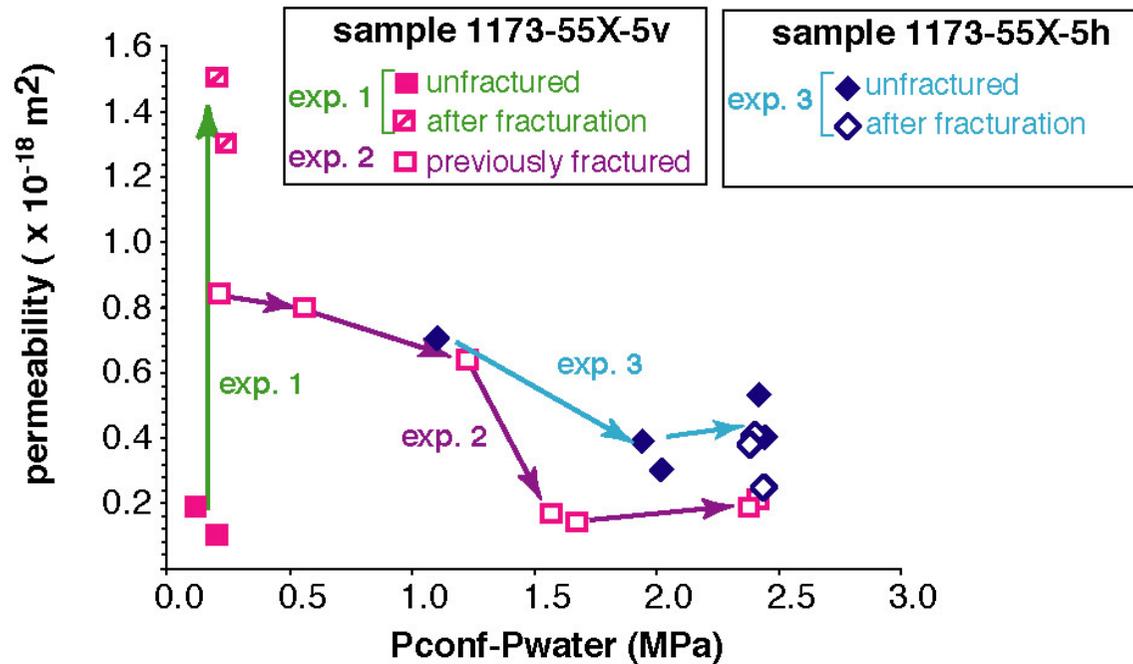
$\alpha = 1.3 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$

Bourlange, Jouniaux, and Henry, *PODP, Scientific Results*, 2004



D'après Bourlange et al., EGU, 2005

Effect of fracturation on permeability



Fracturation :

-Does not modify k for pressure similar to in-situ conditions

Conséquences : une forte pression d'eau dans le décollement ne peut être maintenue que lors d'épisodes transitoires, pouvant être :
les épisodes de propagation du décollement, et les épisodes de glissement

