



cea



ALLIANCES

Simulation Platform
For Nuclear Waste Repository



Modèles et besoins numériques en THM

Journées scientifiques du GdR Momas

7 octobre 2004, Univ. Paris 6

C. Chavant EDF/R&D AMA

Les besoins de modélisation en THM



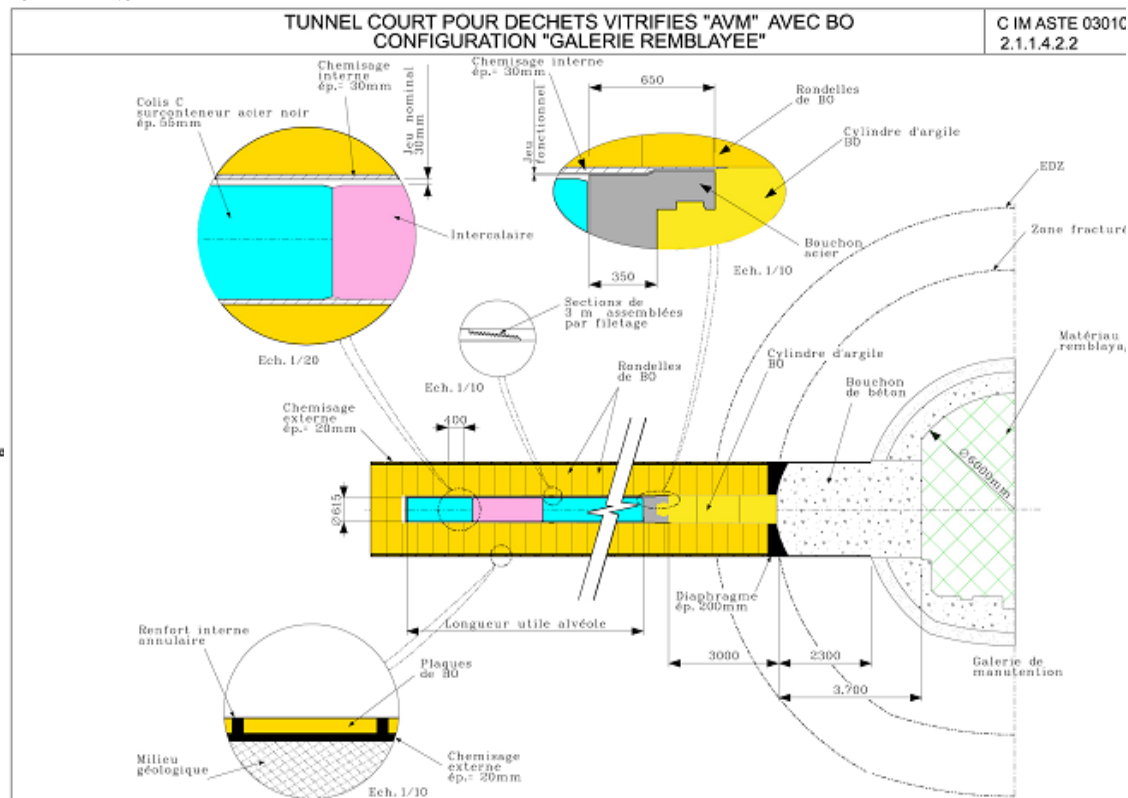
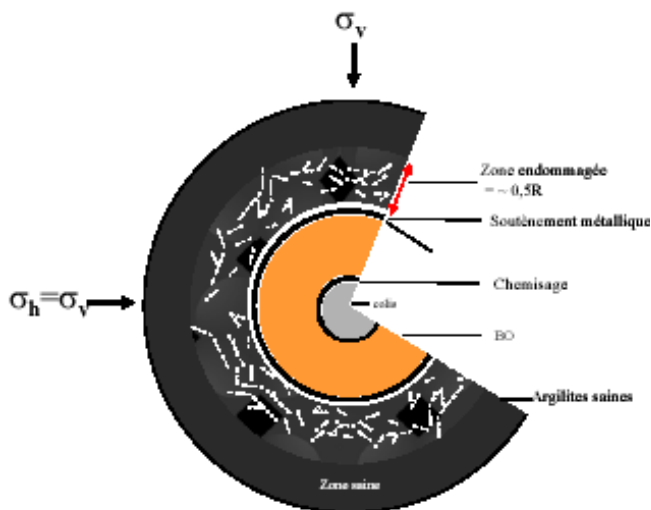
➤ Au niveau de l'alvéole, des galeries et des modules



