

Schistes et charbons: des réservoirs pas comme les autres

Fanny Descamps & Jean-Pierre Tshibangu

Service de Génie Minier, Faculté Polytechnique, UMONS

Des réservoirs...

2 caractéristiques essentielles :

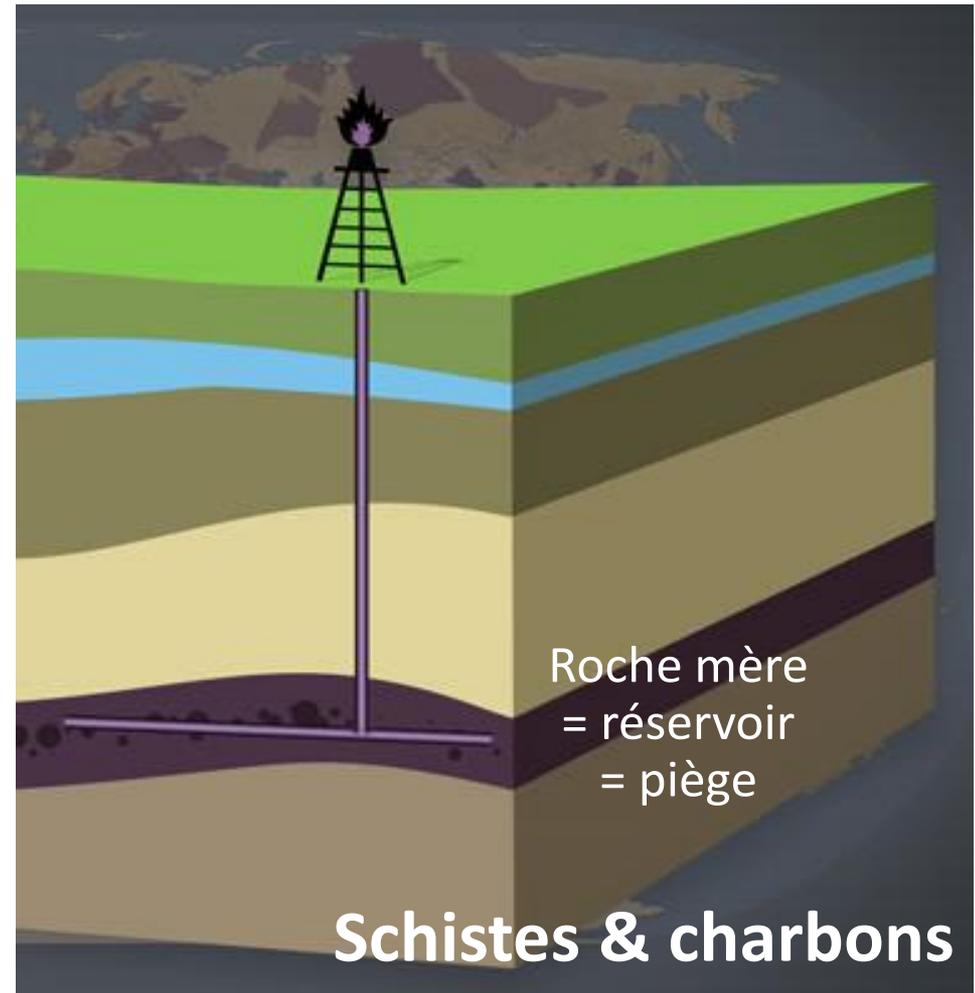
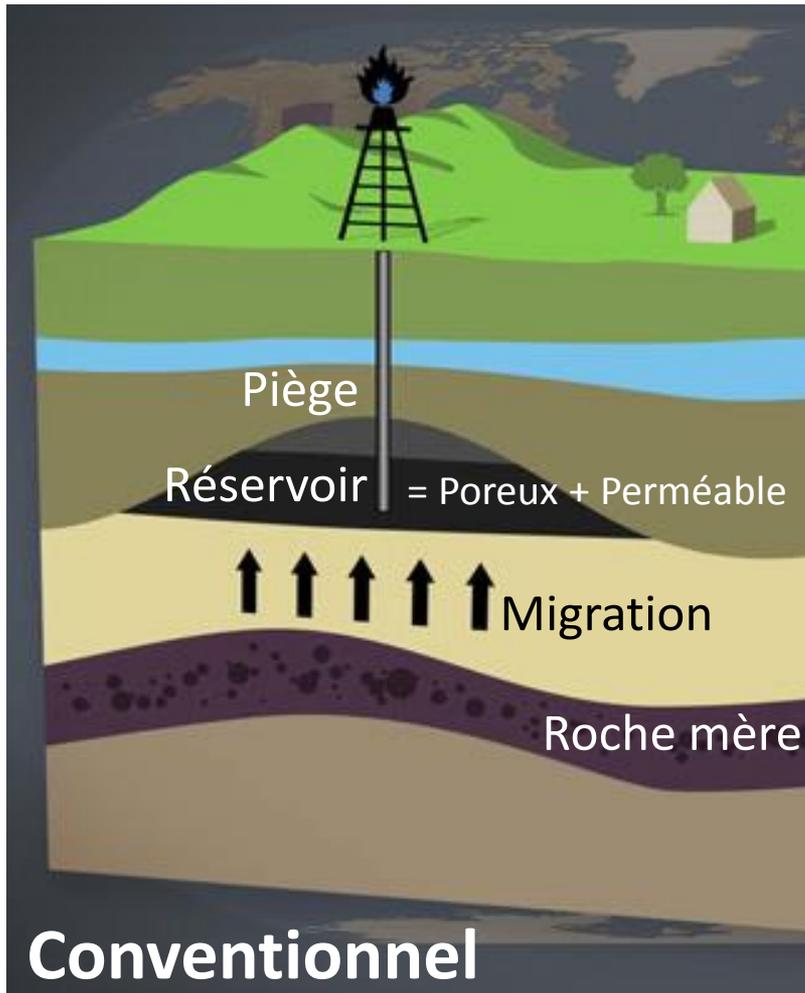
Stockage

- Porosité
- Saturation

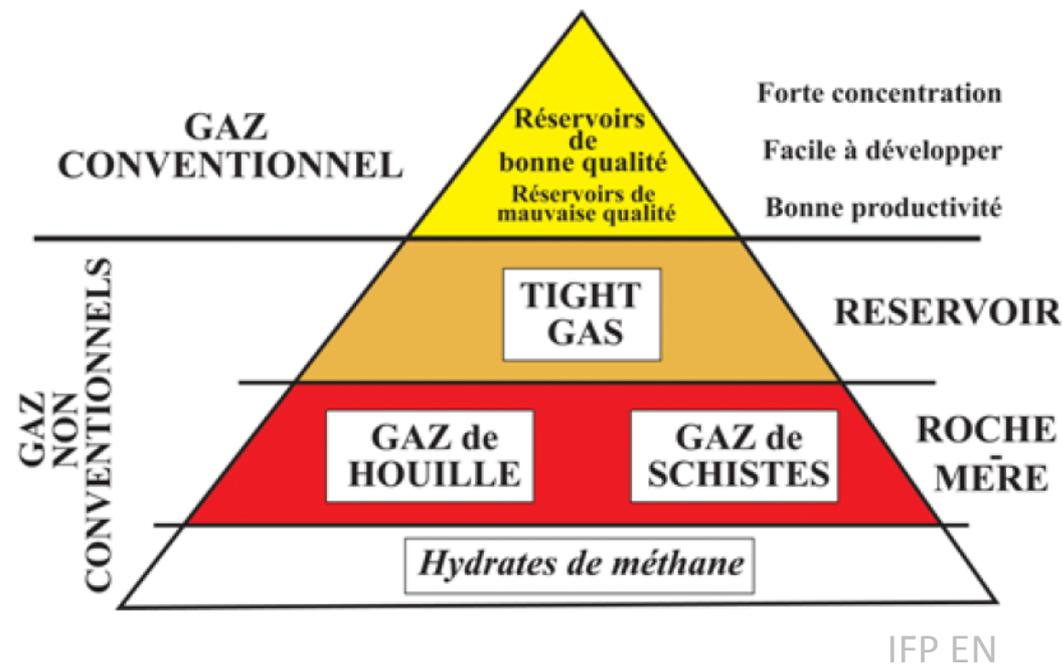
Transport

- Perméabilité (écoulement hydraulique)

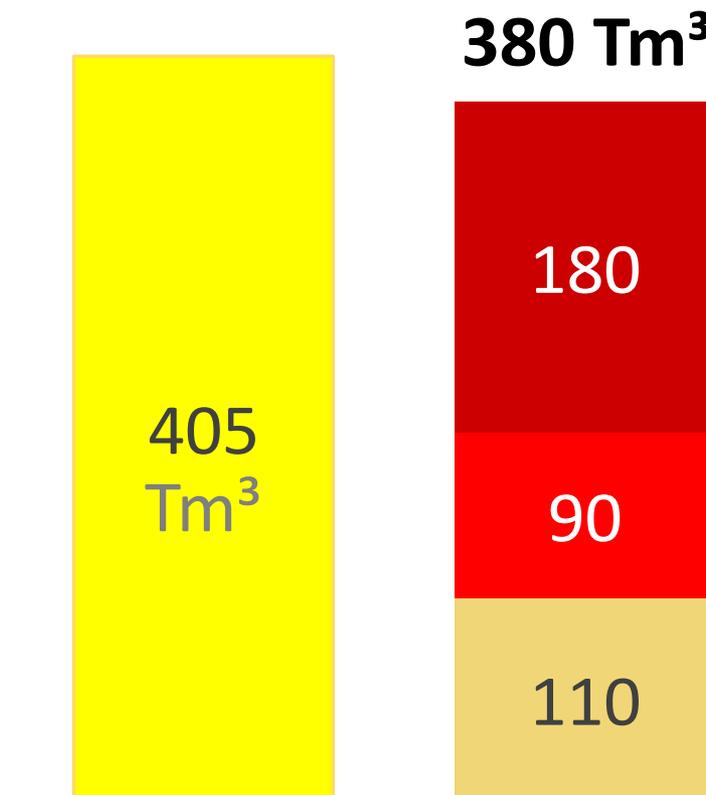
... pas comme les autres...