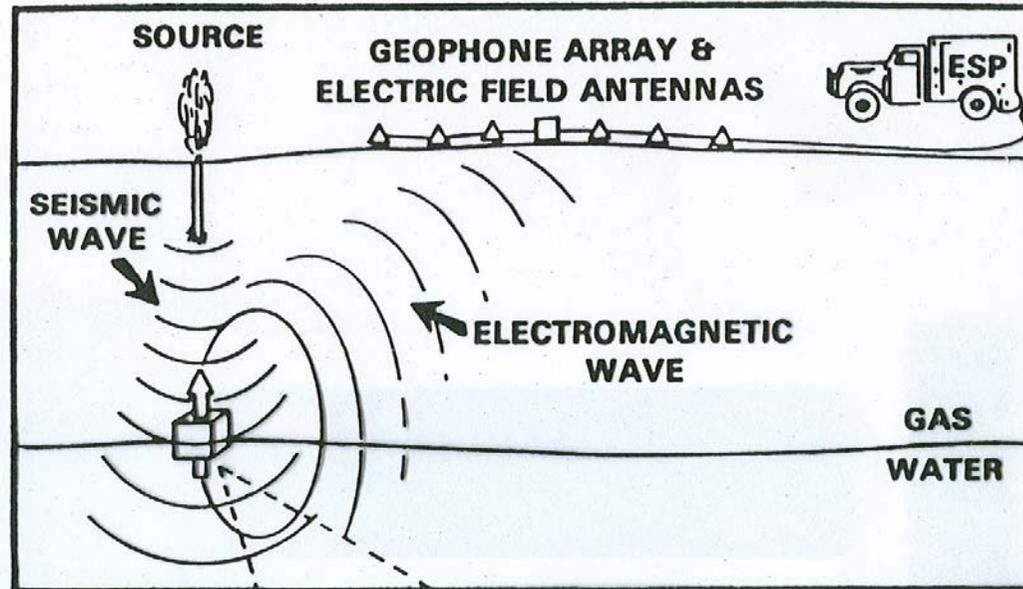
Plan

- Potentiels d'électrofiltration : mesures sur du sable en condition non saturé ; effet de la précipitation de calcite
Thèse de Xavier Guichet, 2002
- Zone de subduction de Nankai (Japon) : apport des mesures de perméabilité sous pression
Thèse de Sylvain Bourlange, 2003
- Phénomènes sismo-électromagnétiques : étude au Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (Rustrel)
Thèse de Clarisse Bordes, 2005
- Projets

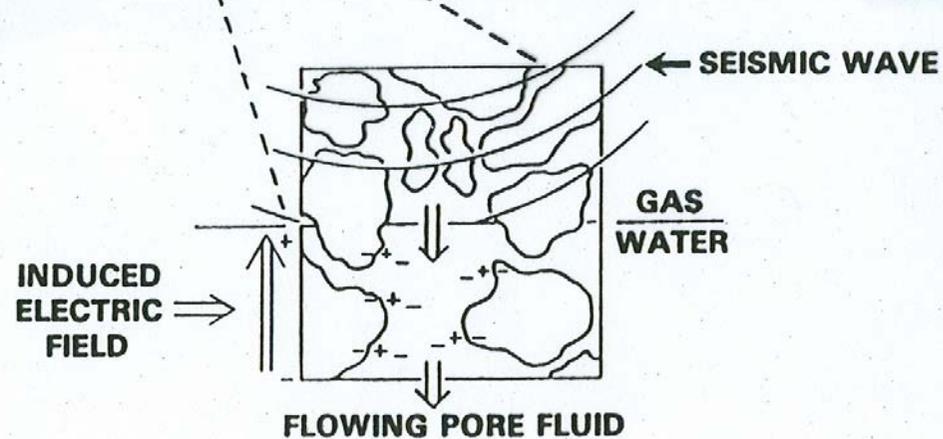
Conversions sismoélectriques et sismo-magnétiques

programme ACI « Eau, Sol, Environnement », Coll. LGIT Grenoble

PRINCIPLES OF ELECTRO-SEISMIC PROSPECTING (ESP)



Thompson and Gist, 1993



Théorie des couplages sismo-électromagnétiques

➔ Densité de courant résultante

$$\mathbf{J} = \underbrace{\sigma(\omega) \mathbf{E}}_{\text{Courant de conduction}} - \underbrace{|\mathbf{L}(\omega)| (-\nabla p + \omega^2 \rho_f \mathbf{U}_s)}_{\text{Courant de convection}}$$

eq.(251), Pride, 1994

D'après Bordes, thèse, 2005

Fonctions de transfert
entre champ sismo-
électrique et accélération

Fonctions de transfert
entre champ sismo-
magnétique et vitesse

$$E = \frac{1}{\sigma_f} \frac{\epsilon_0 \rho_f \kappa_f \zeta}{\eta} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_f} \frac{C}{H} \right) \ddot{U}$$

$$|H| = \frac{\phi}{\alpha_\infty} \frac{\epsilon_0 \rho_f \kappa_f |\zeta|}{\eta} \sqrt{\frac{G}{\rho}} |\dot{U}|$$

