

## WTNA110 – Modélisation axisymétrique du gonflement d'une argile avec le modèle GONF\_ELAS

---

### Résumé :

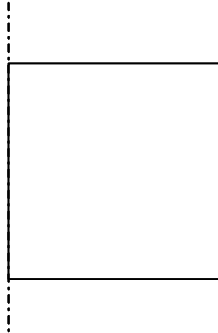
Ce test permet de valider le modèle dit « GONF\_ELAS » qui a été développé par Dashnor Hoxha (LAEGO) et a été utilisé et validé dans le cadre d'un benchmark sur la modélisation des alvéoles de déchets C 5.2. Ce modèle élastique non linéaire dépendant de la succion, décrit le comportement gonflant de certains types d'argile. Typiquement il est utilisé pour modéliser le comportement des bouchons d'argile compacté - ou bentonite - utilisés pour fermer les alvéoles de stockage de déchets radioactifs.

Ce modèle est écrit en fonction du couple de variables suivant : la contrainte nette et la succion (la succion est la pression capillaire).

Ce test représente la pression de gonflement d'une cellule d'argile que l'on remplit d'eau. La géométrie est ici axisymétrique.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



hauteur :  $h = 1 \text{ m}$

largeur (rayon):  $l = 1 \text{ m}$

### 1.2 Propriétés du matériau

Propriétés élastiques :

$$E = 150 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\nu = 0.3$$

Paramètres spécifiques au modèle *GONF\_ELAS* :

- $\beta_m = 0,1142$
- Pression de référence  $A = 1 \text{ Mpa}$

Propriétés hydrauliques :

|                           |                                                                    |                    |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Eau liquide               | Masse volumique ( $\text{kg.m}^{-3}$ )                             | $1 \cdot 10^3$     |
|                           | Chaleur à pression constante ( $\text{J.K}^{-1}$ )                 | 4180               |
|                           | coefficient de dilatation thermique du liquide ( $\text{K}^{-1}$ ) | $10^{-4}$          |
|                           | Compressibilité ( $\text{Pa}^{-1}$ )                               | $5 \cdot 10^{-10}$ |
|                           | Viscosité ( $\text{Pa.s}$ )                                        | $10^{-3}$          |
| Gaz                       | Masse molaire ( $\text{kg.Mol}^{-1}$ )                             | 0,002              |
|                           | Chaleur à pression constante ( $\text{J.K}^{-1}$ )                 | 1000               |
|                           | Viscosité ( $\text{Pa.s}$ )                                        | $9 \cdot 10^{-6}$  |
| Squelette                 | Capacité calorifique à contrainte constante ( $\text{J.K}^{-1}$ )  | 1000               |
| Constantes                | Constante des gaz parfaits                                         | 8,315              |
| Coefficients homogénéisés | Masse volumique homogénéisée ( $\text{kg.m}^{-3}$ )                | 2000               |
|                           | Coefficient de Biot                                                | 1                  |

| Paramètres du modèle de Van-Genuchten |                              |           |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------|
|                                       | $N$                          | 1,61      |
|                                       | $Pr(Pa)$                     | $16.10^6$ |
|                                       | $Sr$                         | 0         |
| Etat de<br>référence                  | Porosité                     | 0,366     |
|                                       | Température ( $K$ )          | 303       |
|                                       | Pression capillaire ( $Pa$ ) | 0.        |
|                                       | Pression de gaz ( $Pa$ )     | 10        |

## 1.3 Conditions initiales

A  $t=0$  :

- $P_{gaz} = 1 \text{ atm}$
- $S = 0,5$  (soit  $P_c = 44,7 \text{ Mpa}$  et  $p_w = -44.6 \text{ Mpa}$ )
- Contrainte totale nulle.

## 1.4 Conditions aux limites et chargements

Tous les déplacements sont bloqués au bord (  $DX = DY = 0$  ).

Les flux sont nuls.

La saturation initiale est de 50 % : on augmente la saturation et on suit l'évolution de la contrainte totale. Par définition la pression de gonflement est la contrainte obtenue à resaturation complète.

