WTNP117 – Rééquilibrage capillaire d'un bi-matériaux décrit par des lois de Van-Genuchten Mualem

Résumé :

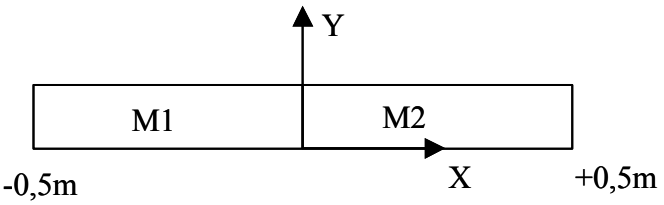
Le test présenté permet de simuler un cas de resaturation d'un matériau par un autre, les 2 matériaux étant décrits par un modèle de Mualem Van-Genuchten. Il s'agit d'un cas classique de type BO-BG qui nous permet de tester la loi hydraulique appelée par HYDR_VGM. Il permet également la comparaison de plusieurs schémas numériques : éléments finis et volumes finis décentrés.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le domaine étudié est composé de deux milieux de $0,5\,m$ chacun.



Le matériau $M1$ sera appelé barrière ouvragée (BO) et le matériau $M2$ barrière géologique (BG)

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.

BO		
Eau liquide	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	1000
	Viscosité	10^{-3}
Paramètres homogénéisés	Perméabilité K	$10^{-20}\,m^2$
	Porosité	0.3
Paramètres de Van-Genuchten	N	$1,064$
	Pr	$1,5\,Mpa$
	Sr	0
	$Smax$	$0,999$
État initial	Pression	$P_c^0 = 89\,MPa\,(S=0.77)$
		$P_{gz} = 1\,atm$
BG		
Eau liquide	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	1000
	Viscosité	10^{-3}
Paramètres homogénéisés	Perméabilité K	$10^{-19}\,m^2$
	Porosité	0.05

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

Paramètres de Van-Genuchten	N	$1,7$
	Pr	$10\,Mpa$
	Sr	0
	$Smax$	$0,999$
État initial	Pression	$P_c^0=0\,(S=1.)$ $P_{gz}=1\,atm$

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.

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

La perméabilité au gaz est formulée de façon similaire :

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

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

1.3 Conditions aux limites et initiales

Nous sommes en conditions aux limites : flux nul partout (défaut).

BG est saturée ($S=1$) et BO est partiellement désaturée ($S=0,77$). En terme de pression capillaire, cela se traduit par $Pc=0$ dans la BG et $Pc=89\,Mpa$ dans la barrière ouvragée.

1.4 Références bibliographiques

1. Granet, S. (2006). Cas test thermo-hydraulique sur un bi-matériaux : Comparaison de différents schémas numériques. Note HT-64-06-012.

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

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation A

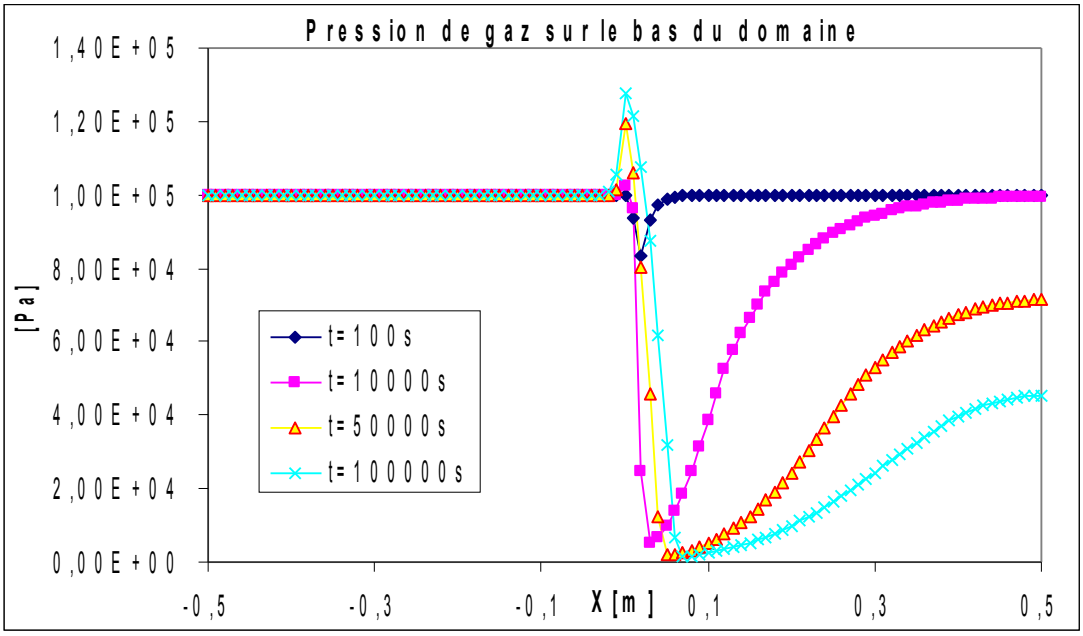
Modélisation HHS en déformations planes. Couplage LIQU_GAZ. 100 éléments QUAD8.