\ddot{U} est l'accélération en un point
due au passage des ondes P

\dot{U} est la vitesse en un point due
au passage des ondes S

Garambois and Dietrich, 2001

D'après Bordes, thèse, 2005



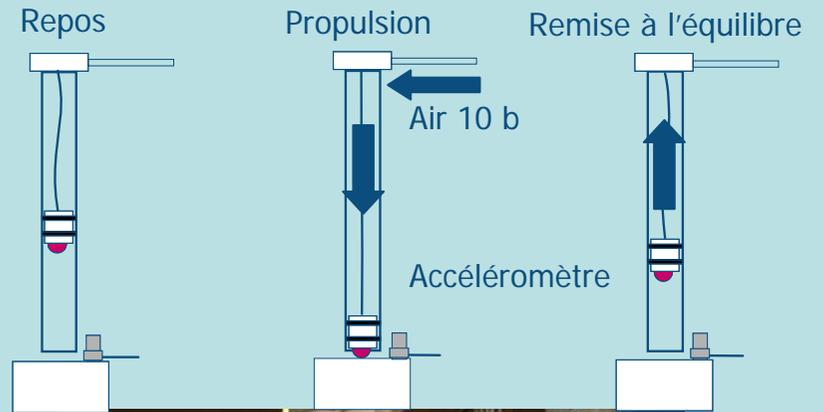
**Site du Laboratoire
Souterrain à Bas Bruit (LSBB)
Rustrel, Pays d'Apt**

**Bruit électrique, magnétique,
et acoustique très faible**





Photos : C. Bordes



Source impulsionnelle, répétitive ;
pas de perturbation magnétique

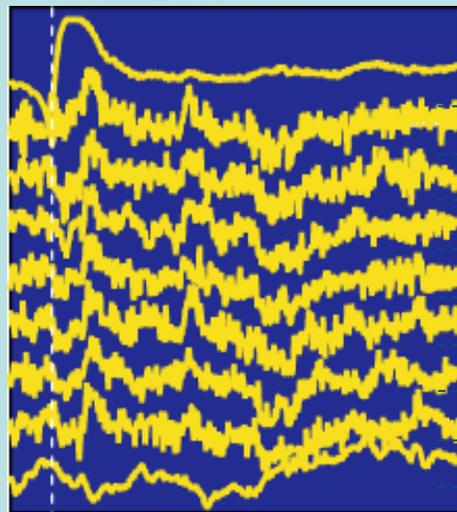


Champ sismo-électrique

Le signal sismo-électrique est associé à la propagation des ondes P

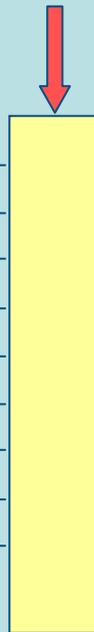
Amplitude 0.3 mV/m

Milieu sec



0 5 10 ms

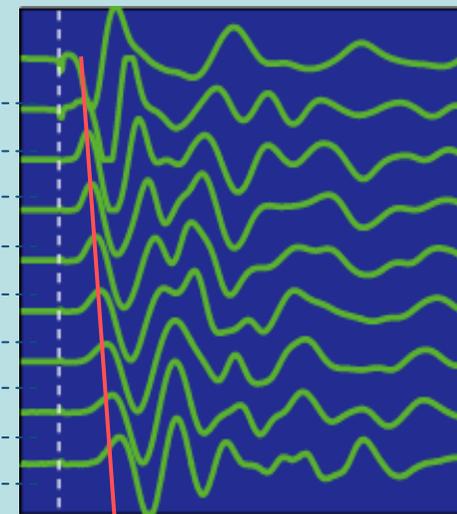
10 cm



Référence

Amplitude 10 mV/m

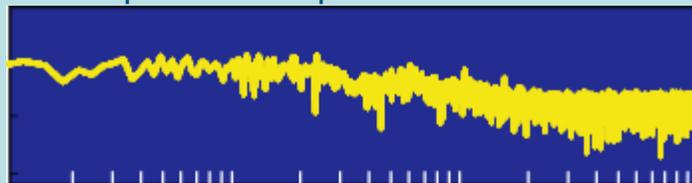
Milieu saturé



0 5 10 ms

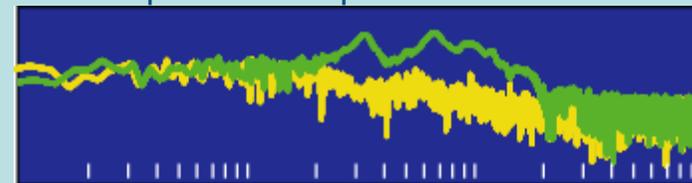
1300 m/s

Spectre d'amplitude d=30 cm



10 100 1000
Fréquence (Hz)

