SDNL111 - Impact de deux poutres

Résumé :

Ce problème est un problème d'impact de deux poutres en traction-compression. Une première poutre libre est animée d'une vitesse initiale parallèle à l'axe des deux poutres et vient heurter une seconde encastrée à sa base. La non-linéarité vient des conditions de contact entre les deux structures. Ce test comporte une solution analytique de référence.

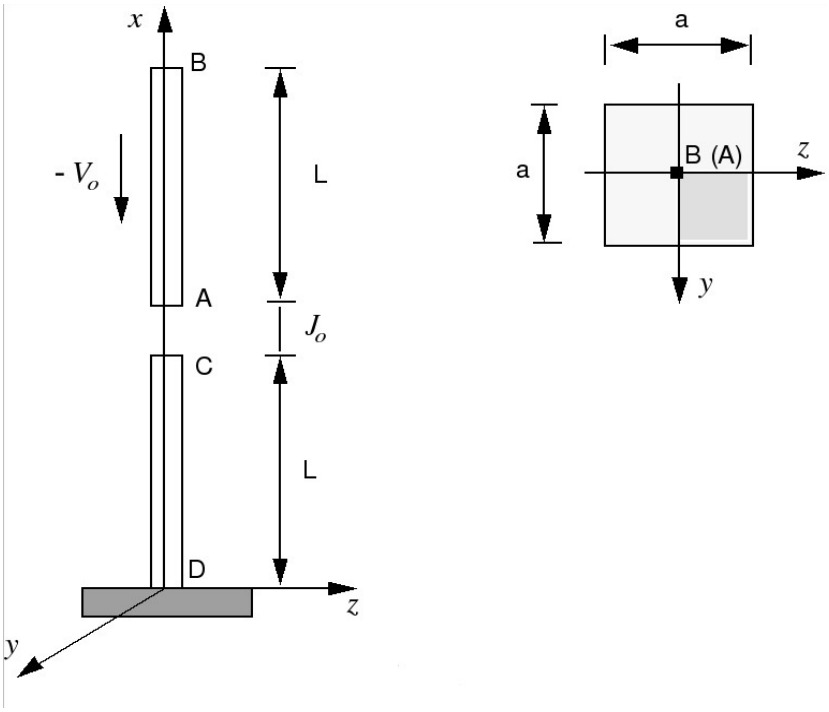
Dans un premier temps, on utilise une analyse transitoire par recombinaison modale d'un système non-linéaire constitué de structures de poutres (modélisations A et B).
Les poutres sont discrétisées par des éléments finis de type POU_D_T. Les opérateurs DEFI_OBSTACLE [U4.44.21] et DYNA_TRAN_MODAL [U4.53.21] sont testés. Les écarts aux valeurs de référence ne dépassent pas 4.5%.

Dans un deuxième temps, on fait un calcul direct sur base physique, avec des éléments 3D (modélisations C, D et E). Les opérateurs testés sont : DYNA_NON_LINE, DEFI_CONTACT avec les méthodes CONTRAINTE, PENALISATION et CONTINUE.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Longueur des poutres : $L=1\text{m}$
Côté de la section des poutres : $a=2\text{cm}$

1.2 Propriétés de matériaux

Poutre :

Module d'Young	$E=2.10^{11}\,Pa$
Coefficient de Poisson	$\nu=0$ pour la modélisation 1D et 0.3 pour la modélisation 3D
Masse volumique	$\rho=7800\,kg/m^3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le problème est unidirectionnel selon x.
La poutre CD est encastrée en D, la poutre AB est totalement libre en translation selon x.

