

Hydrogéophysique

Introduction:

- Qu'est-ce que l'hydrogéophysique?
- Propriétés physiques pertinentes

Qu'est-ce que l'Hydrogéophysique?

- On sait depuis longtemps que les méthodes géophysiques peuvent contribuer à l'étude des eaux de subsurface.
- La discipline n'a cependant décollé réellement que dans les années 1990
 - Les relations entre hydrologues (culture du puits + krigeage) et géophysiciens (culture du profil/carte) étaient quasi-inexistantes (même si tous sont dans l'AGU!)
 - La géophysique de sub-surface a été longtemps un peu marginale, coincée entre la géophysique pétrolière (privée et appliquée) et la physique du globe (étatique et académique)

Développements majeurs

- Travaux dispersés, chacun fait à sa manière. On ne peut pas parler de *discipline* scientifique.
- 1983: Parution de l'ouvrage *Environmental and engineering geophysics* de la SEG qui fait l'état des lieux. Les méthodes EM et électrique sont privilégiées.
- 1984: Fameux article de Palacky et al. sur les aquifères en Haute-Volta (Burkina Faso) dans *Geophysical Prospecting*.

Depuis les années 1990

- Développement du résistivimètre multi-voies permettant la tomo électrique.
- Loke et Barker distribuent RES2DINV, la tomographie se généralise.
- Les système géoradar deviennent abordables (PulseEKKO, RAMAC)
- Legchenko et al. (BRGM-IRIS) développent un appareil résonance magnétique nucléaire commercial (NUMIS).
- Le potentiel spontané redevient à la mode car on comprend mieux ses mécanismes.

Problématiques

- Localisation des ressources
- Caractérisation des aquifères
- Suivi de l'exploitation de la ressource
- Dispersion des contaminants salins ou organiques
- Relations atmosphère/subsurface
- Agriculture de précision
- ...

Quelle méthode fait quoi?

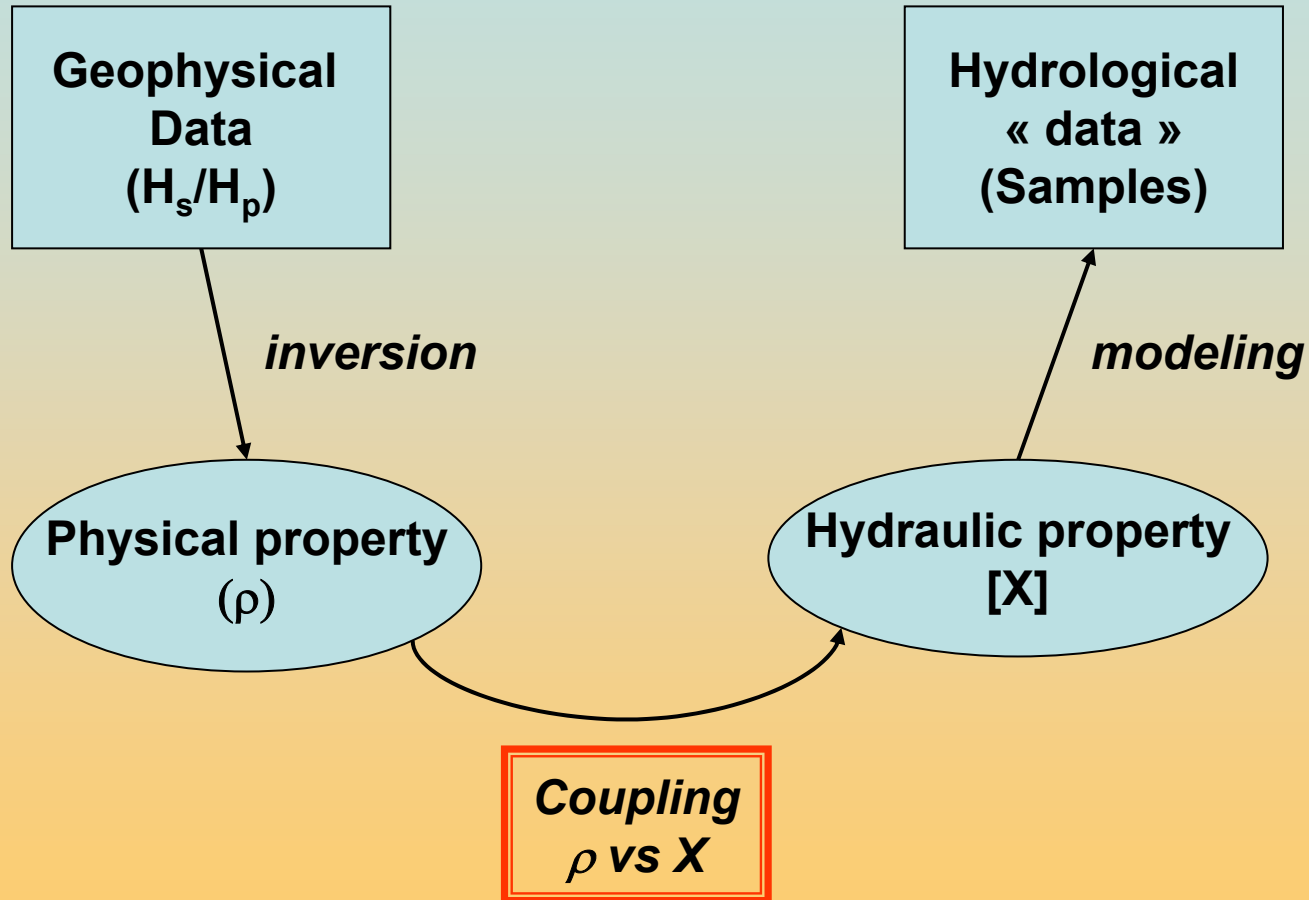
- Caractérisation de porosité
 - RMP, électrique, EM, GPR
- Géométrie des structures
 - GPR, sismique, électrique, gravi, EM
- Dynamique de l'écoulement
 - PS, température, time-lapse
- Quantité d'eau
 - RMP
- Mesures en forage: gamma, neutron, électrique, EM, BHTV, ...

