SDLL302 – Poutre soumise à l'accélérogramme « El Centro » à chacune de ses extrémités, l'une déphasée par rapport à l'autre

Résumé :

L'objectif de ce test est de valider le multi-appui en dynamique transitoire linéaire sur le cas simple d'une poutre soumise à une accélération sur chacune de ses extrémités où elle est encastrée. Deux modélisations en éléments finis de poutre de Timoshenko sont proposées, en dynamique transitoire linéaire résolue sur base modale et sur base éléments finis (directe) :

- modélisation A : le même accélérogramme est appliqué sur les deux extrémités ; on compare les solutions en mono-appui et en multi-appui ;
- modélisation B : l'accélérogramme est déphasé entre les deux extrémités.

L a modélisation B participe également à la validation de l'option MOMENT_EQUIVALENT de POST_RCCM/B3600 .

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère une poutre de longueur $L=7,62\,m$, de section rectangulaire ($Hy=0,0508\,m$ et $Hz=0,0254\,m$). Elle est orientée selon l'axe Ox .

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est élastique isotrope dont les propriétés sont :

- module de Young : $E=206,8\ 10^{9}\,Pa$
- coefficient de Poisson : $\nu=0,3$
- masse volumique : $\rho=7780,0\,kg/m^{3}$

1.3 Conditions aux limites et chargements

La poutre est encastrée à chacune de ses extrémités.
Le chargement est une excitation sismique perpendiculaire à la direction de la poutre, exprimée sous la forme d'un accélérogramme. Il est tiré d'un enregistrement du séisme dit d'El Centro (Illustration 1). La direction du séisme est l'axe Oy . L'échantillonnage est de $0,01\,s$.

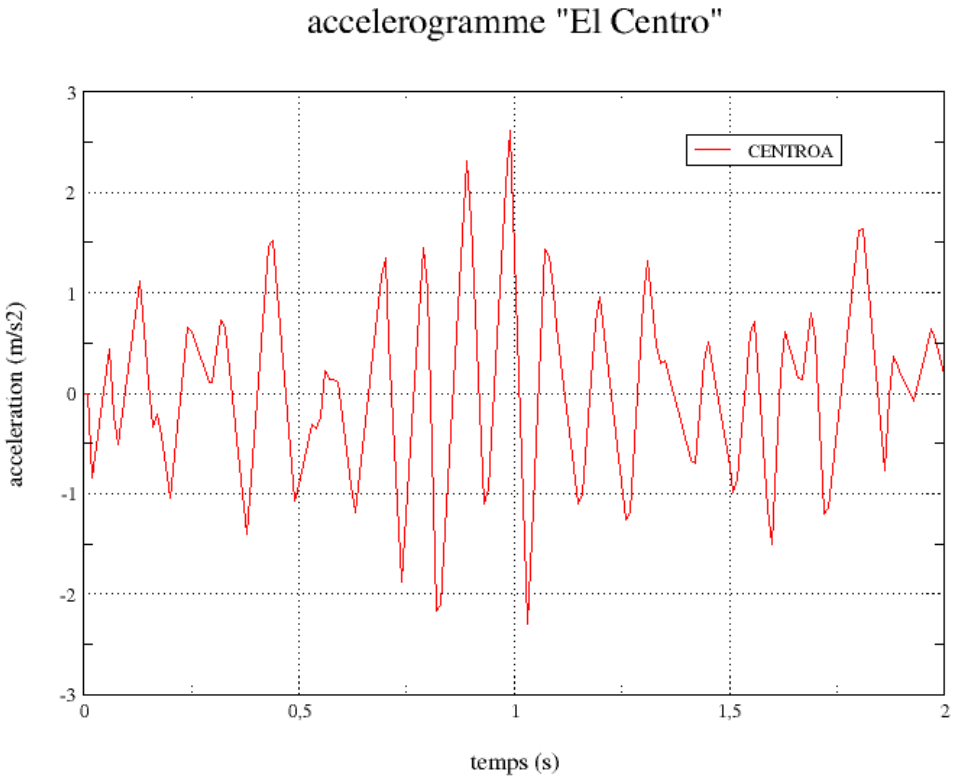


Illustration 1: Accélérogramme dit de "El Centro" prélevé sur 2 s.

