

Réunion technique du CFMR du 06-10-2005

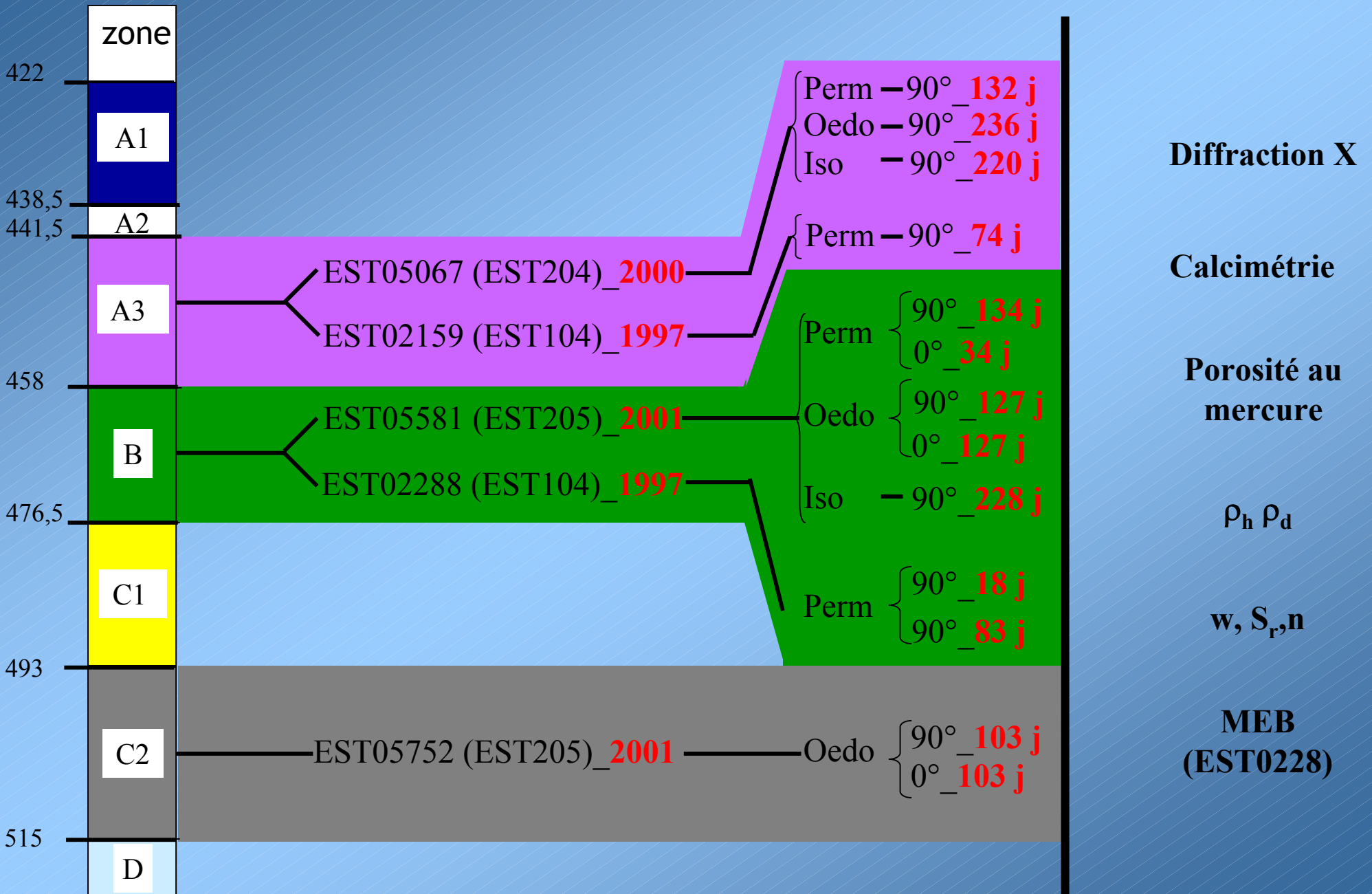
***Expérimentation en laboratoire : limites actuelles de
mise en œuvre et d'interprétation ?***