Programme du cours

Lu 9-oct 1400 1615	<i>Introduction et Imagerie EM (G. Marquis) L'hydrologie vue de l'espace (J.P. Boy)</i>
Lu 16-oct 1400	<i>Imagerie géoradar (M. Bano)</i>
Lu 23-oct 1400	<i>J.P. Delhomme, Schlumberger Water Services - L'hydrogéophysique chez SWS : problèmes et solutions</i>
Lu 30-oct 1400	<i>L'électrocinétique (L. Jouniaux)</i>
Je 09-nov 1615	<i>Electrique et Potentiel Spontané (P. Sailhac)</i>
Lu 20-nov 1015	<i>Résonance Magnétique Protonique (J.F. Girard, BRGM)</i>
Me 29-nov 0800	<i>Présentation des articles</i>

Hydrogeophysics approach

(example for an EM survey)



Physical properties

- Of the many physical properties of earth materials, only a few are of interest for near-surface investigations:
 - Seismic velocity (V) : seismic methods
 - Electrical conductivity (σ) : electrical, EM
 - Dielectric permittivity (ε) : GPR
 - Chargeability (M) : IP
 - Thermal conductivity (κ) : temperature
 - Density (ρ) : gravity

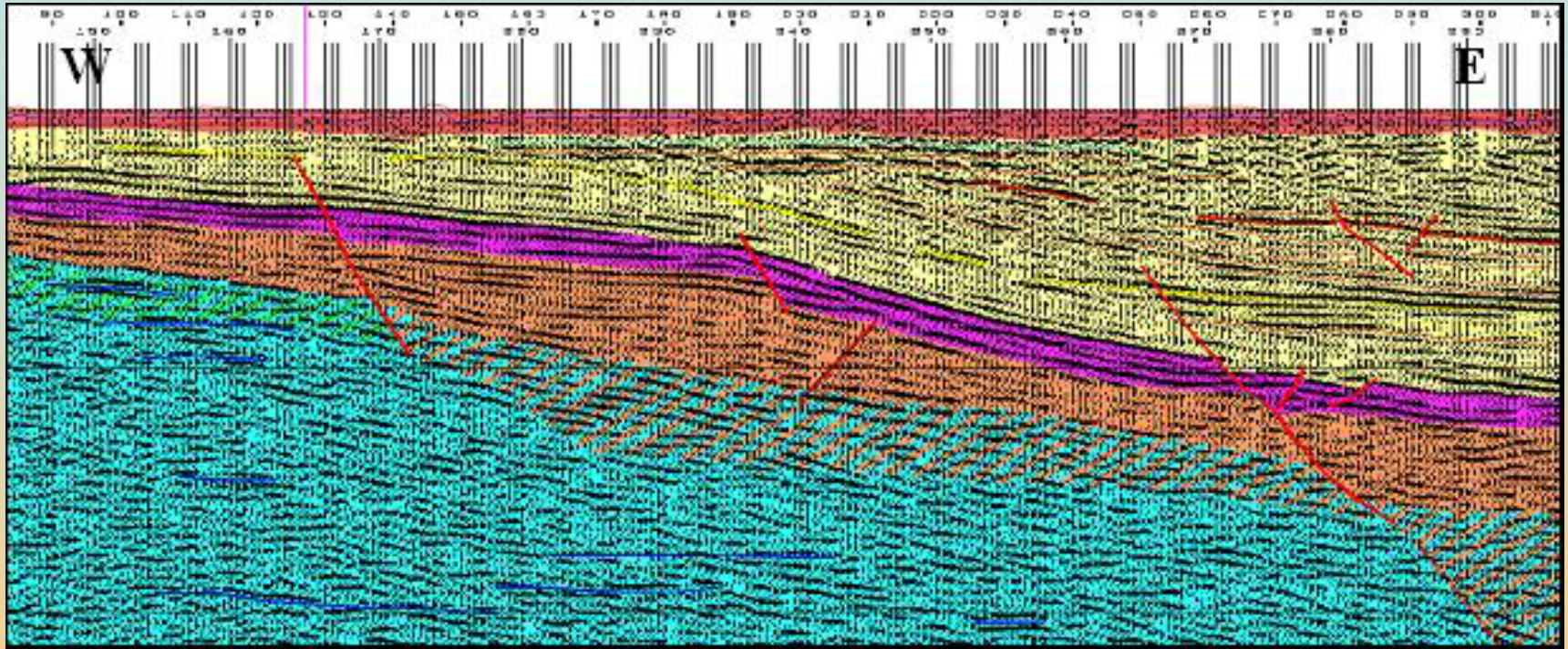
Effect of porosity

- For a pure fluid, shear modulus $\mu = 0$
 - Porosity will hence reduce P and S velocities
- Porosity (ϕ) effect use Wyllie's time-average equation:

$$\frac{1}{V} = \frac{1-\phi}{V_m} + \frac{\phi}{V_f}$$

V_m and V_f are the velocities of the matrix and fluid respectively

Aquifer near Mantes (W of Paris)



Continuous aquifer (violet) under a clayey top (yellow). The water table is fed with water from the west and with gas by faults visible in the east.

Data from E.Gillot et al. (CGG), EAGE Madrid 2005

Electrical conductivity

- Earth materials are poor conductors (except graphite, metal oxides/sulfides)
- Main electrical conduction mechanism is electrolytic
 - So conducting material = presence of fluid
 - Porosity and salinity of fluid are important
 - **Interconnection is necessary!!**
- Geophysicists prefer to use resistivity

$$\rho = 1/\sigma$$

Electrical conductivity

- There are zillions of porosity-conductivity relationships published in the literature
 - Here we'll use Archie's Law:

$$\rho = \rho_f a \phi^{-m}$$

Where ρ and ρ_f : bulk and fluid resistivities

a : saturation

m : exponent or cementation factor ($1 < m < 2$)