Discrétisation en temps :

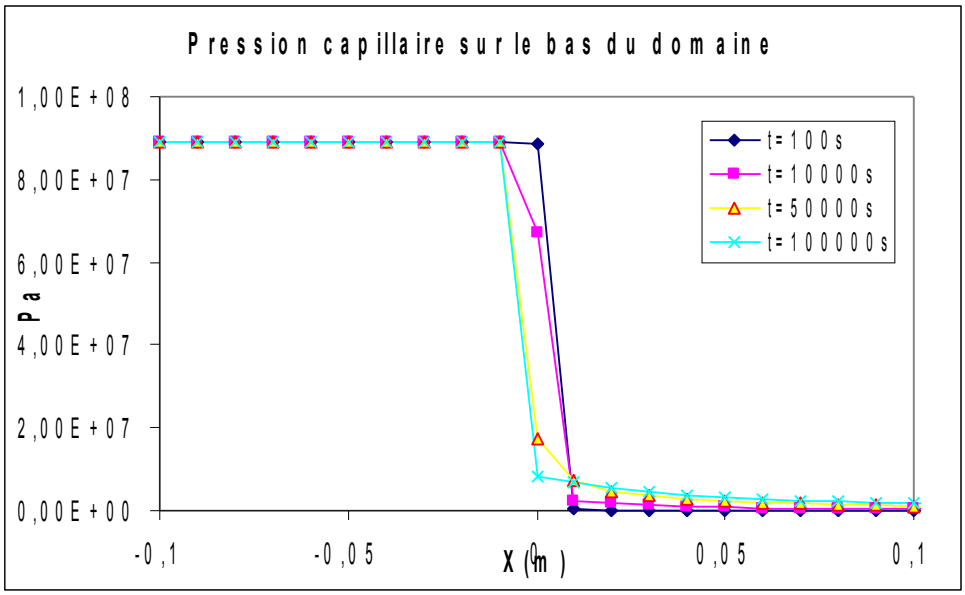
- $1000s$ en 20 pas de temps
- $5000\,s$ en 20 pas de temps
- $10000\,s$ en 10 pas de temps
- $50000\,s$ en 20 pas de temps
- $100000\,s$ en 20 pas de temps

2.2 Résultats

Les figures ci-dessous présentent les profils de pressions de gaz, pressions capillaires et saturations le long du bi-matériaux à différents temps :



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



On observe bien la désaturation de la barrière géologique par la barrière ouvragée. Les profils de pression de gaz sont eux aussi caractéristiques de ce type de problème : on observe un pic de pression de gaz à l'interface des deux matériaux qui est du au fait que le gaz est comprimé par l'eau qui resature la barrière ouvragée. Si l'existence de ce pic a une réalité physique, son ampleur est en revanche due à un problème de schéma numérique (problème connu) comme nous le verrons pour la modélisation C.
Les oscillations observées sur les saturations sont également bien connues (on se réfèrera à [1]). Les matériaux sont en effet définis aux éléments et non aux nœuds. Ce qui signifie que sur un nœud situé à l'interface, 2 courbes de pressions capillaires sont définies et différentes. Ce point explique que si la continuité de pression capillaire est assurée il n'en est pas de même pour la saturation.

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 :

X (m)	Temps (s)	$PRE1$ *Aster*	Erreur relative autorisée
0.03	5000	$7.5\,10^{5}$	1 %
0.03	100000	$4.48\,10^{6}$	1 %

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

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques de la modélisation B

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

Dans un 2ème calcul, on teste la gestion automatique du pas de temps.