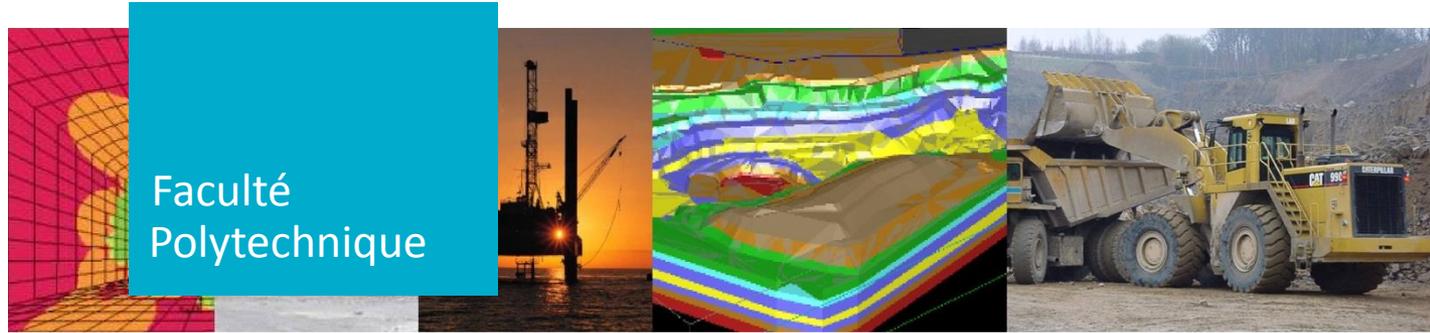
... mais qui méritent de l'attention



Ressources techniques
mondiales récupérables



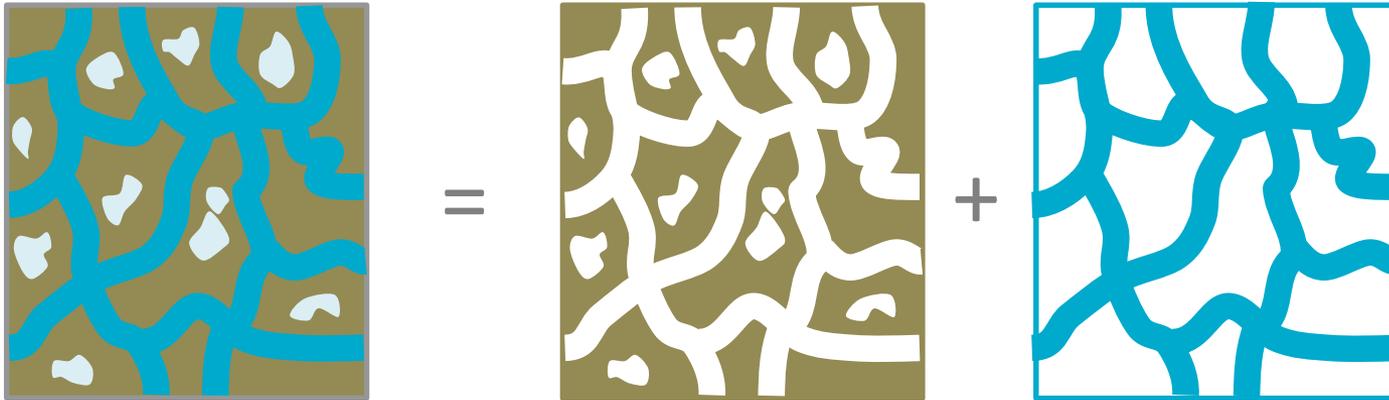
World Energy Outlook 2009



Capacités de stockage

- Milieu poreux
- Porosité
- Saturations

Notion de milieu poreux



Milieu poreux

Squelette

Fluide

Porosité ϕ :

V : volume total

V_v : volume des vides (pores et fissures)

V_s : volume des solides

$$\phi = \frac{V_v}{V} \cdot 100 = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{V_v}{V_v + V_s} \cdot 100$$

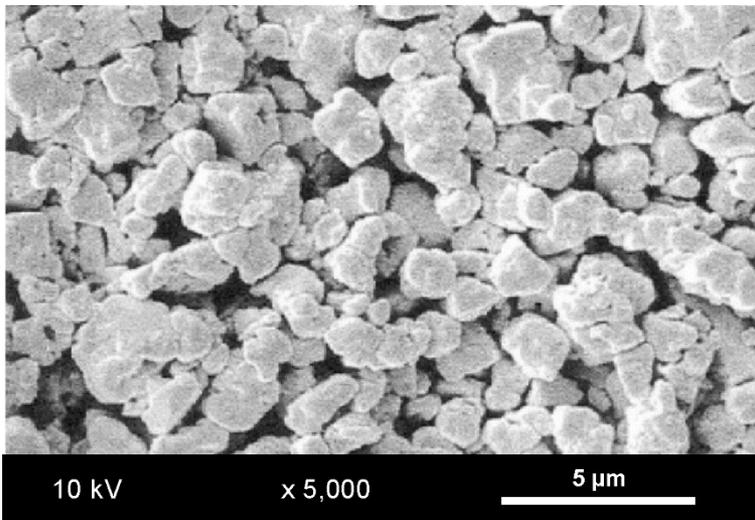
Mesure de la porosité

- Par séchage - saturation - pesées :

$$\phi = \left(\frac{W_{sat} - W_{dry}}{\gamma_{fl} V_{sample}} \right) \times 100$$

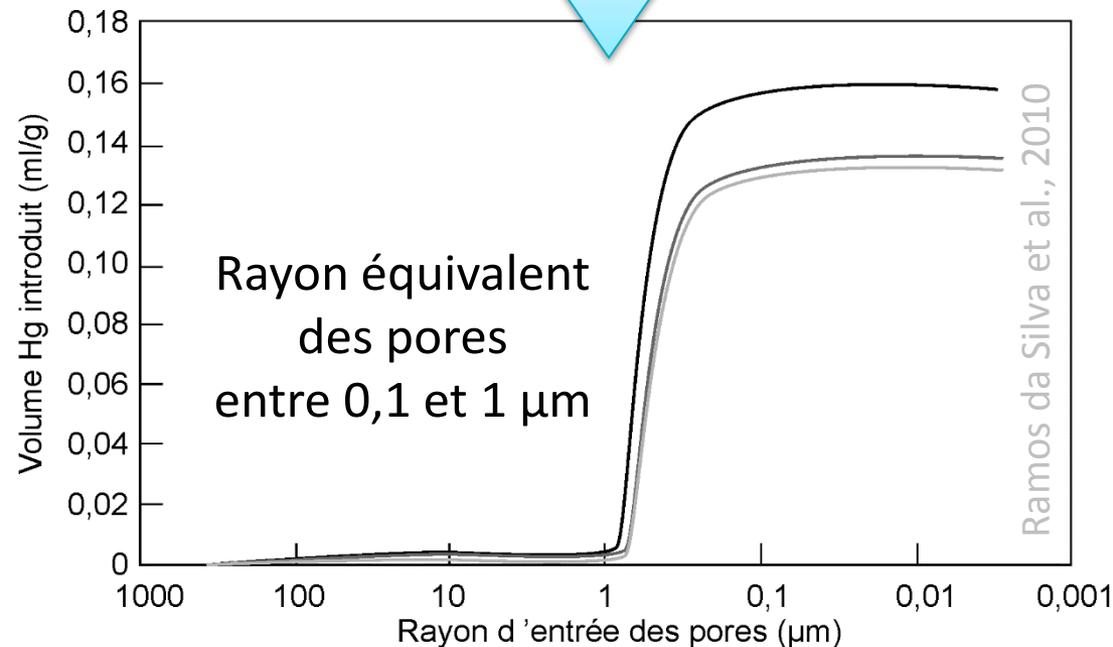


Exemple : Calcaire de Sorcy $\phi \approx 30\%$



- Porosimétrie au mercure :

- pores entre 200 et 0,0036 μm
- distinction micro-macro porosité



Les schistes, milieux poreux

Exemples macroscopiques de schistes à gaz :



Black shale
(Utica, Québec)



Interstratifié
shale-siltite

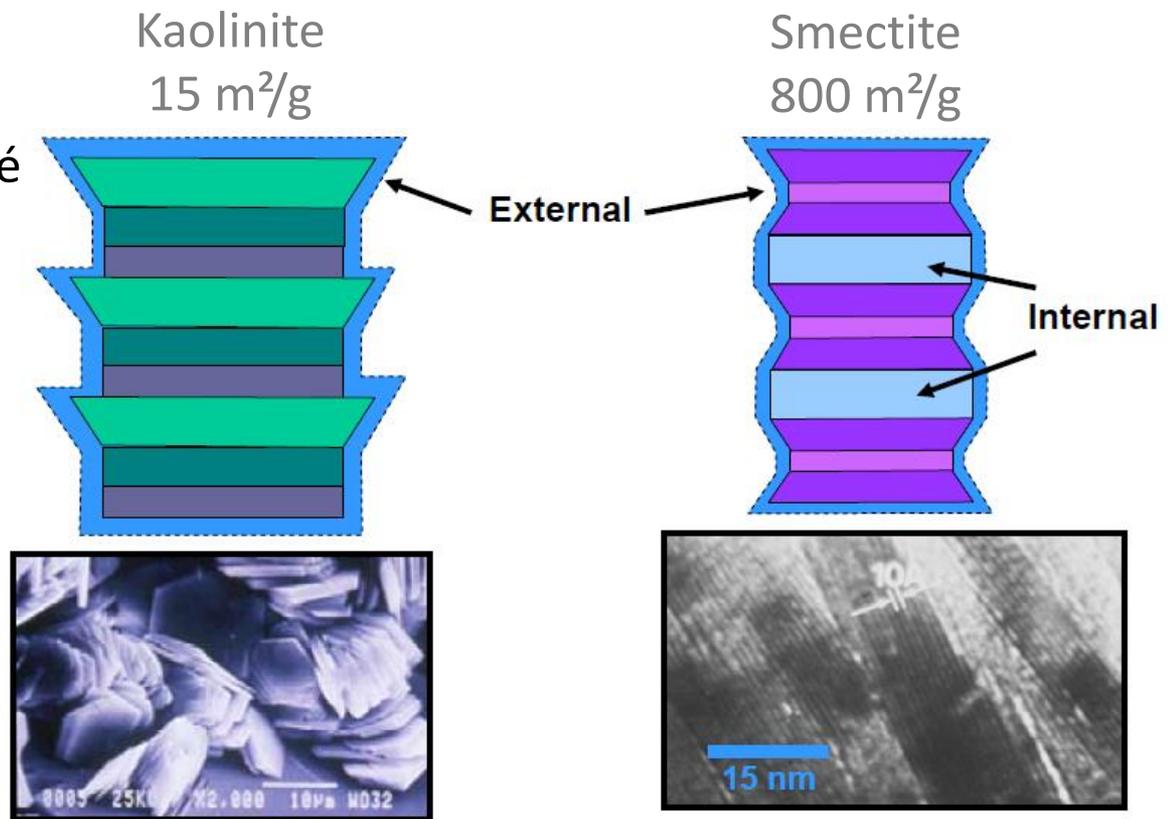


Shale fracturé

Les schistes, milieux poreux

Particularité = minéraux argileux ► propriétés spécifiques :

