WTNV144 - Consolidation d'une colonne de sol poro-élastique saturée et fracturée :utilisation de la méthode XFEM

Résumé :

Il s'agit d'un test de validation permettant de s'assurer du bon fonctionnement de la méthode des éléments finis étendue dans le cas du modèle de couplage HM en milieu saturé fracturé.
Le but de ce test de validation est de tester la bonne prise en compte de la discontinuité du champ de pression dans le massif de part et d'autre de la fracture ainsi que le comportement hydromécanique des éléments HM-XFEM.
Il s'agit d'imposer en haut d'une colonne de sol deux chargements différents de part et d'autre de la fracture et d'observer l'évolution de la pression de pore dans chaque partie. Ce test est similaire au cas de validation wtnl100 à la seule différence que nous introduisons dans la modélisation une fracture (de type interface) traitée par l'approche XFEM. Les résultats sont ensuite comparés à la solution analytique du cas de validation wtnl100.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie du problème 2D (modélisation A et B)

Soit une colonne de sol de longueur $L=LX$ et de hauteur $H=10\mathrm{m}$. Cette colonne présente en $X=L_d$ une discontinuité de type interface (interface non maillée qui est introduite dans le modèle par l'intermédiaire des *level-sets* grâce à l'opérateur DEFI_FISS_XFEM). Le barreau est entièrement traversé par la discontinuité (au niveau de l'approximation des champs de déplacement et de pression de pore du massif, on ne prend en compte que l'enrichissement **Heaviside**).

La température au sein de la colonne est uniforme quel que soit l'instant t . La colonne est de plus entièrement saturée par un fluide (de l'eau par exemple) et les effets des forces de pesanteur ne sont pas pris en compte.

Afin d'avoir une solution unidimensionnelle (selon la direction y du repère d'espace) le coefficient de Poisson est pris nul.

Sur la Figure1.1-1 est représentée la géométrie de la colonne de sol.

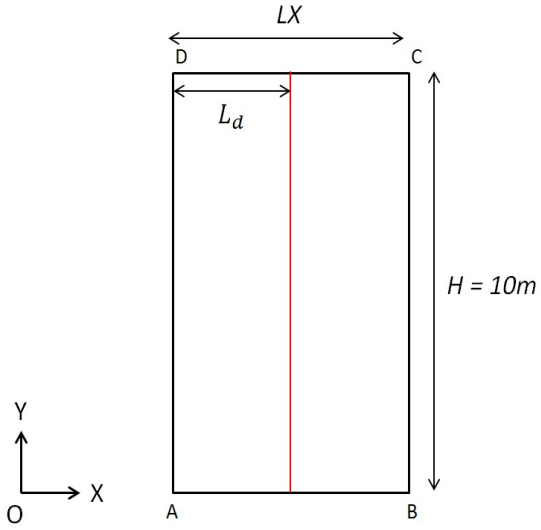


Figure1.1-1: Géométrie du problème 2D

1.2 Géométrie du problème 3D (modélisations C et D)

Soit une colonne de sol de longueur $L=LX$, d'épaisseur $E=1\mathrm{m}$ et de hauteur $H=10\mathrm{m}$. Cette colonne présente en $X=L_d$ une discontinuité de type interface (interface non maillée qui est introduite dans le modèle par l'intermédiaire des *level-sets* grâce à l'opérateur DEFI_FISS_XFEM). Le barreau est entièrement traversé par la discontinuité (au niveau de l'approximation des champs de déplacement et de pression de pore du massif, on ne prend en compte que l'enrichissement **Heaviside**).

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

La température au sein de la colonne est uniforme quelque soit l'instant t . La colonne est de plus entièrement saturée par un fluide (de l'eau par exemple) et les effets des forces de pesanteur ne sont pas pris en compte.

Afin d'avoir une solution unidimensionnelle (selon la direction z du repère d'espace) le coefficient de Poisson est pris nul.

Sur la Figure1.2-1 est représentée la géométrie de la colonne de sol.

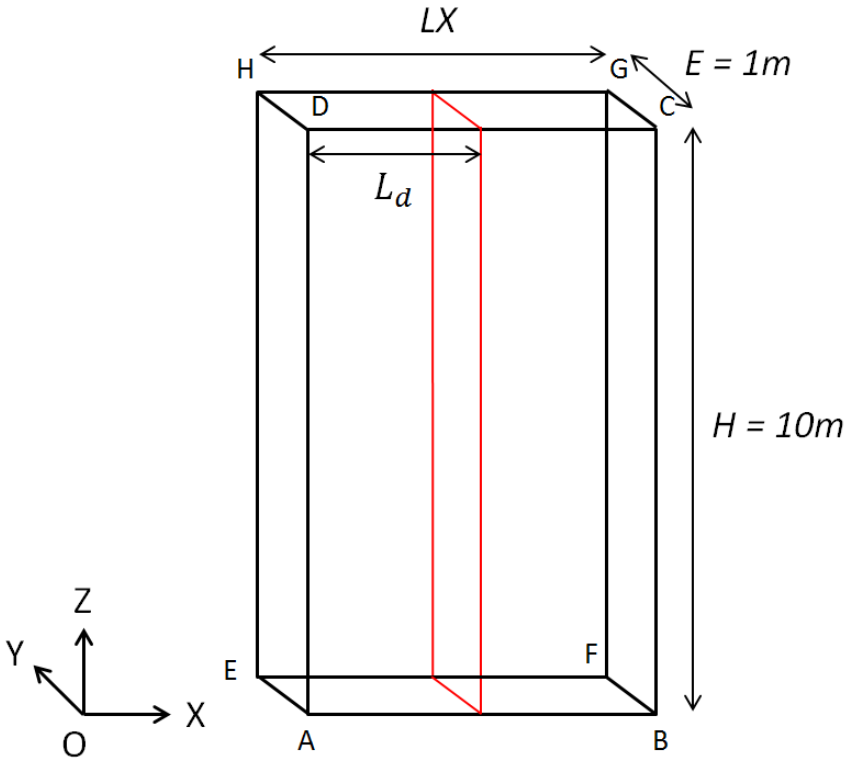


Figure1.2-1: Géométrie du problème 3D

1.3 Propriétés du matériau

Les paramètres donnés dans le Tableau 1.3-1, correspondent aux paramètres utilisés pour la modélisation dans le cas couplé hydromécanique. La loi de couplage utilisée est `'LIQU_SATU'`.

