WTNP126 - Injection de gaz dans un massif poreux fracturé

Résumé :

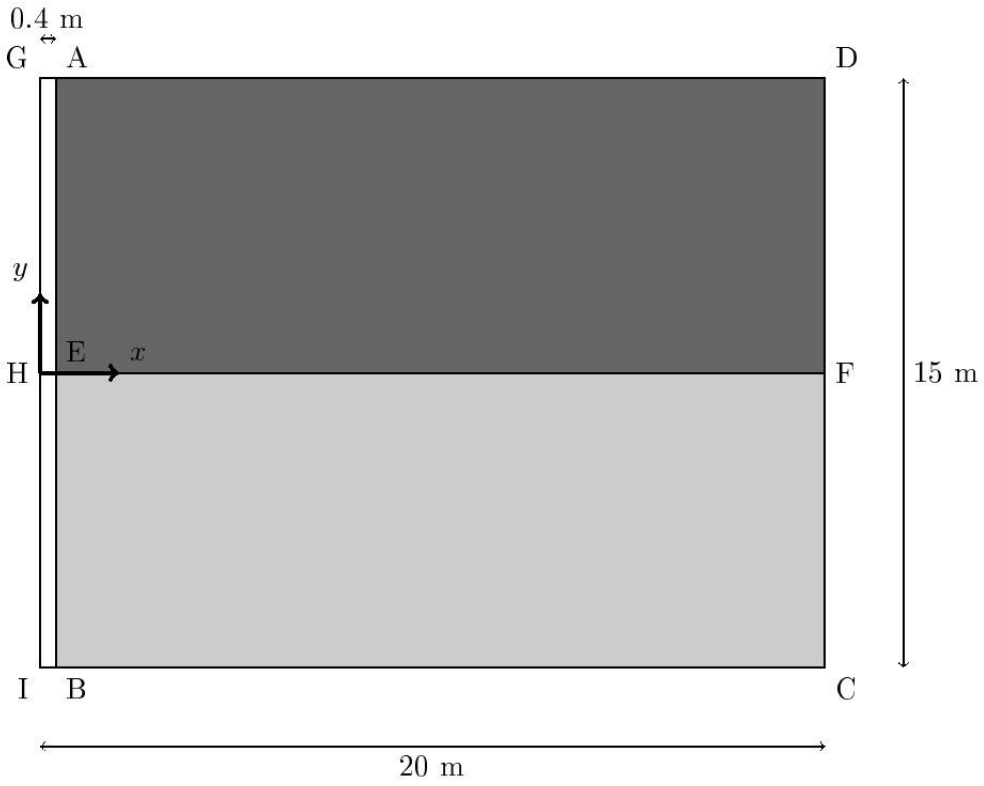
Le test présenté ici permet de vérifier le bon fonctionnement des éléments de joints avec couplage-hydromécanique en milieu saturé en gaz (loi THM 'GAZ').
On modélise l'injection de dihydrogène dans un massif rocheux. Celui-ci est composé de deux parties élastiques de perméabilités différentes séparées par un joint hydraulique. Les lois de comportement de l'interface utilisées sont la loi cubique pour l'écoulement et la loi de Bandis pour la mécanique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le domaine étudié est constitué de deux massifs poreux ($AEFD$ et $EBCF$) séparés par un joint hydraulique. On modélise également le jeu entre la structure et la paroi d'injection du gaz ($AGIB$).



Coordonnées des points (en mètres) :

	x	y		x	y		x	y
A	0,4	7,5	D	20	7,5	G	0	7,5
B	0,4	-7,5	E	0,4	0	H	0	0
C	20	-7,5	F	20	0	I	0	-7,5

1.2 Propriétés du matériau

- Propriétés du fluide intersticiel (dihydrogène) :

Masse molaire	$0{,}002\ kg.m^{-3}$
Viscosité	$9.10^{-6}\ Pa.s$

- Propriétés de la matrice rocheuse supérieure :

La matrice est élastique et a les propriétés suivantes :

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

Module d'Young	$3,0\,GPa$
Coefficient de Poisson	$0,12$
Porosité	$0,18$
Perméabilité intrinsèque	$2,75.10^{-20}\,m^2$

- Propriétés de la matrice rocheuse inférieure :

  La matrice rocheuse inférieure a les mêmes caractéristiques mécaniques que la matrice supérieure, mais a une perméabilité intrinsèque dix fois plus faible.