Pour la modélisation A, on considère une excitation mono-appuyée : le même accélérogramme est imposé aux deux extrémités de la poutre.

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

Pour la modélisation B, on considère une excitation multi-appuyée : l'accélérogramme imposé aux deux extrémités est le même qu'en mono-appui mais, dans ce cas, à l'extrémité opposée il est appliquée avec un retard de $0,25\,s$ par rapport à l'origine.

1.4 Conditions initiales

On considère la poutre au repos avant l'arrivée du séisme.

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

2 Solution de référence

Ce cas test est issu de la campagne de validation indépendante de *Code_Aster* aux calculs de séisme. Ce document se réfère à des calculs obtenus avec les mêmes type et nombre d'éléments finis de poutre et comparés :

- le logiciel *Castem2000* en situation mono-appui. Dans [1], on indique que les écarts entre *Castem2000* et *Code_Aster* obtenus sur les valeurs RMS déplacement transversal absolu au milieu de la poutre sont inférieurs à 0.41%.
- le logiciel *Abaqus* en situations mono-appui et multi-appui [1].
- le logiciel *Hercule* en situation mono-appui [2].

Toutefois, en l'absence de plus d'information sur les résultats obtenus en multi-appui, on considère les résultats du cas-test comme des résultats de non-régression et d'inter-comparaison entre différents opérateurs (calcul transitoire linéaire sur base modale, calcul transitoire linéaire direct) et différentes méthodes d'intégration en temps (NEWMARK, DEVOGELAERE).

La grandeur calculée est le déplacement transversal absolu du point situé à $L/2$ (au milieu de la poutre) à différents instants. Dans [2] on trouve les valeurs suivantes obtenues avec le logiciel *Hercule* :

Grandeur en calcul mono-appui	Valeur maximum	Valeur RMS
DY relatif (m)	0.01871	0.01031
DY absolu (m)	0.02544	0.01035

On teste également les six premières fréquences propres de la poutre encastrée (référence logiciel *Hercule*) :

mode	1	2	3	4	5	6
Fréquence (Hz)	4.64	12.77	25.03	41.34	61.69	86.04

[1] Note HP-52/97/0168 GUIHOT P., DEVESA G., DUMOND A., WAECKEL Fe. Validation indépendante de la version 3 du Code_Aster : synthèse de la validation du lot séisme.

[2] A.Succar. Séchaud et Metz, 2000.

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 POU_D_T.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 20 éléments de type SEG2.

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les six premières fréquences propres de la poutre encastrée :

On teste le déplacement transversal du centre de la poutre dans la direction du séisme à différents instants.

3.4 Remarques

On peut comparer l'évolution du déplacement du centre de la poutre entre le calcul sur base physique et le calcul sur base modale (Illustration 2).

