FDLV111 - Absorption d'une onde de pression dans une colonne fluide

Résumé :

On teste les éléments paraxiaux fluides d'ordre 1 destinés à appliquer des conditions absorbantes à la frontière d'un maillage éléments finis pour simuler l'infini dans des calculs transitoires directs.

On les utilise pour modéliser une colonne fluide infinie, en 3D ou en 2D, dans laquelle on crée une onde de pression à l'aide d'un piston. On s'intéresse à la non réflexion de l'onde à l'extrémité "infinie" de la colonne.

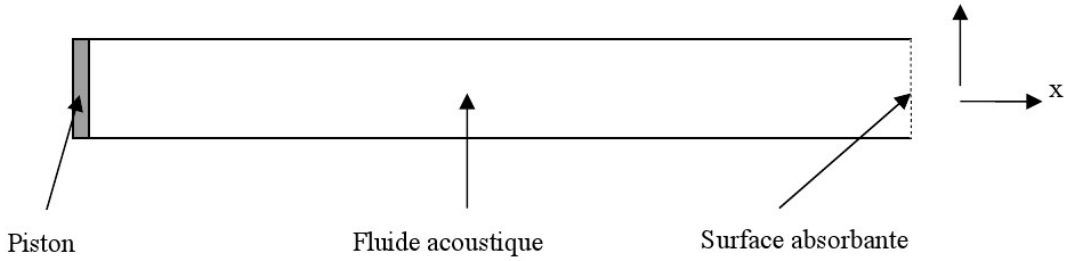
On teste successivement les deux opérateurs transitoires directs de *Code_Aster*, à savoir DYNA_VIBRA et DYNA_NON_LINE.

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

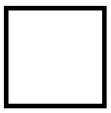
1 Problème de référence

1.1 Géométrie

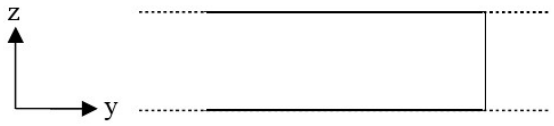
Le système considéré dans le cas 3D est celui d'une colonne de fluide à section carrée et d'un piston de même section animé d'un mouvement de corps rigide selon l'axe de la colonne. La surface latérale de la colonne est constituée d'un guide rigide immobile. On place les éléments absorbants sur la face opposée au piston pour simuler le caractère infini de la colonne dans cette direction. Dans le cas 2D, le principe est identique avec une colonne et un piston supposés très larges dont on ne modélise qu'une section verticale (voir schéma).



Section cas 3D :



Section cas 2D :



1.2 Propriétés des matériaux

Piston : béton

Masse volumique : $2400\ kg.m^{-3}$
Module d'Young : $3{,}6.10^{10}\ Pa$
Coefficient de Poisson : $0{,}48$

Fluide acoustique : eau

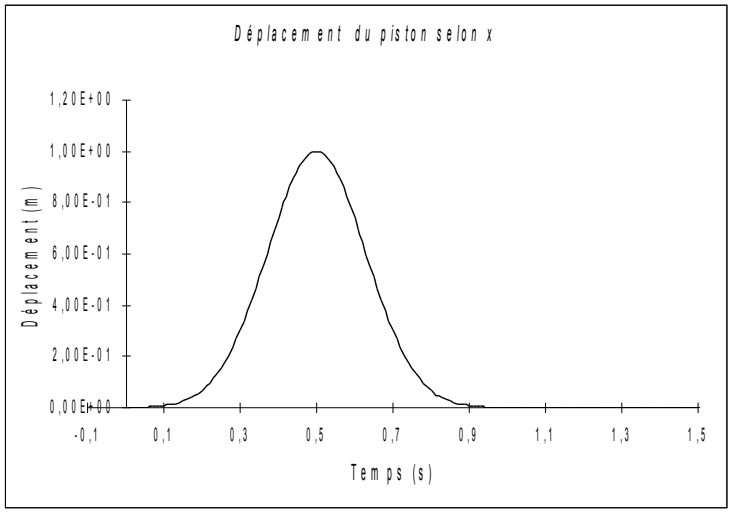
Masse volumique : $1000\ kg.m^{-3}$
Célérité : $1500\ m.s^{-1}$

1.3 Conditions aux limites et chargements

On dispose sur la surface latérale de la colonne des éléments fluide-structure dont on bloque les degrés de liberté de déplacements à zéro pour reproduire la condition de paroi rigide.