**Mesures expérimentales de la perméabilité et du
coefficient d'emmagasinement spécifique des
argilites de Meuse/Haute-Marne en conditions
saturées : mesures de très faibles perméabilités
par pulse test**

Sandra Escoffier

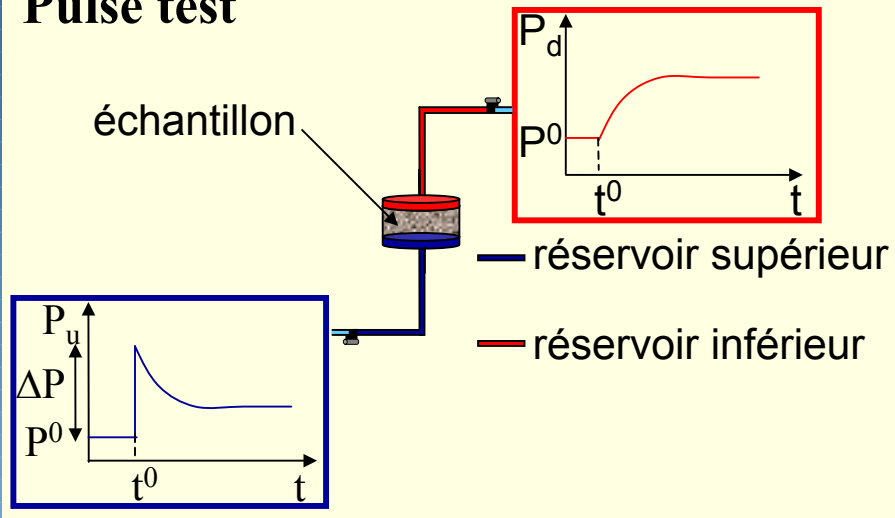
Jeudi 6 octobre 2006, Ecole des Mines de Paris

Programme expérimental et caractérisation physique



Mesures de perméabilité

Pulse test



$$\frac{\partial P}{\partial t} = D_h \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}$$

$$D_h = \frac{K_h}{S_s}$$

⇒ Brace (1968) ⇒ S_s négligeable

⇒ Hsieh *et al.* (1981)

$$\frac{P_u(\alpha) - P^0}{\Delta P} = \frac{1}{1 + \beta + \gamma} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\exp(-\alpha \phi_m^2) (\beta + \gamma^2 \phi_m^2 / \beta)}{\gamma^2 \phi_m^4 / \beta^2 + (\gamma^2 \beta + \gamma^2 + \gamma + \beta) \phi_m^2 / \beta + (\beta^2 + \gamma \beta + \beta)}$$

