SDNV138 – Réponse dynamique amortie de joints de plot de barrages

Résumé :

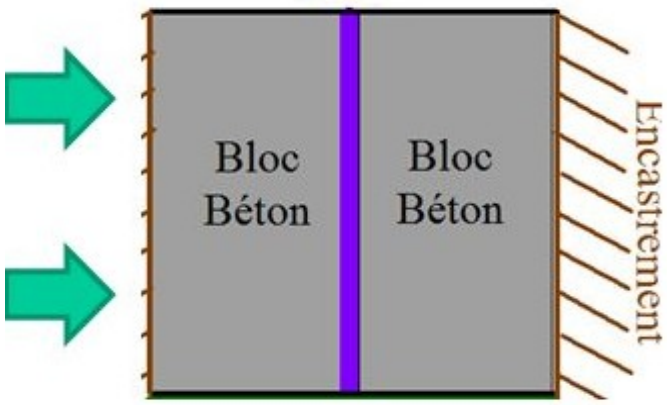
On étudie la réponse dynamique amortie de joints entre des plots de barrage maintenus par une force interne de compression horizontale puis soumis à une sollicitation sismique de même direction occasionnant des décollements puis des rebonds des plots l'un sur l'autre.
Dans la modélisation A On teste le comportement de joints tridimensionnels, affectés du matériau JOINT_MECA_FROT, avec la modélisation 3D_JOINT.
On fait des tests de NON_REGRESSION sur les valeurs de déplacement horizontal maximum de bord de plot lors des rebonds.
Dans la modélisation B, on teste le comportement de joints bidimensionnels, affectés du matériau JOINT_MECA_FROT, avec la modélisation PLAN_JOINT sur une géométrie de barrage issue du test SSNP142.
On fait des tests de NON_REGRESSION sur les valeurs d'accélération horizontale et de déplacement vertical maximum ainsi que des comparaisons AUTRE_ASTER par rapport aux valeurs du cas non amorti.
La modélisation C est la version quadratique de la modélisation B.
La modélisation D est une variante avec PLAN_JOINT_HYME de la modélisation C.

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

1 Modélisation A

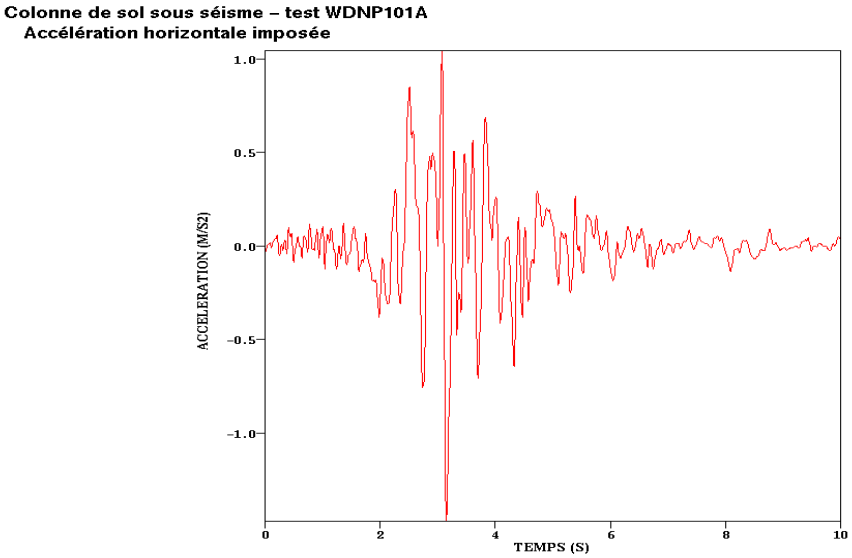
1.1 Géométrie et chargement

On considère deux plots de barrage, représentés par des cubes réguliers de longueur $L=5m$, hauteur $H=10m$ et profondeur $P=1m$. La distance entre les plots est supposée non nulle pour simplifier la génération du maillage des joints ($\varepsilon=1mm$). L'encastrement varie en fonction des modélisations.
Le côté droit du plot est encastré, tandis qu'on applique une force imposée sur le côté gauche du plot correspondant à une pesanteur horizontale valant $0.1G$ qui a pour effet d'écraser le bloc gauche sur le bloc droit en mettant en compression la ligne verticale de joints.



