WTN123 - Apparition/disparition de phase dans un écoulement diphasique : Injection de gaz autour d'une galerie dans un domaine saturé

Résumé :

Ce test représente la simulation de l'injection de gaz dans un milieu géologique. Il s'agit de modéliser et de simuler l'apparition et l'évolution d'un écoulement diphasique eau/hydrogène dans un milieu poreux initialement saturé en eau pure. On considère une situation $2D$ où les effets de la gravité sont négligés.

Il s'agit d'un calcul purement hydraulique miscible. La géométrie représentée correspond à un domaine carré dont une zone a été retirée. Les termes de transferts sont décrits par un modèle de Mualem Van-Genuchten. Le problème est traité par les différents schémas disponibles pour la modélisation des écoulements diphasiques : les éléments finis classiqueset les Volumes Finis Décentrés Arête .

Ce cas test est un extension en $2D$ du cas test WTNP120.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le domaine est un carré de taille $[0\text{m},10\,m]\times[0\text{m};10\text{m}]$ avec un trou de $[1\text{m},1\,m]$ en bas à gauche.

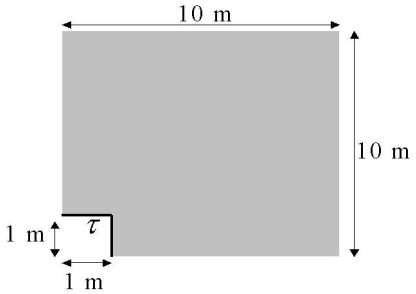


Figure 1.1-a: Représentation du domaine

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.

Eau liquide	Masse volumique $(kg.m^{-3})$	1000
	Masse molaire $(kg.mol^{-1})$	10^{-2}
	Viscosité $(kg.m^{-1}.s^{-1})$	10^{-3}
Gaz	Masse volumique $(kg.m^{-3})$	$8\,10^{-2}$
	Masse molaire $(kg.mol^{-1})$	$2\,10^{-3}$
	Viscosité $(kg.m^{-1}.s^{-1})$	$9\,10^{-5}$
Gaz dissous	Coefficient de Henry $(Pa.mol^{-1}.m^{3})$	130719
Vapeur	Masse volumique $(kg.m^{-3})$	10^{-4}
Paramètres homogénéisés	Perméabilité k (m^{2})	$5\,10^{-20}$
	Porosité	0.15
	Fick gaz $(m^{2}.s^{-1})$	0
	Fick liquide $(m^{2}.s^{-1})$	$0{,}45\,10^{-9}$
Paramètres de Van-Genuchten	N	$1{,}49$
	P_r MPa	2
	S_{rl}	0
	S_{gr}	0

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

	$Smax$	0,999
Etat initial	Pression capillaire (Pa)	$\begin{cases} P_l^0 = 10^{-6} \\ S_l = 1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} P_c^0 = -10^{-6} \\ P_g^0 = 0 \end{cases}$
	Pression de gaz (Pa)	

Tableau 1.2-1 : propriétés des matériaux

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 : $S_{le} = \frac{S_l - S_{lr}}{1 - S_{lr}}$ 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.

$$k_r^l = \sqrt{S_{le}}(1 - (1 - S_{le}^{\frac{1}{m}})^m)^2$$

La perméabilité au gaz est formulée de façon similaire par une loi de Parker :

$$k_r^g = \sqrt{(1 - S_{le})}(1 - S_{le}^{\frac{1}{m}})^{2m}$$

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

Pour la modélisation E, la loi de Parker pour la perméabilité relative au gaz est remplacée par une loi cubique (moi 'HYDR_VGC') :

$$k_r^g = (1 - S_l)^3$$

1.3 Conditions aux limites et initiales

Les conditions limites sont les suivantes :

- des conditions de Neumann sur le droite et la gauche du domaine :

$$(\boldsymbol{F}_l^w + \boldsymbol{F}_g^w).\boldsymbol{n} = 0$$
$$(\boldsymbol{F}_l^c + \boldsymbol{F}_g^c).\boldsymbol{n} = 0$$

- des conditions de Neumann dans le trou τ :
  Si $0 < t < TSIM$ alors $(\boldsymbol{F}_l^w + \boldsymbol{F}_g^w).\boldsymbol{n} = 0$
  Si $0 < t < TINJ$ alors $(\boldsymbol{F}_l^c + \boldsymbol{F}_g^c).\boldsymbol{n} = Q$
  Si $TINJ < t < TSIM$ alors $(\boldsymbol{F}_l^c + \boldsymbol{F}_g^c).\boldsymbol{n} = 0$

- des condition de Dirichlet sur la partie en haut à droite du domaine :
  $P_l(9 \le x \le 10, y = 10, t) = 10^6 \ \ Pa$
  $P_g(9 \le x \le 10, y = 10, t) = 0 \ \ Pa$

Les conditions initiales sont les suivantes :

$$P_l(x, y, t = 0) = 10^6 \ \ Pa$$
$$P_g(x, y, t = 0) = 0 \ \ Pa$$

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

Le flux d'hydrogène imposée sur la partie gauche, Q , vaut :

$$Q = 0{,}44.10^{-11}\, kg.m^{-2}.s^{-1}$$

Le temps d'injection, $TINJ$ est de 5.10^{5} ans et le temps de simulation est de 10^{6} ans.