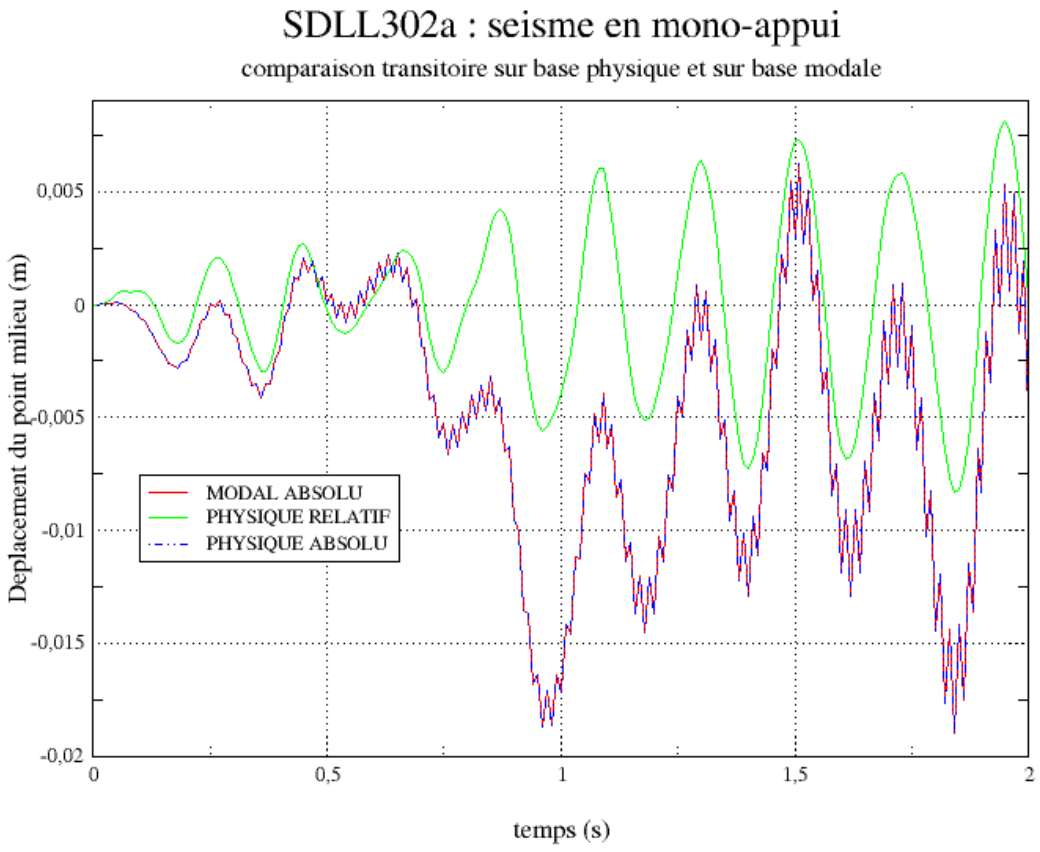


Illustration 2: SDLL302a : comparaison transitoire sur base physique vs base modale, déplacement transversal au milieu de la poutre.

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

On constate que le déplacement absolu calculé en transitoire sur base physique ou par transitoire sur base modale sont identiques. En revanche il apparaît très irrégulier, tout particulièrement en comparaison du déplacement relatif du même point. Il s'agit d'un artefact dû à la méthode utilisée pour intégrer l'accélérogramme et déterminer le déplacement d'entraînement.
Dans le cas test on a employé la méthode dite de SIMPSON alors que la méthode dite TRAPEZE (valeur par défaut du mot clé INTEGRE de la commande CALC_FONCTION [U4.32.04]) est recommandée. On vérifie qu'avec cette dernière méthode d'intégration du signal on obtient une évolution du déplacement absolu nettement plus lisse.

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 POU_D_T.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 20 éléments de type SEG2.

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les 6 premières fréquences propres de la poutre encastrée.
On teste le déplacement du centre de la poutre dans la direction du séisme à différents instants.

On teste la valeur du moment équivalent calculé par POST_RCCM pour un couple maille/nœud à l'aide d'une référence AUTRE_ASTER obtenue en utilisant les fonctionnalités de la commande CALC_TABLE .

Maille	Noeud	Composante	Type de référence	*Valeur de référence*	*Tolérance*
M10	N12	MEQ	« AUTRE_ASTER »	125.7293341104791	0,1 %

4.4 Remarques

On trace sur la figure suivante (Illustration 3 l'évolution du déplacement du centre de la poutre par le calcul sur base physique et le par calcul sur base modale. Il est à noter que ces deux déplacements ne sont pas comparables dans le sens où le calcul sur base physique donne un déplacement relatif qu'il est difficile d'interpréter dans le cas multi-appui : la notion de déplacement d'entraînement n'est plus triviale pour le calcul en multi-appui. On ne peut donc comparer les deux résultats, ni en tirer de conclusion.