Discrétisation en temps :

- 1000s en 20 pas de temps
- $5000\ s$ en 20 pas de temps
- $10000\ s$ en 10 pas de temps
- $50000\ s$ en 20 pas de temps
- $100000\ s$ en 20 pas de temps

Avec la gestion automatique du pas de temps, on ne donne que le 1er pas de temps et les instant de passage obligés (pour les TEST_RESU) :

- $50\ s$
- $5000\ s$
- $100000\ s$

Le code gère lui-même les pas de temps.

3.2 Résultats

Les résultats sont pratiquement les mêmes que pour la modélisation A ce qui est logique étant donné qu'il n'y a pas de thermique.

La gestion automatique du pas de temps permet de faire 5 fois moins de pas de temps.

3.3 Valeurs testées

On effectue 2 tests de non régression pour chaque calcul :

calcul n°1

X (m)	Temps (s)	$PRE1$ *Aster*	Erreur relative autorisée
0.03	5000	$7.5\,10^{5}$	1 %
0.03	100000	$4.48\,10^{6}$	1 %

calcul n°2 (gestion automatique de la liste d'instants)

X (m)	Temps (s)	$PRE1$ *Aster*	Erreur relative autorisée
0.03	5000	$7.5\,10^{5}$	1 %
0.03	100000	$4.48\,10^{6}$	4 %

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

4 Modélisation C

4.1 Caractéristiques de la modélisation C

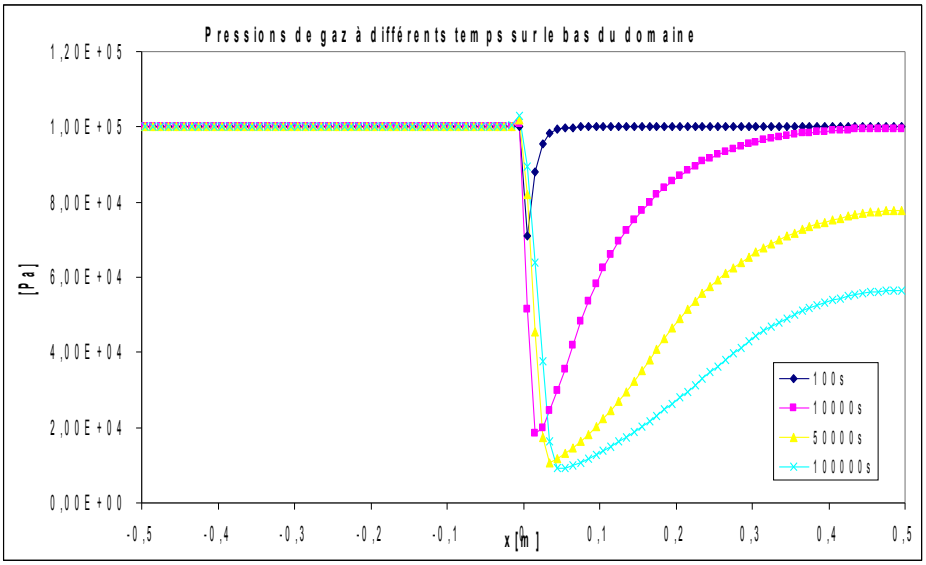
Modélisation D_PLAN_HH2SUDA. Cette modélisation correspond au schéma Volume Finis Décentrés Arête. Couplage LIQU_AD_GAZ. On utilise un maillage constitué de 100 éléments QUAD8.
On est en immiscible et on utilise un coefficient d'Henry infini de $10^{20}\ Pa.mol^{-1}.m^3$,

Discrétisation en temps :

