WDNP102 – Réflexion et absorption d'une onde de compression le long d'une colonne poroélastique

Résumé :

On teste l'efficience des éléments paraxiaux en modélisation hydromécanique. Le cas concerne la propagation d'une onde de compression dans une colonne poroélastique. L'onde est introduite et absorbée par l'élément paraxial situé à la base de la colonne après s'être réfléchie à son sommet. On produit deux cas-tests, l'un testant le 2D et l'autre le 3D.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le maillage de la colonne poroélastique est donné ci-contre. L'axe de propagation est dirigé suivant (OY). La hauteur totale de la colonne est de $25\,m$, pour $0.4\,m$ de largeur. Les 5 premiers mètres du bas sont discrétisés par des éléments de $1\,m$ d'épaisseur tandis que les $20\,m$ suivants sont discrétisés par des éléments de $0.2\,m$ d'épaisseur. L'ensemble de la colonne contient ainsi 105 éléments.

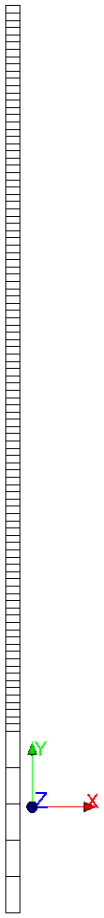


Image 1.1.1 : Maillage de la colonne

1.2 Propriétés des matériaux

On donne dans le tableau ci-après les propriétés matériaux de la modélisation hydromécanique couplée. On suppose le matériau poreux élastique linéaire et entièrement saturé d'eau.

A partir des propriétés matériaux suivant, la célérité des ondes de compression est donnée par la relation :

$$C_p=\sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho_{homo}}}=534{,}14\ m.s^{-1}$$

où λ et μ sont les modules de Lamé.

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

Eau liquide	Masse volumique ρ_l	$1000\,kg.m^{-3}$
	Compressibilité K_l	$0{,}1\,MPa$
	Viscosité ν	$0{,}001$
Paramètres homogénéisés	Perméabilité intrinsèque K^{int}	$10^{-12}\,m^2$
	Porosité ϕ	$0{,}23$
	Masse volumique homogénéisée ρ_{homo}	$2105\,kg.m^{-3}$
Squelette solide élastique linéaire	Module de compressibilité K	$313{,}1\,MPa$
	Module de cisaillement G	$215{,}6\,MPa$

Tableau 1.2-1 : Propriétés hydromécaniques de la colonne poro-élastique

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

1.3 Conditions aux limites et initiales

On souhaite propager de bas en haut une onde compression dans la colonne avec un blocage de sa partie supérieure afin qu'il y ait réflexion de l'onde à cet endroit et propagation inverse de haut en bas. Une frontière absorbante (élément paraxial) est placée à la base de la colonne afin d'amortir complètement l'onde réfléchie.

La colonne étant soumise à la pesanteur, des conditions géostatiques en contraintes effectives et en pression hydraulique préexistent initialement dans celle-ci. L'équilibrage initial de la colonne n'est pas évidente et nécessite la procédure suivante :

- la base de la colonne, flanquée de l'élément paraxial (en rouge), est bloquée à l'aide de ressorts très raides. Un calcul statique préalable (**figure 1**) permet de récupérer un champ de contraintes et de pression hydraulique en équilibre avec les conditions aux limites et de chargement ;
- on calcule les forces nodales (résultante des forces à la fois mécanique et hydraulique, en vert) dans les ressorts (**figure 2**) ;
- Ces forces nodales sont réinjectées à la base où l'on désactive simultanément les ressorts en leur affectant des raideurs très faibles (**figure 3**). Les conditions aux limites ainsi définies permettent de produire un état hydromécanique initial parfaitement équilibré ;
- Le calcul dynamique peut avoir lieu en injectant l'onde à partir de l'élément paraxial (**figure 4**) ;

Afin de rendre compte de l'invariance par translation horizontale (problème 1D), on solidarise les déplacements latéraux par une liaison de type `LIAISON_DDL`.