Dessin 1: Modélisation A

On soumet ensuite l'ensemble à une accélération horizontale imposée issue d'un séisme réaliste utilisé déjà dans le test WDNP101A, d'amplitude maximale $0.15G$ et qui a pour effet de faire décoller puis rebondir le bloc gauche par rapport au bloc droit lorsque le niveau d'accélération dépasse $0.1G$. L'allure du signal imposé est représentée sur la figure ci-dessous :



Dessin 2: Signal sismique imposé

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

1.2 Propriétés du matériau

Les valeurs des paramètres mécaniques des plots (module de Young, coefficient de Poisson, densité volumique) sont choisies de la façon suivante :

$$E=3.10^{10}\,Pa \qquad \nu=0{,}25 \qquad \rho_b=2400\,kg/m^3$$

Pour la loi de frottement JOINT_MECA_FROT associée au joint, on choisit des valeurs réalistes mais qui ne correspondent pas à un matériau en particulier.

$$K_N=K_T/2=10^{12}\,Pa/m \qquad Amornor=100\,MPa\,.s/m \qquad Amortan=10\,MPa\,.s/m$$

$$\mu=0.35 \qquad \text{adhe}=0 \qquad \text{ecrouissage}=0.1\,K_T$$

1.3 Solution de référence

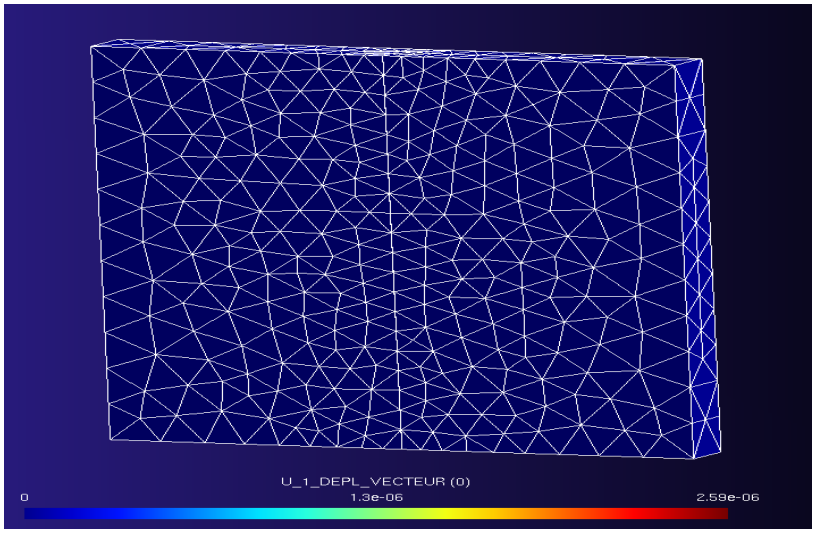
On fait des tests de NON_REGRESSION sur les valeurs de déplacement maximum de bord de plot lors des rebonds des plots l'un sur l'autre.

1.4 Caractéristiques de la modélisation

La simulation est effectuée avec la modélisation 3D_JOINT. Les éléments sont de type TETRA4 pour les plots et PENTA6 pour les éléments de joint. La loi de comportement correspondante est JOINT_MECA_FROT, le matériau associé porte le même nom. Les éléments volumiques sont élastiques.