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

Liquide (eau)	Viscosité $\mu_w(en\ Pa.s)$:	10^{-3}
	Module de compressibilité $\frac{1}{K_w}(en\ Pa^{-1})$:	0
	Densité du liquide $\rho_w(en\ kg/m^3)$:	1000
	Perméabilité relative au fluide $k_{lq}^{rel}(S_{lq})$:	1
Paramètres élastiques	Module de Young drainé $E(en\ MPa)$:	10
	Coefficient de Poisson ν :	0
Paramètres de couplage	Coefficient de Biot b :	1
	Masse volumique homogénéisée initiale $r_0(en\ kg/m^3)$:	2800
	Perméabilité intrinsèque $K^{int}(en\ m^2/s)$:	10^{-8}

Tableau 1.3-1 : Propriétés du matériau

La porosité du matériau est prise égale à $\varphi = 0{,}5$.

1.4 Conditions aux limites, conditions initiales et chargements

1.4.1 Conditions aux limites cas 2D

Les déplacements sont bloqués sur les faces [AD] et [BC] dans la direction horizontale, et sur la face inférieure [AB] aussi bien dans la direction verticale qu'horizontale. Sur l'interface, les déplacements horizontaux sont bloqués.

La pression de pore au sommet de la colonne est nulle quelque soit l'instant considéré, c'est-à-dire $p(H,t)=0.0$.

1.4.2 Conditions aux limites cas 3D

Les déplacements sont bloqués sur la face [ABFE]. Les déplacements selon (0x) sont bloqués sur les faces [EADH], [FBCG] ainsi que sur l'interface. Les déplacements selon (Oy) sont bloqués sur les faces [ABCD] et [EFGH].

La pression de pore au sommet de la colonne est nulle quel que soit l'instant considéré, c'est-à-dire $p(H,t)=0.0$.

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

1.4.3 Chargements et conditions initiales

Afin de partir d'un chargement différent de part et d'autre de la fracture, on cherche à créer initialement dans la colonne une discontinuité du champ de pression sur le toit de la colonne. Ainsi pour la partie de la colonne située à gauche, la charge imposée est $F_G = -1.0\,Pa$ et pour la partie de la colonne située à droite, la charge imposée est $F_D = -1.54\,Pa$.

Les conditions initiales en pression pour l'équilibre hydraulique s'écrivent donc :

- $p^G(y,0) = -\dfrac{F_G}{b} = 1.0\,Pa$
- $p^D(y,0) = -\dfrac{F_D}{b} = 1.54\,Pa$

Les conditions aux limites sont résumées sur la Figure 1.4.3-1 :

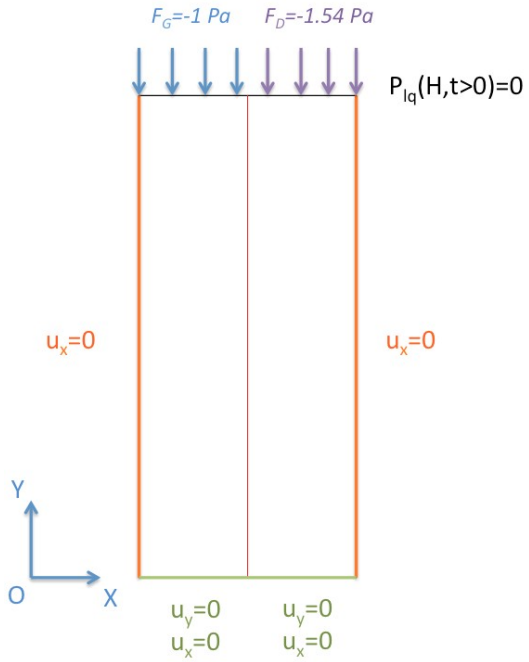


Figure 1.4.3-1 Conditions aux limites et initiales pour la modélisation 2D

La fracture est indiquée en rouge sur la Figure 1.4.3-1. Aucune condition aux limites n'est appliquée sur cette interface.

1.4.4 Remarque sur la modélisation utilisée

Compte tenu de la discontinuité du champ de pression au sommet de la colonne [V7.30.100], on remarque que :

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

$$\begin{cases} p(y,0) = -\dfrac{F_0}{b} & si\ y < H \\ p(y,0) = 0 & si\ y = H \end{cases}$$

Cette particularité de la solution confère une instabilité au niveau de la résolution numérique (apparition d'oscillations) du problème couplé en haut de la colonne. Cela est lié au nom respect de la condition LBB [V7.30.100].

En effet dans le cas classique, la modélisation de type D_PLAN_HMD est utilisée pour y parvenir. Or en HM-XFEM seule l'extension de la modélisation D_PLAN_HM a été effectuée. Les résultats (pour le cas HM-XFEM) obtenus en haut de la colonne sont donc à prendre avec précaution. On observe en effet que les résultats obtenus avec le modèle HM-XFEM sont moins précis en haut de la colonne, surtout pour des temps petits. Mais ces résultats sont similaires à ceux obtenus avec la modélisation de type D_PLAN_HM dans le cas classique.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Il s'agit d'une solution analytique. Ce test permettant de valider la discontinuité de la pression du massif, nous nous focaliserons uniquement sur la résolution théorique de l'équation de conservation de la masse :

$$\frac{b^2}{E_0}\frac{\partial p_{lq}(y,t)}{\partial t}-\left(\frac{K^{\text{int}}.k_{\text{lq}}^{\text{rel}}}{\mu_{\text{lq}}}\frac{\partial^2 p_{\text{lq}}(y,t)}{\partial y^2}\right)=0$$

L'équation différentielle ci-dessus étant homogène, à coefficients constants, on utilise la méthode de résolution par variables séparables (voir annexe 1 pour la résolution de cette équation).

Compte tenu des conditions initiales et aux limites considérées au paragraphe 1.4 l'expression de la pression de pore pour la colonne de gauche s'exprime par :

$$P^G(y,t)=\frac{-4\text{F}_G}{\pi b}\sum_{m=1}^{+\infty}\frac{(-1)^{m-1}}{2\text{m}-1}e^{-\lambda E\pi^2(2\text{m}-1)^2\frac{t}{4\text{b}^2H^2}}\cos\left(\frac{\pi y(2\text{m}-1)}{2\text{H}}\right)$$

et l'expression de la pression de pore pour la colonne de droite s'exprime par :

$$P^D(y,t)=\frac{-4\text{F}_D}{\pi b}\sum_{m=1}^{+\infty}\frac{(-1)^{m-1}}{2\text{m}-1}e^{-\lambda E\pi^2(2\text{m}-1)^2\frac{t}{4\text{b}^2H^2}}\cos\left(\frac{\pi y(2\text{m}-1)}{2\text{H}}\right)$$

2.2 Grandeurs et résultats de référence

On teste la pression de pore PRE1 et la contrainte SIYY à différentes hauteurs dans la colonne et à différents instants.