➤ Entre 0 et 10 000 ans



Electricité de France



Les principales mécanismes à modéliser



- ✓ 1. L'extension des zones fracturées et micro-fissurées (EDZ),
- ✓ 2. L'effet de l'échauffement des déchets sur l'évolution de l'EDZ,
- ✓ 3. L'effet du comportement différé de la roche hôte sur l'évolution de l'EDZ,
- ✓ 4. L'effet de la dégradation et de la corrosion des matériaux, sur jeux et roche
- ✓ 5. L'effet de la désaturation et la resaturation de la BO sur jeux et roche fermeture/ouverture des jeux
- ✓ 6. L'évolution de l'état mécanique et hydrique/hydraulique de l'argile gonflante et des bouchons en béton dans le temps.

Les différents couplages



Creusement



Endommagement



Variation perméabilité

H-M saturé



ANDRA



**Drainage/
Ventilation**



Séchage



Fissuration

H-M non saturé

BO



Resaturation



gonflement

Colis



Dilatation Séchage



Fissuration/ Variation perméabilité

T-H-M non saturé

Convection dans les jeux



- **Trois composants : 1 solide, 2 fluides**
(eau- air ou eau-hydrogène...)
- **Trois phases : solide, liquide, gaz**
- **Quatre inconnues principales : déplacements, pressions**
(de gaz et d'eau), température
- **Les équations de conservation :**
 - ✓ Quantité de mouvement
 - ✓ Masse d'eau
 - ✓ Masse d'air (ou hydrogène)
 - ✓ Energie
- **Les équations de comportement :**
 - ✓ Mécanique : contraintes-pressions=f(déformation)
 - ✓ Hydrauliques : vitesse = f(pression,concentration)
 - ✓ Thermiques : entropie, dissipation

Equations de conservation(1)



➤ Conservation de la masse du fluide 1(eau)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_w(1 + \varepsilon_V)\varphi S_{lq}) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho_{vp}(1 + \varepsilon_V)\varphi(1 - S_{lq})) + Div(\mathbf{M}_w + \mathbf{M}_{vp}) = 0$$

$$\rho_w(p_w, T); S_{lq}(p_w - p_{gz}); \varepsilon_V(\mathbf{u}); \varphi(\mathbf{u}); \rho_{vp}(p_{vp}, T); \mathbf{M}_w(\nabla p_w); \mathbf{M}_w(\nabla p_{gz})$$

➤ Conservation de la masse du fluide 2(air ou hydrogène ou ...)

$$(\rho_{as}(1 + \varepsilon_V)\varphi(1 - S_{lq})) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho_{ad}(1 + \varepsilon_V)\varphi S_{lq}) + Div(\mathbf{M}_{as} + \mathbf{M}_{ad}) = 0$$

$$\rho_{as}(p_{as}, T); S_{lq}(p_w - p_{gz}); \varepsilon_V(\mathbf{u}); \varphi(\mathbf{u}); \rho_{ad}(p_{ad}, T); \mathbf{M}_{as}(\nabla p_{as}); \mathbf{M}_w(\nabla p_{ad})$$



➤ Conservation de la quantité de mouvement

$$\text{Div}(\sigma) + r\mathbf{F}^m = 0$$

$$\sigma(\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}), \pi(p_{lq} = p_w + p_{ad}, p_{gz} = p_{vp} + p_{as}, S_{lq}))$$

➤ Conservation de l'énergie

$$\sum_{i=w, vp, as, ad} h_i^m \frac{\partial}{\partial t} (\rho_i (1 + \varepsilon_V) \varphi S_i) + \frac{\partial}{\partial t} Q' + \sum_{i=w, vp, as, ad} \text{Div}(h_i^m \mathbf{M}_i) + \text{Div}(\mathbf{q}) = \Theta$$

$$h_i^m(p_i, T); Q'(T); \mathbf{q}(\nabla T)$$

Equations de comportement(1)