Pour cela on impose sur l'ensemble du domaine un chargement en pression capillaire décroissant linéairement en 1s entre  $44,7 \text{ Mpa}$  et  $-10 \text{ Mpa}$ .

## 1.5 Bibliographie

1. Gérard, P., Charlier R., Barnichon, J.D., Su, K. Shao, J-F, Duveau, G., Giot, R., Chavant, C. Collin, F. « Numerical modeling of coupled mechanics and gas transfert » Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia, 2008, vol. 38, No. 1, pp. 101-120.

## 2 Modélisation A

### 2.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation Axis\_HH2MS sur 1 maille Quad8.

Coordonnées des nœuds du maillage (unitaire) :

| Noeuds | $X$ | $Y$ |
|--------|-----|-----|
| $N1$   | 0   | 0   |
| $N2$   | 1   | 0   |
| $N3$   | 1   | 1   |
| $N4$   | 0   | 1   |
| $N5$   | 0,5 | 0   |
| $N6$   | 1   | 0,5 |
| $N7$   | 0,5 | 1   |
| $N8$   | 0   | 0,5 |

1 seconde est simulée par 500 pas de temps.

### 2.2 Résultat de la modélisation A

La Figure 2.2-a montre l'évolution de la contrainte totale en fonction de la pression capillaire (homogène en tout point, le post traitement est ici fait au nœud  $N3$ ). Dans la partie saturée ( $P_c \leq 0$ ) la diminution de la pression capillaire correspond à une augmentation de pression d'eau et la contrainte totale croît linéairement. On constate que la pente de la courbe est continue.

Les paramètres  $A$  et  $\beta_m$  ont été calculés 5.2 de manière à retrouver une pression de gonflement de 7MPa . En effet, lorsque la saturation atteint 1 (ou la pression capillaire 0), la pression de gonflement est donnée par la formule suivante :

$$\frac{P_{gf}}{A} = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\beta_m}} + \frac{1}{2\beta_m}$$

On retrouve donc bien l'allure classique de la contrainte de gonflement et on vérifie que la courbe coupe bien l'axe des ordonnées ( $P_c = 0$ ) avec une valeur de 7Mpa .

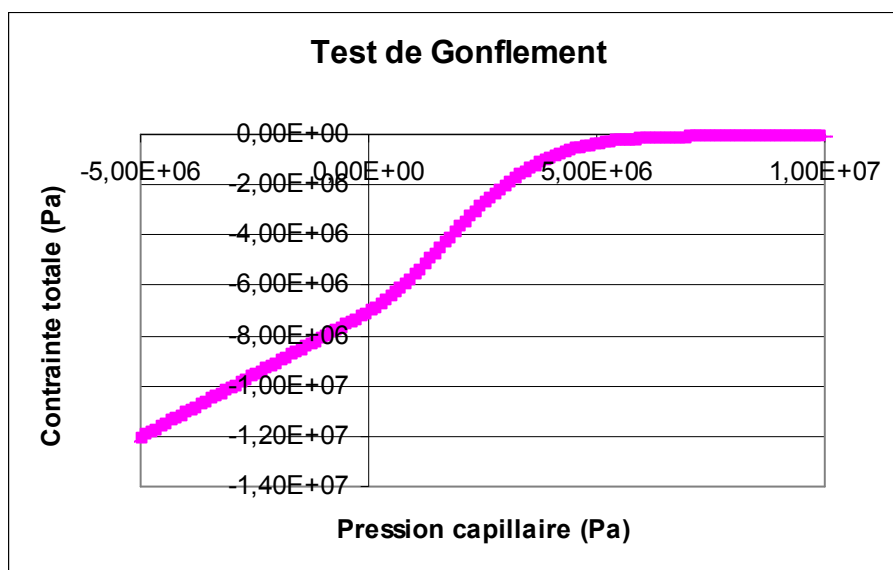


Figure 2.2-a test de gonflement

On rappelle sur la figure l'évolution de la pression capillaire en fonction du temps correspondant au chargement du problème:

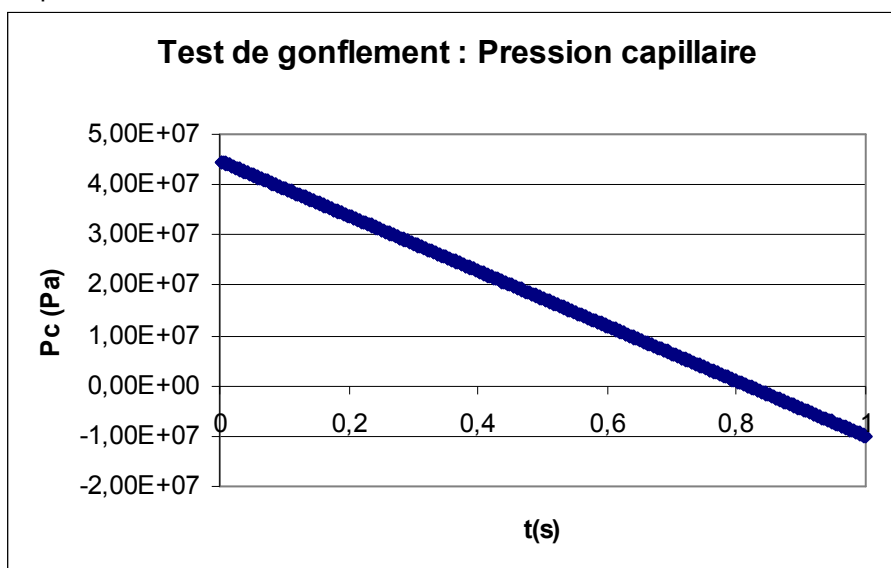


Figure 2.2-b : pression capillaire ( N3 )

## 2.3 Valeurs testées

Ce cas-test n'a pas de valeur de référence, on en fait donc un cas de non régression. On effectue des tests sur deux valeurs :

| $N$ | Temps ( s ) | SIXX Aster            | Erreur relative autorisée<br>( % ) |
|-----|-------------|-----------------------|------------------------------------|
| N3  | 0,6         | $-4,56 \cdot 10^{-4}$ | 0.1%                               |
| N3  | 0.8163      | $-5,67 \cdot 10^{-6}$ | 0.1%                               |

## 3 Modélisation B

---

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Même modélisation que la modélisation A mais en HH2MS, la succion étant imposée les résultats qui en dépendent ne changent pas.

### 3.2 Grandeurs testées et résultats

| <i>N</i>  | Temps ( s ) | <i>SIXX Aster</i>  | Erreur relative autorisée<br>( % ) |
|-----------|-------------|--------------------|------------------------------------|
| <i>N3</i> | 0,6         | $-4,56 \cdot 10^4$ | 0.1%                               |
| <i>N3</i> | 0.8163      | $-5,67 \cdot 10^6$ | 0.1%                               |

## 4 Modélisation C

---

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Même modélisation que la modélisation A mais en THH2MS, la succion étant imposée les résultats qui en dépendent ne changent pas.

### 4.2 Grandeurs testées et résultats

| $N$  | Temps ( s ) | $SIXX$ Aster | Erreur relative autorisée<br>( % ) |
|------|-------------|--------------|------------------------------------|
| $N3$ | 0,6         | $-4,56.10^4$ | 0.1%                               |
| $N3$ | 0.8163      | $-5,67.10^6$ | 0.1%                               |

## 5 Modélisation D

---

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Même modélisation que la modélisation B mais en THHMS, la succion étant imposée les résultats qui en dépendent ne changent pas.

### 5.2 Grandeurs testées et résultats

| <i>N</i>  | Temps ( s ) | <i>SIXX Aster</i>     | Erreur relative autorisée<br>( % ) |
|-----------|-------------|-----------------------|------------------------------------|
| <i>N3</i> | 0,6         | $-4,56 \cdot 10^{-4}$ | 0.1%                               |
| <i>N3</i> | 0.8163      | $-5,67 \cdot 10^{-6}$ | 0.1%                               |