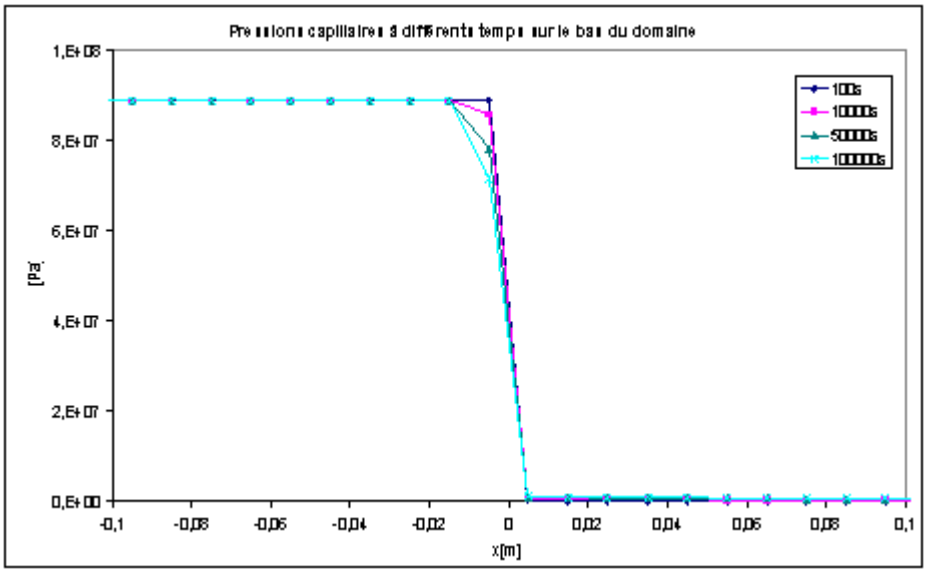
- $1000s$ en 20 pas de temps
- $10000\ s$ en 20 pas de temps
- 1 mois en 20 pas de temps
- 2 mois en 20 pas de temps
- 6 mois en 40 pas de temps
- 1 an en 50 pas de temps
- 10 ans en 50 pas de temps
- 50 ans en 50 pas de temps
- 100 ans en 50 pas de temps
- 500 ans en 50 pas de temps
- 1000 ans en 50 pas de temps
- 5000 ans en 50 pas de temps
- 10 000 ans en 50 pas de temps
- 100 000 ans en 50 pas de temps
- 1 000 000 ans en 50 pas de temps

4.2 Résultats

Les figures ci-dessous présentent les profils de pressions de gaz et pressions capillaires le long du bi-matériaux à différents temps :



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



Les résultats sont ceux attendus. On remarque que par rapport aux schémas éléments finis, le pic de gaz à l'interface est ici quasiment imperceptible. C'est ce que l'on attendait des schémas volumes finis décentrés. Les résultats sont donc cohérents.

4.3 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 deux valeurs :

Points (x, y)	**Temps (** s **)**	*PRE1* ***Aster***	*PRE2* ***Aster***	**Erreur relative autorisée**
$(-0{,}005, 0)$ *N105*	100	$8.89\,10^{7}$	19	1 %
	100000	$7.175\,10^{7}$	2952	1 %
$(0{,}035, 0{,}005)$ *NQ54*	100	10160	-1745	1 %
	100000	$8.532\,10^{5}$	-83702	1 %

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

5 Modélisation D

5.1 Caractéristiques de la modélisation D

Modélisation D_PLAN_HH2S, cette modélisation correspond à la modélisation Eléments Finis. Couplage LIQU_AD_GAZ. On utilise un maillage composé de 100 éléments QUAD8
On est en immiscible et on utilise un coefficient d'Henry infini de $10^{20}\ Pa.mol^{-1}.m^3$,

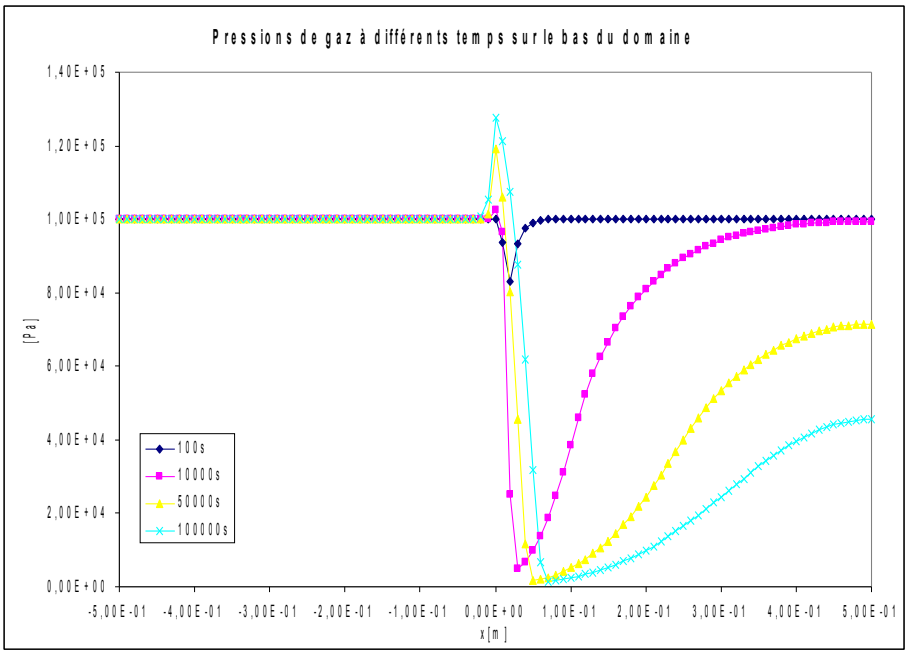
Discrétisation en temps :