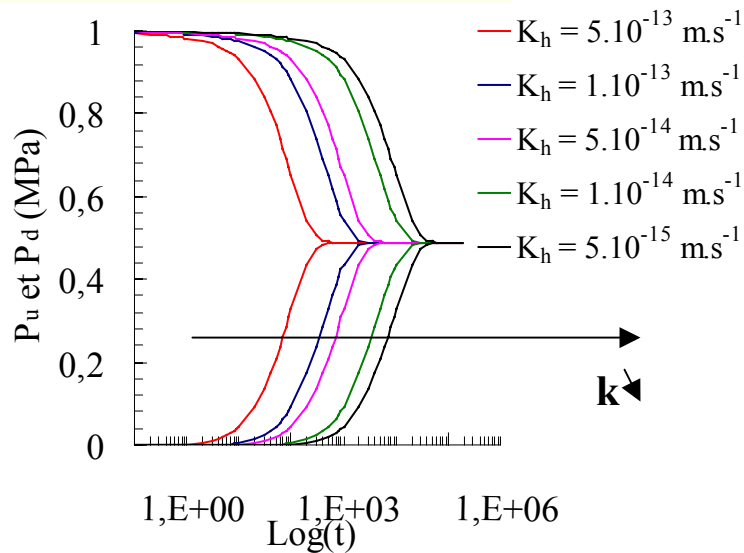
$$\alpha = \frac{K_h t}{h^2 S_s}$$

$$\beta = \frac{S_s A h}{S_u}$$

$$\tan \phi = \frac{(1 + \gamma) \phi}{\gamma \phi^2 / \beta - \beta}$$

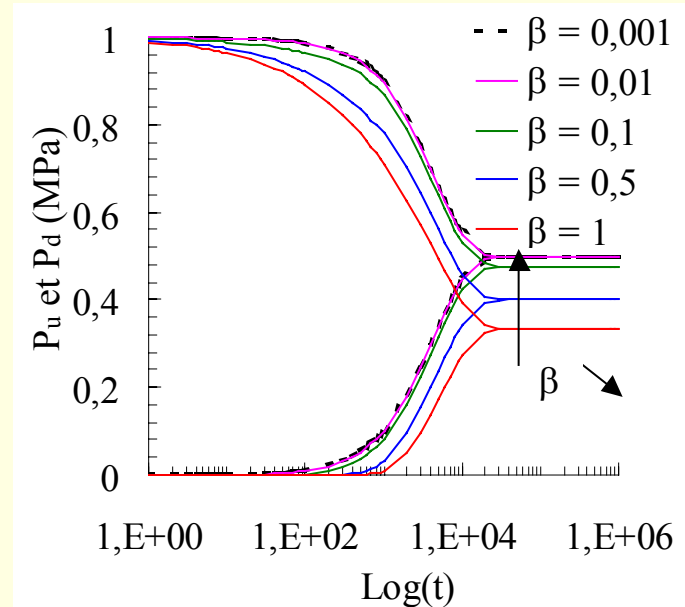
Dimensionnement

Emmagasinement : volume de fluide à injecter pour augmenter la pression d'une unité



Emmagasinement / perméabilité

S_s fixé ; dimensions données
 $\gamma = 1$; $P^0 = 0 \text{ MPa}$, $\Delta P = 1 \text{ MPa}$



Emmagasinement / β

k fixé ; $\gamma = 1$; $P^0 = 0 \text{ MPa}$, $\Delta P = 1 \text{ MPa}$

➔ **OBJECTIF : obtenir des mesures pertinentes dans un temps raisonnable**

➔ **MOYEN : L'emmagasinement des réservoirs doit être adapté à k et S_s supposés *a priori***

Dimensionnement

1981 : NEUZIL

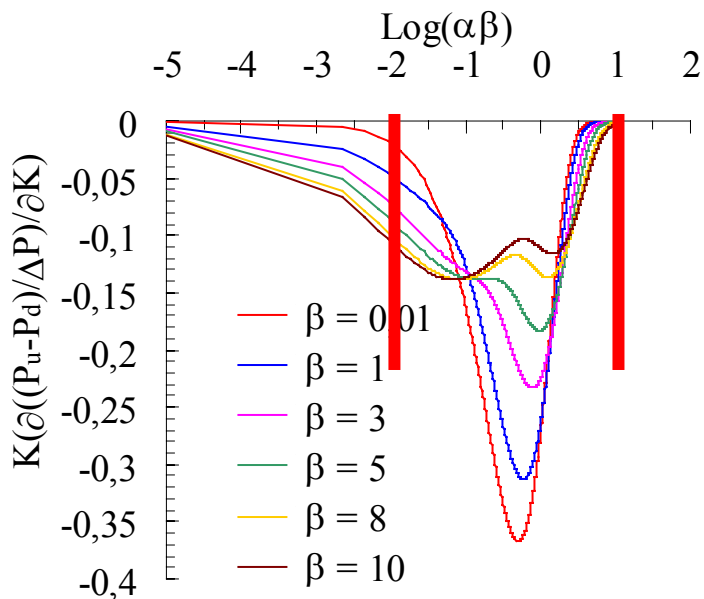
La conductivité hydraulique, K_h , et le coefficient d'emmagasinement spécifique de la roche, S_s , pourront être déterminés pour

$$0,01 < \beta = S_s Ah / S_u < 10$$

1993 : WANG

Pour des petites valeurs de β (0,001) \Rightarrow sensibilité de K_h maximale $\gg \gg$ sensibilité de S_s