2.3 Incertitudes sur la solution

Aucune la solution est analytique.

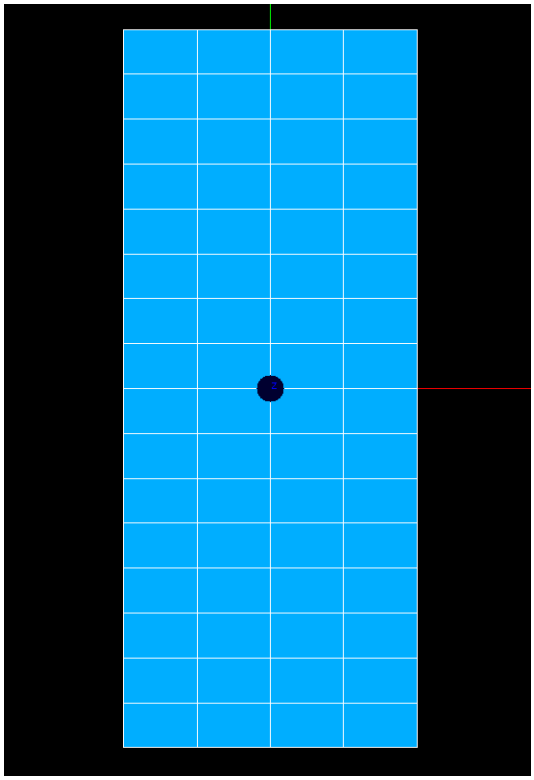
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation A

Les caractéristiques sont identiques à la solution de référence. La modélisation utilisée est de type D_PLAN_HM. Le maillage est représenté sur la Figure 3.1-1. Dans cette modélisation, $LX=4\mathrm{m}$ et $L_d=2\,m$, la discontinuité est ainsi conforme au maillage.

Figure 3.1-1 maillage 2D modélisation A



3.2 Grandeurs testées et résultats

Dans la colonne de gauche, on teste la pression de pore PRE1et la contrainte SIYY à l'instant final $t=250\mathrm{s}$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation D_PLAN_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation D_PLAN_HMD classique dans le haut de la colonne.

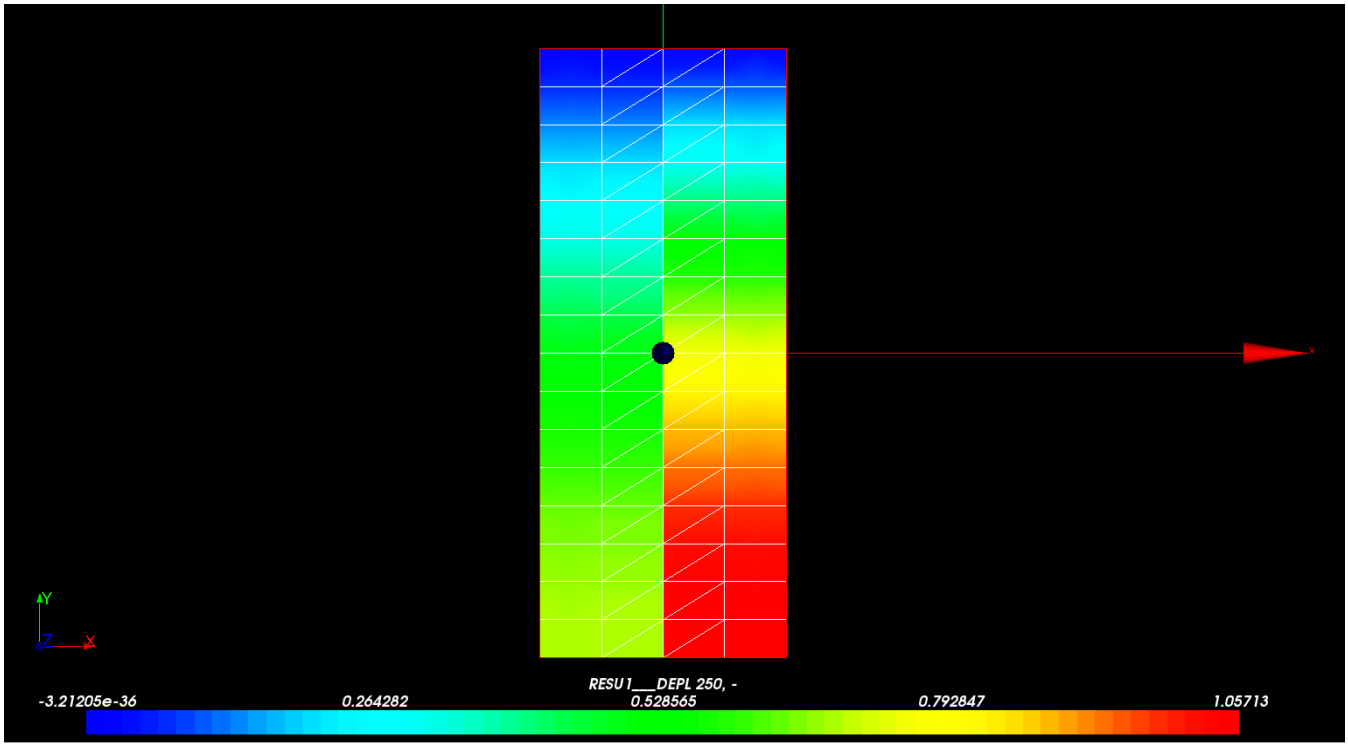
Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	8.75	0.	ANALYTIQUE	1.0
Déplacement PRE1	9.375	0.	ANALYTIQUE	1.0
Déplacement PRE1	0.0	250.	ANALYTIQUE	0.68544576689
Déplacement PRE1	0.625	250.	ANALYTIQUE	0.682208147164
Déplacement PRE1	1.25	250.	ANALYTIQUE	0.67252104433
Déplacement PRE1	1.875	250.	ANALYTIQUE	0.656461946263
Déplacement PRE1	2.5	250.	ANALYTIQUE	0.634160686593
Déplacement PRE1	3.125	250.	ANALYTIQUE	0.605800331394
Déplacement PRE1	3.75	250.	ANALYTIQUE	0.571618145927
Déplacement PRE1	4.375	250.	ANALYTIQUE	0.531906397249
Déplacement PRE1	5.0	250.	ANALYTIQUE	0.487012719208
Déplacement PRE1	5.625	250.	ANALYTIQUE	0.437339762565