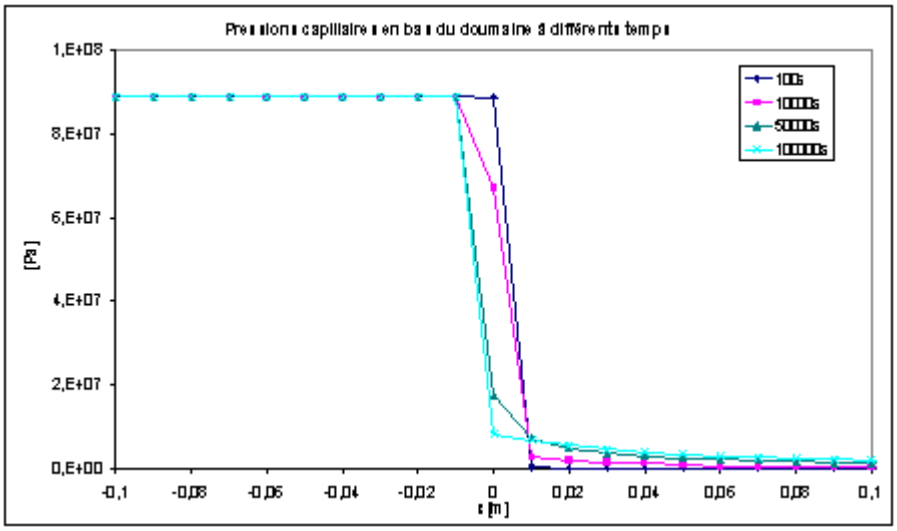
- $1000\mathrm{s}$ en 20 pas de temps
- $10000\ s$ en 20 pas de temps
- 1 mois en 20 pas de temps
- 2 mois en 20 pas de temps
- 6 mois en 40 pas de temps
- 1 an en 50 pas de temps
- 10 ans en 50 pas de temps
- 50 ans en 50 pas de temps
- 100 ans en 50 pas de temps
- 500 ans en 50 pas de temps
- 1000 ans en 50 pas de temps
- 5000 ans en 50 pas de temps
- 10 000 ans en 50 pas de temps
- 100 000 ans en 50 pas de temps
- 1 000 000 ans en 50 pas de temps

5.2 Résultats

Les figures ci-dessous présentent les profils de pressions de gaz et pressions capillaires le long du bi-matériaux à différents temps :

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





Comme pour la modélisation A en éléments finis, le pic de pression de gaz à l'interface est ici très important. On voit bien que les éléments finis sont moins adaptés à ce type de problème que les éléments finis.

5.3 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 :

Points (x, y)	**Temps (** s **)**	$PRE1$ **Aster**	$PRE2$ **Aster**	**Erreur relative autorisée**
$N111$	100	37569	-6536	1 %
	100000	$4.486\,10^{6}$	-12413	1 %

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

6 Synthèse des résultats

Ce cas test répond bien à son objectif premier : tester la fonctionnalité HYDR_VGM. En outre il permet de disposer d'un problème classique de modélisation $« BO-BG »$ avec traitement de front raide. Nous ne disposons pas de solutions de références auxquelles nous comparer, cependant les résultats obtenus ont l'allure classique de ce type de résolution. Nous en faisons donc un cas de non régression.
2 schémas numériques sont ici testés : les éléments finis et les volumes finis décentrés arêtes. Si l'allure globale des résultats est la même pour les 2 schémas, on voit nettement que les volumes finis diminuent très fortement le pic de gaz observé à l'interface entre les matériaux. Si ce pic de gaz a une réalité physique, son ampleur est considérablement amplifié par les schémas éléments finis.

On préconise pour ce type de problème les schémas volumes finis décentrés arêtes (moins couteux que les décentrés mailles).

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