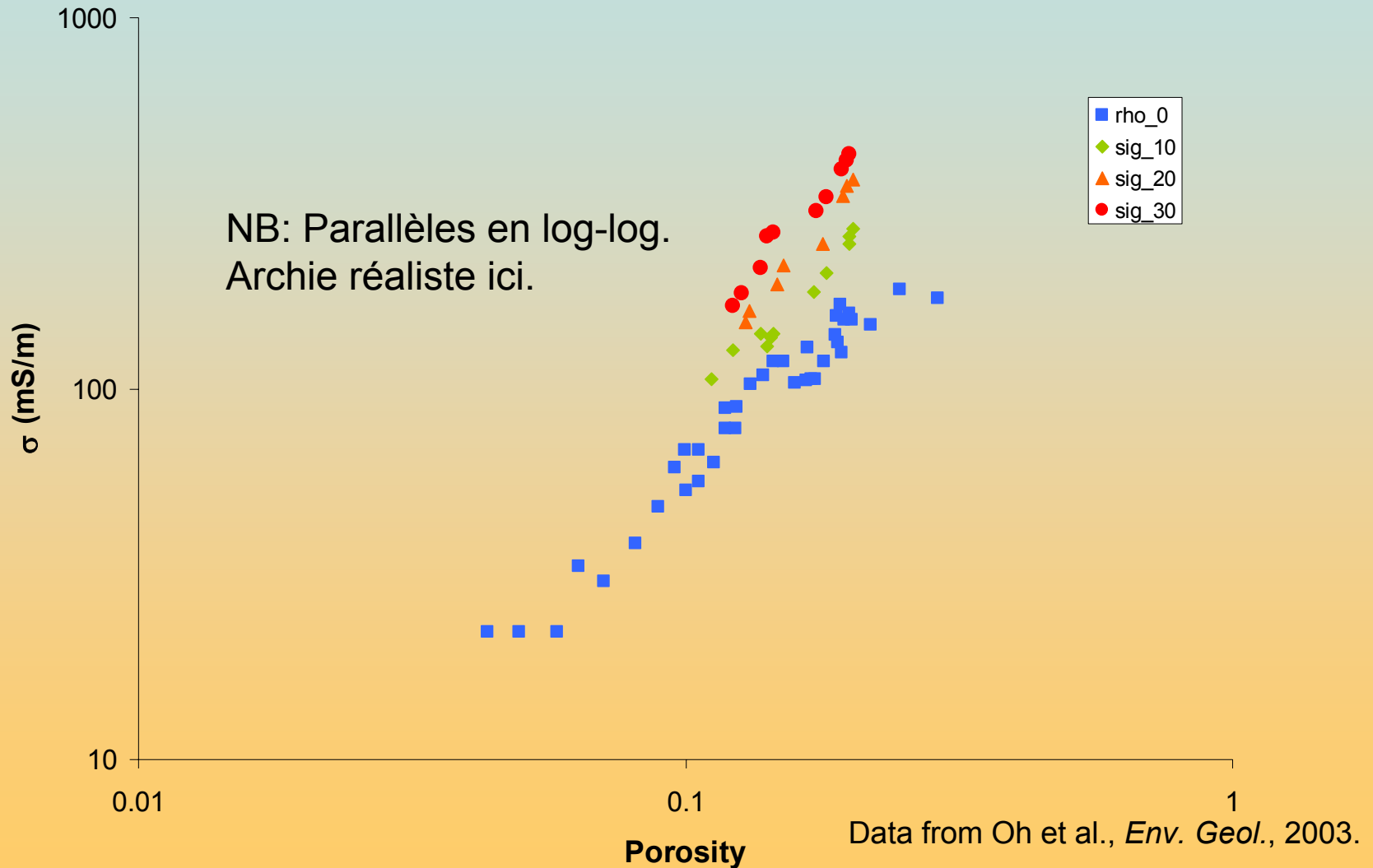
Contaminant effects?

- Contaminants have a strong impact on fluid resistivity as they contain dissolved ions.
- Back to Archie's Law:

$$\rho = \rho_f a \phi^{-m}$$

- The porosity ϕ remains the same whatever the contaminant concentration.
- So only ρ_f varies with concentration. An increase in concentration leads to an increase in dissolved ions, so electrical conductivity varies linearly with concentration (to first order).