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

Déplacement PRE1	6.25	250.	ANALYTIQUE	0.38334387542
Déplacement PRE1	6.875	250.	ANALYTIQUE	0.32553260623
Déplacement PRE1	7.5	250.	ANALYTIQUE	0.264460889851
Déplacement PRE1	8.125	250.	ANALYTIQUE	0.200725860656
Déplacement PRE1	8.75	250.	ANALYTIQUE	0.134960328921
Déplacement PRE1	9.375	250.	ANALYTIQUE	0.0678250497631
Déplacement PRE1	10.0	250.	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	8.75	0.00	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	0.0	250.	ANALYTIQUE	-0.31455423311
Contrainte SIYY	0.625	250.	ANALYTIQUE	-0.317791852836
Contrainte SIYY	1.25	250.	ANALYTIQUE	-0.32747895567
Contrainte SIYY	1.875	250.	ANALYTIQUE	-0.343538053737
Contrainte SIYY	2.5	250.	ANALYTIQUE	-0.365839313407
Contrainte SIYY	3.125	250.	ANALYTIQUE	-0.394199668606
Contrainte SIYY	3.75	250.	ANALYTIQUE	-0.428381854073
Contrainte SIYY	4.375	250.	ANALYTIQUE	-0.468093602751
Contrainte SIYY	5.0	250.	ANALYTIQUE	-0.512987280792
Contrainte SIYY	5.625	250.	ANALYTIQUE	-0.562660237435
Contrainte SIYY	6.25	250.	ANALYTIQUE	-0.61665612458
Contrainte SIYY	6.875	250.	ANALYTIQUE	-0.67446739377
Contrainte SIYY	7.5	250.	ANALYTIQUE	-0.735539110149
Contrainte SIYY	8.125	250.	ANALYTIQUE	-0.799274139344
Contrainte SIYY	8.75	250.	ANALYTIQUE	-0.865039671079
Contrainte SIYY	9.375	250.	ANALYTIQUE	-0.932174950237
Contrainte SIYY	10,0	250.	ANALYTIQUE	-1,0
Contrainte VMIS	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.0
Contrainte VMIS_SG	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.0
Contrainte PRIN_1	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.0
Contrainte PRIN_2	10,0	250.	NON_REGRESSION	0,00
Contrainte PRIN_3	10,0	250.	NON_REGRESSION	0.00
Contrainte TRESCA	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.0

Les résultats obtenus pour la pression de pore à l'instant final $t=250\text{s}$ sont représentés sur la Figure 3.2-1 . On observe bien une discontinuité nette de la pression de pore de part et d'autre de la fissure. Les QUAD8 centraux sont subdivisés en sous TRIA HM_XFEM.

Figure 3.2-1 Pression de pore à l'instant t=250s



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

Dans la colonne de droite, on teste la pression de pore PRE1et la contrainte SIYY à l'instant final $t=250\text{s}$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation D_PLAN_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation D_PLAN_HMD classique dans le haut de la colonne.

Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	8.75	0.	ANALYTIQUE	1.54
Déplacement PRE1	9.375	0.	ANALYTIQUE	1.54
Déplacement PRE1	0.0	250.	ANALYTIQUE	1.055586481
Déplacement PRE1	0.625	250.	ANALYTIQUE	1.050600547
Déplacement PRE1	1.25	250.	ANALYTIQUE	1.035682408
Déplacement PRE1	1.875	250.	ANALYTIQUE	1.010951397
Déplacement PRE1	2.5	250.	ANALYTIQUE	0.9766074572
Déplacement PRE1	3.125	250.	ANALYTIQUE	0.9329325102
Déplacement PRE1	3.75	250.	ANALYTIQUE	0.8802919447
Déplacement PRE1	4.375	250.	ANALYTIQUE	0.8191358517
Déplacement PRE1	5.0	250.	ANALYTIQUE	0.7499995876
Déplacement PRE1	5.625	250.	ANALYTIQUE	0.6735032343
Déplacement PRE1	6.25	250.	ANALYTIQUE	0.5903495681
Déplacement PRE1	6.875	250.	ANALYTIQUE	0.5013202135
Déplacement PRE1	7.5	250.	ANALYTIQUE	0.4072697703
Déplacement PRE1	8.125	250.	ANALYTIQUE	0.3091178253
Déplacement PRE1	8.75	250.	ANALYTIQUE	0.207838906
Déplacement PRE1	9.375	250.	ANALYTIQUE	0.104450576
Déplacement PRE1	10.0	250.	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	8.75	0.00	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	0.0	250.	ANALYTIQUE	-0.484413519
Contrainte SIYY	0.625	250.	ANALYTIQUE	-0.489399453
Contrainte SIYY	1.25	250.	ANALYTIQUE	-0.504317591
Contrainte SIYY	1.875	250.	ANALYTIQUE	-0.529048602
Contrainte SIYY	2.5	250.	ANALYTIQUE	-0.563392542
Contrainte SIYY	3.125	250.	ANALYTIQUE	-0.607067489
Contrainte SIYY	3.75	250.	ANALYTIQUE	-0.659708055
Contrainte SIYY	4.375	250.	ANALYTIQUE	-0.720864148
Contrainte SIYY	5.0	250.	ANALYTIQUE	-0.790000412
Contrainte SIYY	5.625	250.	ANALYTIQUE	-0.866496765
Contrainte SIYY	6.25	250.	ANALYTIQUE	-0.949650431
Contrainte SIYY	6.875	250.	ANALYTIQUE	-1.038679786
Contrainte SIYY	7.5	250.	ANALYTIQUE	-1.13273023
Contrainte SIYY	8.125	250.	ANALYTIQUE	-1.230882175
Contrainte SIYY	8.75	250.	ANALYTIQUE	-1.332161093
Contrainte SIYY	9.375	250.	ANALYTIQUE	-1.435549423
Contrainte SIYY	10,0	250.	ANALYTIQUE	-1,54
Contrainte VMIS	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.54
Contrainte VMIS_SG	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.54
Contrainte PRIN_1	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.54
Contrainte PRIN_2	10,0	250.	NON_REGRESSION	0,00
Contrainte PRIN_3	10,0	250.	NON_REGRESSION	0.00
Contrainte TRESCA	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.54

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation B

Les caractéristiques sont identiques à la solution de référence. La modélisation utilisée est de type D_PLAN_HM. Le maillage est représenté sur la Figure 4.1-1. Dans cette modélisation, $LX=5\mathrm{m}$ et $L_d=2,6m$, la discontinuité est ainsi non conforme au maillage, elle traverse des QUAD8.