Pour des valeurs de β + grandes \Rightarrow sensibilité de $S_s * 100$ et sensibilité de $K_h / 3$



temps d'acquisition

ex : $k = 10^{-21} \text{ m}^2$

$$S_u = 5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

18 h – 76 j

$$S_u = 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$$

10 min – 18 h

Méthodes de traitement

↳ **Méthode directe** → Méthode graphique (Neuzil, 1998) – Utilisation d’abaques

↳ **Méthode inverse** ← { Rapidité du traitement
élimine le caractère subjectif du traitement

Problème de minimisation →

$$\chi^2(\underline{x}) = \sum_{i=1}^M \frac{f^*(t_i) - f(t_i, \underline{x})}{1}$$

$\underline{x} : (K_h, S_s)$

Méthode de Levenberg-Marquardt

Calculs requis →

$$\frac{\partial P(K_h, S_s)}{\partial K_h}$$

$$\frac{\partial P(K_h, S_s)}{\partial S_s}$$

$$\tan \phi = \frac{(1 + \gamma)\phi}{\gamma\phi^2 / \beta - \beta}$$

Pb de diffusion adimensionnel



Résolution + dérivation : transformées de Laplace



Algorithme de Stehfest

Pb de diffusion adimensionnel



Résolution + **développement en série**

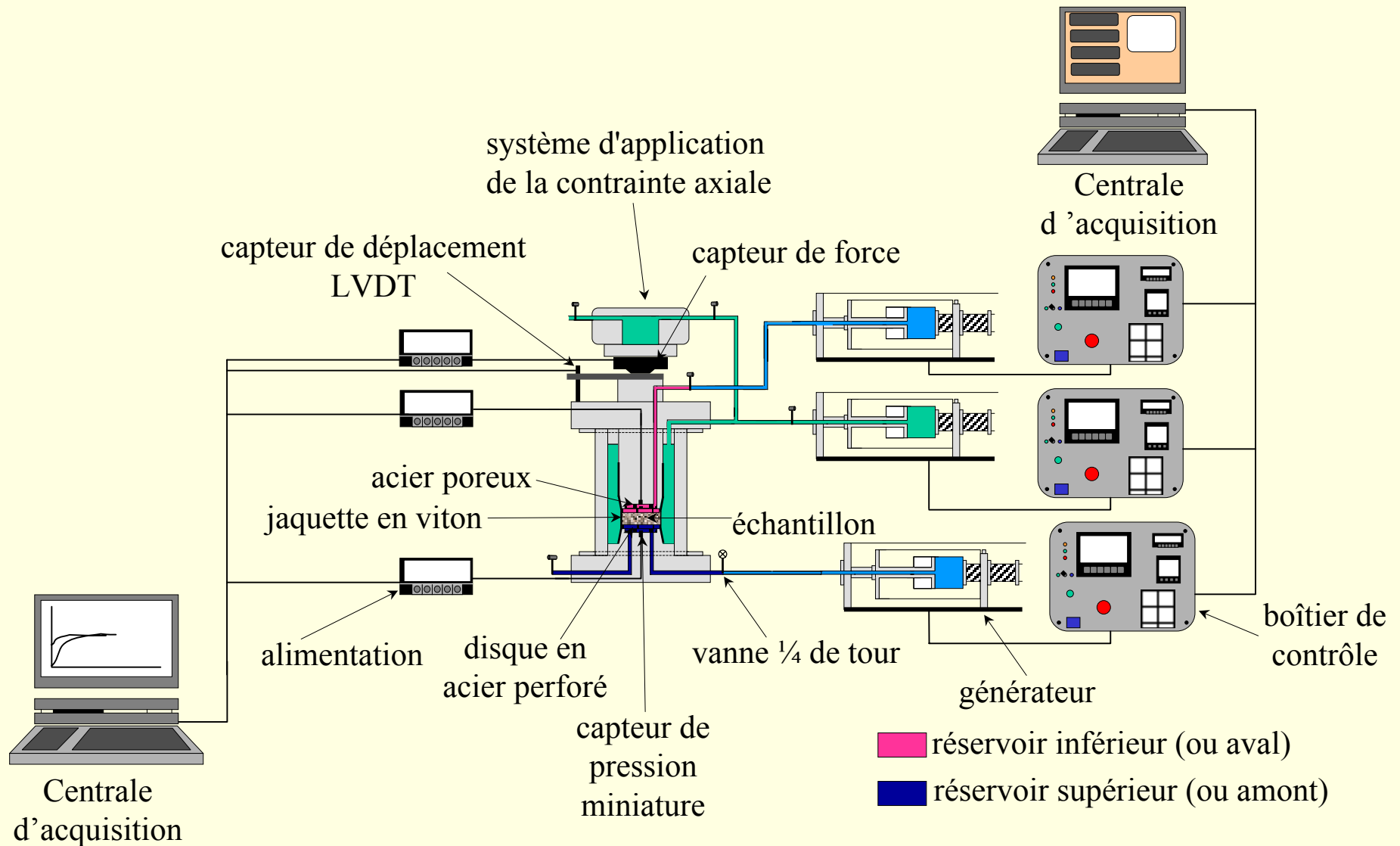


Dérivation dans le domaine temporel

MAIS

Instabilité aux temps petits

Essais – Dispositif expérimental



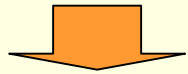
Essais – Protocole expérimental

Mise sous contrainte et saturation

σ_{iso}^0 et P^0

$V = 0,01$ MPa/min

Critères : P , V_{fl} , ϵ_{ax}

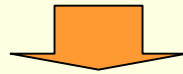


Isolement – mesure de perméabilité

σ_{iso}^0 et P^0

Stabilité : critères : P , ϵ_{ax}

Pulse test : $\Delta P \cong 10\%$ de P^0

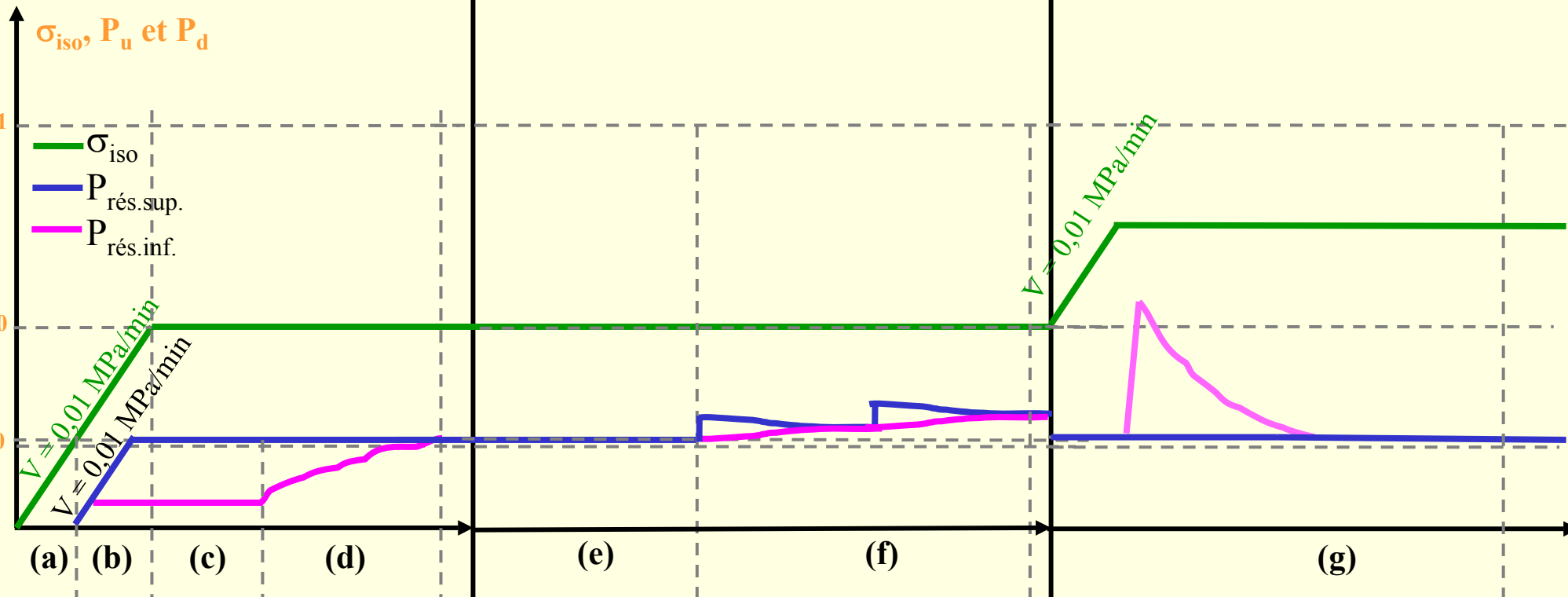
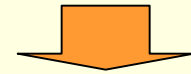