- Haute surface spécifique
- Haute surface de charge
- Contenu en eau très élevé
- Haute sensibilité à la chimie de leur environnement



SPE 131 350

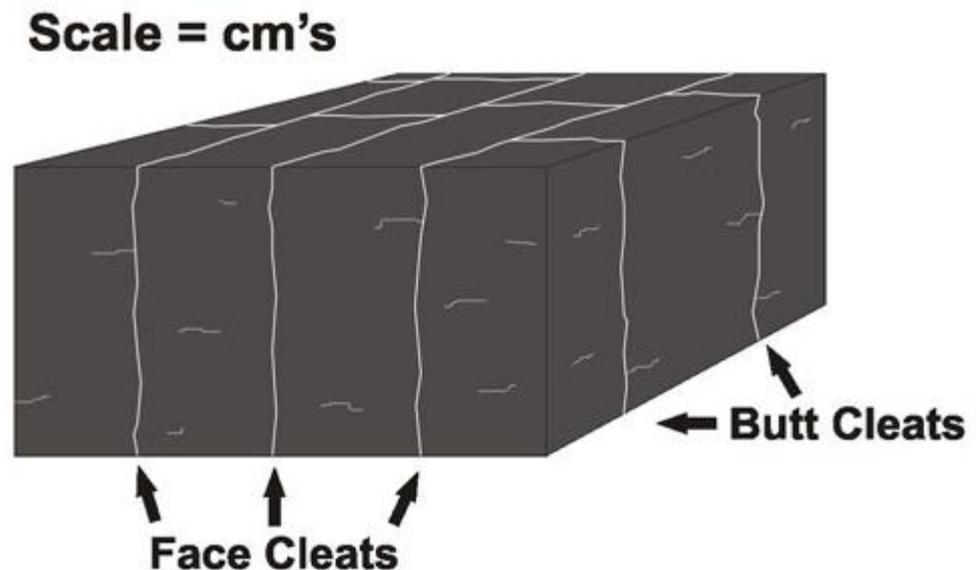
Les charbons, milieux poreux

- Porosité microscopique au niveau de la matrice
- Porosité de fissure :

cleats

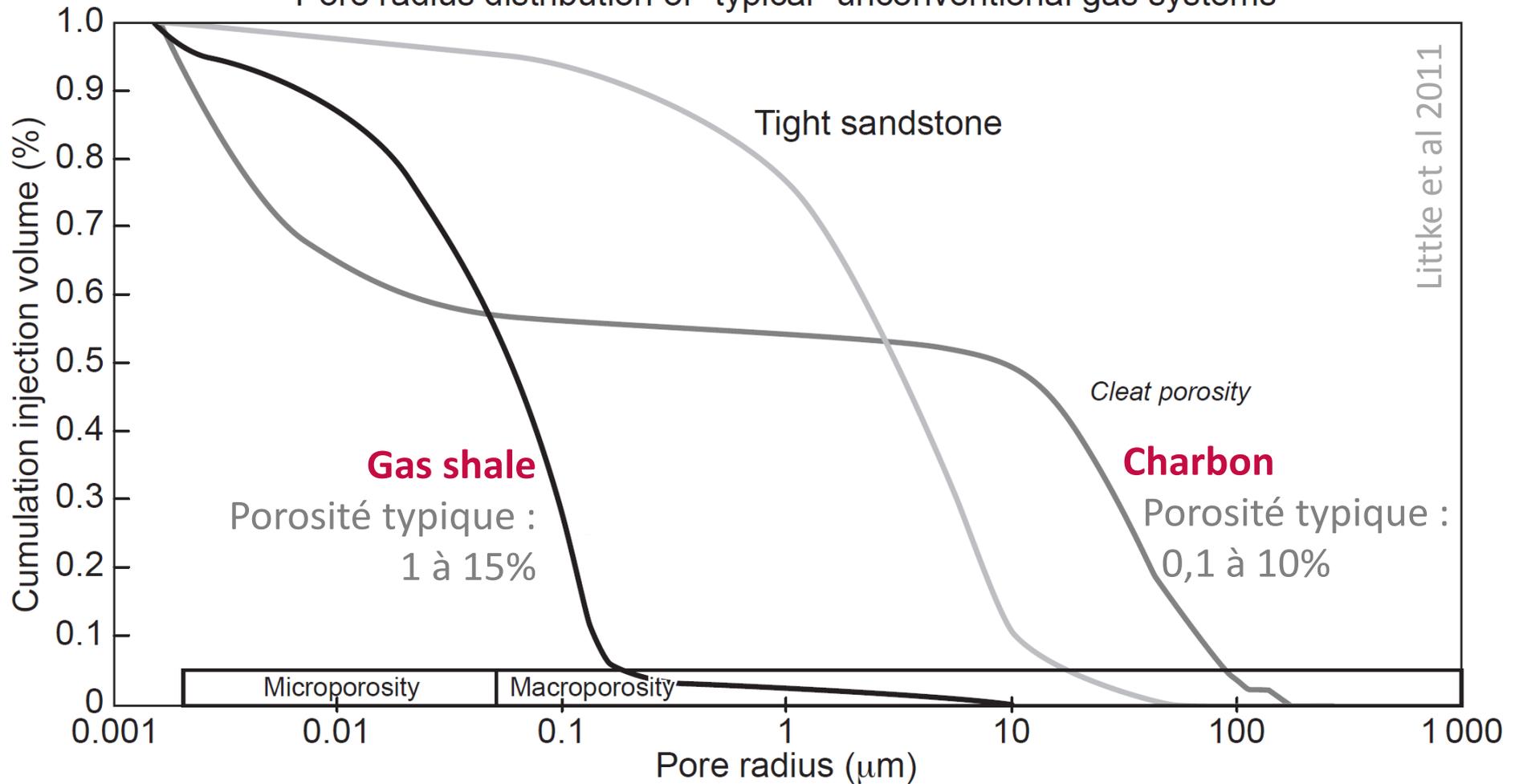
= *système de joints, plans de clivage et plans de faiblesses*

- Face cleats
- Butt cleats



Taille des pores

Pore radius distribution of "typical" unconventional gas systems

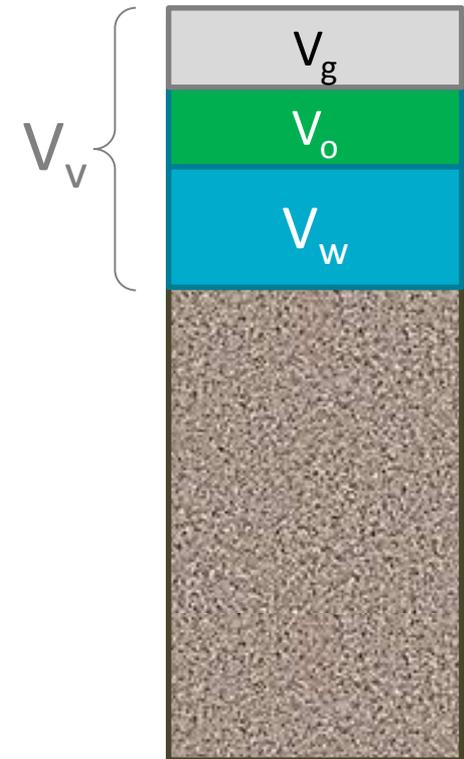


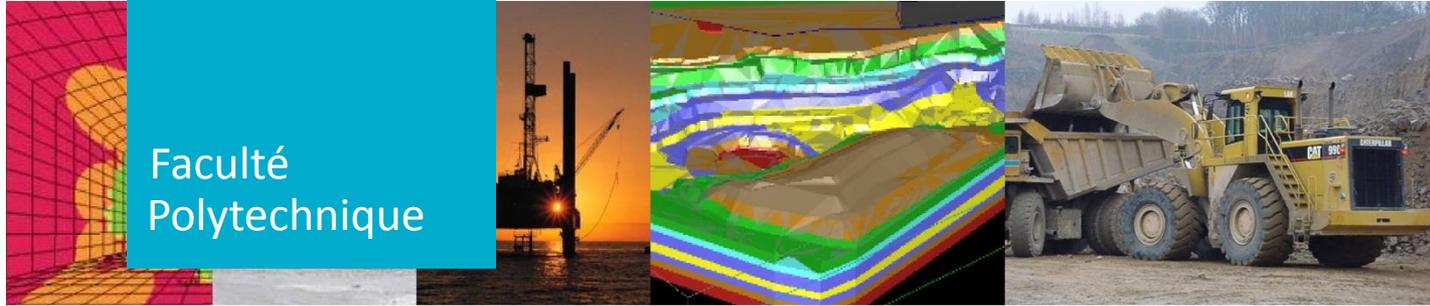
Saturations

- Les roches réservoirs contiennent de l'eau, de l'huile et du gaz
- Saturation = part de chaque fluide dans la porosité :
 - S_w pour l'eau
 - S_o pour l'huile
 - S_g pour le gaz

$$S_w = \frac{V_w}{V_v} \quad S_o = \frac{V_o}{V_v} \quad S_g = \frac{V_g}{V_v}$$

$$S_w + S_o + S_g = 1$$





Mécanismes de transport

- Conductivité hydraulique
- Diffusion
- Désorption

Conductivité hydraulique

Charge hydraulique :

