# FDLV116 - Réponse dynamique d'un barrage avec couplage fluide-structure

**Résumé :**

L'objectif de ce test est de comparer deux différentes modélisations des éléments fluides pour la réponse dynamique d'un barrage avec couplage fluide-structure.



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

On considère un barrage 2D avec une géométrie présentée en Figure 1.1-a.

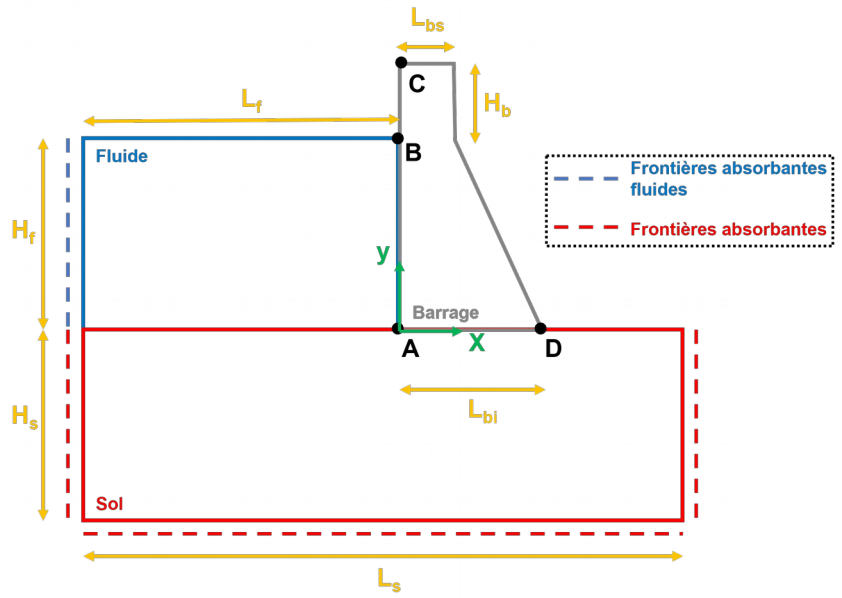



**Figure 1.1-a: Géométrie du barrage (pas à l'échelle)**

Dans le Tableau 1.1-1 on présente les dimensions géométriques du barrage, ainsi que dans le Tableau 1.1-2 on spécifié les coordonnées des points de post-traitement.

**Tableau 1.1-1: Dimensions géométriques du barrage**

| | $H_s$ | $H_f$ | $H_b$ | $L_s$ | $L_f$ | $L_{bi}$ | $L_{bs}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mesure [m] | 50 | 80 | 20 | 290 | 100 | 90 | 10 |

**Tableau 1.1-2: Coordonnées des points de post-traitement**

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| Coordonné X [m] | 0 | 0 | 0 | 90 |
| Coordonné Y [m] | 0 | 80 | 100 | 0 |



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

## 1.2 Propriétés des matériaux

Les propriétés des matériaux sont résumés dans le Tableau 1.2-1 .

**Tableau 1.2-1: Propriétés des matériaux**

| | E [GPa] | $\nu$ | $\rho$ [kg/m$^3$] | $\alpha$ | $\beta$ | $c_e$ [m/s] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Béton | 22.41 | 0.2 | 2483 | 0.0005 | 0.75 | - |
| Sol | 22.41 | 0.2 | 2483 | - | - | - |
| Eau | - | - | 1000 | - | - | 1440 |

Où :

- ***E*** est le module d'Young ;
- $\nu$ est le coefficient de Poisson ;
- $\rho$ est la densité volumique ;
- $\alpha$ et $\beta$ sont les coefficients qui définissent l'amortissement de Rayleigh ;
- $c_e$ est la célérité des ondes dans l'eau.

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

Il y a deux types de conditions aux limites (voir Figure 1.1-a ) :

- Aux bords latéraux du sol on affecte des frontières absorbantes ;
- Au bord gauche de la partie fluide on affecte une frontière absorbante fluide.

On a également deux interfaces fluide-structure définies entre le sol et la partie fluide ainsi qu'entre le barrage et la partie fluide. De plus, pour les modélisations 3D (C et E), on rajoute une condition de périodicité dans la direction où on impose la déformation plane.

Le chargement dynamique imposé est une ondelette de Ricker qui est présentée en Figure 1.3-a. Le chargement est imposé pour un temps total de ***1s***. Cette ondelette présente une direction de propagation inclinée de 20° par rapport à la verticale. On injecte cette ondelette à la fois comme onde P et onde S.

