

Détermination de la dispersivité hydraulique d'échantillons de roches à partir de mesures hydrauliques et électriques combinées

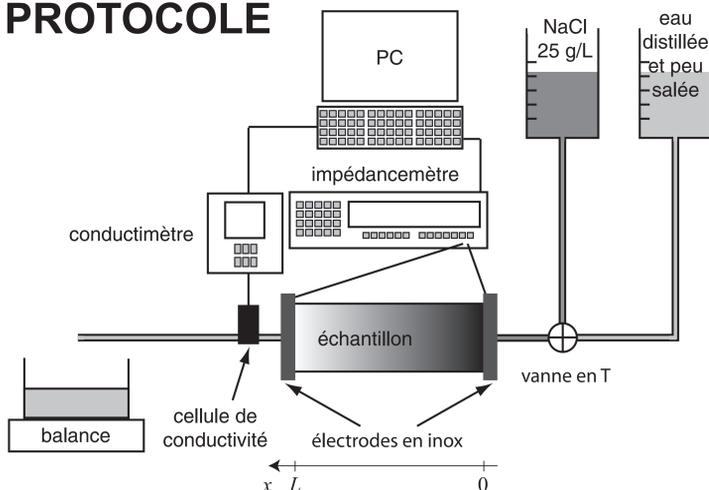
Alexis MAINEULT¹, Jean-Baptiste CLAUDAUD² et Maria ZAMORA²

¹ Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, EPHE, UMR 7619 Metis, France
² Sorbonne Paris Cité, IPGP, Univ Denis Diderot Paris 07, CNRS, UMR 7154 IPGP, France

INTRODUCTION

Un dispositif expérimental a été construit pour mesurer la résistivité électrique d'un échantillon de roche ou de milieu granulaire non consolidé, ainsi que la conductivité du fluide circulant au travers de cet échantillon. Ce dispositif permet de réaliser des expériences de déplacements miscibles pour déterminer la dispersivité hydraulique et la fraction de volume poreux contribuant effectivement au transport.

PROTOCOLE



- 1) Faces amont et aval de l'échantillon connectées à un circuit hydraulique et en contact avec des électrodes en inox reliées à un impédance-mètre pour mesurer la conductivité de l'échantillon
- 2) Conductivité du fluide en sortie mesurée avec une cellule de conductivité
- 3) Eau distillée faiblement salée mise en circulation jusqu'à stabilisation de la conductivité du fluide en sortie
- 4) Eau distillée remplacée par de l'eau salée (NaCl 25 g/L). En pratique: a) injection d'un volume donné, b) mesures électriques, c) nouvelle injection, et ainsi de suite, jusqu'à stabilisation de la conductivité du fluide en sortie

RESUME DE LA THEORIE EN CONCENTRATION (échantillon 1D homogène et isotrope, diffusion moléculaire négligée)

Champ de concentration C :

$$C(x,t) \approx C_0 + \frac{C_b - C_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x-vt}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

C_0 concentration initiale
 C_b concentration de la saumure
 v vitesse du fluide
 D coefficient dispersion
 x distance longitudinale
 t temps

Normalisation de la concentration:

$$\delta C(x,t) = \frac{C(x,t) - C_0}{C_b - C_0}$$

Normalisation du volume injecté:

$$V_i^n = \frac{V_i}{fV_{pc}}$$

V_i volume injecté
 V_{pc} volume poreux
 f^{pc} fraction du volume poreux contribuant au transport

Variation de concentration en sortie:

$$\delta C_{out}(t) = \delta C(L,t) \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{\lambda}} \frac{1 - V_i^n}{\sqrt{V_i^n}}\right)$$

L longueur de l'échantillon
 λ dispersivité égale à D/v

Déduire le ratio λ/L et la fraction f à partir de l'ajustement de la courbe théorique δC_{out} avec la courbe observée.

APPLICATION EN CONDUCTIVITE

1) Variation normalisée de la conductivité:

$$\text{fluide: } \delta\sigma_{out}(t) = \frac{\sigma_{out}(t) - \sigma_{out,0}}{\sigma_{out,max} - \sigma_{out,0}}, \quad \text{échantillon: } \delta\sigma_s(t) = \frac{\sigma_s(t) - \sigma_{s,0}}{\sigma_{s,max} - \sigma_{s,0}}$$

2) Relations Sen and Goode (1992) pour transformer concentration en conductivité de fluide et réciproquement

3) Conductivité de l'échantillon calculée par moyenne de Reuss (front d'invasion considéré droit, Odling et al. 2007):