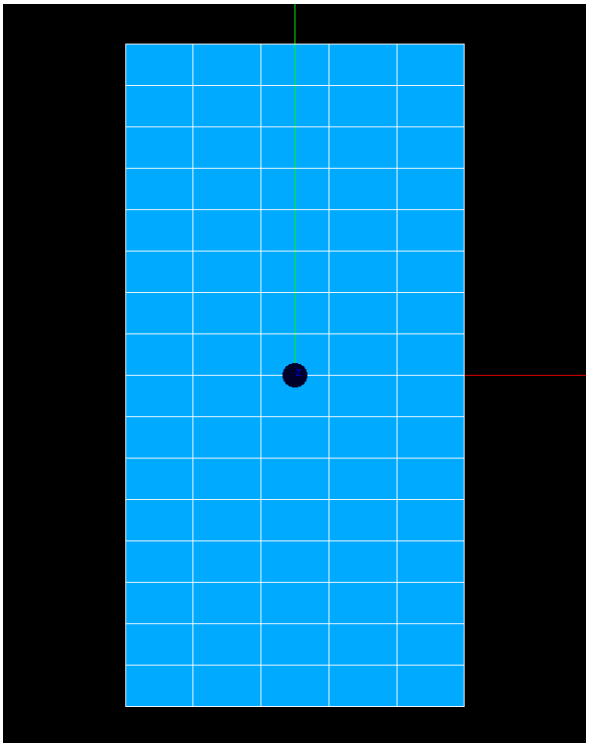


Figure 4.1-1 maillage 2D modélisation B

4.2 Grandeurs testées et résultats

Dans la colonne de gauche, on teste la pression de pore PRE1et la contrainte SIYY à l'instant final $t=250\mathrm{s}$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation D_PLAN_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation D_PLAN_HMD classique dans le haut de la colonne.

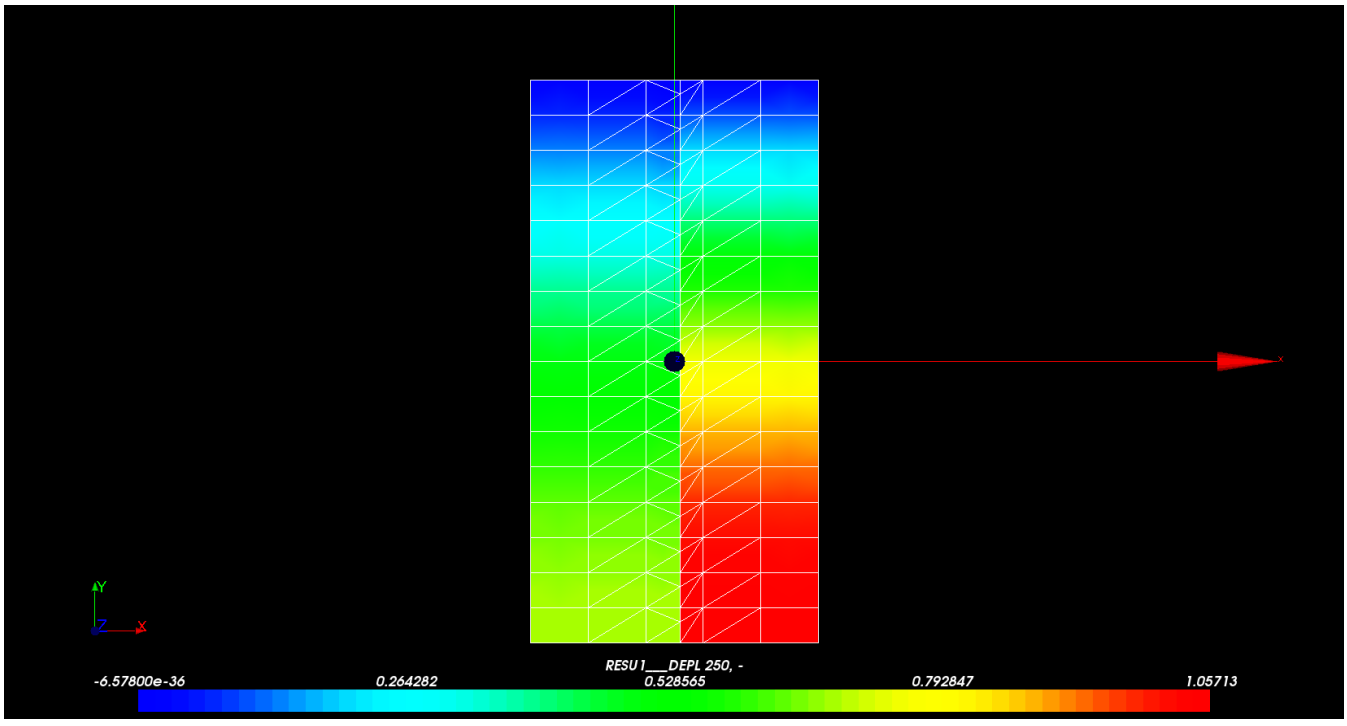
Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	8.75	0.	ANALYTIQUE	1.0
Déplacement PRE1	9.375	0.	ANALYTIQUE	1.0
Déplacement PRE1	0.0	250.	ANALYTIQUE	0.68544576689
Déplacement PRE1	0.625	250.	ANALYTIQUE	0.682208147164
Déplacement PRE1	1.25	250.	ANALYTIQUE	0.67252104433
Déplacement PRE1	1.875	250.	ANALYTIQUE	0.656461946263
Déplacement PRE1	2.5	250.	ANALYTIQUE	0.634160686593
Déplacement PRE1	3.125	250.	ANALYTIQUE	0.605800331394
Déplacement PRE1	3.75	250.	ANALYTIQUE	0.571618145927