➤ Transport des fluides



ANDRA



EDF

Electricité de France

$$\frac{\mathbf{M}_w}{\rho_w} = \lambda_{lq}^H (-\nabla p_{lq} + \rho_{lq} \mathbf{F}^m)$$

$$\frac{\mathbf{M}_{ad}}{\rho_{ad}} = \lambda_{lq}^H (-\nabla p_{lq} + \rho_{lq} \mathbf{F}^m) - F_{ad} \frac{\nabla \rho_{ad}}{\rho_{ad}}$$

$$\frac{\mathbf{M}_{vp}}{\rho_{vp}} = \lambda_{gz}^H (-\nabla p_{gz} + \rho_{gz} \mathbf{F}^m) - \left(1 - \frac{p_{vp}}{p_{gz}}\right) F_{vp} \nabla \frac{p_{vp}}{p_{gz}}$$

$$\frac{\mathbf{M}_{as}}{\rho_{as}} = \lambda_{gz}^H (-\nabla p_{gz} + \rho_{gz} \mathbf{F}^m) + \frac{p_{vp}}{p_{gz}} F_{vp} \nabla \frac{p_{vp}}{p_{gz}}$$

$$\lambda_{lq}^H(S_{lq}, T) \approx O(S_{lq}^3) \text{ quand } S_{lq} \rightarrow 0$$

$$\lambda_{gz}^H(S_{lq}, T) \approx O((1 - S_{lq})^3) \text{ quand } S_{lq} \rightarrow 1$$

$$F_{vp}(S_{lq}, T, p_{gz}); F_{ad}(S_{lq}, T, p_w)$$

➤ Equilibre des phases

➤ Équilibre eau/vapeur

$$g_{vp}^m(p_{vp}, T) = g_w^m(p_w, T)$$

➤ Dissolution

$$p_{ad} = \frac{p_{as}}{K_H} RT$$

$$K_H(T, \rho_{ad})$$

Equations de comportement (2)



- Diffusion thermique

$$q = -\lambda^T \nabla T$$

$$\lambda^T(S_{lq}, T)$$



- Lois d'état des fluides

$$\rho_i(p_i, T); h_i^m(p_i, T) \quad i = w, vp, as, ad$$

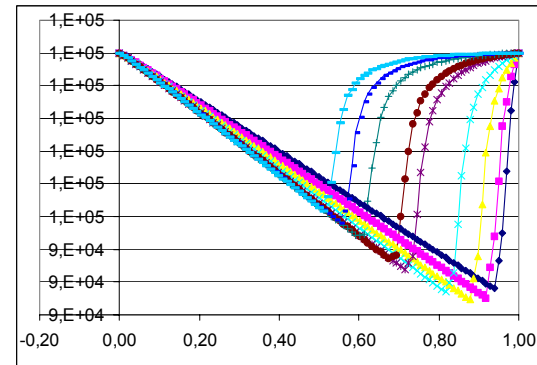
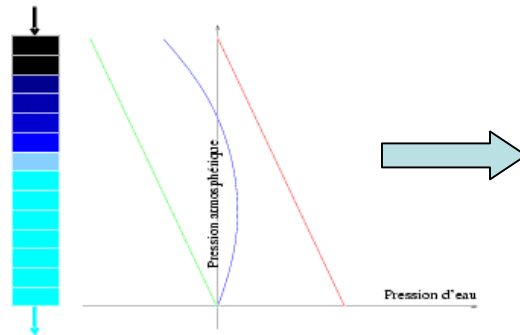
- La relation capillaire