Contamination by leachate

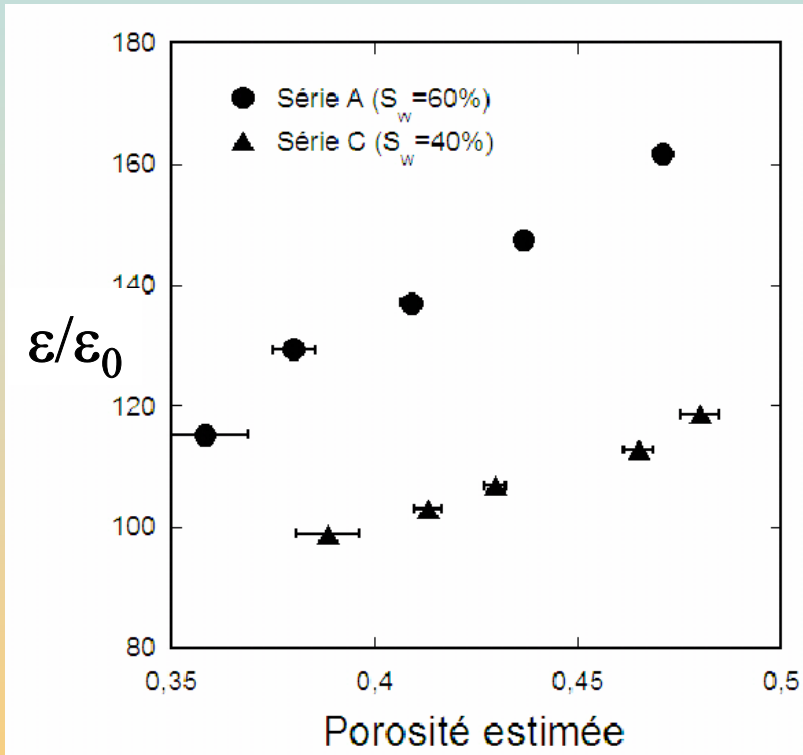


Dielectric permittivity

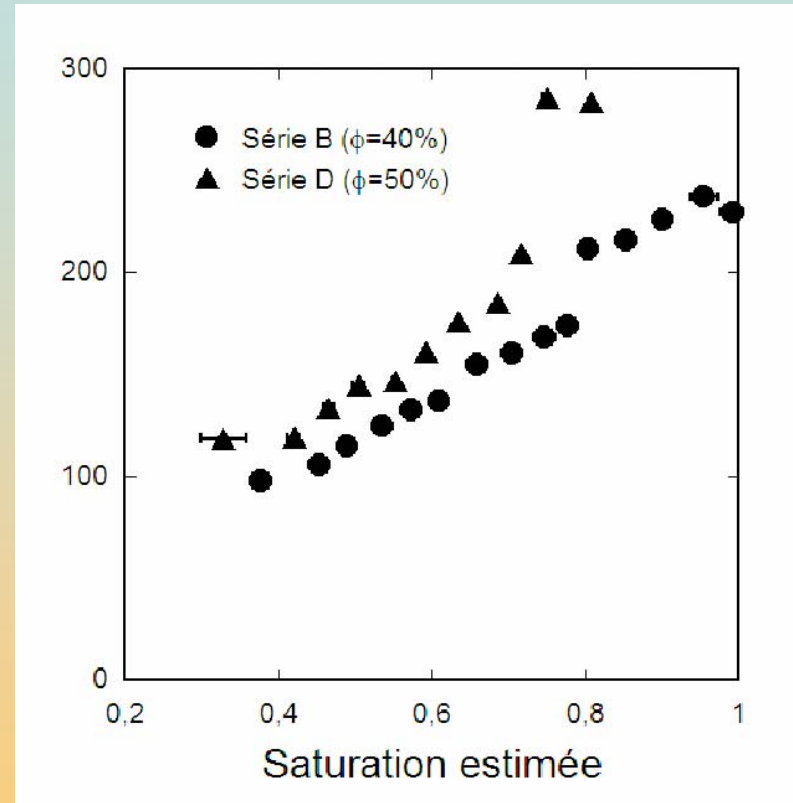
- Often known as “dielectric constant”, but it’s not constant at all!!
- For most earth materials
 - $\epsilon \approx \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
- For water $\epsilon \approx 81 \epsilon_0$!! (H_2O : polar molecule)
 - So a good indicator of water content

Mesures expérimentales

(échantillons argileux)