1.5 Caractéristiques du maillage

On réalise un maillage non structuré linéaire (figure ci-dessous).
Éléments volumiques (plots) : 2761 TETRA4
Éléments de joint : 92 PENTA6



Dessin 3: Maillage 3D

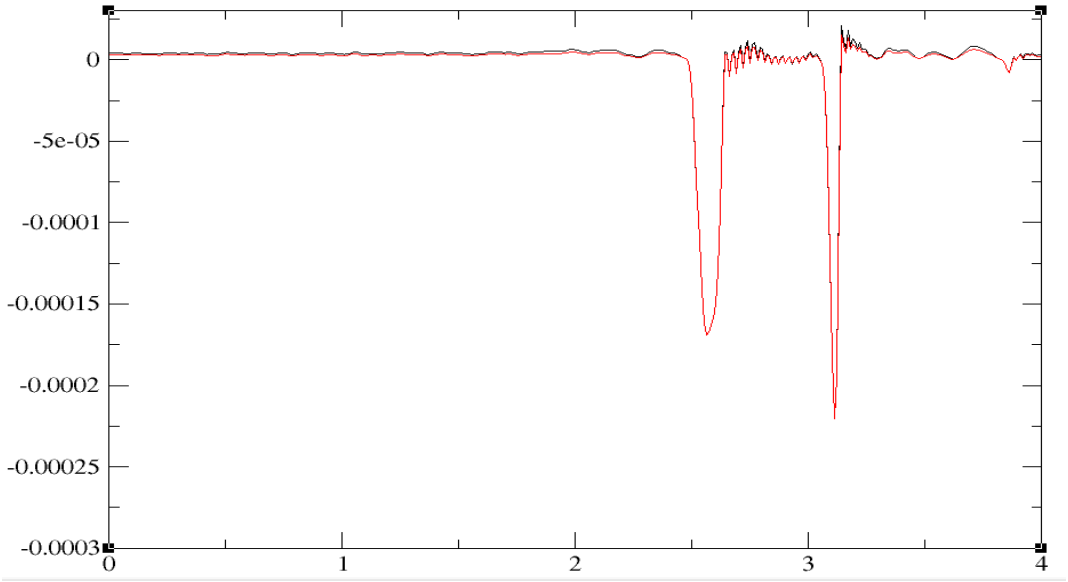
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.6 Calcul de la réponse à la sollicitation sismique

Le calcul de la réponse à la sollicitation sismique s'opère sur une durée de 4 secondes suffisante pour l'obtention des principaux maxima. Le pas de temps commun pour le calcul et l'archivage est de 0.01 seconde soit 400 pas en tout.
Pour le calcul dynamique, on utilise une méthode implicite de résolution avec la méthode `HHT` .

1.7 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement horizontal d'un nœud du bord du bloc gauche de plots, en particulier les amplitudes maximales obtenues lors des rebonds d'un plot sur l'autre lors du séisme. L'allure générale de l'évolution d'un tel déplacement (en mètres) par rapport au temps (en secondes) est représentée sur la figure ci-dessous :



Dessin 4: Evolution transitoire du déplacement horizontal du bord de plot gauche

Les valeurs maximales de déplacement d'un nœud de bord du plot gauche lors du séisme font l'objet de tests de non-régression :

Identification	Type de référence	Tolérance
$UX\ N1 - t = 2{,}56\,s$	'NON_REGRESSION'	0,0001%
$UX\ N1 - t = 3{,}11\,s$	'NON_REGRESSION'	0,0001%

1.8 Synthèse des résultats

Les valeurs obtenues de déplacement maximum de bord de plot lors des rebonds des plots l'un sur l'autre font l'objet de tests de non-régression. On constate qualitativement que les phases de rebond maximum correspondent assez bien aux instants où le niveau d'accélération d'entraînement imposée dépasse le niveau d'accélération $0.1\,G$ de pesanteur horizontale statique imposée initialement afin d'écraser le bloc gauche sur le bloc droit en mettant en compression la ligne verticale de joints.

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

2 Modélisation B

2.1 Géométrie et caractéristiques de la modélisation

On considère un barrage en forme de trapèze de grande base $5\,m$, de petite base $1.5\,m$ et de hauteur $10\,m$. Ce dernier est posé au centre d'une fondation rectangulaire de $15\,m$ de long et $5\,m$ de haut (voir figure 1.1).