$$S_{lq}(p_w - p_{gz})$$

Quelques difficultés numériques

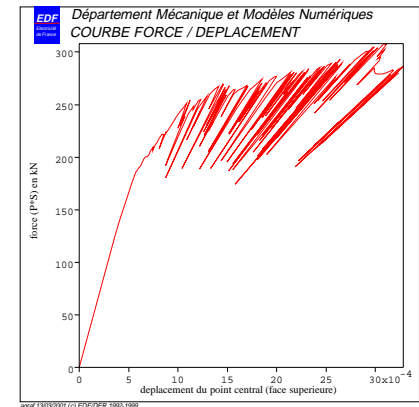
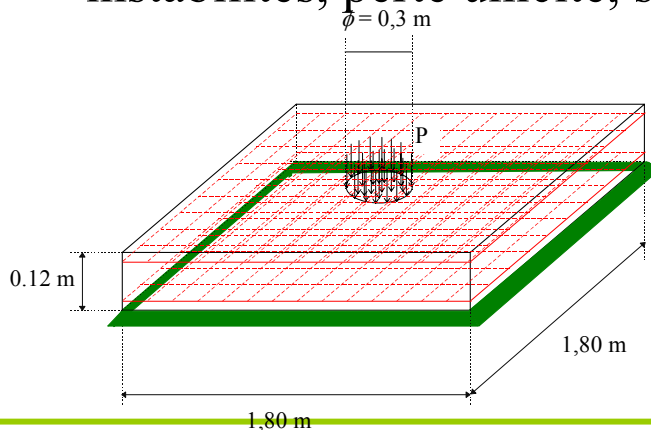
CEA ➤ **Non linéarités -> passage parabolique hyperbolique : fronts**

✓ Vidange d'une colonne



➤ **Comportement fragile**

✓ -> instabilités, perte unicité, snapback



Simulation de l'essai CRT (Canister Retrieval Test)