Module d'Young	$3,0\,GPa$
Coefficient de Poisson	$0,12$
Porosité	$0,18$
Perméabilité intrinsèque	$2,75.10^{-21}\,m^2$

- Propriétés de la discontinuité :

  Le comportement mécanique de la discontinuité est décrit par la loi de Bandis. L'écoulement hydraulique est donné par la loi cubique.

Rigidité normale initiale	$1.10^{9}\,Pa.m^{-1}$
Ouverture asymptotique initiale	$0,4\,mm$
Coefficient γ	2

- Propriétés du jeu :

  Le jeu entre la parois d'émission du flux de dihydrogène et la roche est un milieu élastique très peu rigide et de perméabilité très élevée.

Module d'Young	$3,0\,MPa$
Coefficient de Poisson	$0,12$
Porosité	1
Perméabilité intrinsèque	$1.10^{-8}\,m^2$

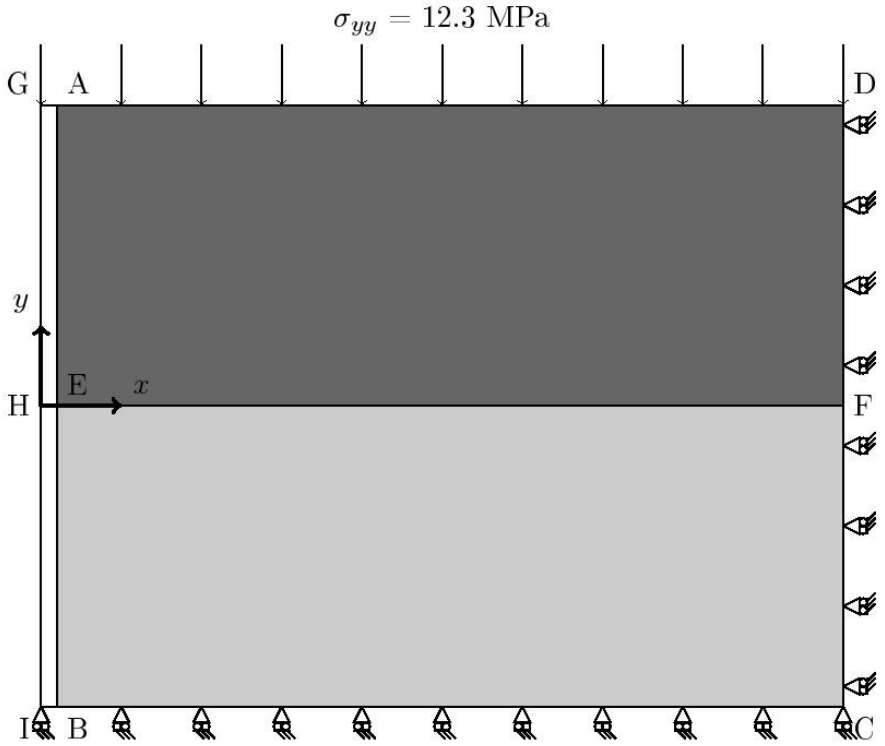
1.3 Conditions aux limites et chargement

Les conditions aux limites hydrauliques sont les suivantes :

Sur $[GD]$ flux hydraulique nul
Sur $[DC]$ $p_g = p_0 = 0,1\,MPa$
Sur $[CI]$ flux hydraulique nul
Sur $[IG]$ flux de gaz $F_g = 1.10^{-10}\,kg.s^{-1}.m^{-2}$

Les conditions aux limites mécaniques sont données par la figure ci-dessous.

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



1.4 Conditions initiales

Les conditions initiales sont les suivantes :

- ouverture initiale : $3{,}48.10^{-6} m$
- pression initiale dans le massif : $p_0 = 0{,}1\ MPa$
- contrainte de compression dans la direction y : $12{,}3\ MPa$
- température : $303\ ° K$

2 Solution de référence

On effectue des tests de non régression.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est réalisée en déformation plane avec 100 éléments QU4 pour le jeu, 3202 éléments TRI3 pour le massif et 100 éléments QU4 pour la discontinuité.

Discrétisation en temps : 24 pas de temps pour une simulation de 1000 ans.