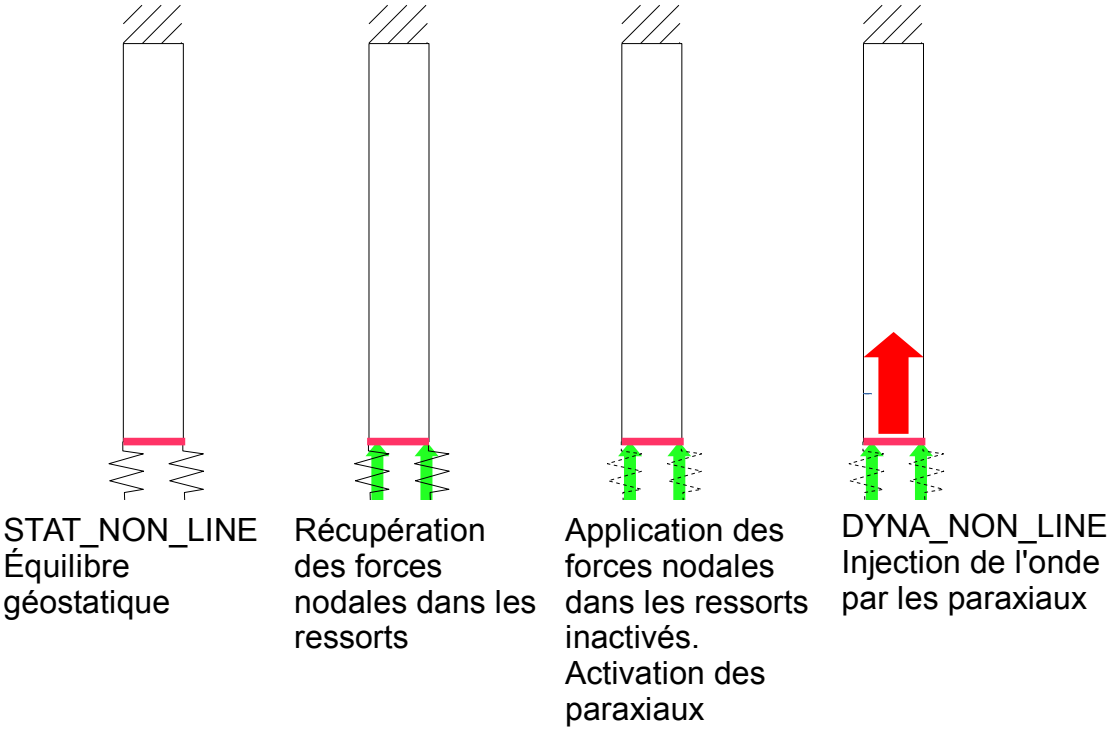


Image 1.3.1 : Procédure d'équilibrage initial de la colonne

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

Les conditions aux limites, initiales et de chargement sont résumées dans les tableaux suivants :

Conditions aux limites		
HAUT	MECA_IMPO	$DX=DY=DZ=0$
COTE	LIAISON_DDL	$DX_{gauche}=DX_{droit}$ $DY_{gauche}=DY_{droit}$ $DZ_{face}=DZ_{arrière}$
BAS	FORC_NODA	

Tableau 1.3-1 : conditions aux limites

Conditions initiales		
COLONNE	Géostatique	$SIXX=SIYY=SIZZ=(1-\phi)(\rho_g-\rho_l)gY$ $SIP=-PRE1=\rho_l gY$

Tableau 1.3-2 : conditions initiales

Chargements		
COLONNE	AFFE_CHAR_MECA : PESANTEUR	$g=-9{,}81\,m.s^{-2}$ selon (OY)
BAS	AFFE_CHAR_MECA_F : ONDE_PLANE	

Tableau 1.3-3 : chargements

1.4 Onde plane

L'onde plane de compression est une ondelette de type Ricker dont le profil est donné ci-après. Il est important de noter que le signal doit être introduit sous la forme d'une vitesse en fonction du temps.

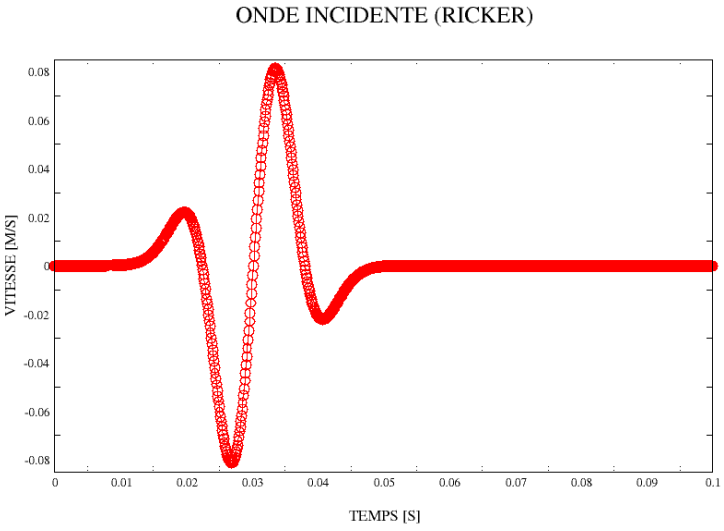


Image 1.4.1 : Ondelette incidente (Ricker)

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

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation A

Cas bidimensionnel en modélisation HM en déformations planes.