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

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation D_PLAN_HH2SUDA. Cette modélisation correspond à la modélisation Volume Finis Décentrés Arêtes. Couplage LIQU_AD_GAZ.

2.2 Caractéristiques du maillage

On utilise un maillage constitué de 1632 éléments TRIA7.

2.3 Grandeurs testées et résultats

On trace les profils de pression de gaz et de pression capillaire sur le bas du domaine à différents temps :

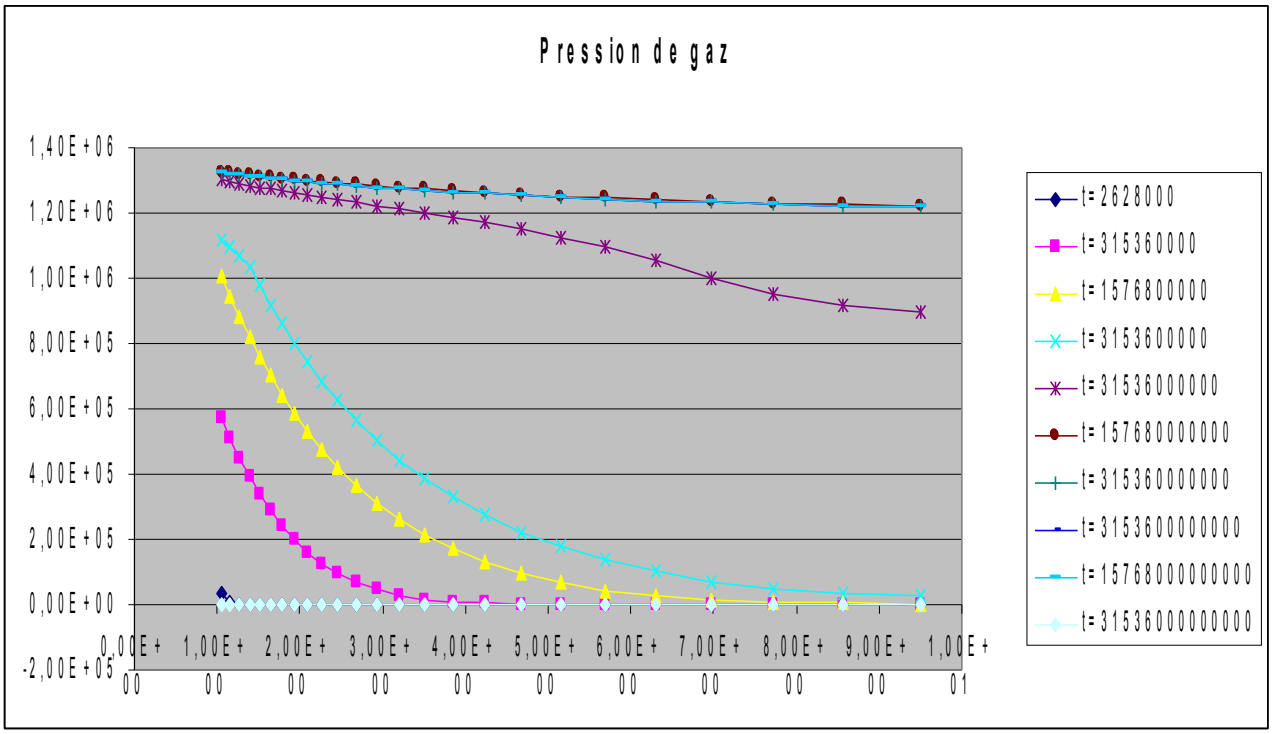


Illustration 1: Profils de pression de gaz, $Y=0$

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

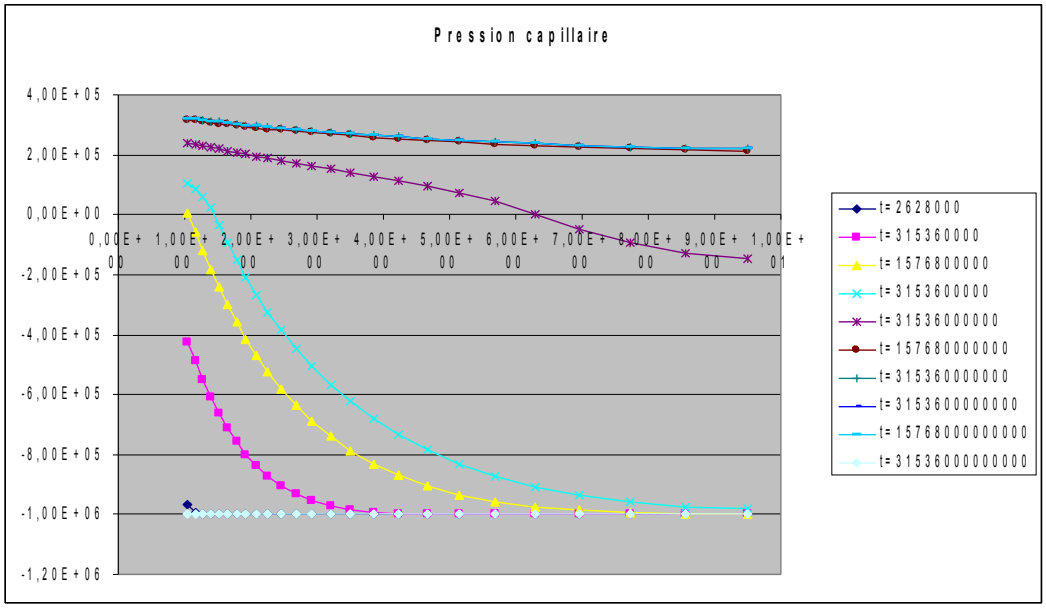


Illustration 2: Profils de pression capillaire, $Y=0$

On constate une augmentation progressive de la pression de gaz d'abord par dissolution (lorsque le milieu est saturé, c'est à dire lorsque les pressions capillaires sont négatives) puis sous forme gazeuse dés lors que la désaturation commence après 50 ans. Le milieu va ensuite se désaturé sur toute sa longueur. Passé le temps d'injection, le milieu se resaturé et la pression de gaz diminue. Ces résultats sont conformes à ceux attendus.

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

Grandeur	Points (x, y)	Temps (s)	Référence	Tolérance
PRE1	(1,02;0,947) NT335	1 mois	-9.55974E+05	1.0%
PRE1	(5,05;5,25) NT551	1 mois	-9.99999E+05	1.0%
PRE1	(9,86;9,7) NT566	1 mois	-9.99999E+05	1.0%
PRE2	(1,02;0,947) NT335	1 mois	44025.7	1.0%
PRE2	(5,05;5,25) NT551	1 mois	1.63287E-13	1.0%
PRE2	(9,86;9,7) NT566	1 mois	3.477E-15	0.010

Tableau 2.3-1: Valeurs testées

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

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation D_PLAN_HH2S. Cette modélisation correspond à la modélisation Elements Finis. Couplage LIQU_AD_GAZ.

3.2 Caractéristiques du maillage

On utilise un maillage constitué de 1632 éléments TRIA6.