Remarque : Le test est de type D_PLAN_THMS mais la partie thermique est paramétrée de manière à ce que le résultat soit identique au cas sans thermique, afin de vérifier informatiquement que les éléments D_PLAN_THMS sont bien corrects.

3.2 Grandeurs testées et résultats

La figure 3.2.1 montre les profils de pression sur la coupe verticale $x=4m$ à différents instants. On y voit bien l'influence hydraulique de la fissure. En effet, au voisinage de celle-ci on observe des gradients de pression très importants qui correspondent à des flux dirigés vers chacun des deux massifs. Par ailleurs, on voit également l'effet de la différence de perméabilité entre les deux massifs. Conformément à ce qu'on attend, la pression s'uniformise plus rapidement dans le massif supérieur, de perméabilité plus élevée.

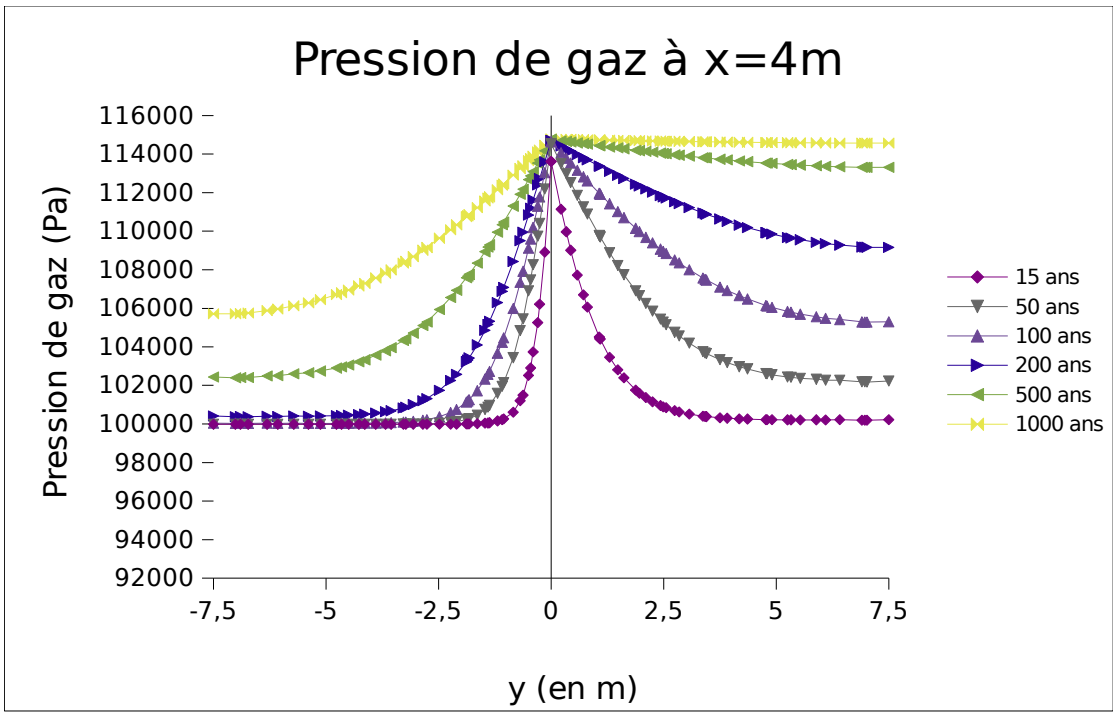


Figure 3.2.1: Profils de pression de gaz le long d'une coupe verticale (x=4m)

On effectue les test de non-régression suivants :

$X(m)$	$Y(m)$	Temps (années)	$PRE1(Pa)$ Aster
4,23	2,35	200	1,1159E+05
4,23	2,35	1000	1,1447E+05
3,92	-2,58	200	1,0135E+05
3,92	-2,58	1000	1,0929E+05

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

4,0	0,0	200	1,1470E+05
4,0	0,0	1000	1,1477E+05

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Les caractéristiques de la simulation sont identiques à celles de la modélisation ci-dessus mais l'interface devient imperméable transversalement. On impose aux multiplicateurs de Lagrange hydrauliques qui contrôlent l'égalité de pression à travers l'interface d'être égaux à zéro. Pour cela, on utilise la commande AFFE_CHAR_CINE avec le mot-clé MECA_IMPO pour mettre le degré de liberté $LH1$ à 0 sur la fissure.