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

Déplacement PRE1	4.375	250.	ANALYTIQUE	0.531906397249
Déplacement PRE1	5.0	250.	ANALYTIQUE	0.487012719208
Déplacement PRE1	5.625	250.	ANALYTIQUE	0.437339762565
Déplacement PRE1	6.25	250.	ANALYTIQUE	0.38334387542
Déplacement PRE1	6.875	250.	ANALYTIQUE	0.32553260623
Déplacement PRE1	7.5	250.	ANALYTIQUE	0.264460889851
Déplacement PRE1	8.125	250.	ANALYTIQUE	0.200725860656
Déplacement PRE1	8.75	250.	ANALYTIQUE	0.134960328921
Déplacement PRE1	9.375	250.	ANALYTIQUE	0.0678250497631
Déplacement PRE1	10.0	250.	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	8.75	0.00	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	0.0	250.	ANALYTIQUE	-0.31455423311
Contrainte SIYY	0.625	250.	ANALYTIQUE	-0.317791852836
Contrainte SIYY	1.25	250.	ANALYTIQUE	-0.32747895567
Contrainte SIYY	1.875	250.	ANALYTIQUE	-0.343538053737
Contrainte SIYY	2.5	250.	ANALYTIQUE	-0.365839313407
Contrainte SIYY	3.125	250.	ANALYTIQUE	-0.394199668606
Contrainte SIYY	3.75	250.	ANALYTIQUE	-0.428381854073
Contrainte SIYY	4.375	250.	ANALYTIQUE	-0.468093602751
Contrainte SIYY	5.0	250.	ANALYTIQUE	-0.512987280792
Contrainte SIYY	5.625	250.	ANALYTIQUE	-0.562660237435
Contrainte SIYY	6.25	250.	ANALYTIQUE	-0.61665612458
Contrainte SIYY	6.875	250.	ANALYTIQUE	-0.67446739377
Contrainte SIYY	7.5	250.	ANALYTIQUE	-0.735539110149
Contrainte SIYY	8.125	250.	ANALYTIQUE	-0.799274139344
Contrainte SIYY	8.75	250.	ANALYTIQUE	-0.865039671079
Contrainte SIYY	9.375	250.	ANALYTIQUE	-0.932174950237
Contrainte SIYY	10,0	250.	ANALYTIQUE	-1,0
Contrainte VMIS	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.0
Contrainte VMIS_SG	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.0
Contrainte PRIN_1	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.0
Contrainte PRIN_2	10,0	250.	NON_REGRESSION	0,00
Contrainte PRIN_3	10,0	250.	NON_REGRESSION	0.00
Contrainte TRESCA	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.0

Les résultats obtenus pour la pression de pore à l'instant final $t=250\text{s}$ sont représentés sur la Figure 4.2-1 . On observe bien une discontinuité nette de la pression de pore de part et d'autre de la fissure. Les QUAD8 centraux sont subdivisés en sous TRIA6 HM_XFEM.

Figure 4.2-1 Pression de pore à l'instant t=250s



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

Dans la colonne de droite, on teste la pression de pore PRE1et la contrainte SIYY à l'instant final $t=250\text{s}$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation D_PLAN_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation D_PLAN_HMD classique dans le haut de la colonne.

Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	8.75	0.	ANALYTIQUE	1.54
Déplacement PRE1	9.375	0.	ANALYTIQUE	1.54
Déplacement PRE1	0.0	250.	ANALYTIQUE	1.055586481
Déplacement PRE1	0.625	250.	ANALYTIQUE	1.050600547
Déplacement PRE1	1.25	250.	ANALYTIQUE	1.035682408
Déplacement PRE1	1.875	250.	ANALYTIQUE	1.010951397
Déplacement PRE1	2.5	250.	ANALYTIQUE	0.9766074572
Déplacement PRE1	3.125	250.	ANALYTIQUE	0.9329325102
Déplacement PRE1	3.75	250.	ANALYTIQUE	0.8802919447
Déplacement PRE1	4.375	250.	ANALYTIQUE	0.8191358517
Déplacement PRE1	5.0	250.	ANALYTIQUE	0.7499995876
Déplacement PRE1	5.625	250.	ANALYTIQUE	0.6735032343
Déplacement PRE1	6.25	250.	ANALYTIQUE	0.5903495681
Déplacement PRE1	6.875	250.	ANALYTIQUE	0.5013202135
Déplacement PRE1	7.5	250.	ANALYTIQUE	0.4072697703
Déplacement PRE1	8.125	250.	ANALYTIQUE	0.3091178253
Déplacement PRE1	8.75	250.	ANALYTIQUE	0.207838906
Déplacement PRE1	9.375	250.	ANALYTIQUE	0.104450576
Déplacement PRE1	10.0	250.	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	8.75	0.00	ANALYTIQUE	0.00
Contrainte SIYY	0.0	250.	ANALYTIQUE	-0.484413519
Contrainte SIYY	0.625	250.	ANALYTIQUE	-0.489399453
Contrainte SIYY	1.25	250.	ANALYTIQUE	-0.504317591
Contrainte SIYY	1.875	250.	ANALYTIQUE	-0.529048602
Contrainte SIYY	2.5	250.	ANALYTIQUE	-0.563392542
Contrainte SIYY	3.125	250.	ANALYTIQUE	-0.607067489
Contrainte SIYY	3.75	250.	ANALYTIQUE	-0.659708055
Contrainte SIYY	4.375	250.	ANALYTIQUE	-0.720864148
Contrainte SIYY	5.0	250.	ANALYTIQUE	-0.790000412
Contrainte SIYY	5.625	250.	ANALYTIQUE	-0.866496765
Contrainte SIYY	6.25	250.	ANALYTIQUE	-0.949650431
Contrainte SIYY	6.875	250.	ANALYTIQUE	-1.038679786
Contrainte SIYY	7.5	250.	ANALYTIQUE	-1.13273023
Contrainte SIYY	8.125	250.	ANALYTIQUE	-1.230882175
Contrainte SIYY	8.75	250.	ANALYTIQUE	-1.332161093
Contrainte SIYY	9.375	250.	ANALYTIQUE	-1.435549423
Contrainte SIYY	10,0	250.	ANALYTIQUE	-1,54
Contrainte VMIS	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.54
Contrainte VMIS_SG	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.54
Contrainte PRIN_1	10,0	250.	NON_REGRESSION	-1.54
Contrainte PRIN_2	10,0	250.	NON_REGRESSION	0,00
Contrainte PRIN_3	10,0	250.	NON_REGRESSION	0.00
Contrainte TRESCA	10,0	250.	NON_REGRESSION	1.54

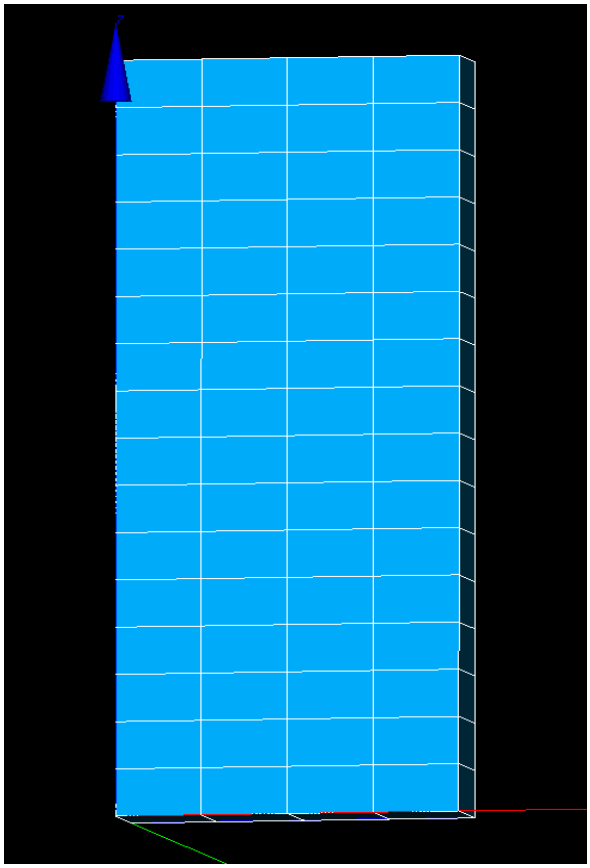
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation C

Les caractéristiques sont identiques à la solution de référence. La modélisation utilisée est de type 3D_HM. Le maillage est représenté sur la Figure 5.1-1, il est constitué de 64 HEXA20. Dans cette modélisation, $LX=4\mathrm{m}$ et $L_d=2m$, la discontinuité est ainsi conforme au maillage.