La discrétisation en temps est de $10^{-3} s$ jusqu'à $0,2 s$.

2.2 Résultats

Les figures ci-dessous présentent les profils de vitesse et de pression hydraulique le long de la colonne en fonction du temps. On observe bien une réflexion de l'onde au sommet de la colonne, suivie d'une propagation inverse de l'onde réfléchie. Cette onde réfléchie est alors absorbée à la base par la frontière absorbante.

Ce cas-test diffère du cas-test SDLV121 sur les points suivants :
- il démontre que les éléments paraxiaux sont aussi fonctionnels avec la modélisation HM ;
- il constitue une référence plus proche des problèmes réels rencontrés, où il faut partir d'un état initialement équilibré en tenant compte d'un champ de forces géostatique ;

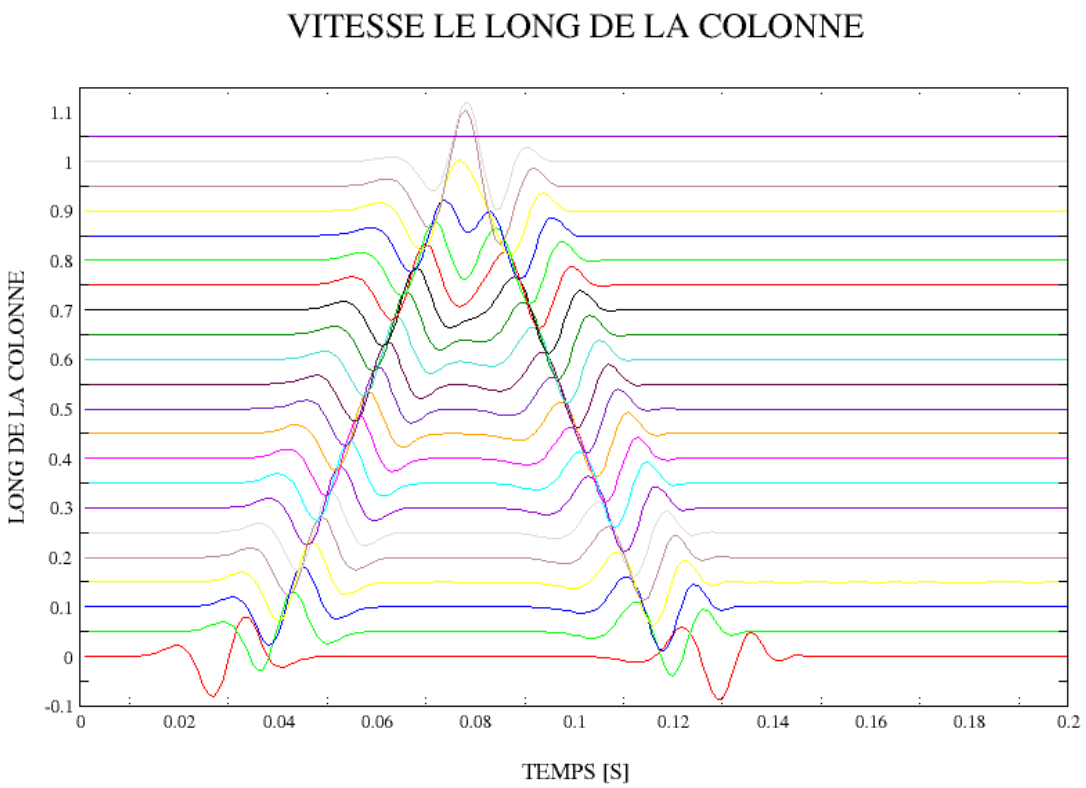


Image 2.2.1 : Propagation de la vitesse le long de la colonne

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

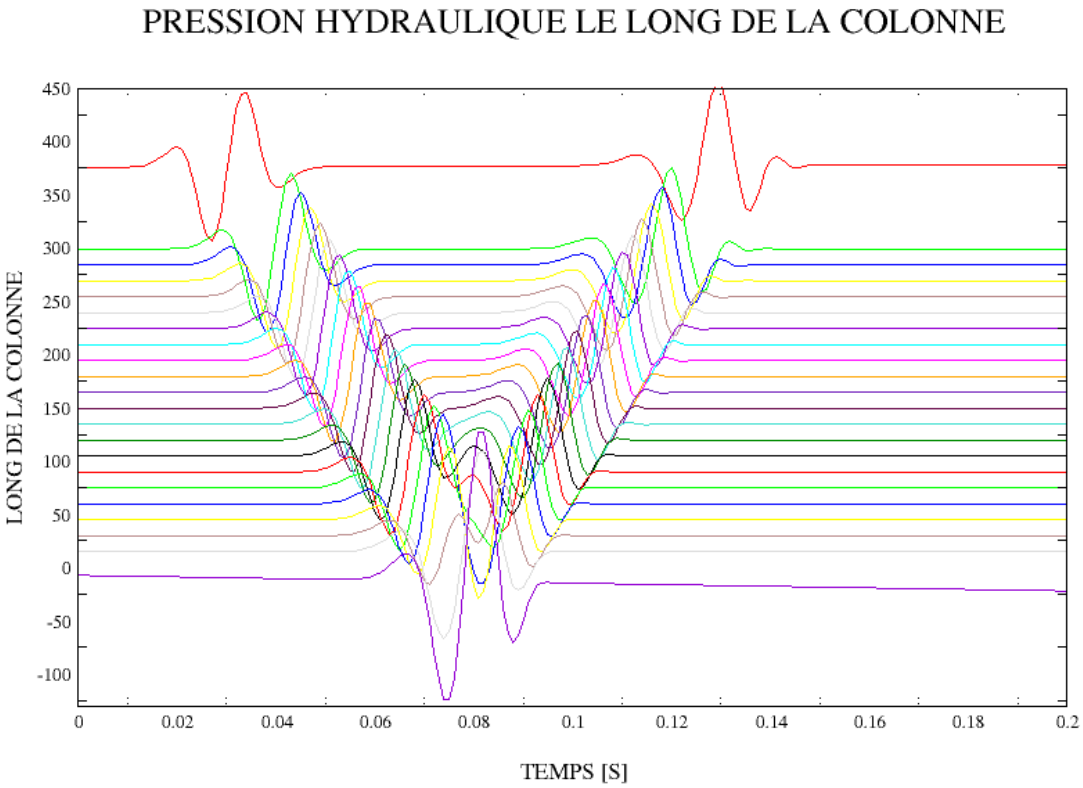


Image 2.2.2 : Propagation de la pression hydraulique le long de la colonne

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 trois valeurs pour les champs de vitesse et de pression hydraulique.

Y (m)	Temps (s)	VITY *Aster*
10	0,062s	0,085759174
10	0,1s	0,085229778
10	0,18s	0

Tableau 2.3-1

Y (m)	Temps (s)	PRE1 *Aster*
10	0,062s	219,5247
10	0,1s	219,0596
10	0,18s	149,4430