4.2 Grandeurs testées et résultats

La figure 4.2.1 montre les profils de pression le long de la coupe vertical $x=4\,m$ à différents instants. On constate bien qu'il n'y a aucun échange entre les deux massifs et la fissure. Par ailleurs, les fronts de pression avancent à une vitesse différente dans chaque massif du fait de la différence de perméabilité.

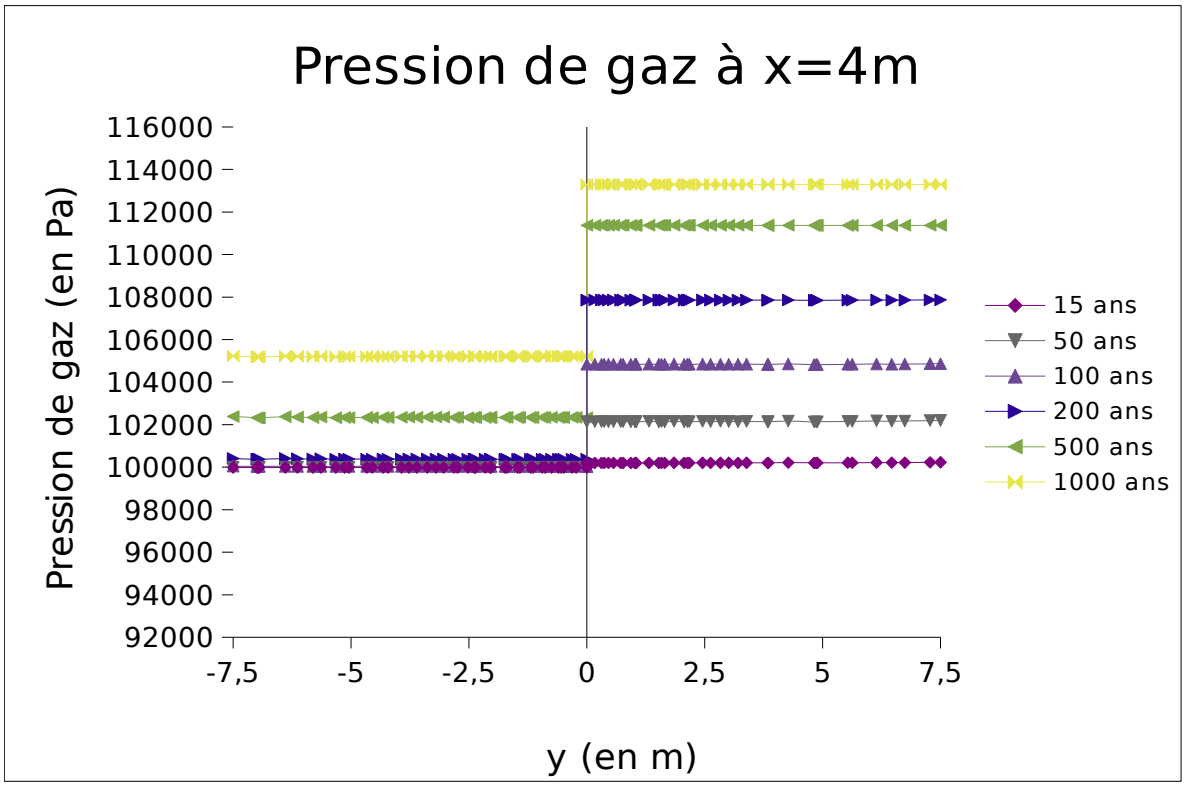


Figure 4.2.1: Profils de pression de gaz le long d'une coupe verticale (x=4 m)

On effectue les test de non-régression suivants :

$X(m)$	$Y(m)$	Temps (années)	$PRE1(Pa)$	Aster
4,23	2,35	200	1,073E+05	
4,23	2,35	1000	1,13E+05	
3,92	-2,58	200	1,0041E+05	

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

3,92	-2,58	1000	1,0539E+05
4,0	0,0	200	1,1473E+05
4,0	0,0	1000	1,1477E+05

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

5 Synthèse des résultats

On teste l'élément de joint avec couplage hydromécanique et sa compatibilité avec la loi de couplage 'GAZ' et les éléments de massif HM_DPTR6S. On envisage le cas où le joint est imperméable ou non.

Dans les deux cas, on obtient les résultats attendus qualitativement.

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