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les résultats sont identiques à ceux obtenus avec la modélisation volumes finis décentrés maille.

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

Grandeur	Points (x, y)	Temps (s)	Référence	Tolérance
PRE1	(1;1) N6	1 mois	-9.59793E+05	1.0%
PRE1	(5,33;5,30) N292	1 mois	-9.99999E+05	1.0%
PRE1	(9,6;9,6) N577	1 mois	1.42195E-13	0.010
PRE2	(1;1) N6	1 mois	40206.9	1.0%
PRE2	(5,33;5,30) N292	1 mois	-9.99999E+05	1.0%
PRE2	(9,6;9,6) N577	1 mois	6.93178E-15	0.010

Tableau 3.3-1 : Valeurs testées

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 B mais avec une loi cubique ('HYDR_VGC') pour la perméabilité relative au gaz à la place d'une loi de Parker.

4.2 Caractéristiques du maillage

On utilise un maillage constitué de 1632 éléments TRIA6.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Pour les temps courts où sont effectués les test, la saturation reste égale à un, aussi le choix de la loi de perméabilité relative au gaz n'influe pas sur les résultats qui sont identiques à ceux obtenus avec la modélisation B.

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

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

5 Synthèse des résultats

Ce cas test permet de disposer d'un problème classique de la modélisation numérique de stockage sous-terrain : l'injection de gaz dans un milieu saturé en $2D$. 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. Ce test est traité avec les 2 schémas numériques disponibles pour la modélisation des écoulements diphasiques :

- le schéma volumes finis décentrés arête.
- Les éléments finis classiques.

Les résultats obtenus sont les mêmes. En terme de performance et de fiabilité, on privilégiera fortement les schémas Volumes Finis Décentrés Arête (*_HH2SUDA).

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