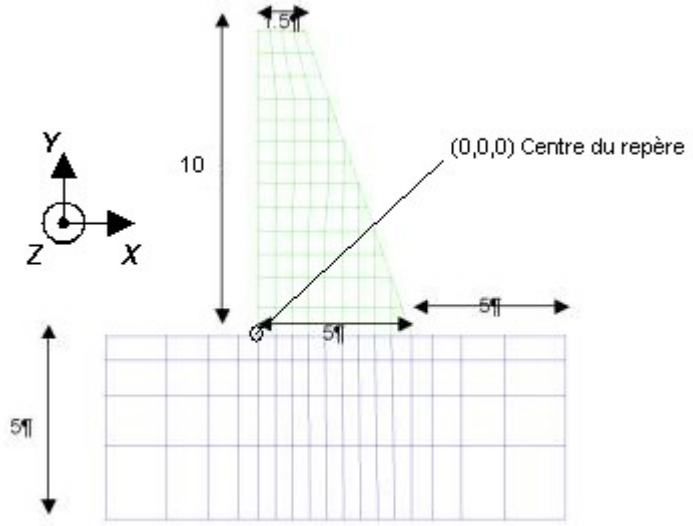


Figure 2.1 : Géométrie du barrage et de la fondation

La simulation est effectuée avec la modélisation PLAN_JOINT. Le maillage est régulier. Les éléments sont de type QUAD4 et TRIA3 pour le barrage et la fondation et de type QUAD4 pour les éléments de joint. La loi de comportement correspondante est JOINT_MECA_FROT, le matériau associé porte le même nom. Les éléments surfaciques sont élastiques.

2.2 Caractéristiques du maillage

On réalise un maillage linéaire :
Éléments volumiques (barrage et fondation) : 34 TRIA3 et 860 QUAD4
Éléments de joint : 50 QUAD4