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

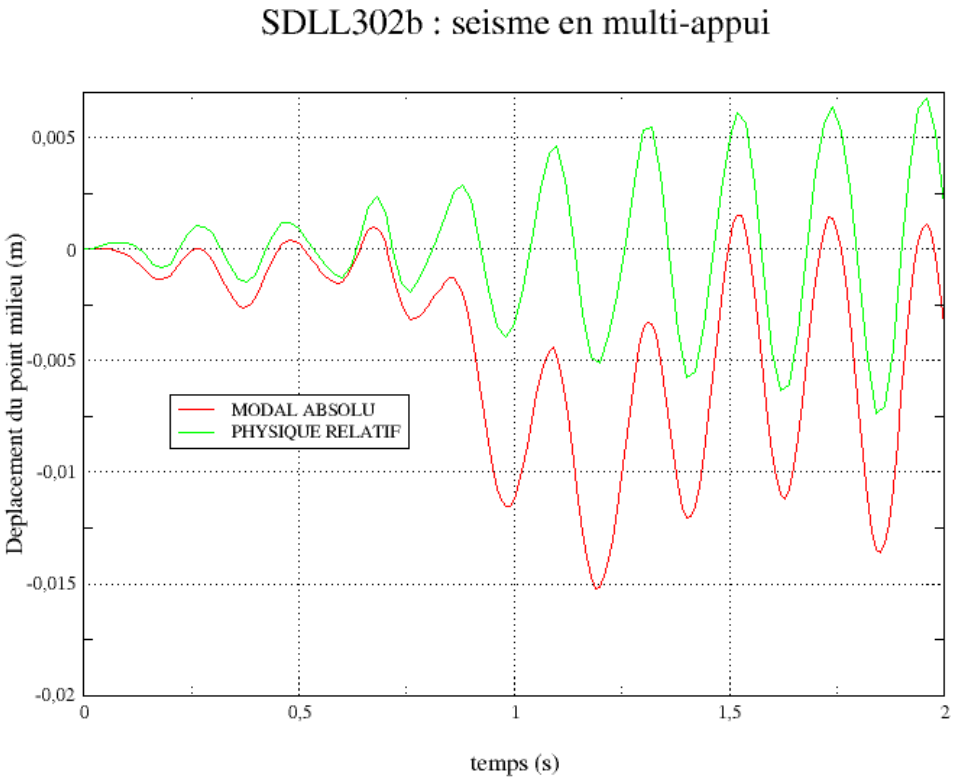


Illustration 3: SDLL302b : déplacement transversal au milieu de la poutre en calcul multi-appui.

On remarque par ailleurs qu'en contraste avec la modélisation A, le déplacement calculé sur base modale apparaît bien lisse (conformément au « sens physique » de l'ingénieur). Ceci est simplement dû au fait que dans la modélisation B, on a laissé l'option par défaut (la méthode `TRAPEZE`) pour intégrer l'accélérogramme. Or elle est préconisée car elle ne crée pas d'oscillations factices telles que celles produites par la méthode `SIMPSON`).

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

5 Synthèse des résultats

Ce cas test constitue une vérification par résultats de non-régression du calcul transitoire en multi-appui. En l'absence de référence externe et de réelle inter-comparaison entre les différentes méthodes, on ne peut toutefois pas considérer qu'il représente une validation de la fonctionnalité en multi-appui.

6 Description des versions du document

Version Aster	Auteur(s) Organisme(s)	Description des modifications
5	*A.Succar* Séchaud & Metz	Texte initial (validation indépendante)
12	*E.Boyère* EDF-R&D/AMA	Texte corrigé
15	*F.Voldoire* EDF-R&D/ERMES	Quelques corrections.

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