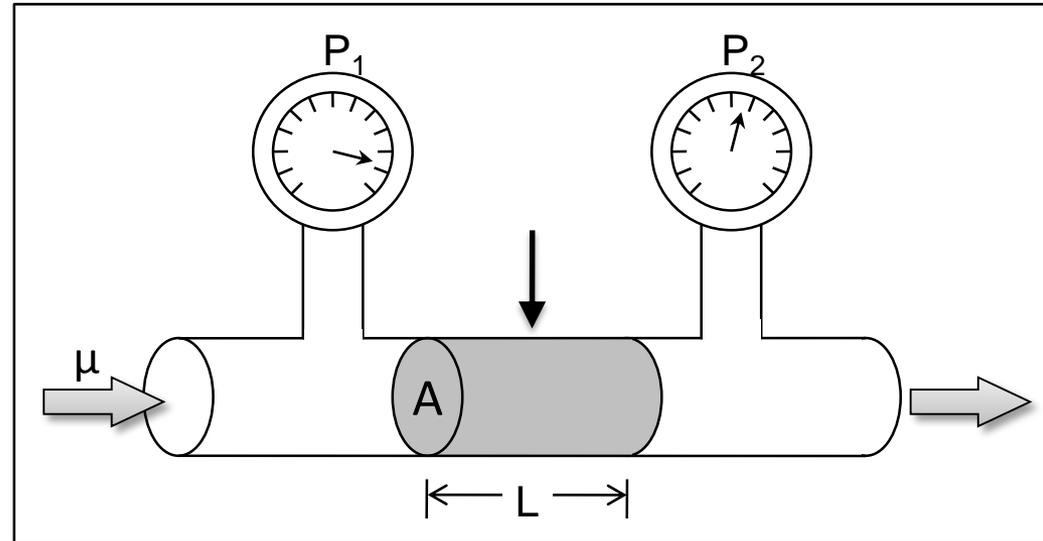
$$h = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_{fl}} - z$$

Loi de Darcy :

$$\vec{q} = -k' \nabla p$$

- \vec{q} : débit (cm^3/s)
- k' : perméabilité (Darcy)
- ∇p : gradient de pression du fluide (atm)

La perméabilité dépend du fluide considéré (viscosité)



Et s'il y a plusieurs fluides?

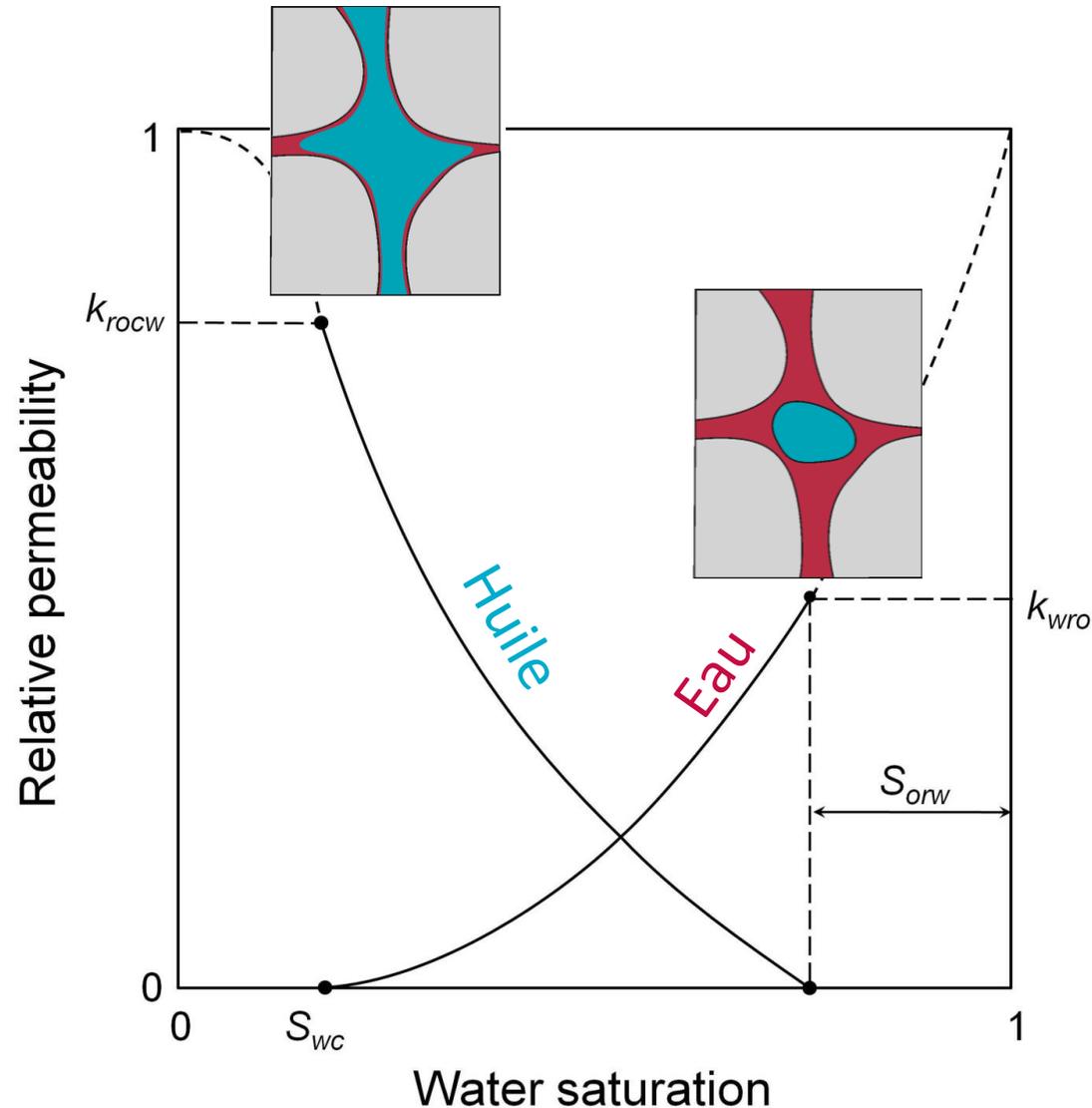
Hypothèse :

- non-miscibles
- milieu saturé

Perméabilité effective k_e
pour chaque fluide (Darcy)

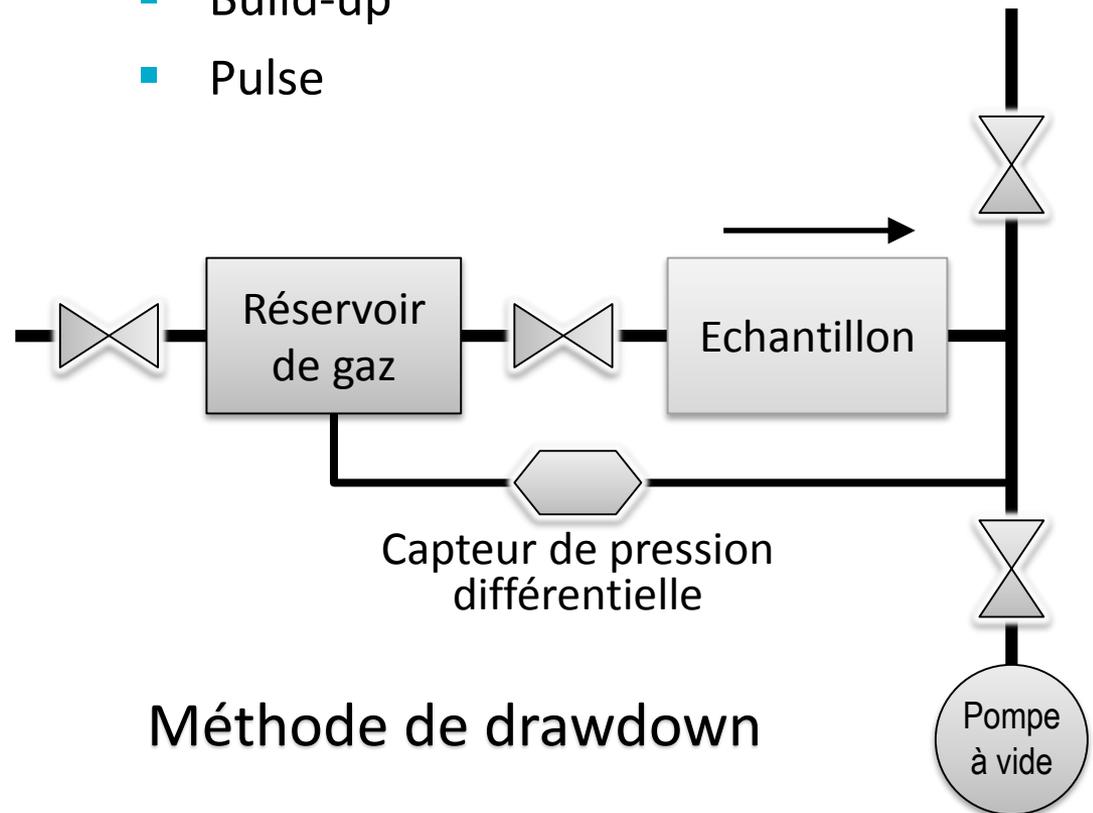
Perméabilité relative k_r

- Rapport de la perméabilité effective à la perméabilité absolue
- Dépend de la saturation et de la mouillabilité