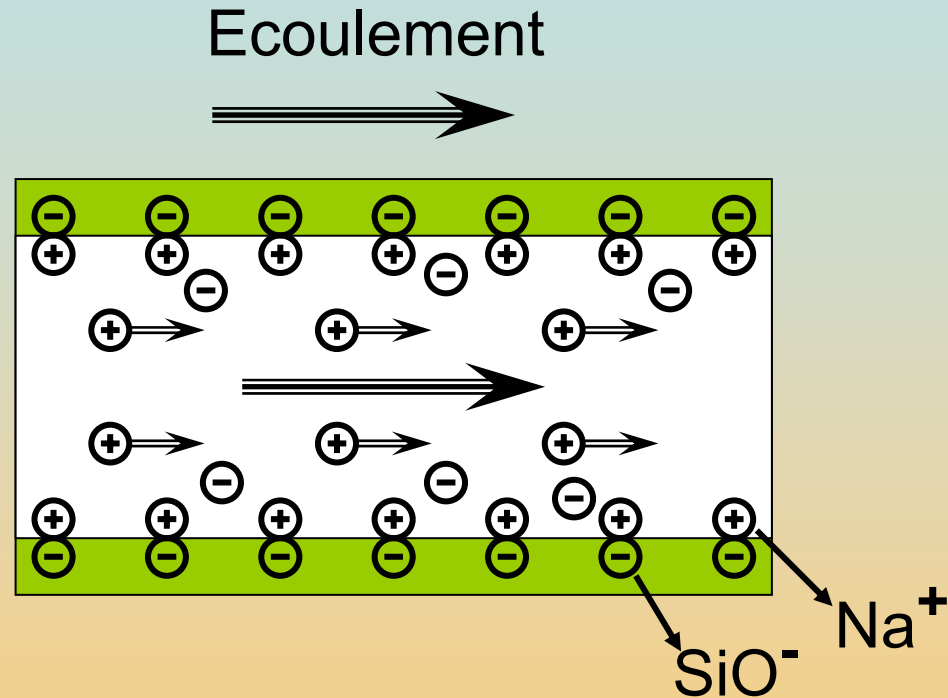


Saturations en eau 60% et 40%.
Mesures réalisées à 100kHz



Porosités 40% et 50%.