Figure 5.1-1 maillage 3D modélisation C



5.2 Grandeurs testées et résultats

Dans la colonne de gauche, on teste la pression de pore PRE1 à l'instant $t=0{,}0001\,s$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation 3D_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation 3D_HMD classique dans le haut de la colonne.

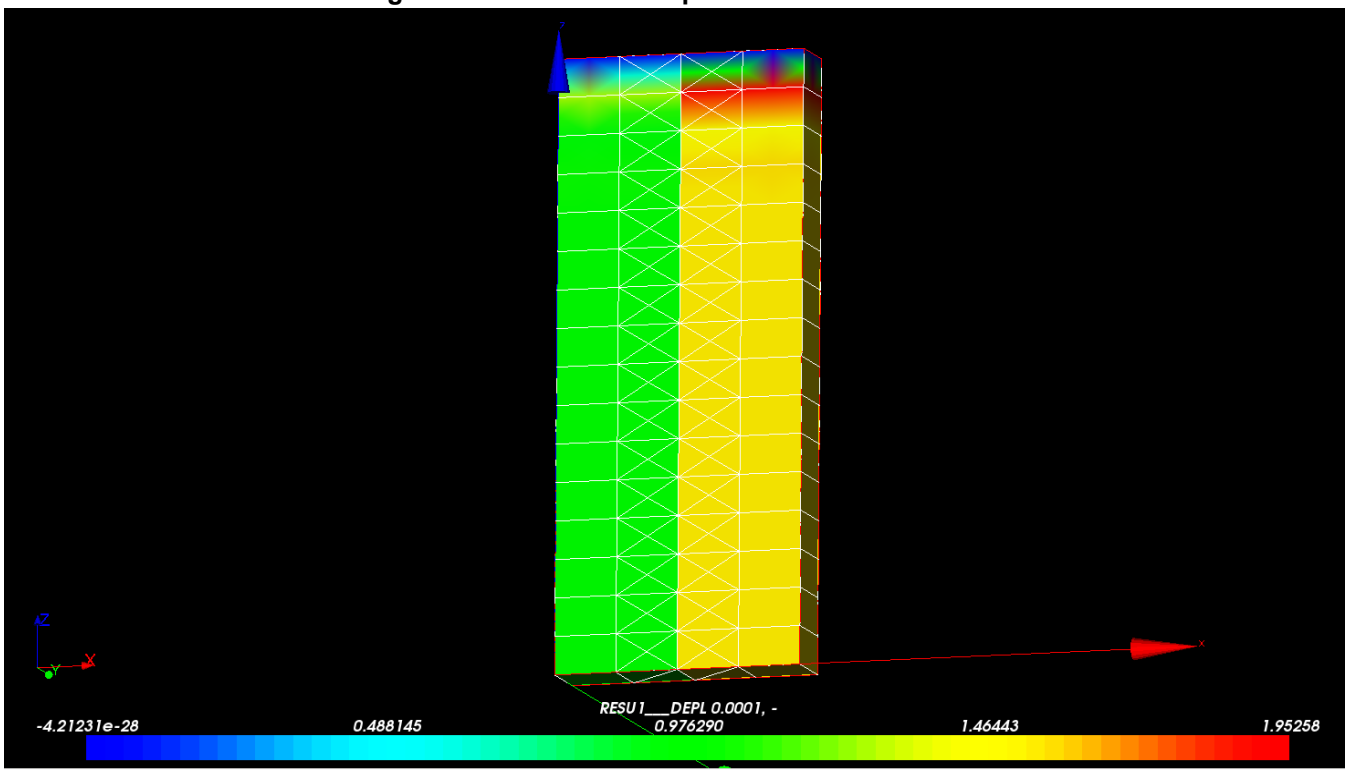
Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	0,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	0,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	1,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	1,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	2,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	3,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	3,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	4,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	5,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	5,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,0

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

Déplacement PRE1	6,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	6,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	7,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	8,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	8,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	9,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	10,0	0.0001	ANALYTIQUE	0,0

Les résultats obtenus pour la pression de pore à l'instant final $t=0.0001\text{s}$ sont représentés sur la Figure 5.2-1 . On observe bien une discontinuité nette de la pression de pore de part et d'autre de la fissure. Les HEXA20 centraux sont subdivisés en sous TETRA HM_XFEM.

Figure 5.2-1 Pression de pore à l'instant t=0.001s



Dans la colonne de droite, on teste la pression de pore PRE1 à l'instant $t=0,0001\,s$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation 3D_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation 3D_HMD classique dans le haut de la colonne.

Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	0,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	0,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	1,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	1,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	2,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	3,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	3,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	4,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	5,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	5,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	6,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	6,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	7,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	8,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	8,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	9,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	10,0	0.0001	ANALYTIQUE	0,0

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

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation D

Les caractéristiques sont identiques à la solution de référence. La modélisation utilisée est de type 3D_HM. Le maillage est représenté sur la Figure 6.1-1, il est constitué de 80 HEXA20. Dans cette modélisation, $LX=5\,m$ et $L_d=2{,}6\,m$, la discontinuité est ainsi non conforme au maillage. Les HEXA20 centraux sont traversés par la fissure.