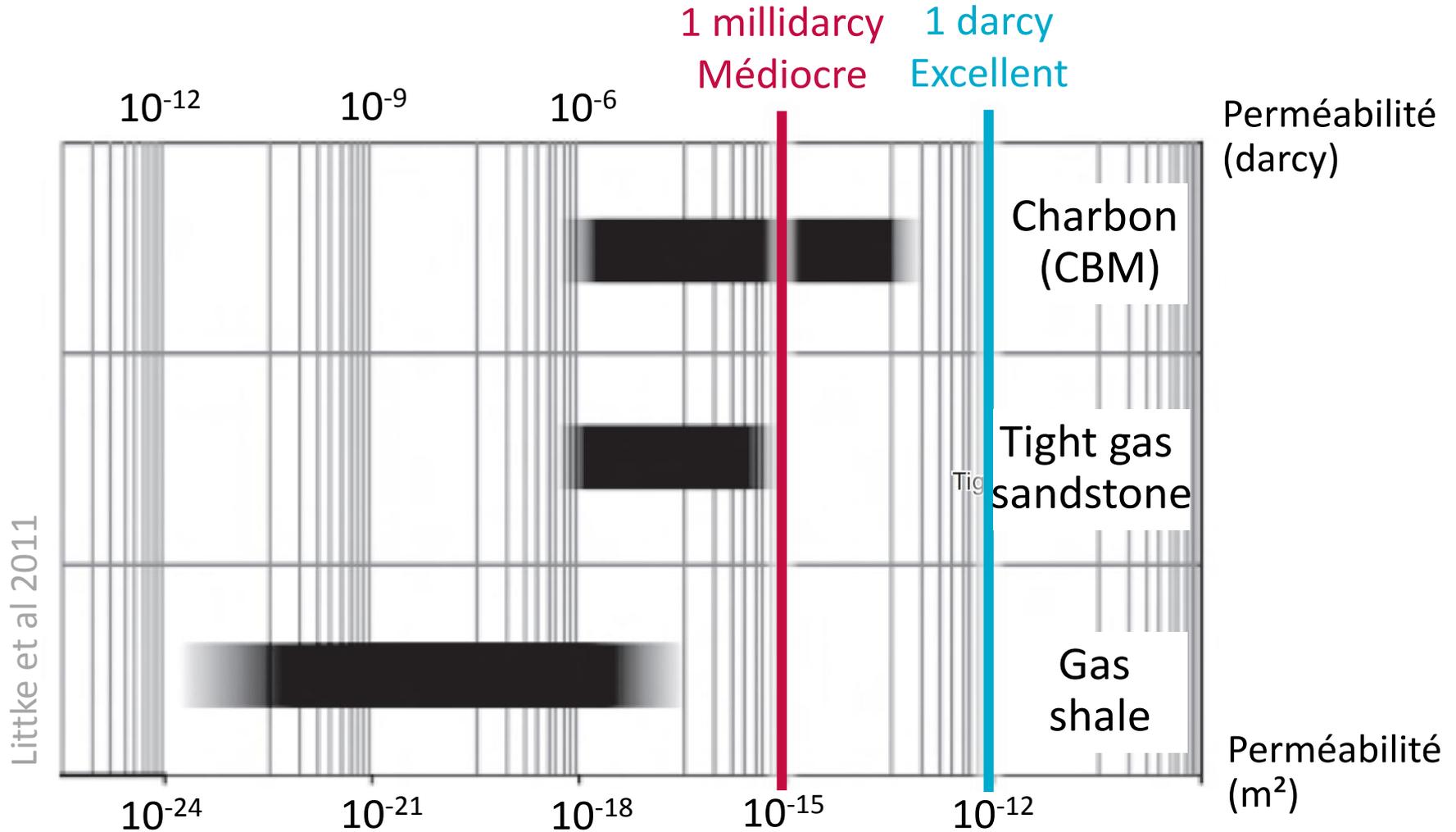


Mesure de perméabilité

- Hautes perméabilités :
 - Liquides : cellule Hassler
 - Gaz : débit massique du gaz = constant mais pas le débit volumique (compressibilité)
- Faibles perméabilités : **régime transitoire**
 - Drawdown
 - Build-up
 - Pulse



Perméabilités des réservoirs non-conventionnels



Mécanisme de diffusion

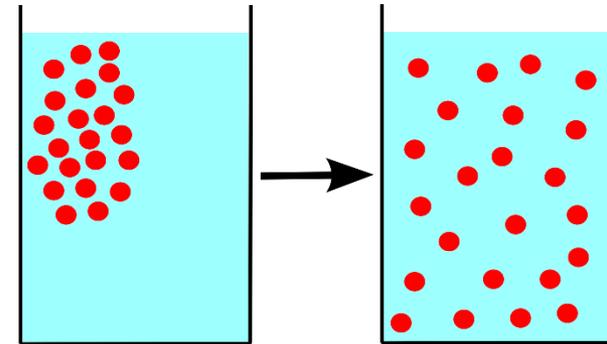
- Equation de transport :

$$q_i^r = - \sum_s L_{ij}^{rs} \nabla_j C^s$$

q_i^r flux massique de l'espèce ionique r dans la direction i

C^s concentration de l'espèce s

L_{ij}^{rs} coefficient de diffusion de l'espèce r en présence de s à une concentration C^s



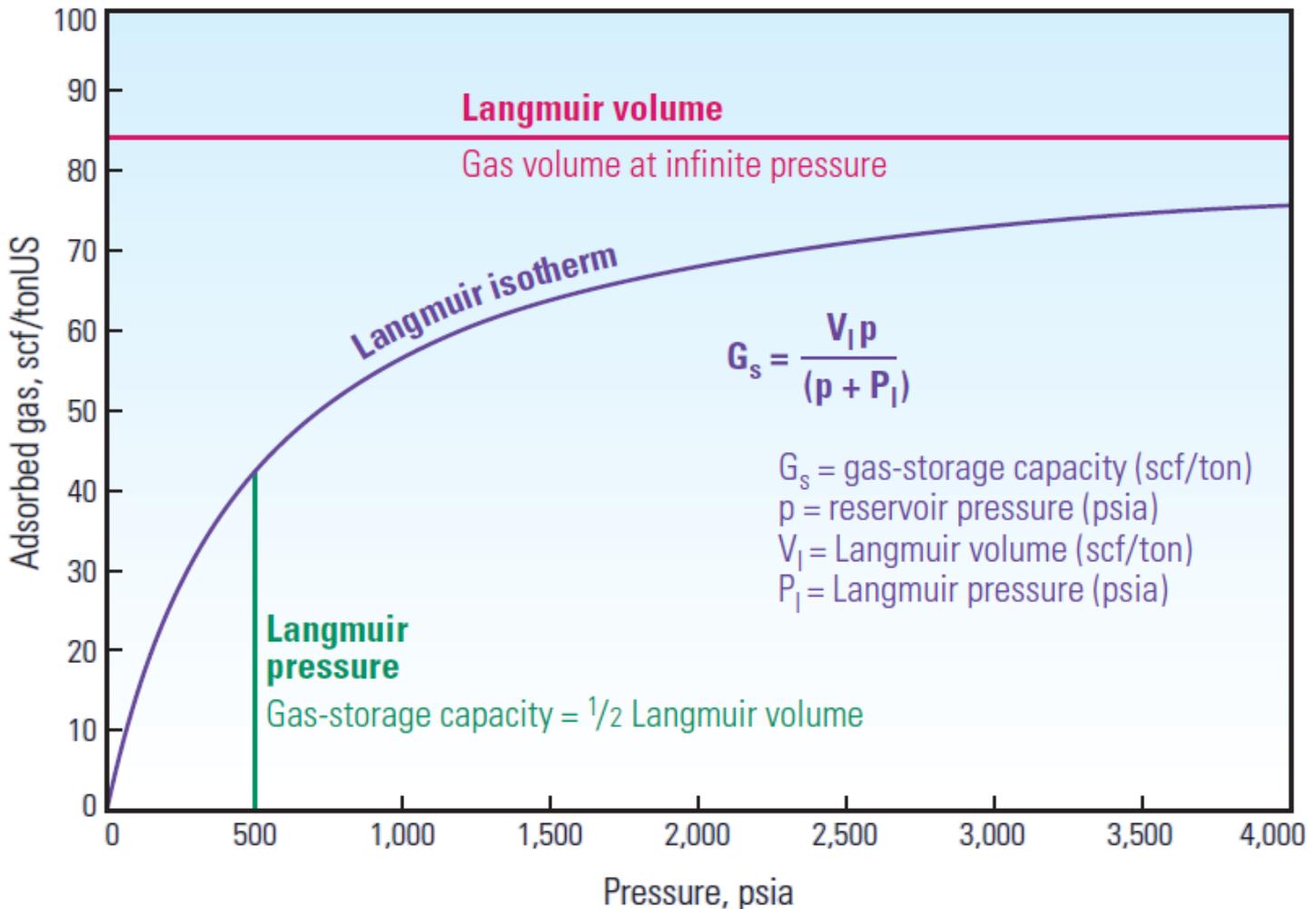
- Conservation de la masse :

$$\nabla q^r = - \frac{\partial m^r}{\partial t}$$

- Equation de diffusivité :

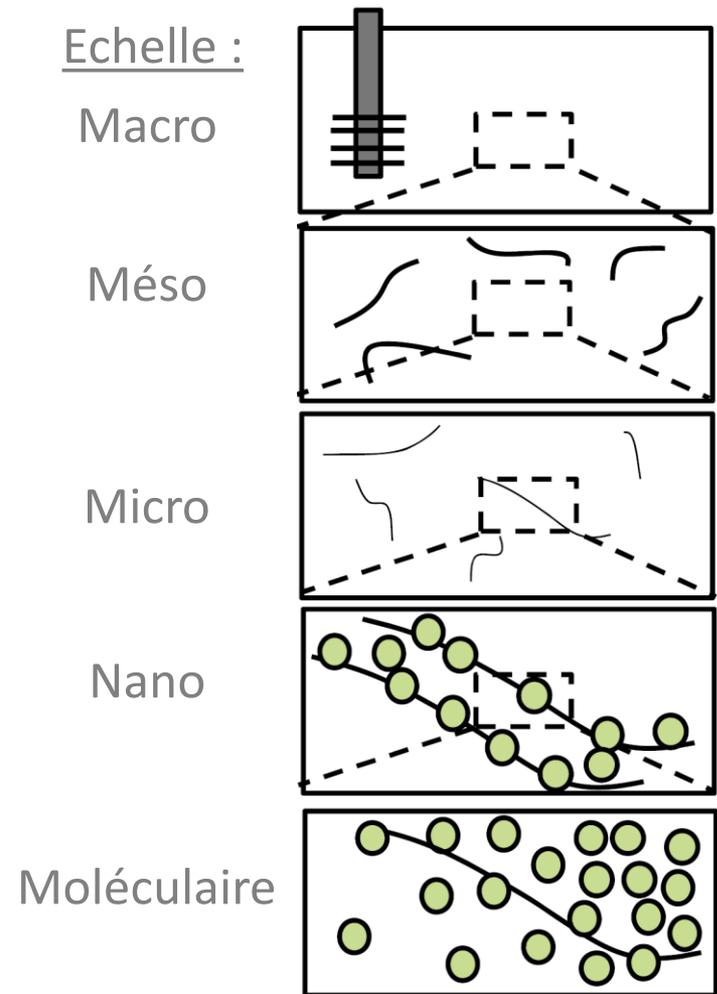
$$\frac{\partial^2 C^r}{\partial x^2} = \frac{1}{L^r} \frac{\partial C^r}{\partial t}$$