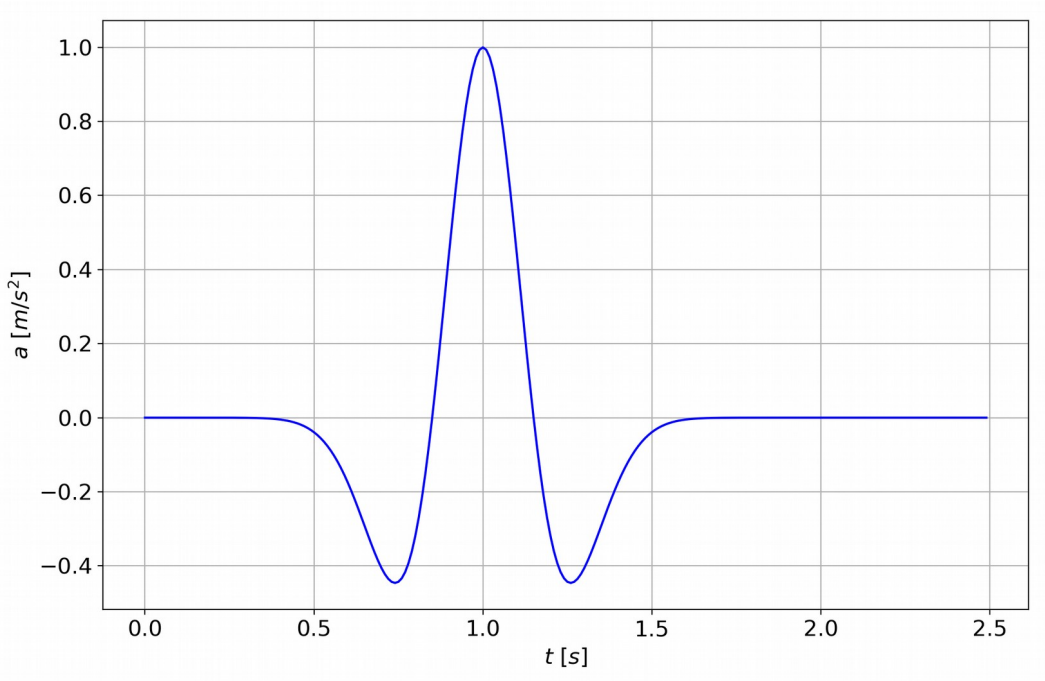



**Figure 1.3-a: Ondelette de Ricker**



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

# 2 Solution de référence

## 2.1 Méthode de calcul

Ce cas-test vise à comparer deux différentes formulations pour les éléments fluides. On aura donc des comparaisons exclusivement numériques.

## 2.2 Grandeurs et résultats de référence

Afin de choisir un point de comparaison intéressant, on trace l'accélération au point de post-traitement ***C*** avec et sans frontière fluide dans le cas de la formulation $(u, p)$ . Comme on peut observer dans la Figure 2.2-a , l'absence de la frontière fluide provoque un effet de déphasage dû aux ondes parasites de la frontière gauche du fluide.