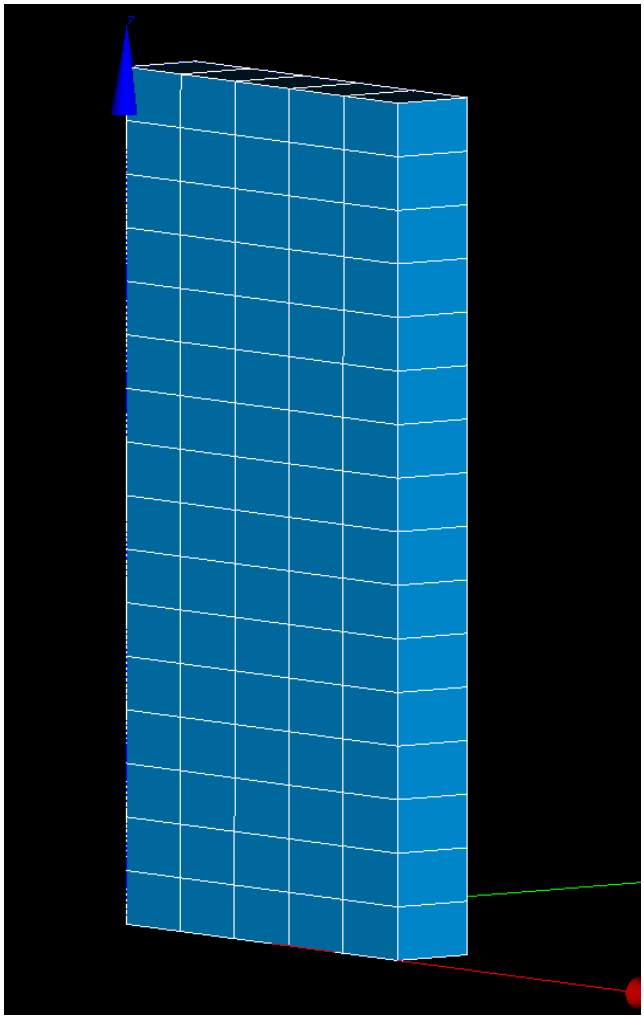


Figure 6.1-1 maillage 3D modélisation D

6.2 Grandeurs testées et résultats

Dans la colonne de gauche, on teste la pression de pore PRE1 à l'instant $t=0{,}0001\,s$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation 3D_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation 3D_HMD classique dans le haut de la colonne.

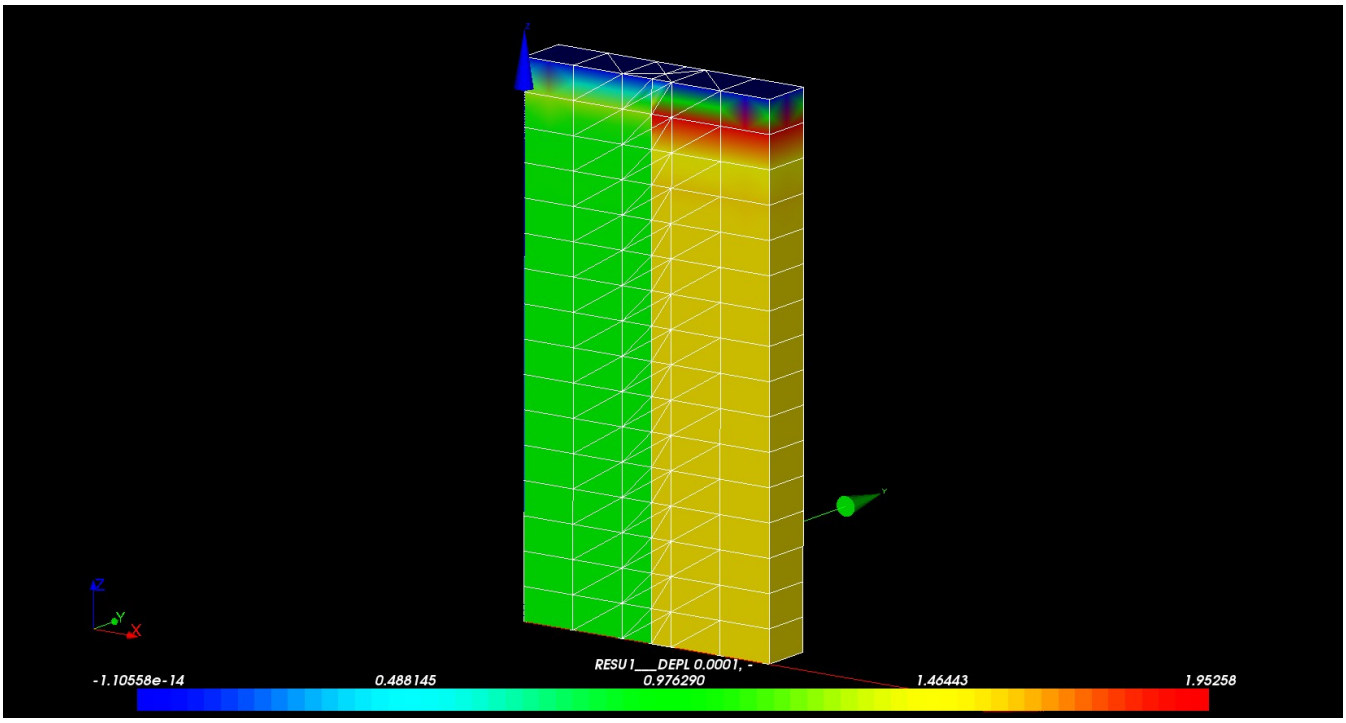
Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	0,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	0,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,0

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

Déplacement PRE1	1,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	1,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	2,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	3,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	3,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	4,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	5,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	5,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	6,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	6,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	7,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	8,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	8,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	9,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,0
Déplacement PRE1	10,0	0.0001	ANALYTIQUE	0,0

Les résultats obtenus pour la pression de pore à l'instant final $t=0.0001\text{s}$ sont représentés sur la Figure 6.2-1 . On observe bien une discontinuité nette de la pression de pore de part et d'autre de la fissure. Les HEXA20 centraux sont subdivisés en sous TETRA HM_XFEM.

Figure 6.2-1 Pression de pore à l'instant t=0.001s



Dans la colonne de droite, on teste la pression de pore PRE1 à l'instant $t=0{,}0001\,s$ à différentes hauteurs dans la colonne. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour une modélisation 3D_HM classique mais légèrement moins précis que ceux obtenus avec une modélisation 3D_HMD classique dans le haut de la colonne.

Valeur testée	Hauteur (m)	Instant (s)	Type	Référence
Déplacement PRE1	0,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	0,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	1,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	1,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	2,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	3,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	3,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	4,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	5,0	0.0001	ANALYTIQUE	1,54

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

Déplacement PRE1	5,625	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	6,25	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	6,875	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	7,5	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	8,125	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	8,75	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	9,375	0.0001	ANALYTIQUE	1,54
Déplacement PRE1	10,0	0.0001	ANALYTIQUE	0,0

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

7 Conclusion

Pour chacune des deux modélisations, les résultats concordent avec la solution analytique ainsi qu'avec les résultats obtenus avec une modélisation HM classique pour chaque côté de l'interface. Le degré de liberté de pression enrichi HPRE1 est correctement introduit et le comportement hydromécanique des éléments HM-XFEM coïncide avec celui des éléments HM classiques.

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