On impose à tous les nœuds de la face du piston en contact avec le fluide un déplacement selon x avec la fonction d'excitation temporelle suivante :

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



1.4 Conditions initiales

Le déplacement du piston est nul à l'instant initial et le fluide est au repos.

2 Solution de référence

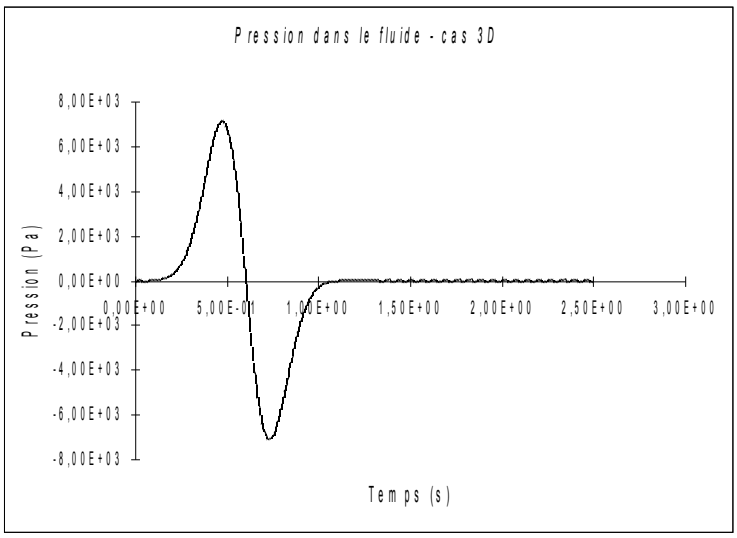
La solution doit montrer l'absorption d'une onde acoustique par la surface absorbante. Le mouvement du piston est une translation uniforme selon l'axe des x. Compte tenu de la symétrie du problème autour de cet axe, on va obtenir un champ de pression identique dans tous les plans $x=Cte$. De plus, la frontière absorbante est orthogonale à cet axe. On étudie donc l'absorption d'ondes de pression planes sous incidence normale. La théorie [bib1] dit qu'avec une frontière paraxiale fluide d'ordre 1, cette absorption est parfaite. C'est ce qu'on doit vérifier avec cette solution de référence.

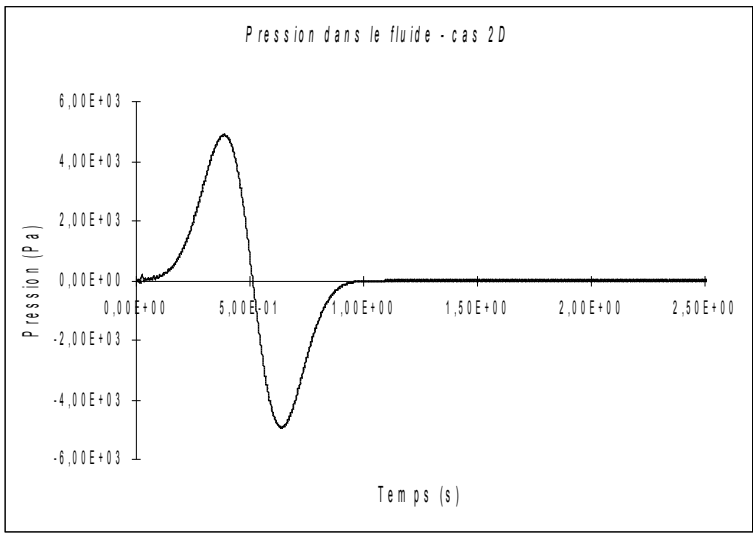
On va donc, en observant l'évolution de la pression en un point donné du maillage, s'attacher à retrouver dans le signal obtenu la durée d'excitation et le retour au repos après le passage de l'onde, caractéristique de son absorption.

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

2.1 Résultats de référence

On donne dans ce paragraphe les résultats obtenus avec *Code_Aster* dans cette configuration. On vérifie qu'ils sont satisfaisants et on les prend comme référence pour le futur.
Ils concernent, pour le cas 3D, l'évolution de pression en un point du fluide situé à $150\,m$ du piston dans la direction x et au centre de la section dans le plan yz. Pour le cas 2D, le point est situé à $40\,m$ du piston selon x et au milieu de la section dans la direction y (en 2D, on prend un maillage plus court et raffiné).





