WTNA105 – Injection de gaz dans un matériau quasi-saturé de type argile décrit par des lois de Van-Genuchten/Mualem

Résumé :

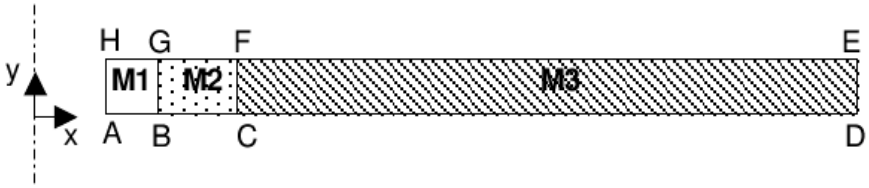
Ce test représente la simulation de l'injection de gaz dans un milieu géologique. Il s'agit d'un calcul purement hydraulique. La géométrie représentée correspond à une coupe radiale autour d'un colis de stockage. Le milieu, constitué d'un vide fonctionnel, d'une zone endommagée et d'une barrière géologique de type Callovo-Oxfordien (argile) est initialement presque saturé. Le milieu est décrit par un modèle de Mualem Van-Genuchten. Ce test nous permet également de tester la loi hydraulique appelée par HYDR_VGM.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le domaine est une tranche axi-symétrique :



Coordonnées des points:

Point	X	Y
A	0,3075	0
B	0,3375	0
C	0,5375	0
D	200	0
E	200	1
F	0,5375	1
G	0,3375	1
H	0,3075	1

La zone $M1$ représente le jeu et est constituée du matériau $MATJEU$.
La zone $M2$ représente la zone endommagée et est constituée du matériau $MATZE$.
La zone $M3$ représente l'argile du terrain et est constituée du matériau $MATCOX$.

1.2 Propriétés des matériaux

On ne donne ici que les propriétés dont la solution dépend, sachant que le fichier de commandes contient d'autres données de matériau qui ne jouent aucun rôle dans la solution du problème traité.

$MATJEU$		
Eau liquide	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	1000
	Viscosité ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	10^{-3}
	Compressibilté (Pa^{-1})	$0.5\ 10^{-9}$
Gaz	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	$2\ 10^{-3}$
	Viscosité ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	$1.8\ 10^{-5}$
Gaz dissous	Coefficient de Henry ($Pa.mol^{-1}m^3$)	1870
Vapeur	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	$18\ 10^{-3}$
Paramètres homogénéisés	Perméabilité K (m^2)	$1.019\ 10^{-13}$
	Porosité	0.3

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

	Fick gaz ($m^2.s^{-1}$)	0,0015.($Smax-S$)
	Fick liquide ($m^2.s^{-1}$)	4.47 10 $^{-10}$. S
Paramètres de Van-Genuchten	N	1,064
	Pr (Mpa)	4.91 10^{-3}
	Sr	0,08
	$Smax$	0,999
Etat initial	Pression capillaire (Mpa)	$P_c^0 = 89\ (S = 0{,}77)$
	Pression de gaz (Mpa)	$Pgz = 0{,}1$
MATZE		
Eau liquide	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	1000
	Viscosité ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	10^{-3}
	Compressibilté (Pa^{-1})	0.5 10^{-9}
Gaz	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	2 10^{-3}
	Viscosité ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	1.8 10^{-5}
Gaz dissous	Coefficient de Henry ($Pa.mol^{-1}m^3$)	1870
Vapeur	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	18 10^{-3}
Paramètres homogénéisés	Perméabilité K (m^2)	5.097 10^{-18}
	Porosité	0.15
	Fick gaz ($m^2.s^{-1}$)	0,00075.($Smax-S$)
	Fick liquide ($m^2.s^{-1}$)	2.24 10 $^{-10}$ .S
Paramètres de Van-Genuchten	N	1,5
	Pr (Mpa)	4.91
	Sr	0
	$Smax$	0,999
Etat initial	Pression capillaire (Mpa)	$P_c^0 = 0{,}1$
	Pression de gaz (Mpa)	$Pgz = 0{,}1$
MATCOX		
Eau liquide	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	1000
	Viscosité ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	10^{-3}

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

	Compressibilté (Pa^{-1})	0.5 10^{-9}
Gaz	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	2 10^{-3}
	Viscosité ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	1.8 10^{-5}
Gaz dissous	Coefficient de Henry ($Pa.mol^{-1}m^{3}$)	1870
Vapeur	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	18 10^{-3}
Paramètres homogénéisés	Perméabilité K ($m2$)	5,097 10^{-21}
	Porosité	0.15
	Fick gaz ($m^{2}.s^{-1}$)	0,00075.(Smax-S)
	Fick liquide ($m^{2}.s^{-1}$)	2,24 10^{-10} .S
Paramètres de Van-Genuchten	N	1,49
	Pr (Mpa)	14,7
	Sr	0,01
	$Smax$	0,999
Etat initial	Pression capillaire (Mpa)	$P_c^0 = 89\ (S = 0{,}77)$
	Pression de gaz (Mpa)	$Pgz = 0{,}1$

Les courbes de saturation et de perméabilités obéissent au modèle Mualem-Van-Genuchten (HYDR_VGM). Il faut donc définir dans les matériaux les paramètres N, Pr, Sr, $Smax$.
On rappelle que ces modèles sont :

$$S_{we} = \frac{S - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \text{ et } m = 1 - \frac{1}{n}$$

$$S_{we} = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{P_c}{P_r}\right)^{n}\right)^{m}}$$

La perméabilité relative à l'eau s'exprime en intégrant le modèle de prédiction proposé par Mualem (1976) dans le modèle de capillarité de Van Genuchten.

$$k_r^w = \sqrt{S_{we}}\left(1 - \left(1 - S_{we}^{1/m}\right)^{m}\right)^{2}$$

La perméabilité au gaz est formulée de façon similaire :

$$k_r^w = \sqrt{(1 - S_{we})}\left(1 - S_{we}^{1/m}\right)^{2m}$$

On rappelle que pour $S > Smax$, ces courbes sont interpolées par un polynôme de degré 2 $C1$ en $Smax$.