Changement d'état des contraintes

$\sigma_{iso}^0 \rightarrow \sigma_{iso}^1$ à $P^0 = c^{te}$

$V = 0,01$ MPa/min

Critères : P , V_{fl} , ϵ_{ax}



Essais - Déroulement

Essai préliminaire EST02288-1 → Saturation : $\sigma^0 = 10 \text{ MPa}$, $P^0 = 4 \text{ MPa}$ → Isolement → $\uparrow P : 4 \rightarrow 7 \text{ MPa}$ → Fluage ?
 Gonflement ?

| EST02288-2 | | EST02159-1 | | EST05067-1 | | EST05581-1 | | EST05581-2 | |
|--|--|--|--|---|--|--------------------------------|--|-----------------------------|--|
| $\sigma^0 = 4 \text{ MPa}$; $P^0 = 1 \text{ MPa}$ | | | | | | | | | |
| Gonflement 0,044 % | | - | | - | | Gonflement 0,001 % | | Éprouvette fendue | |
| 15 j | | 35 j | | 21 j | | ?j (fuite) | | - | |
| σ^0 8, 15 MPa | | σ^0 10, 20 MPa | | σ^0 10, 20 MPa | | σ^0 20 MPa | | σ^0 10 MPa | |
| $\uparrow P$ v : 0,06 à 0,13 MPa/j | | $\uparrow P$ v : 0,038 à 0,12 MPa/j | | $\uparrow P$ v : négl. à 0,002 MPa/j | | $\uparrow P$ v : 0,05 MPa/j | | $\uparrow P$ très faible | |

→ Mesure de ϵ_{ax} ⇒ ne permet pas de mettre en évidence le ou les phénomènes activés

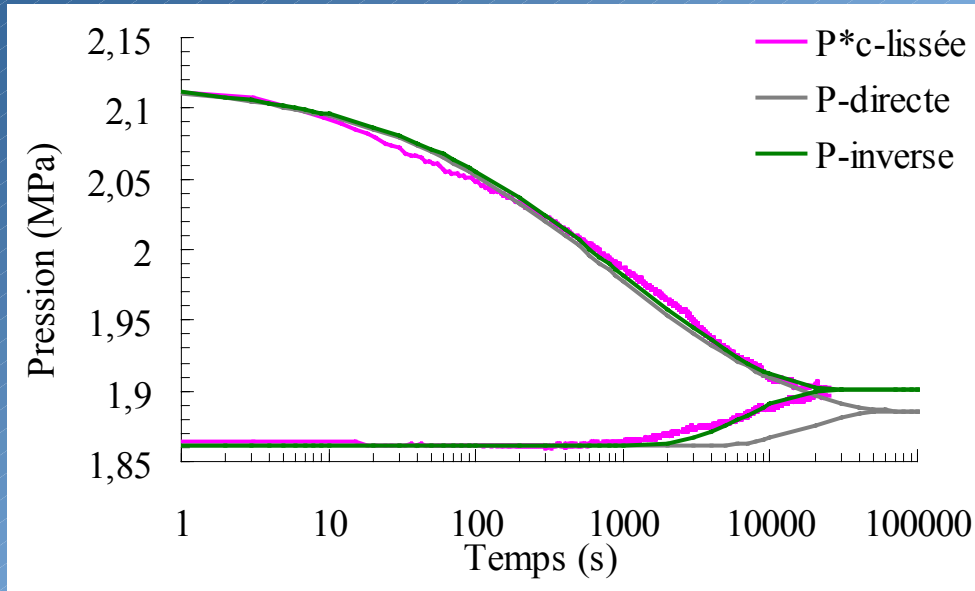
→ Sous σ fixé et pour $[P^0 - P^f] \rightarrow v = c^{te}$