➤ Essais echelle 1 site granitique

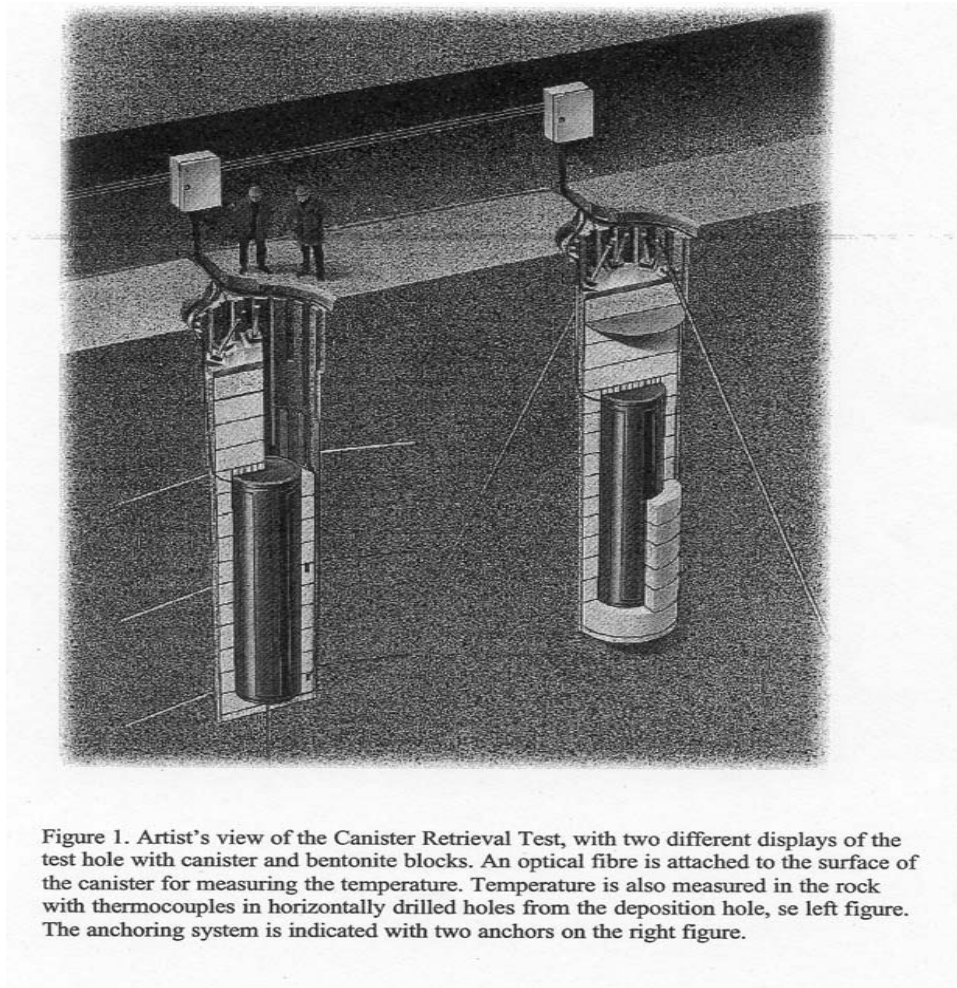
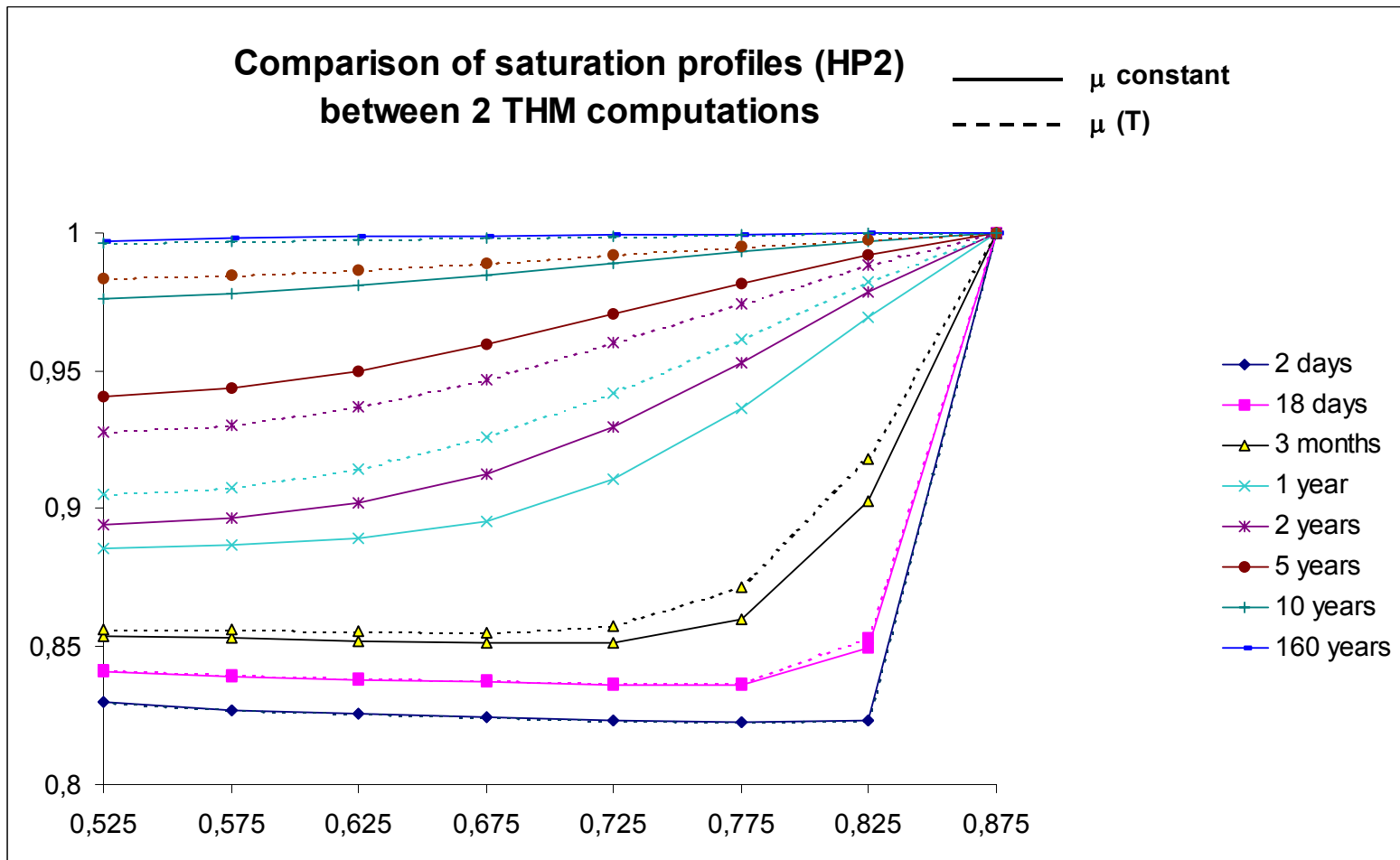