Couplage électrocinétique



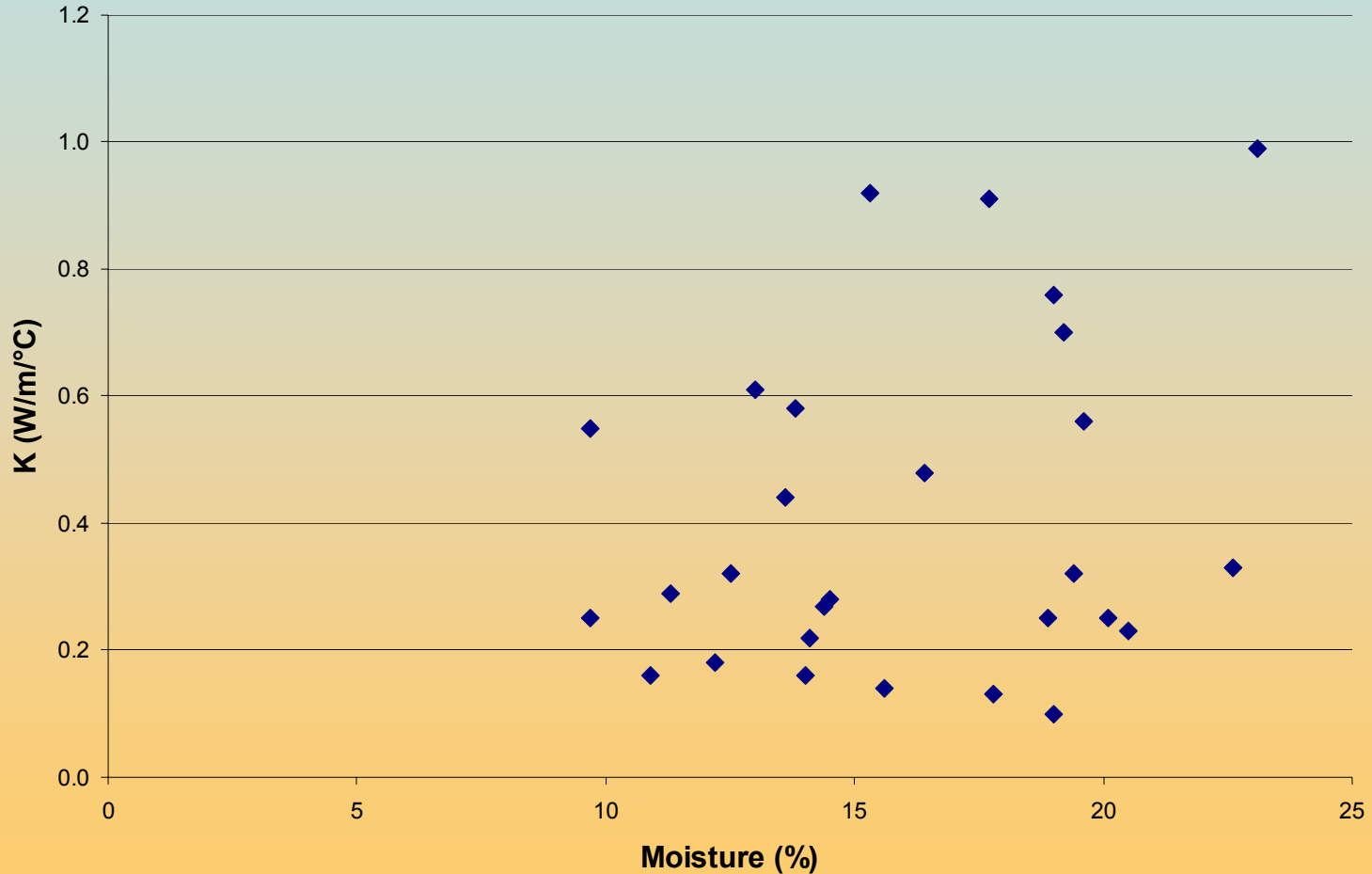
Courant de convection $\vec{J}_{\text{conv}} = \ell \vec{\nabla} P$