Mécanisme de désorption



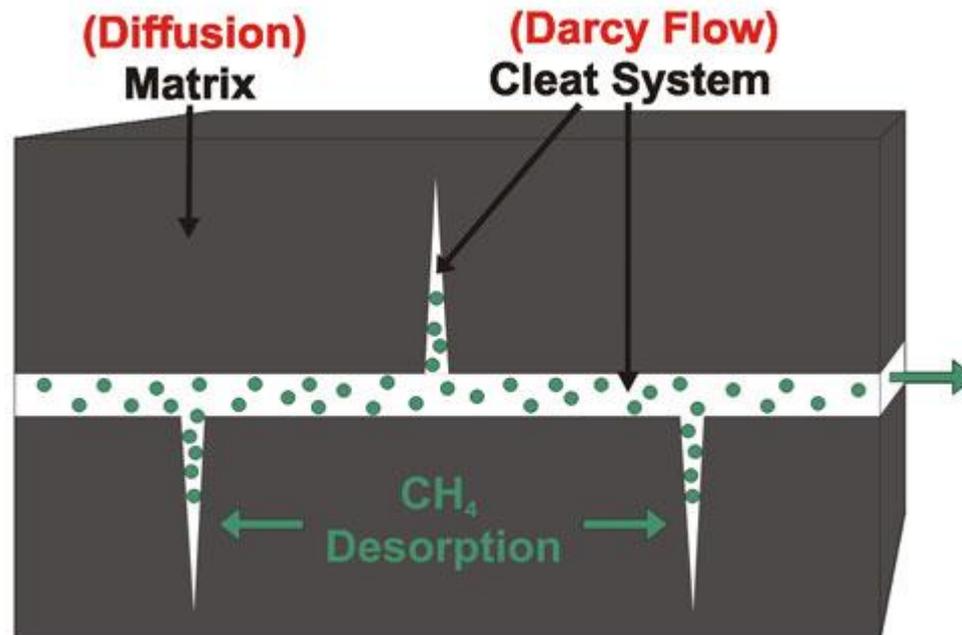
Mécanismes de transport dans les réservoirs de gaz de schiste

- Gaz sous différentes formes :
 - Adsorbé
 - Dissout
 - Libre
- Mécanismes à différentes échelles :
 - Écoulement hydraulique dans les fractures
 - Diffusion à travers la matrice, les micro- et méso-pores
 - Désorption des surfaces microporeuses



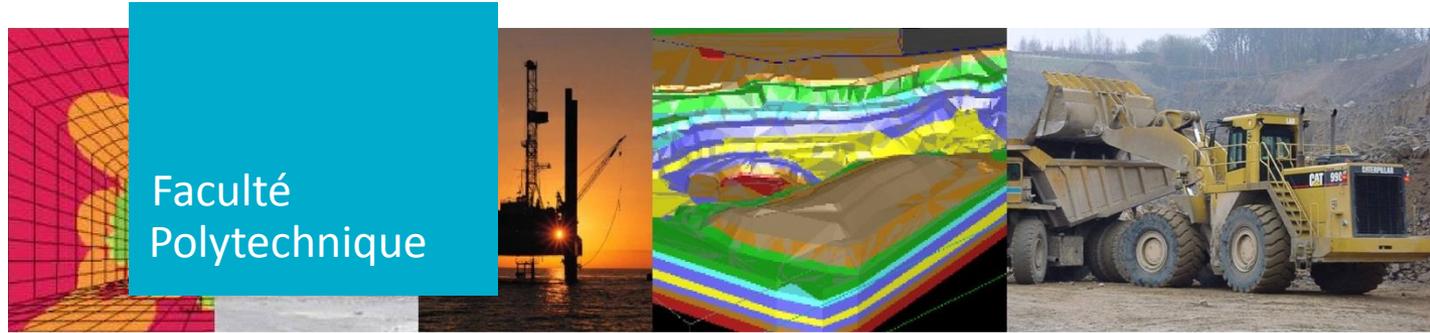
Mécanismes de transport dans les charbons

- Désorption des surfaces des cleats
- Diffusion à travers la matrice
- Ecoulement hydraulique selon les fractures



