# 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).

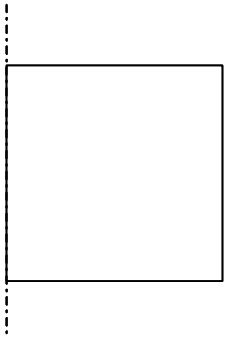
Ce test représente la pression de gonflement d'une cellule d'argile que l'on remplit d'eau. La géométrie est ici axisymétrique.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie



hauteur : $h=1\mathrm{m}$
largeur (rayon): $l=1\,m$

## 1.2 Propriétés du matériau

*Propriétés élastiques :*

$E=150\,10^{6}\,Pa$
$\nu=0.3$

*Paramètres spécifiques au modèle* `GONF_ELAS` *:*

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

*Propriétés hydrauliques* :

| | | |
|---|---|---|
| Eau liquide | Masse volumique ( $kg.m^{-3}$ ) | $1.10^3$ |
| | Chaleur à pression constante ( $J.K^{-1}$ ) | 4180 |
| | coefficient de dilatation thermique du liquide ( $K^{-1}$ ) | $10^{-4}$ |
| | Compressibilité ( $Pa^{-1}$ ) | $5.10^{-10}$ |
| | Viscosité ( $Pa.s$ ) | $10^{-3}$ |
| Gaz | Masse molaire ( $kg.\,Mol^{-1}$ ) | 0,002 |
| | Chaleur à pression constante ( $J.K^{-1}$ ) | 1000 |
| | Viscosité ( $Pa.s$ ) | $9.\,10^{-6}$ |
| Squelette | Capacité calorifique à contrainte constante ( $J.K^{-1}$ ) | 1000 |
| Constantes | Constante des gaz parfaits | 8,315 |
| Coefficients homogénéisés | Masse volumique homogénéisée ( $kg.m^{-3}$ ) | 2000 |
| | Coefficient de Biot | 1 |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

## 1.3 Conditions initiales

A $t=0$ :

- $Pgaz=1\text{atm}$
- $S=0,5$ (soit $Pc=44,7\,Mpa$ et $p_w=-44.6\,Mpa$ )
- 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 $1\text{s}$ entre $44,7\,Mpa$ et $-10\,Mpa$ .

## 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.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 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 ( $Pc \leq 0$ ) 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 $7\mathrm{MPa}$ . 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 ( $Pc = 0$ ) avec une valeur de $7\,Mpa$ .



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

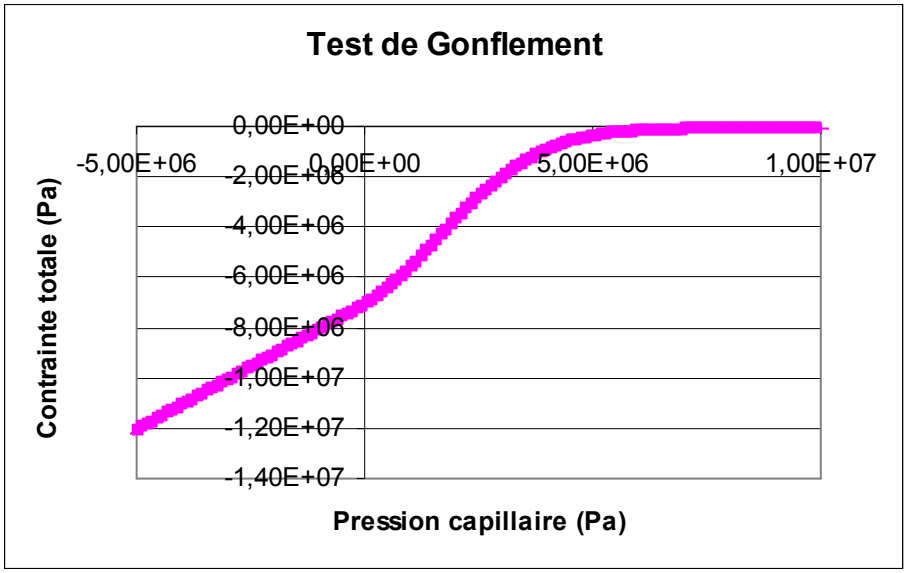



**Figure 2.2-a test de gonflement**

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

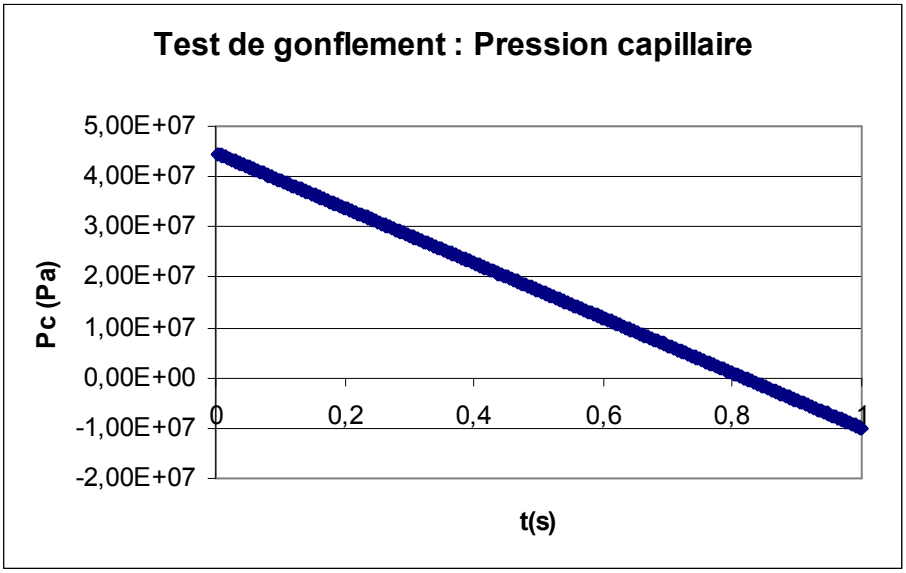



**Figure 2.2-b : pression capillaire ( $N3$ )**

## 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 ( % ) |
|---|---|---|---|
| $N3$ | 0,6 | -4,56.10 $^{4}$ | 0.1% |
| $N3$ | 0.8163 | -5,67.10 $^{6}$ | 0.1% |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 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

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



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 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 ( % ) |
|---|---|---|---|
| N3 | 0,6 | $-4{,}56.10^{4}$ | 0.1% |
| N3 | 0.8163 | $-5{,}67.10^{6}$ | 0.1% |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 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

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



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)