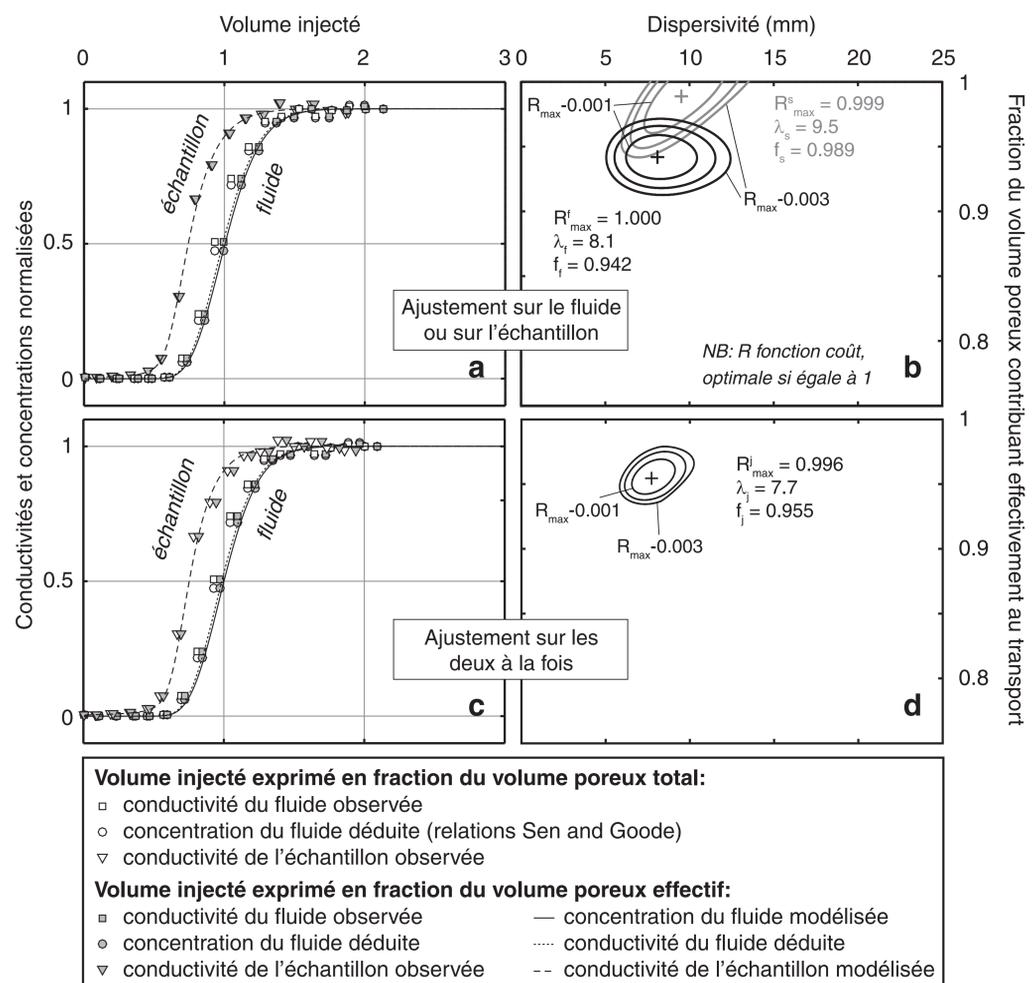
$$\frac{1}{\sigma_s(t)} = \frac{F}{L} \int_0^L \frac{dx}{\sigma_f(C(x,t))} \quad F \text{ facteur de formation} \quad \sigma_f \text{ conductivité du fluide}$$

Exemple sur un échantillon d'andésite (longueur 40,8 cm et diamètre 9,9 cm) ci-contre...

Par exploration de l'espace des paramètres:

- 1) dispersivité de 8.1 mm et fraction effective de 94,2% pour ajustement sur la conductivité du fluide (b, noir),
- 2) dispersivité de 9.5 mm et fraction effective de 98,9 % si ajustement sur la conductivité de l'échantillon (b, gris),
- 3) dispersivité de 7.7 mm et fraction effective de 95,5 %, **avec des incertitudes réduites**, si ajustement sur les deux à la fois (d).

Dans tous les cas, observations (a,c) bien reproduites!



CONCLUSION

L'utilisation jointe de la conductivité du fluide en sortie («breakthrough curve» classique) et de la conductivité moyenne de l'échantillon permet d'obtenir des valeurs de dispersivité et de fraction effective mieux contraintes.

REFERENCES

Sen, P.N., and Goode, P.A., 1992. Influence of temperature on electrical conductivity of shaly sands, Geophysics, 57, 89-96.
 Odling, N.W.A., Elphick S.C., Meredith, P., Main, I., and Ngwenya, B.T., 2007. Laboratory measurements of hydrodynamic saline dispersion within a micro-fracture network induced in granite, Earth Planet. Sci. Lett., 260, 407-418.