Conductivité Thermique

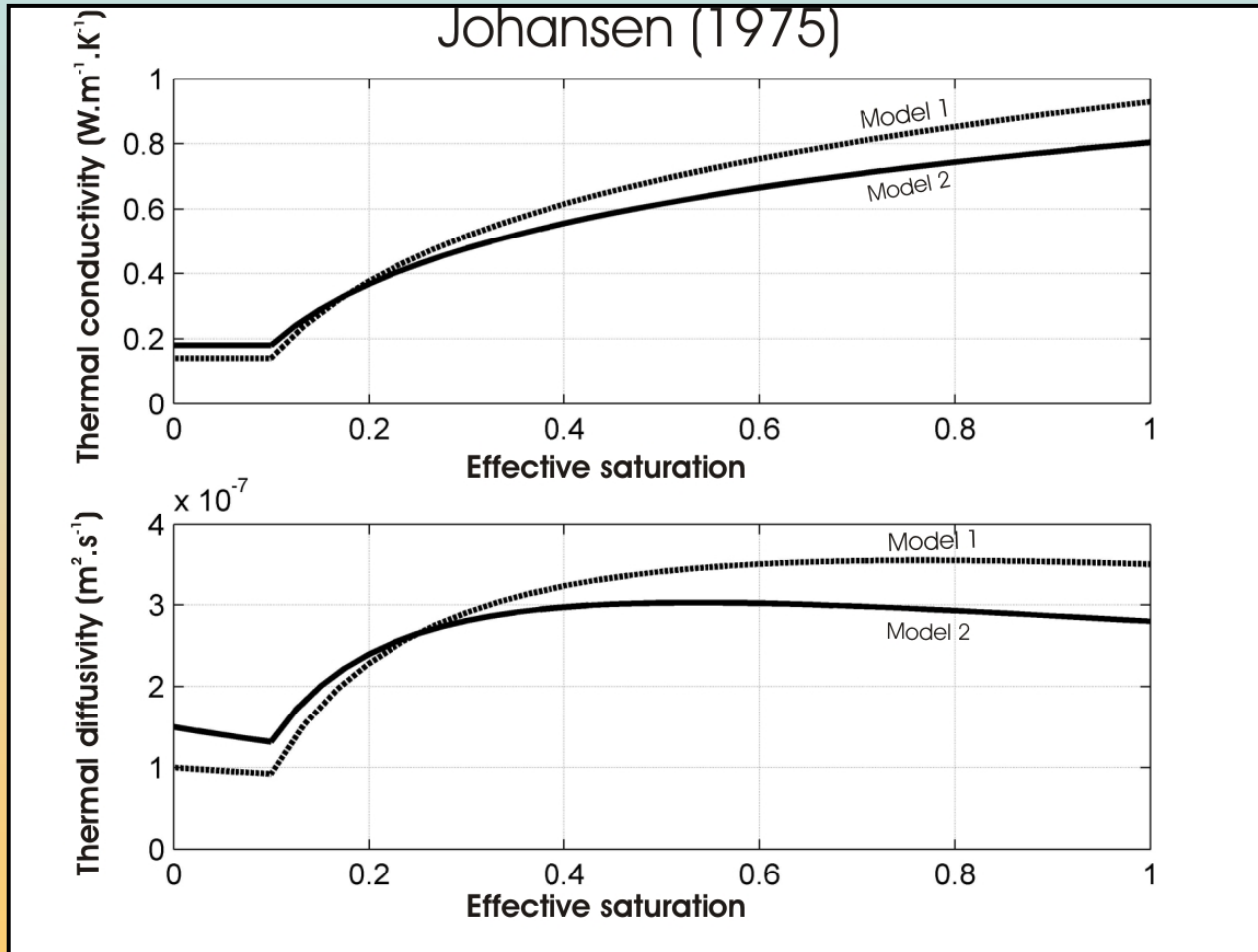
- Est particulièrement pertinente en zone non-saturée (vadose)
- En effet, l'eau conduisant mieux la chaleur que l'air, on a une augmentation de K avec la teneur en eau
- En zone saturée, K dépend de la porosité mais son influence n'est pas très forte pour des porosités typiques (5-20%)