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

1.3 Conditions aux limites et initiales

On impose sur la frontière de gauche un flux d'hydrogène et un flux d'eau (modélisation de la corrosion) :

$$Flux_{H20} = -2{,}13.10^{-10}\, kg/m^2 s$$

$$Flux_{H2} = 2{,}37.10^{-11}\, kg/m^2 s$$

Initialement, la pression capillaire initiale est :

1) Pour le jeu $Pc = 5{,}18\, Mpa$
2) Pour la zone endommagée et le Cox : $1\, atm$

La pression de gaz est initialement de $1\, atm$ partout.

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

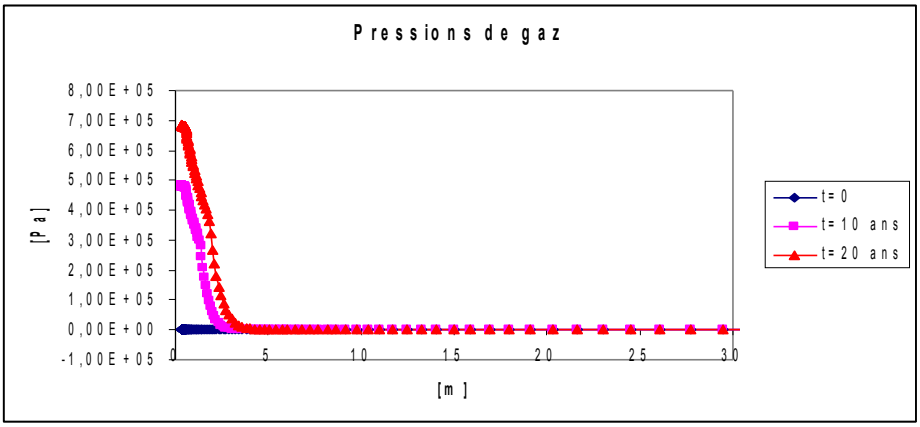
2 Modélisation A

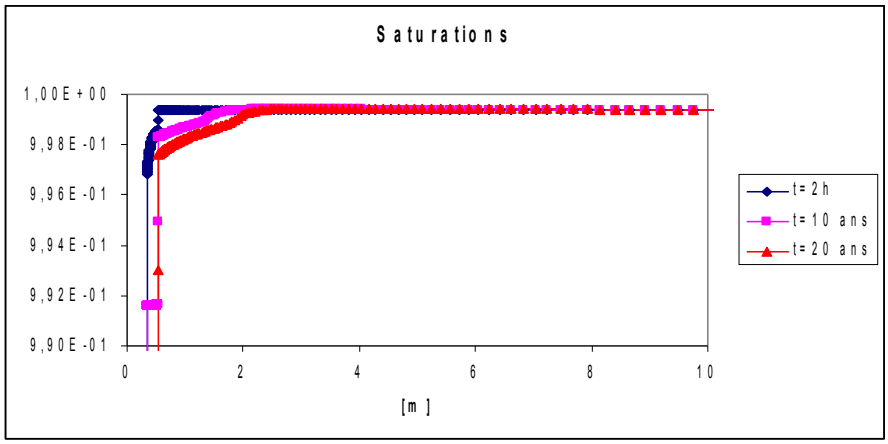
2.1 Caractéristiques de la modélisation A

Modélisation HHS en déformations planes. Couplage LIQU_GAZ. 100 éléments QUAD8

2.2 Résultats

On trace les profils de pression de gaz et saturation (zoom) à 10 et 20 ans :





On observe bien une montée de pression de gaz ($0,7\,Mpa$ à 20 ans) en bord de colis ainsi qu'une très légère baisse de saturation dans la barrière géologique. On voit bien l'influence de la diffusion en observant le décrochage de pression de gaz correspondant à l'avancée du front de saturation.

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

2.3 Valeurs testées

Ce cas test n'a pas de valeur de référence, on en fait donc un cas de non regression.

On effectue des tests sur 4 valeurs :

$X(m)$	Temps (s)	PRE2 *Aster*	Erreur relative autorisée
0.3075	10 ans	4.81E5	0.001%
0.3075	20 ans	6.83E6	0.001%
1,012	10 ans	3.58E5	0.001%
1,012	20 ans	5.36E5	0.001%

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

3 Synthèse des résultats

Ce cas test répond bien à un de ses objectifs : tester la fonctionnalité de HYDR_VGM. En outre il permet de disposer d'un problème classique de la modélisation numérique de stockage sous-terrain : l'injection de gaz dans un milieu quasi-saturé. Nous ne disposons pas de solutions de référence auxquelles nous comparer, cependant les valeurs et l'allure des résultats sont classiques de ce type de problème. Nous en faisons donc un cas test de non régression.

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