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

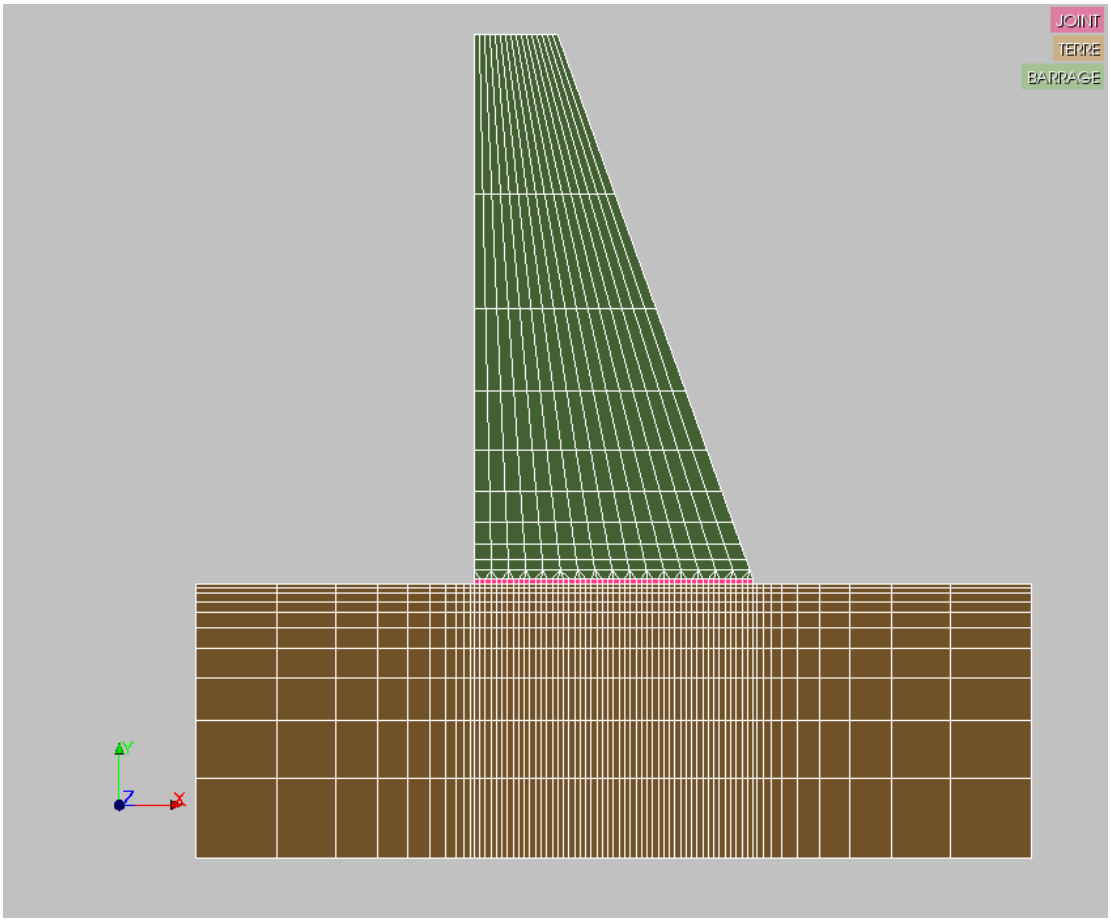
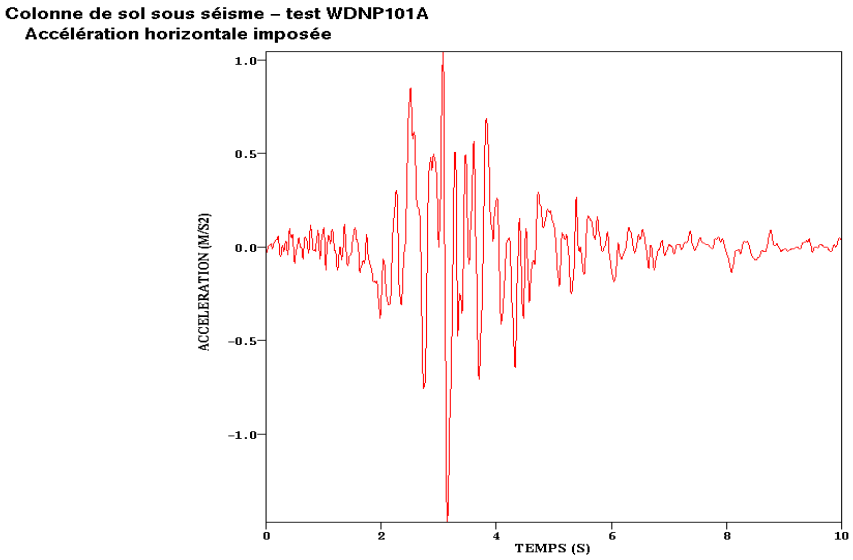


Figure 2.2-1: Maillage régulier de la modélisation

2.3 Chargements

On soumet ensuite l'ensemble à une accélération horizontale issue d'un séisme réaliste utilisé déjà dans le test WDNP101A, d'amplitude maximale $0.15\,G$ identique à celle de la modélisation A. Par rapport au signal représenté ci-dessous, on ne prend que la partie forte de durée 0,4 s entre 3,01 et 3,41 s.