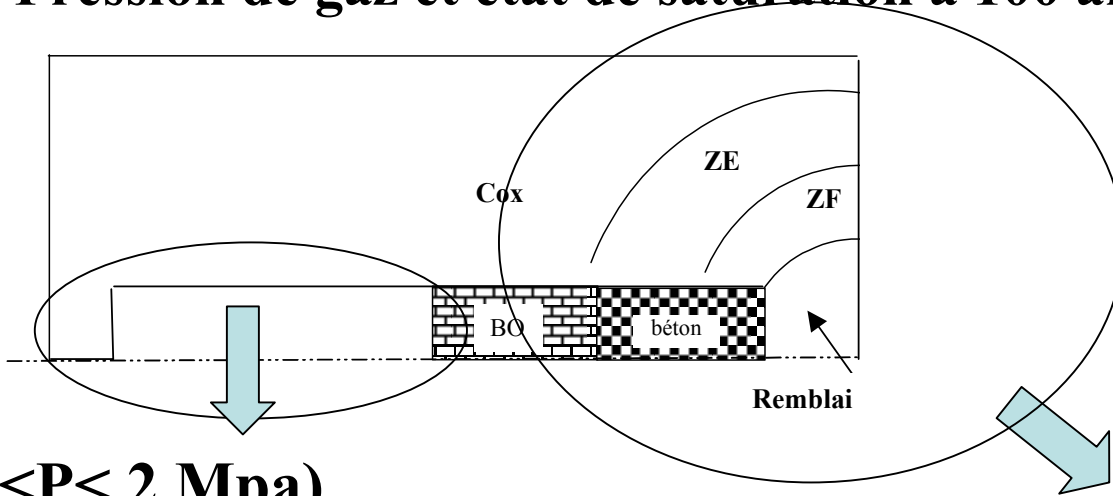
Figure 1. Artist's view of the Canister Retrieval Test, with two different displays of the test hole with canister and bentonite blocks. An optical fibre is attached to the surface of the canister for measuring the temperature. Temperature is also measured in the rock with thermocouples in horizontally drilled holes from the deposition hole, see left figure. The anchoring system is indicated with two anchors on the right figure.



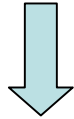
➤ Influence variation viscosité température



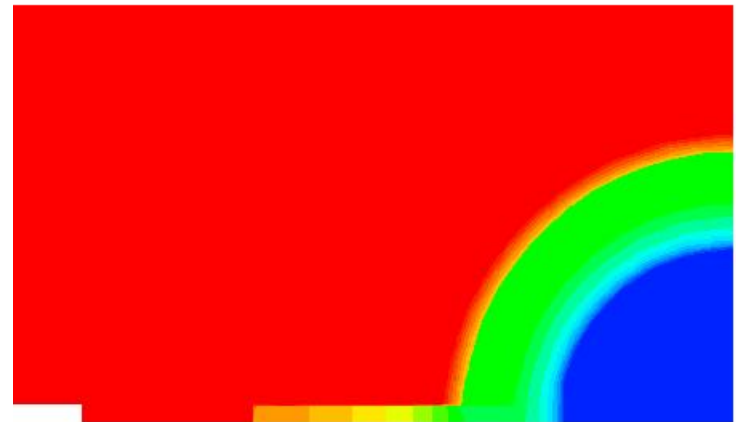
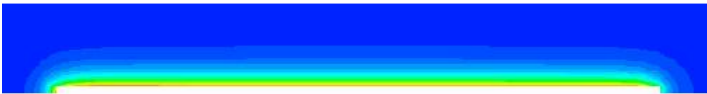
➤ Pression de gaz et état de saturation à 100 ans



$P_{\text{gaz}} (0 < P < 2 \text{ Mpa})$



Saturation ($0,1 < S < 1$)



➤ Simulation d'une excavation

- ✓ Couplé hydro(saturé)-méca
- ✓ Perméabilité fonction endommagement ; loi méca adoucissante

Évolution de la zone de localisation