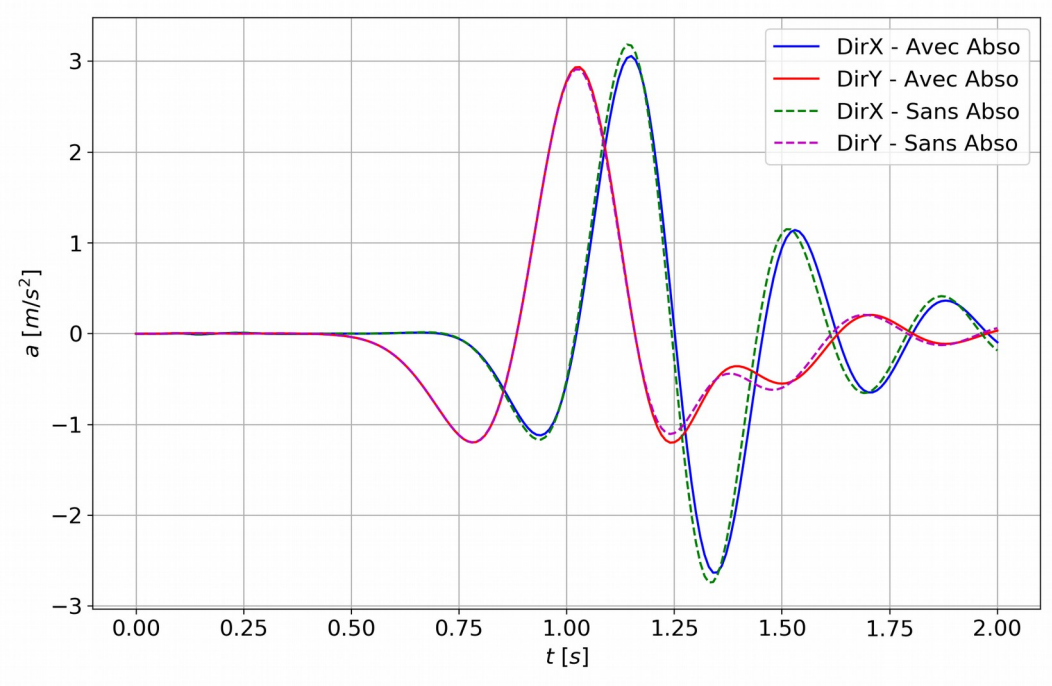



**Figure 2.2-a: Accélération au point de post-traitement C avec et sans frontière absorbante fluide**



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

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 2D_FLUIDE, D_PLAN, 2D_FLUI_STRU, D_PLAN_ABSO et 2D_FLUI_ABSO en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u, p, \varphi)$ ).
Cette modélisation est créé pour calculer une base de comparaison pour la formulation $(u, p)$ .

## 3.2 Caractéristiques du maillage

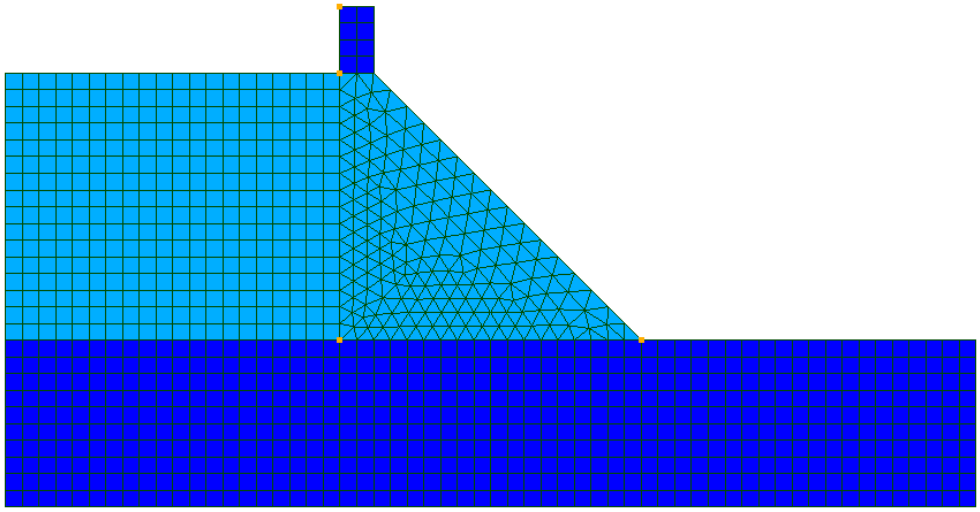


**Figure 3.2-a: Maillage du barrage 2D**

Dans la Figure 3.2-a on montre le maillage du barrage qui sera composé de 908 éléments surfaciques quadrangulaires linéaires, 324 éléments surfaciques triangulaires linéaires et 1151 nœuds.

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les accélérations à l'instant $t = 0.98\,s$ aux points de post-traitement pour les directions X et Y :

**Tableau 3.3-1: Grandeurs testées pour la modélisation A**

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| Nœud A - AX | NON_REGRESSION |
| Nœud A - AY | NON_REGRESSION |
| Nœud B - AX | NON_REGRESSION |
| Nœud B - AY | NON_REGRESSION |
| Nœud C - AX | NON_REGRESSION |
| Nœud C - AY | NON_REGRESSION |
| Nœud D - AX | NON_REGRESSION |
| Nœud D - AY | NON_REGRESSION |

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression.



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

# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 2D_FLUIDE, D_PLAN, 2D_FLUI_STRU, D_PLAN_ABSO et 2D_FLUI_ABSO en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u, p)$ ).

## 4.2 Caractéristiques du maillage

Le caractéristiques du maillage sont identiques à la modélisation A (voir paragraphe 3.2).

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les accélérations à l'instant $t = 0.98\,s$ aux points de post-traitement pour les directions X et Y :

**Tableau 4.3-1: Grandeurs testées pour la modélisation B**

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| Nœud A – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud A – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AY | AUTRE_ASTER |

C es valeurs sont comparés directement avec la solution obtenue dans la modélisation A. De façon générale, les valeurs obtenus sont très proches avec un erreur maximale inférieur a u **1.e-08 %** .



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

# 5 Modélisation C

## 5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D_FLUIDE, 3D, FLUI_STRU, 3D_ABSO et 3D_FLUI_ABSO en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u,p)$ ).

## 5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est généré en extrudant le maillage 2D des modélisations A et B d'un seul élément dans la profondeur. Ce maillage contient 908 hexaèdres linéaires, 324 prismes linéaires et 2302 nœuds.