Scale = mm's

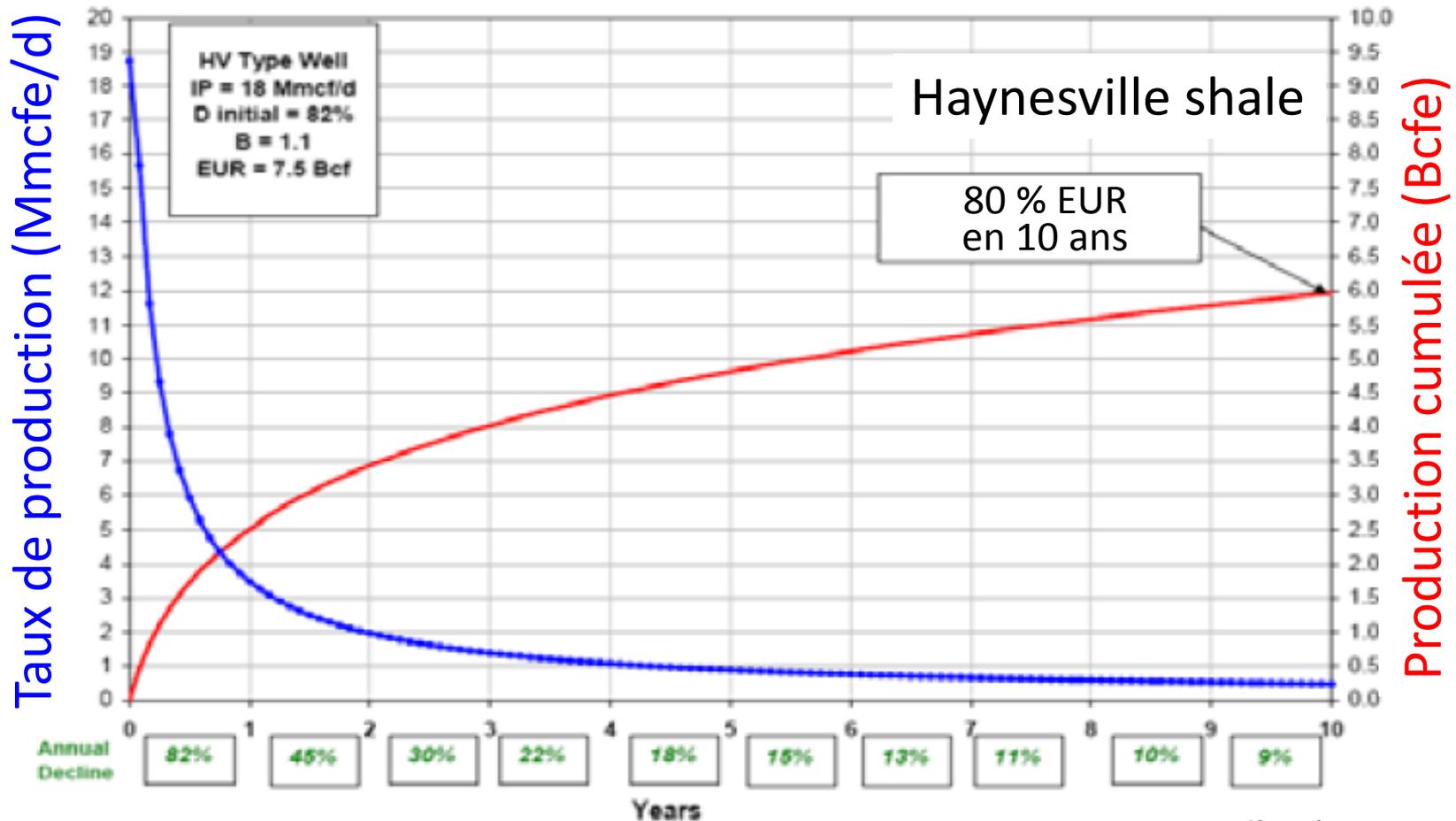
Kansas Geological Survey, 2006



A l'échelle du réservoir

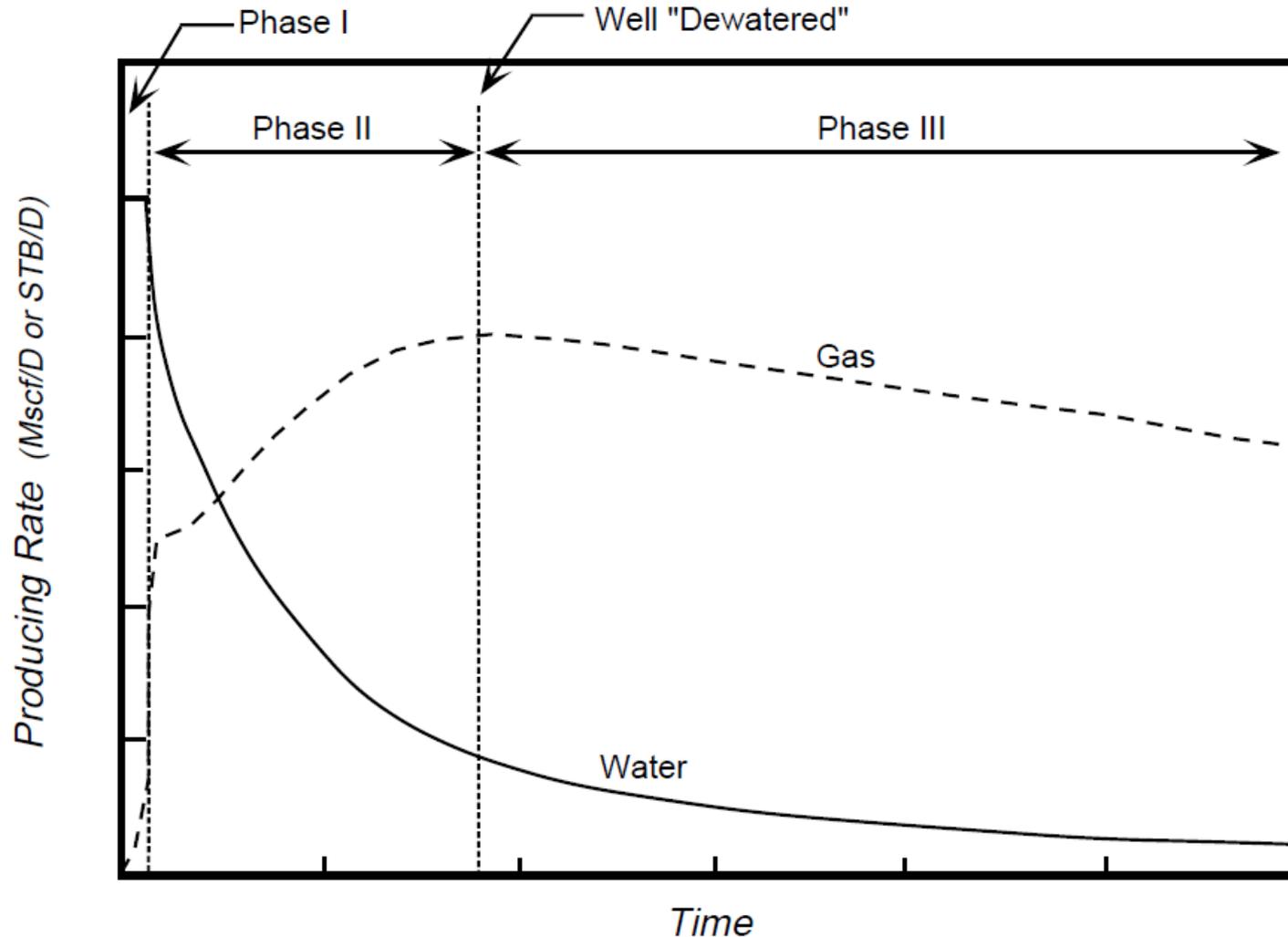
Quelques exemples
en production

Profil de production type en gaz de schiste

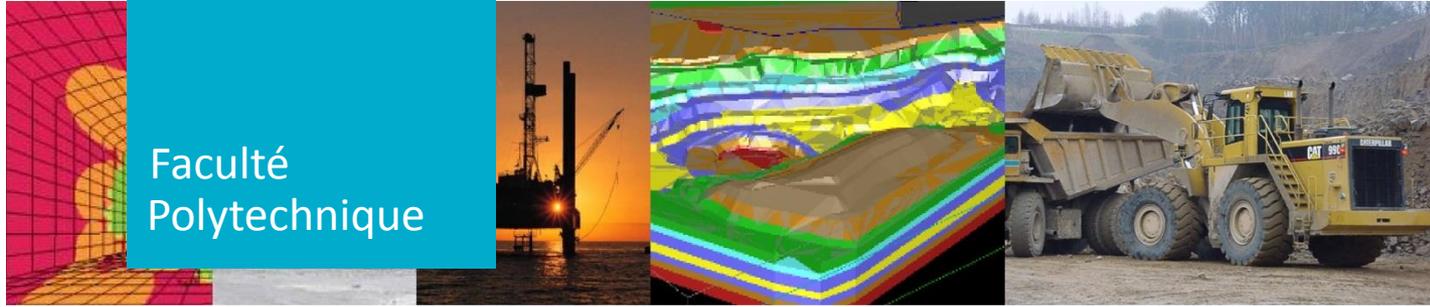


SPE 160855, d'après EIA 2011

Profil de production typique en CBM



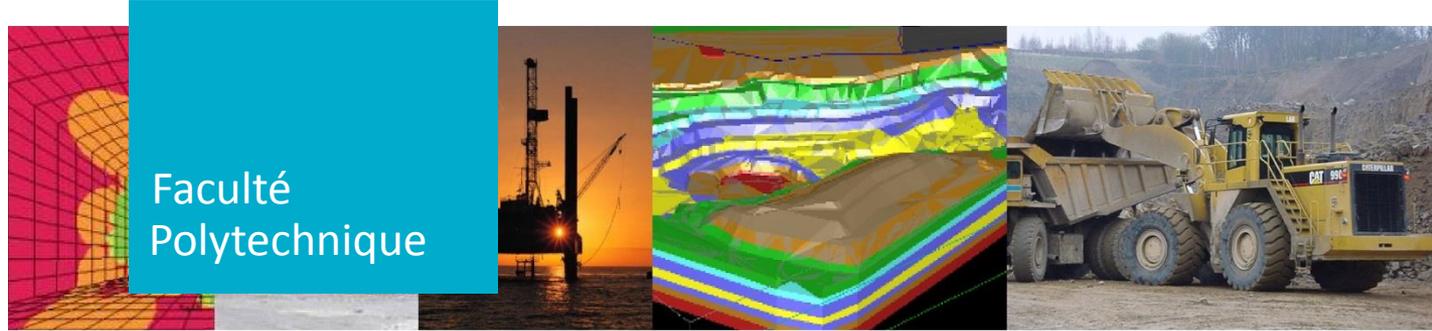
Gas Research Institute, 1996



Conclusion

Schistes et charbons : des réservoirs pas comme les autres

	Conventionnel	Schistes	Charbons
Porosité	bonne : 10 à 20% très bonne : > 20%	1 à 15% Petits pores comparé au conventionnel	0,1 à 10% Micro et macro (cleats)
Saturation	Influence fortement la production		
Perméabilité	1 Darcy = excellent 1md = médiocre	10^{-6} à 10^{-10} darcy	10^{-2} à 10^{-6} darcy
Mécanismes de transport	Gaz libre ▶ Écoulement hydraulique	Gaz libre + gaz adsorbé ▶ Écoulement hydraulique (fractures) ▶ Diffusion (matrice, micro- et méso-pores) + Désorption (surfaces microporeuses, cleats)	

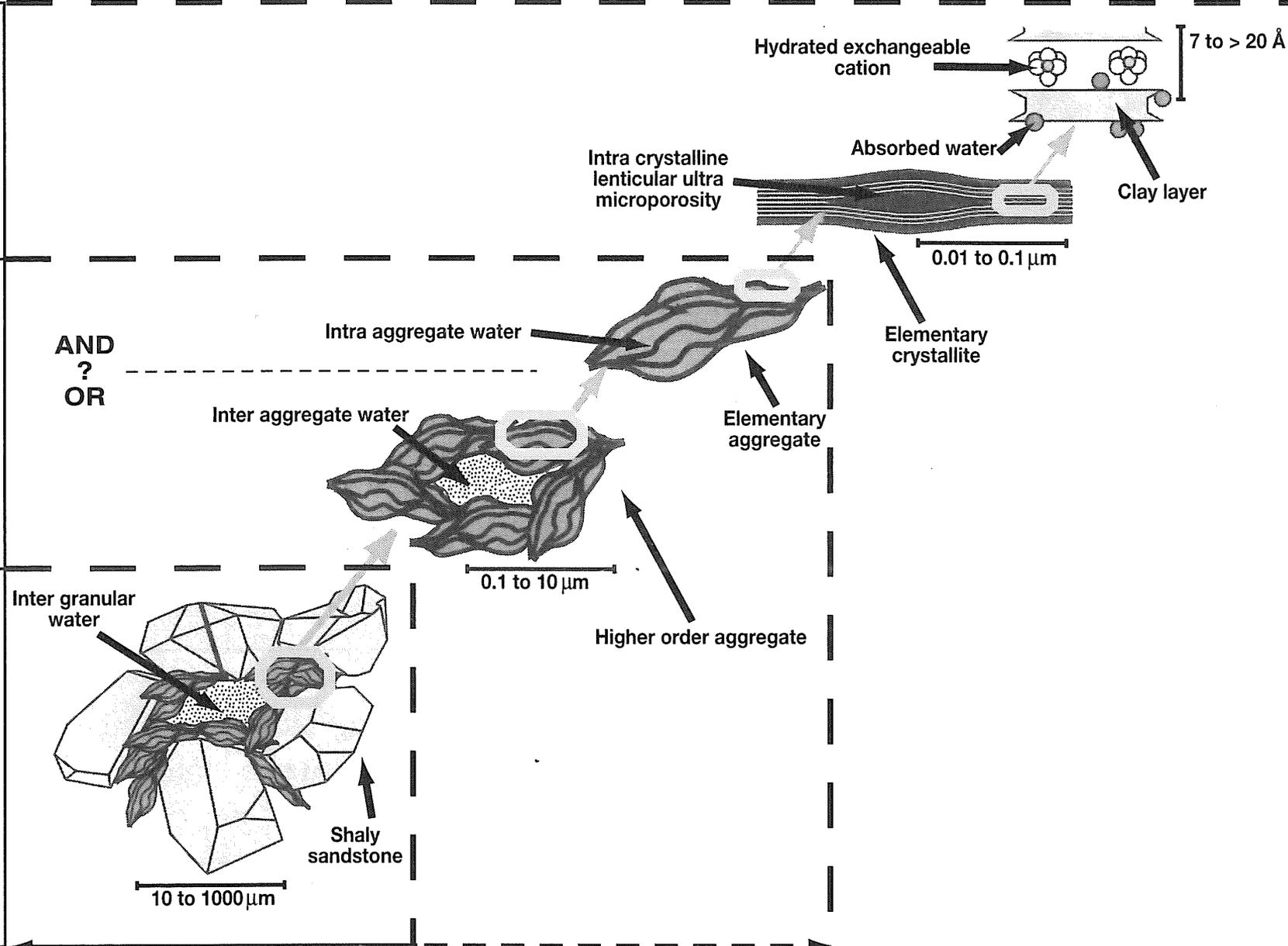


**Merci de votre
attention**

"Bonded Water"
(dual water model)

Clay capillary
Water

Effective Volume
"Free Water"