Comme prévu, la largeur du signal mesuré dans les deux cas est identique à celle de la fonction d'excitation. Physiquement, on observe bien la compression due à l'avancée du piston, puis la dépression correspondant à son recul pour revenir à sa position initiale. On note également clairement le retour au repos immédiatement après la passage de l'onde et l'absence de signal réfléchi à l'extrémité du maillage.

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

2.2 Incertitudes

Il s'agit d'un résultat d'étude numérique. On retrouve les prévisions qualitatives. Les valeurs numériques sont liées à la précision du calcul. Seul le retour au repos est clairement donné par l'analyse.

2.3 Références bibliographiques

1. B. ENGQUIST, A. MAJDA "Absorbing boundary conditions for the numerical simulation of waves." Mathematics of Computation (1977).

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

3 Modélisation A : cas 3D

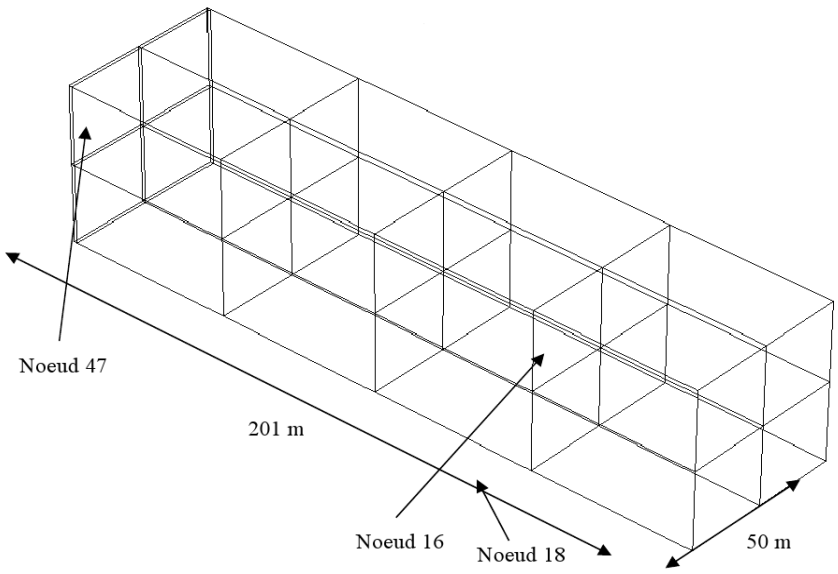
3.1 Caractéristiques de la modélisation

Piston : `PHENOMENE : ' MECANIQUE '`
`MODELISATION : ' 3D '`

Fluide : `PHENOMENE : ' MECANIQUE '`
`MODELISATION : ' 3D_FLUIDE '`

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 54
Nombre de mailles et types : 20 HEXA8
40 QUA4 (faces d'HEXA8)



3.3 Valeurs testées

On teste les valeurs de la pression aux nœuds 16, 18 et 47 (voir maillage). Pour le nœud 16, on teste les deux maxima (compression et dépression) et le retour au repos. Pour les nœuds 18 et 47, on teste le maximum en compression.

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

- DYNA_VIBRA :

Nœud	Instant (s)	Calcul avec *Code_Aster* (Pression en Pa)
N16	4.71250D–01	7.13737D+03
	7.27500D–01	–7.08305D+03
	1.27375D+00	0.182
N18	4.71250D–01	7.13737D+03
N47	3.72500E–01	7.09321E+03

Énergie	Instant (s)	Calcul avec *Code_Aster* (Énergie en J)
TRAV_EXT	6.0D–01	1.61742D+04
ENER_CIN	6.0D–01	8.70823D+03
ENER_TOT	6.0D–01	1.6432D+03
TRAV_AMOR	6.0D–01	0.0D+00
TRAV_LIAI	6.0D–01	5.82278D+03
DISS_SCH	6.0D–01	3.38028D-04
TRAV_EXT	1.2D+00	2.59604D+04
ENER_CIN	1.2D+00	2.18903D+00
ENER_TOT	1.2D+00	1.35116D-01
TRAV_AMOR	1.2D+00	0.0D+00
TRAV_LIAI	1.2D+00	2.59581D+04
DISS_SCH	1.2D+00	-2.72389D-04

- DYNA_NON_LINE :

Nœud	Instant (s)	Calcul avec *Code_Aster* (Pression en Pa)
N16	4.71000E–01	7.11473E+03
	7.26000E–01	–7.00022E+03
	1.20000E+00	37.5
N18	4.71000E–01	7.11473E+03
N47	3.72000E–01	7.08110E+03