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



Dessin 5: Signal sismique imposé

2.4 Propriétés du matériau

Les valeurs des paramètres mécaniques du barrage (module d'Young, coefficient de Poisson, densité volumique du barrage et de l'eau) sont choisies de la façon suivante :

$$E=3.10^2\,Pa \quad \nu=0.25 \quad \rho_b=2400\,kg/m^3 \quad \rho_e=1000\,kg/m^3$$

Le joint est modélisé par une loi élastoplastique de frottement type Mohr-Coulomb (voir [R7.01.25]), qui dépend de cinq paramètres. Deux paramètres élastiques : on prend la raideur tangentielle égale au double de la raideur normale. Deux paramètres de la loi Mohr-Coulomb : adhérence et le coefficient de frottement. Plus un paramètre de régularisation de la matrice tangente en glissement.

$$K_N=10^{12}\,Pa/m \qquad \text{adhésion}=1\,kPa \qquad \text{pena_tang}=0.1\cdot K_T$$
$$K_T=2*K_N \qquad \mu=0.35$$

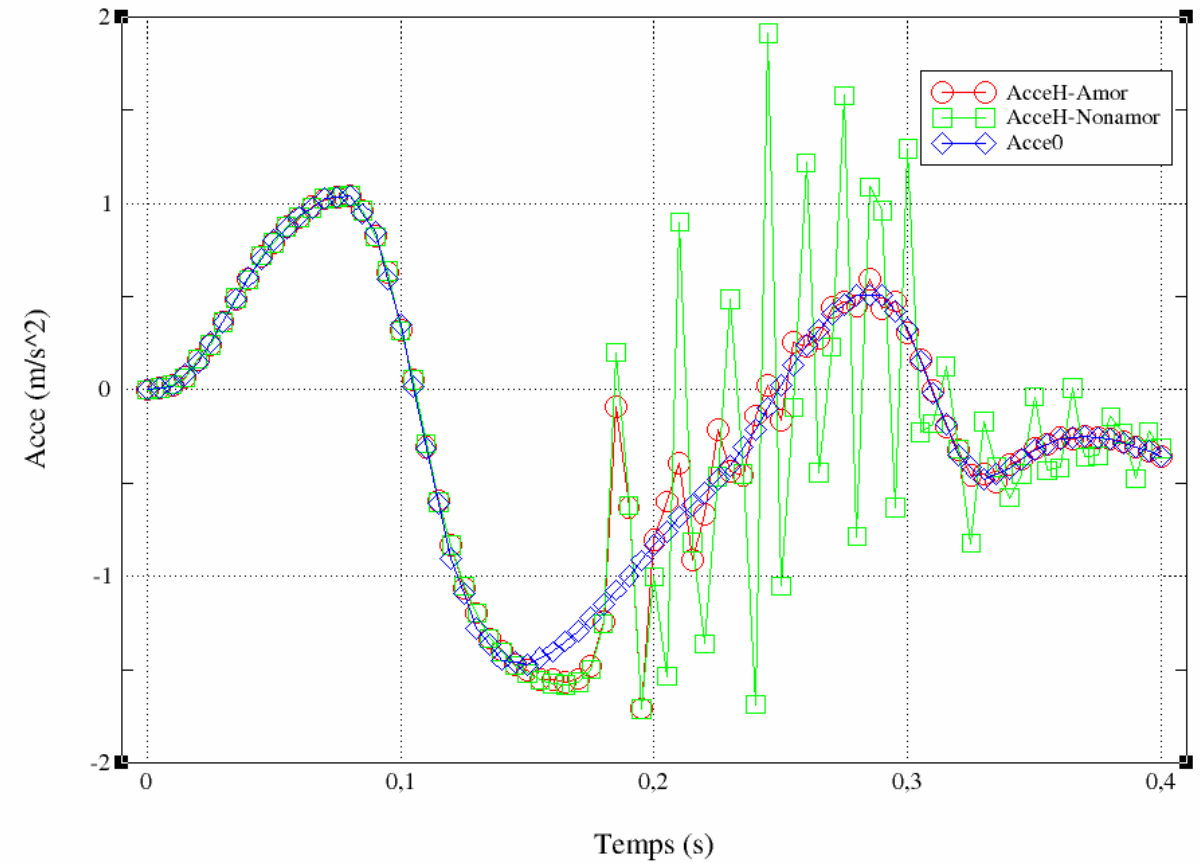
Pour les valeurs d'amortissement normal et tangent, on les prend dans le rapport 0,001 par rapport aux valeurs de raideur :