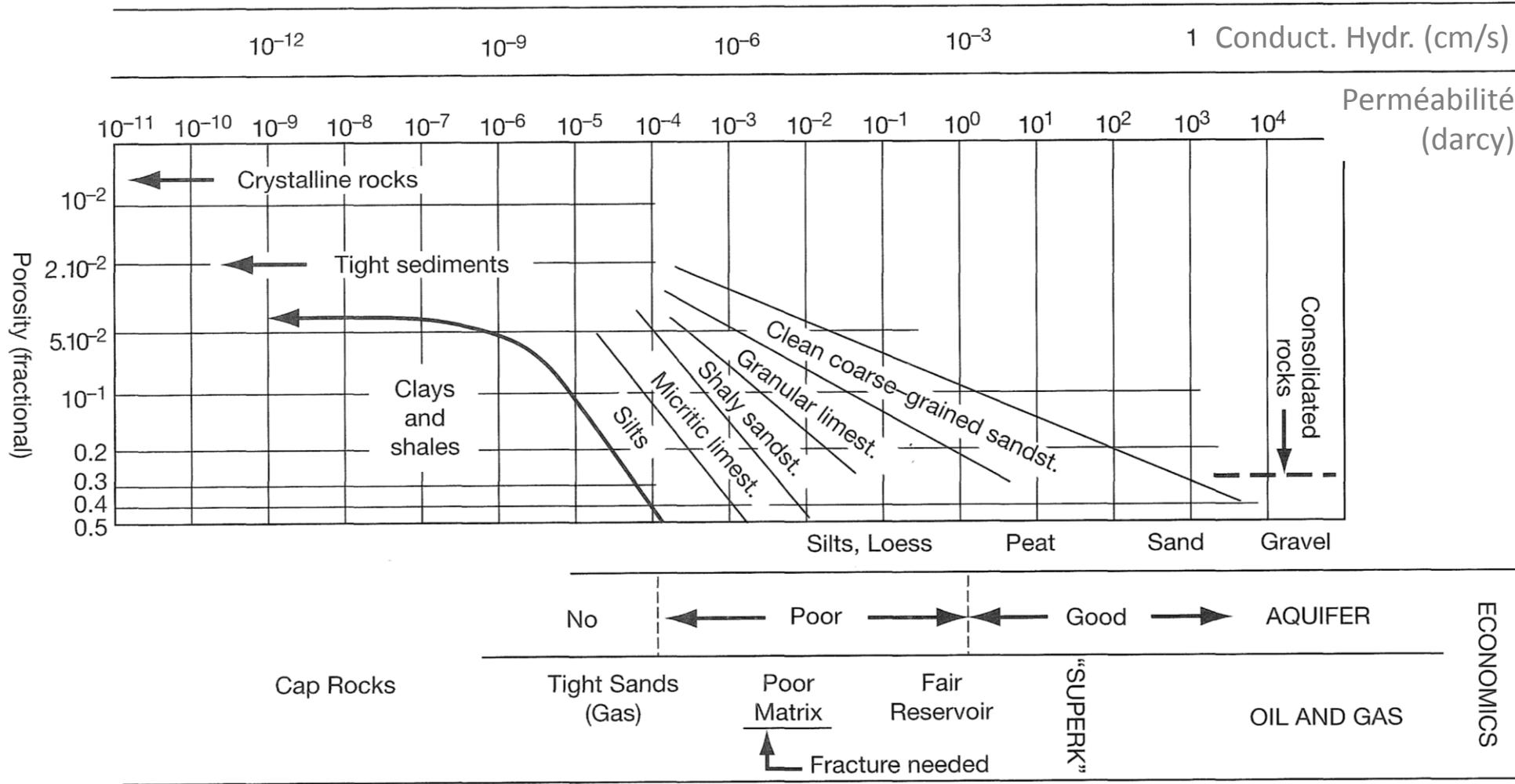


Mercury Porosimetry (Jurin Formula)

Drying-Imbibition under controlled humidity (Kelvin Formula)

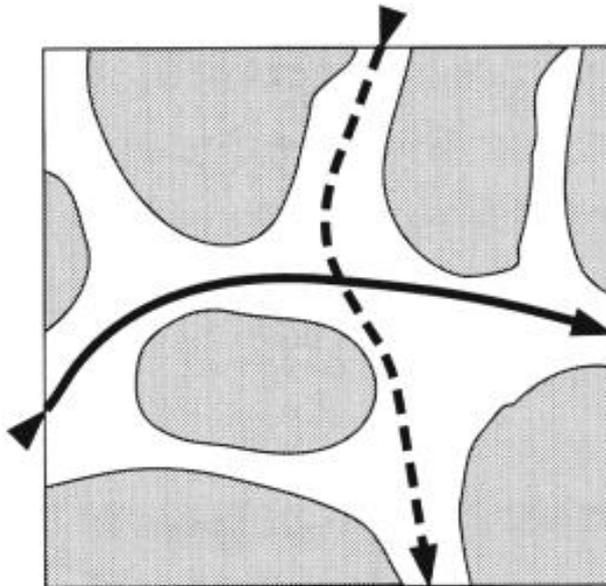
LABORATORY MEASUREMENT TECHNIQUES

Perméabilité des réservoirs



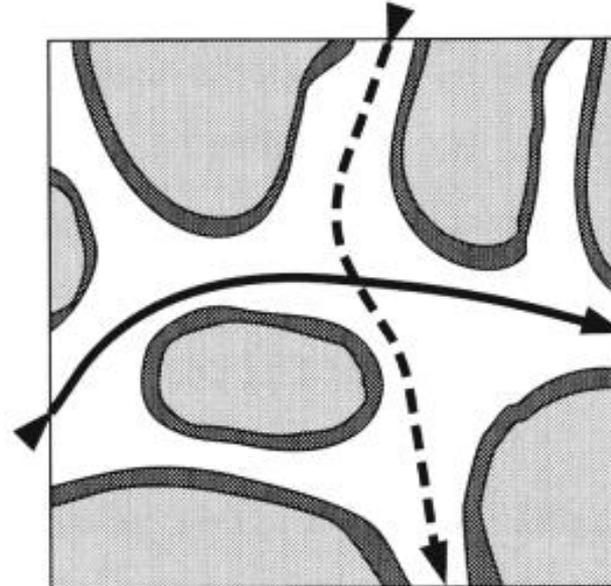
Lorsque les argiles s'en mêlent

Porosity 36%
Horiz Perm 1000 md
Vert Perm 600 md



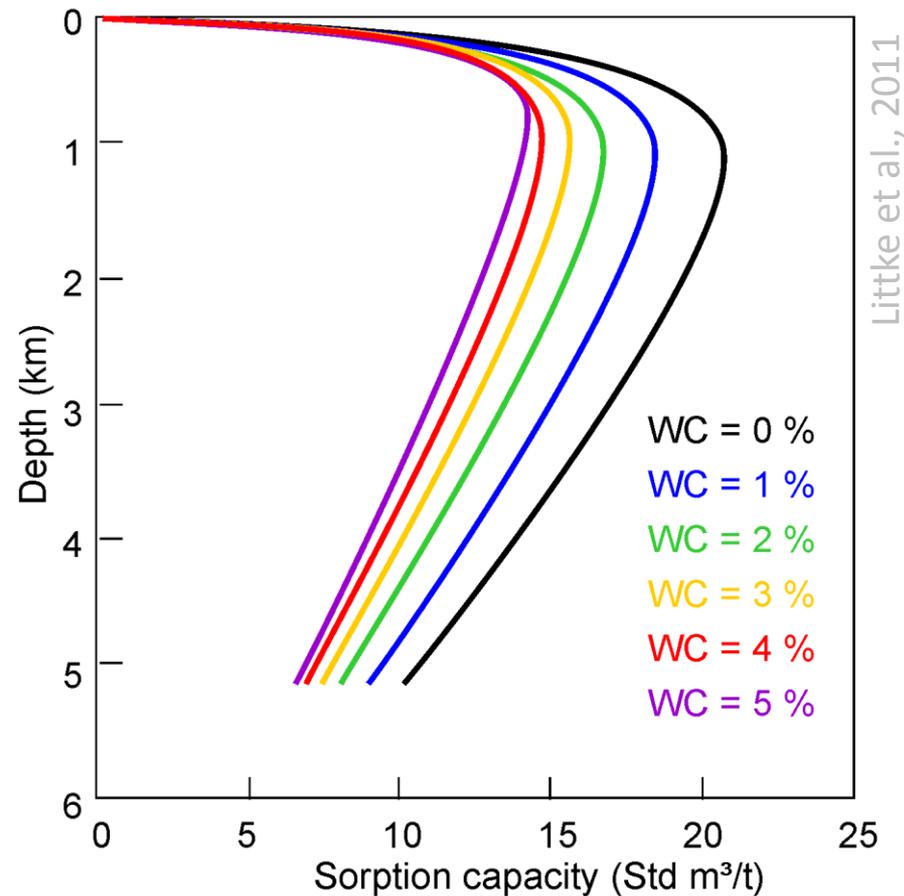
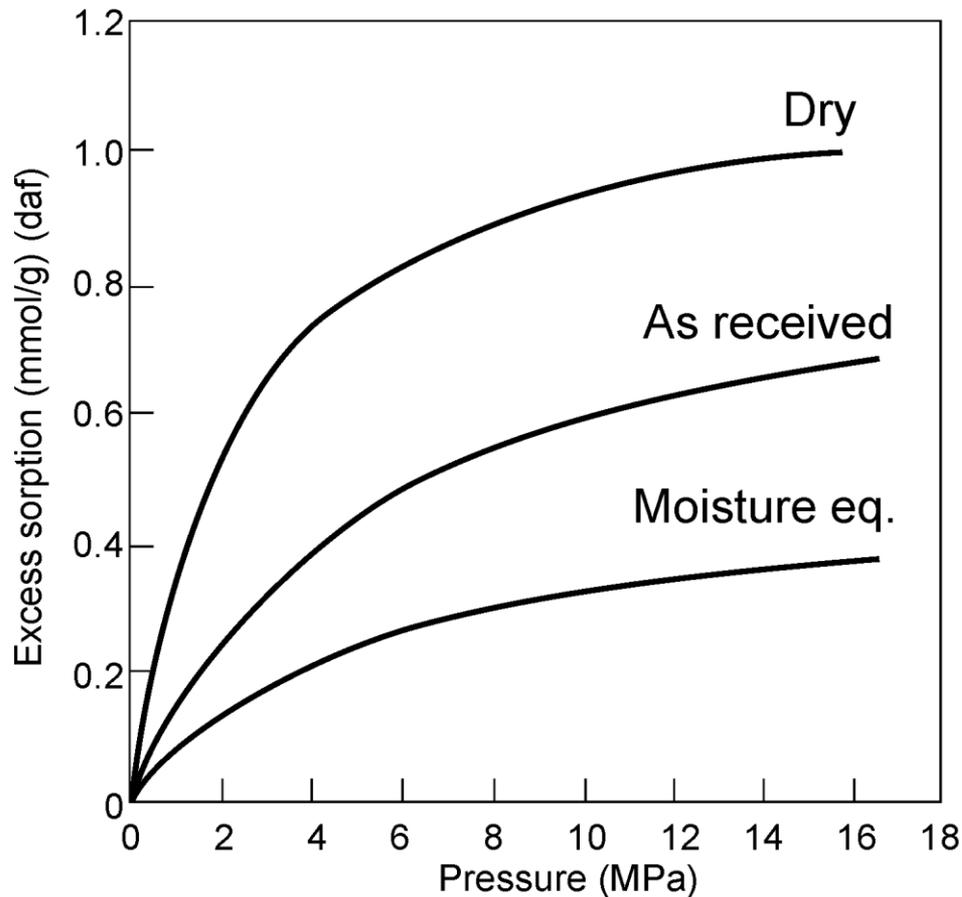
Sand Grains without Clay
Cementing Material

Porosity 20%
Horiz Perm 100 md
Vert Perm 25 md



Sand Grains with Clay
Cementing Material

L'eau influence considérablement les capacités d'adsorption



Littke et al., 2011

Avec la profondeur, la porosité et le contenu en gaz adsorbé diminuent