## 5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les accélérations à l'instant $t=0.98\,s$ aux points de post-traitement pour les directions X et Y :

**Tableau 5.3-1: Grandeurs testées pour la modélisation C**

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| Nœud A – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud A – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AY | AUTRE_ASTER |

Ces valeurs sont comparés directement avec la solution obtenue dans la modélisation B . De façon générale, les valeurs obtenus sont pratiquement identiques avec un erreur maximale inférieur au **1e-08%**.



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

# 6 Modélisation D

## 6.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 2D_FLUIDE, D_PLAN, 2D_FLUI_STRU, D_PLAN_ABSO et 2D_FLUI_ABSO en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u,\psi)$ ).

## 6.2 Caractéristiques du maillage

Le caractéristiques du maillage sont identiques à la modélisation A (voir paragraphe 3.2).

## 6.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les accélérations à l'instant $t=0.98\,s$ aux points de post-traitement pour les directions X et Y :

**Tableau 6.3-1: Grandeurs testées pour la modélisation D**

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| Nœud A – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud A – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AY | AUTRE_ASTER |

C es valeurs sont comparés directement avec la solution obtenue dans la modélisation B . De façon générale, les valeurs obtenus sont très proches avec un erreur maximale inférieur a u **1.e- 08 %** .



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

# 7 Modélisation E

## 7.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D_FLUIDE, 3D, FLUI_STRU, 3D_ABSO et 3D_FLUI_ABSO en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u,\psi)$ ).

## 7.2 Caractéristiques du maillage

Le caractéristiques du maillage sont identiques à la modélisation C (voir paragraphe 5.2).

## 7.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les accélérations à l'instant $t=0.98\,s$ aux points de post-traitement pour les directions X et Y :

**Tableau 7.3-1: Grandeurs testées pour la modélisation E**

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| Nœud A – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud A – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud B – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud C – AY | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AX | AUTRE_ASTER |
| Nœud D – AY | AUTRE_ASTER |

Ces valeurs sont comparés directement avec la solution obtenue dans la modélisation D . De façon générale, les valeurs obtenus sont pratiquement identiques avec un erreur maximale de l'ordre du **1e-08%**.



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

# 8 Modélisation F, G, H, I, J, K

Pour les modélisations de F à K on va tester les mêmes calculs avec les trois formulations mais à l'aide de DYNA_NON_LINE . Dans le Tableau 8-1 on fournit les caractéristiques de ces modélisations.

**Tableau 8-1: Caractéristiques des modélisations F,G,H,I,J et K**

| Modélisation | Formulation | Dimension | Référence |
|---|---|---|---|
| F | $(u, p, \varphi)$ | 2D | Modélisation A |
| G | $(u, p, \varphi)$ | 3D | Modélisation F |
| H | $(u, p)$ | 2D | Modélisation F |
| I | $(u, p)$ | 3D | Modélisation H |
| J | $(u, \psi)$ | 2D | Modélisation F |
| K | $(u, \psi)$ | 3D | Modélisation J |

De façon générale, les valeurs obtenus sont très proches des valeurs de référence avec un erreur maximale inférieur a u **1.e- 08 %** .



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

# 9 Modélisation L, M, N, O, P, Q, R, S, T

Pour les modélisations de L à T on va tester les mêmes calculs avec les trois formulations mais avec l'ajout de la frontière absorbante de première ordre. Pour cela il faut juste définir, parmi les caractéristiques matériaux du fluide, le paramètre géométrique LONG_CARA . Dans ces modélisations on a choisit LONG_CARA = 40 . Dans le Tableau 9-1 on fournit les caractéristiques de ces modélisations.

**Tableau 9-1: Caractéristiques des modélisations F,G,H,I,J et K**

| Modélisation | Formulation | Dimension | Référence | Opérateur |
|---|---|---|---|---|
| L | $(u, p, \varphi)$ | 2D | Non régression | DYNA_VIBRA |
| M | $(u, p, \varphi)$ | 2D | Modélisation L | DYNA_NON_LINE |
| N | $(u, p, \varphi)$ | 3D | Modélisation M | DYNA_NON_LINE |
| O | $(u, p)$ | 2D | Modélisation L | DYNA_VIBRA |
| P | $(u, p)$ | 2D | Modélisation O | DYNA_NON_LINE |
| Q | $(u, p)$ | 3D | Modélisation P | DYNA_NON_LINE |
| R | $(u, \psi)$ | 2D | Modélisation L | DYNA_VIBRA |
| S | $(u, \psi)$ | 2D | Modélisation R | DYNA_NON_LINE |
| T | $(u, \psi)$ | 3D | Modélisation S | DYNA_NON_LINE |

De façon générale, les valeurs obtenus sont très proches des valeurs de référence avec un erreur maximale inférieur a u **1.e- 08 %** .



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