Énergie	Instant (s)	Calcul avec *Code_Aster* (Énergie en J)
TRAV_EXT	6.0D–01	1.61 825 D+04
ENER_CIN	6.0D–01	8. 54463 D+03
ENER_TOT	6.0D–01	1.6 5942 D+03
TRAV_AMOR	6.0D–01	0.0D+00
TRAV_LIAI	6.0D–01	5. 97874 D+03
DISS_SCH	6.0D–01	3.3 2745 D-0 1
TRAV_EXT	1.2D+00	2.5 8781 D+04
ENER_CIN	1.2D+00	4.05194 D -01
ENER_TOT	1.2D+00	3 . 14213 D-0 2
TRAV_AMOR	1.2D+00	0.0D+00
TRAV_LIAI	1.2D+00	2.5 8775 D+04
DISS_SCH	1.2D+00	1 . 47130 D-0 1

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

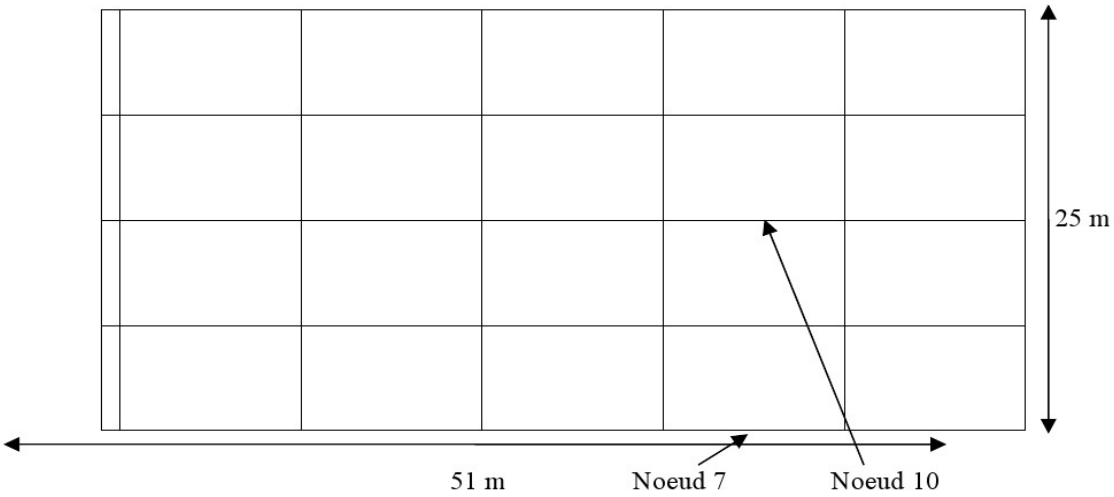
4 Modélisation B : cas 2D

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Piston : PHENOMENE : ' MECANIQUE '
MODELISATION : ' D_PLAN '

Fluide : PHENOMENE : ' MECANIQUE '
MODELISATION : ' 2D_FLUIDE '

4.2 Caractéristiques du maillage



Nombre de nœuds : 35
Nombre de mailles et types : 24 QUA4
18 SEG2 (faces de QUA4)

4.3 Valeurs testées

On teste les valeurs de la pression aux nœuds 7 et 10 (voir maillage). Pour le nœud 10, on teste les deux maxima (compression et dépression) et le retour au repos. Pour le nœud 7, on teste le maximum en compression.

- DYNA_VIBRA

Nœud	Instant (s)	Calcul avec *Code_Aster* (Pression en Pa)
$N10$	3.86000E–01	4.88962E+03
	6.37000E–01	–4.93961E+03
	1.15600E+00	0.434
$N7$	3.86000E–01	4.89074E+03

- DYNA_NON_LINE :

Nœud	Instant (s)	Calcul avec *Code_Aster* (Pression en Pa)
$N10$	3.84000E–01	4.87451E+03

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

	6.44000E–01	–4.88583E+03
	1.09400E+00	3.1
N7	3.84000E–01	4.88877E+03

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

5 Synthèse des résultats

On retrouve par le calcul avec les deux modélisations qualitativement, les maxima de pression aux bons instants et le retour au repos après le passage de l'onde.

Les résultats obtenus avec les opérateurs DYNA_VIBRA et DYNA_NON_LINE sont très proches. La différence provient de l'obtention à chaque pas de temps de l'état d'équilibre des efforts du second membre avec l'opérateur DYNA_NON_LINE. Cette différence reste toutefois minime car le pas de temps utilisé avec DYNA_VIBRA est suffisamment petit.

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