Conductivité Thermique

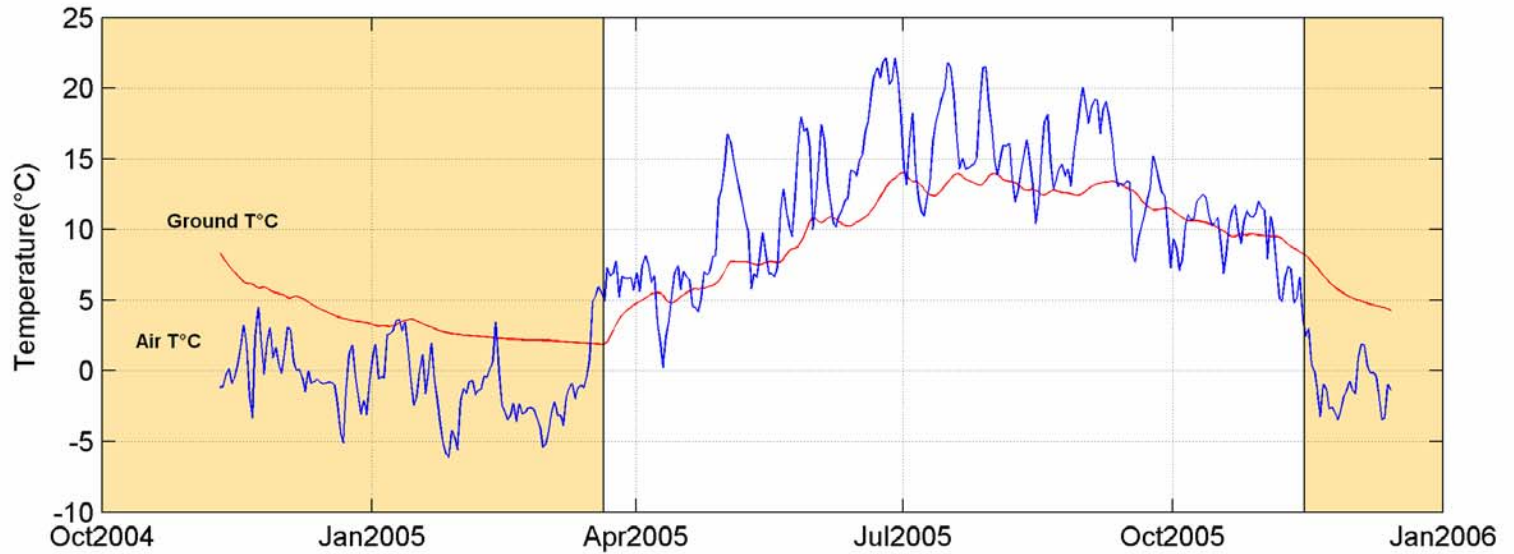
Data from FIFE project



Conductivité thermique



Variations de T°



(Hydrogeophysics)⁻¹