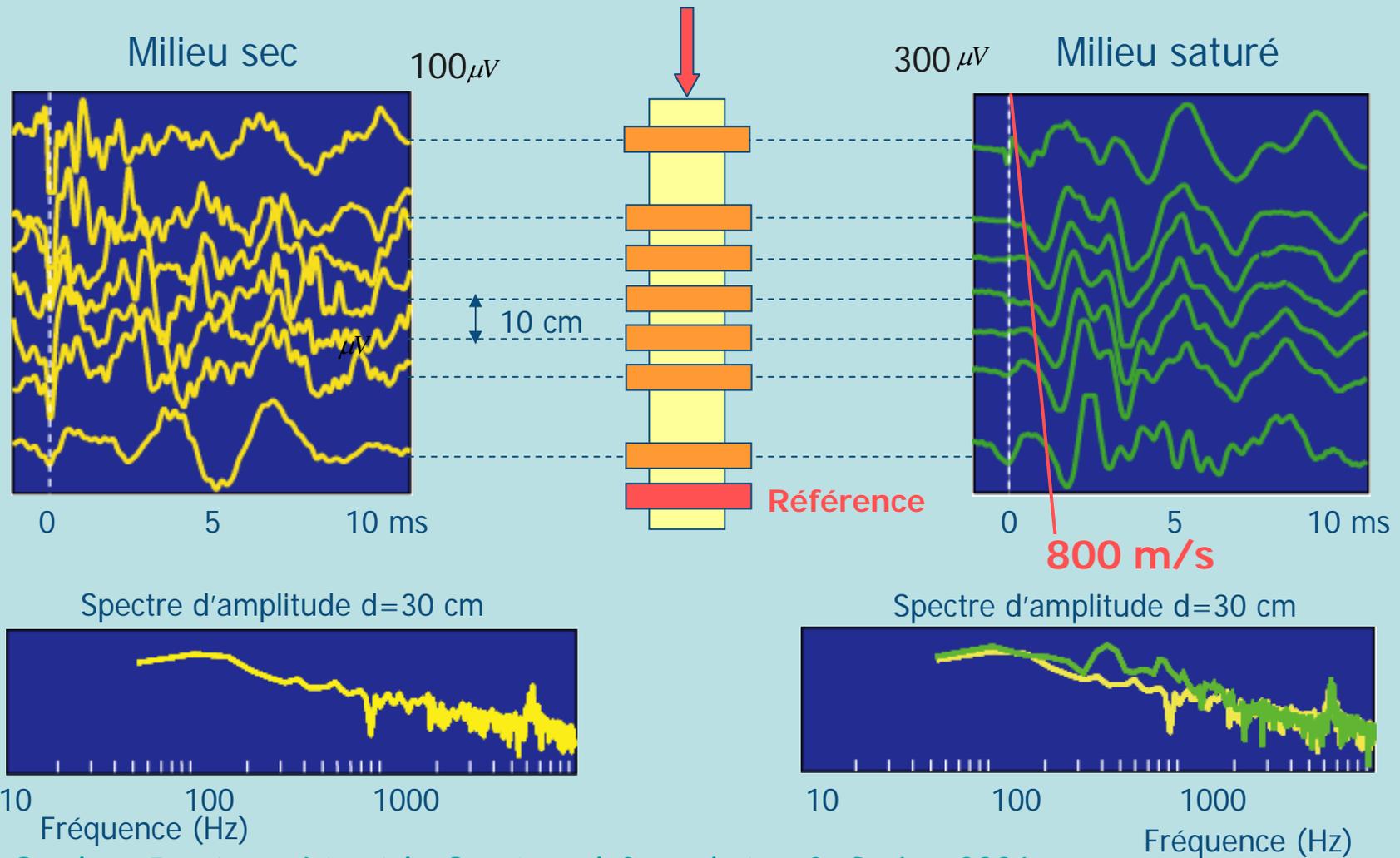
Spectre d'amplitude d=30 cm



10 100 1000
Fréquence (Hz)

Mise en évidence de l'existence d'un champ sismo-magnétique

Le signal sismo-magnétique est associé à la propagation des ondes S



Bordes, Jouniaux, Dietrich, Pozzi, and Garambois, *G. R. L.*, 2006



À la technique

Guy Marolleau (ENS), AI

Nicole Catel (ENS), IE

Pierre-Daniel Matthey, IE

Alain Steyer, T

Robert Guiguet (LGIT), IE

Jean-Daniel Bernard, T



Fin