$$Amornor=10^9\,MPa.s/m \quad Amortan=2.0\,10^9\,MPa.s/m$$

2.5 Grandeurs testées et résultats

Comme tests de non régression, on teste δ_n (obtenue via V7 ou DEPL) l'ouverture normale des joints, σ_n (SIGN) la contrainte normale et puis la pression de fluide imposée (variable V18). Les valeurs testées sont issues des extrapolations aux nœuds (VARI_NOEU et SIEF_NOEU).
En dynamique, on teste les maxima de déplacement vertical ainsi que d'accélération horizontale en haut et en bas du barrage.
On compare également les évolutions d'accélération en haut du barrage par rapport au cas sans amortissement dans les joints.
Les évolutions comparées également avec le signal de sollicitation dans la fenêtre de calcul sont représentes sur la figure ci-dessous :

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



Dessin 6: Accélérations en haut du barrage amorties ou non et signal sismique imposé

On peut y constater l'effet de l'amortissement dans les joints de plots sur l'allure des accélérations.

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

3 Modélisation C

3.1 Géométrie et caractéristiques de la modélisation

La géométrie et les caractéristiques de modélisation sont les mêmes que celles de la modélisation B. l La différence consiste en l'utilisation d'éléments quadratiques à la place.

La simulation est effectuée avec la modélisation PLAN_JOINT. Le maillage est régulier. Les éléments sont de type QUAD8 et TRIA6 pour le barrage et la fondation et de type QUAD8 pour les éléments de joint.

3.2 Caractéristiques du maillage

On réalise un maillage quadratique similaire à celui linéaire de la modélisation B :
Éléments volumiques (barrage et fondation) : 34 TRIA6 et 860 QUAD8
Éléments de joint : 50 QUAD8

3.3 Chargements

Le chargement sismique est identique à celui de la modélisation B. Par rapport au signal, on ne prend que la partie forte de durée 0,16 s entre 3,01 et 3,17 s.

3.4 Propriétés du matériau

Les propriétés mécaniques sont les mêmes que celles de la modélisation B.

3.5 Grandeurs testées et résultats

Comme tests de non régression, on teste exactement les mêmes résultats que ceux de la modélisation B avec les mêmes observations.

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

4 Modélisation D

4.1 Géométrie et caractéristiques de la modélisation

La géométrie et les caractéristiques de modélisation sont les mêmes que celles de la modélisation C. l La différence consiste en l'utilisation d'une modélisation hydro-mécanique à la place.

La simulation est effectuée avec la modélisation PLAN_JOINT_HYME. Le maillage est régulier. Les éléments sont de type QUAD8 et TRIA6 pour le barrage et la fondation et de type QUAD8 pour les éléments de joint.

4.2 Caractéristiques du maillage

On réalise un maillage quadratique identique à celui de la modélisation C :
Éléments volumiques (barrage et fondation) : 34 TRIA6 et 860 QUAD8
Éléments de joint : 50 QUAD8

4.3 Chargements

Le chargement sismique est identique à celui de la modélisation B. Par rapport au signal, on ne prend que la partie forte de durée 0,16 s entre 3,01 et 3,17 s.
On ajoute un chargement lié à la modélisation hydro-mécanique en imposant une pression nulle dans les nœuds de joints du groupe JOINT par l'opérateur AFFE_CHAR_CINE : $PRE1=0.$

4.4 Propriétés du matériau

Les propriétés mécaniques sont les mêmes que celles des modélisations B et C.
Pour la modélisation hydro-mécanique, on ajoute des paramètres hydrauliques qui sont ceux de l'eau.

$$\varrho_{eau}=1000\,kg/m^3 \qquad visc_{eau}=10^{-3}\,Pa\cdot s \qquad ouv_{min}=5.10^{-8}\,m$$

4.5 Grandeurs testées et résultats

Comme tests de non régression, on teste exactement les mêmes résultats que ceux des modélisations B et C avec les mêmes observations.

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