→ Pour $\sigma_1 < \sigma_2 \rightarrow v(\sigma_1) < v(\sigma_2)$ → Accélération de la cinétique

→ Accélération de l'effet ⇐ diminution du volume poreux

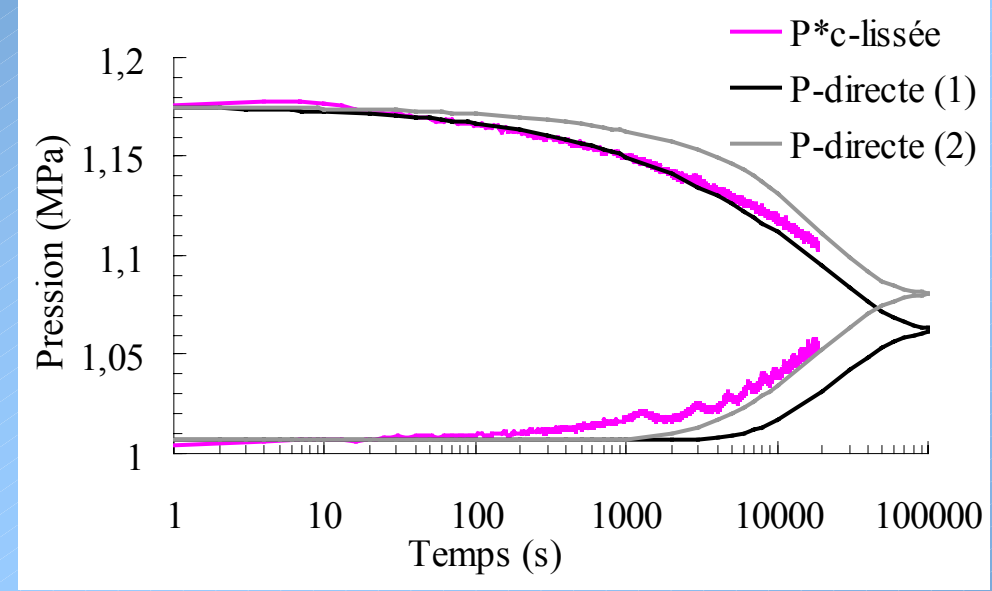
→ Test d'étanchéité ⇒ corrosion de l'acier inoxydable

Essais – Résultats



EST02288-2

- Courbe expérimentale / courbes théoriques :
même allure
- Méthode inverse / méthode directe :
meilleur ajustement



EST05067-1

- Décalage expérimental / théorique :
présence d'une écaille
- Méthode inverse / méthode directe :
ajustement moins convainquant

Efficacité

Non subjectif ⇒ garant supplémentaire de la validité des pulse tests

$$\begin{aligned} 2,1 \text{ MPa} &\geq \sigma_{\text{iso}} - P \geq 19,2 \text{ MPa} \\ 4 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2 &\geq k \geq 0,27 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2 \\ 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1} &\geq S_s \geq 0,08 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

Conclusions

Courbes expérimentales / courbes théoriques

Méthode inverse : efficacité/garant supplémentaire

Pas de réelle évolution de k et S_s pour la plage de σ'_{iso} étudiée

Des défis

Caractérisation sous chargement

Caractérisation en non saturé