Tableau 2.3-2

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

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques de la modélisation B

Cas tridimensionnel en modélisation HM en déformations planes.

La discrétisation en temps est de $10^{-3} s$ jusqu'à $0,2 s$.

3.2 Résultats

Les figures ci-dessous présentent les profils de vitesse et de pression hydraulique le long de la colonne en fonction du temps. On observe bien une réflexion de l'onde au sommet de la colonne, suivie d'une propagation inverse de l'onde réfléchie. Cette onde réfléchie est alors absorbée à la base par la frontière absorbante.

Ce cas-test diffère du cas-test SDLV121 sur les points suivants :
- il démontre que les éléments paraxiaux sont aussi fonctionnels avec la modélisation HM ;
- il constitue une référence plus proche des problèmes réels rencontrés, où il faut partir d'un état initialement équilibré en tenant compte d'un champ de forces géostatique ;

3.3 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 trois valeurs pour les champs de vitesse et de pression hydraulique.

Y (m)	Temps (s)	VITY *Aster*
10	0,062s	0,085759174
10	0,1s	0,085229778
10	0,18s	0

Tableau 3.3-1

Y (m)	Temps (s)	PRE1 *Aster*
10	0,062s	219,5247
10	0,1s	219,0596
10	0,18s	149,4430

Tableau 3.3-2

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