1.4 Conditions initiales

À tous les nœuds de la poutre AB sont imposés selon l'axe x :

- une vitesse initiale : $v_0=-1\,m/s$

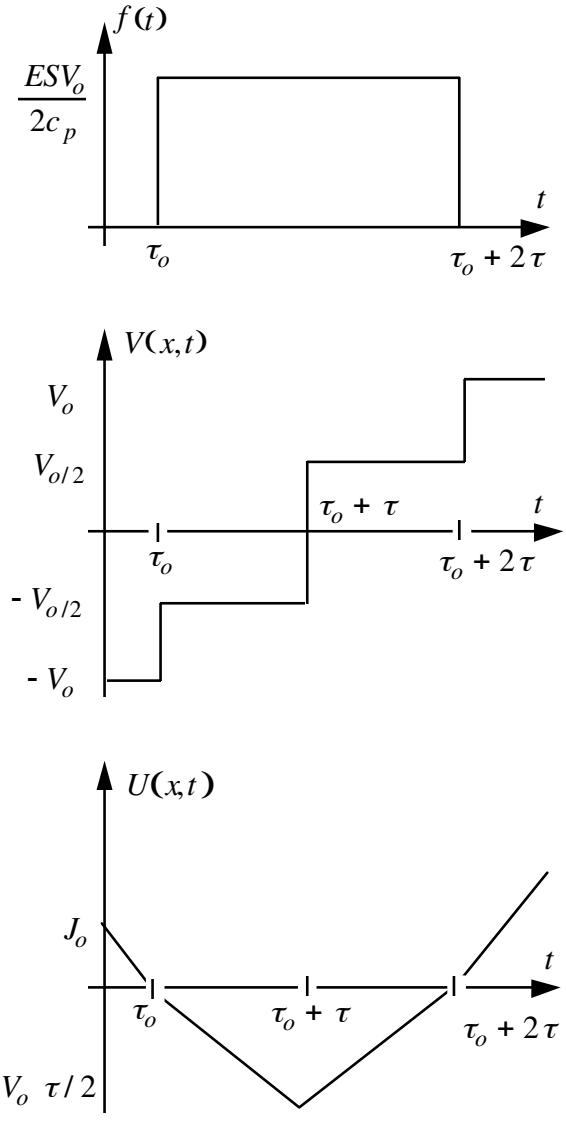
Les nœuds de la poutre CD ont une vitesse et un déplacement initial nul.
Les points A et C sont séparés d'un jeu initial J_0 très faible : $J_0=10^{-5}m$.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Tirée de [bib1].



$f(t)$: force de contact en A ;

$V(x, t)$: vitesse ;

$U(x, t)$: déplacement ;

$\tau_o = \frac{J_o}{V_o}$;

$\tau = \frac{2L}{c_p}$ Durée de choc$= 2 \cdot \tau$;

$c_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$;

$S = a^2$ section.

····· pour point A

2.2 Incertitude sur la solution

Aucune (solution analytique).

2.3 Référence bibliographique

1) Algorithmes de dynamique rapide Description théorique et exemples d'applications. Rapport EDF/DER HP-61/93.115

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Discrétisation des deux poutres par des mailles SEG2 (50 chacune) et des éléments finis de type POU_D_T.

Une base modale de 40 modes propres (20 par poutres) est utilisée pour la superposition modale.
Un amortissement modal réduit forfaitaire de 0.1 % est appliqué à chaque mode propre.

Les conditions de vitesses initiales sont imposées en construisant un champ au nœuds de déplacement et en projetant ce champ au nœuds sur la base modale.
Le vecteur généralisé ainsi calculé peut être introduit dans la commande DYNA_TRAN_MODAL derrière le mot-clé VITE_INIT_GENE.

Les paramètres de modélisation de la loi de choc utilisés sont :

- Raideur de choc : RIGI_NOR $5.10^9 N/m$
- Amortissement de choc : AMOR_NOR $2.10^4 Ns/m$

Premier calcul :

- la normale au plan du choc est choisie selon Z : NORM_OBST=(0. 0. 1.)
- un obstacle de type BI_PLAN_Z est choisi

Deuxième calcul :

- la normale au plan du choc est choisie selon Y : NORM_OBST=(0. 1. 0.)
- un obstacle de type BI_PLAN_Y est choisi

Troisième calcul :

- la normale au plan du choc est choisie selon Y : NORM_OBST=(0. 1. 0.)
- un obstacle de type BI_CERCLE est choisi

Les valeurs de DIST_1 et DIST_2 qui sont ici fictives et seulement pour modéliser le contact sont choisies égales à DIST_1=DIST_2= $J_o/2$ de façon à ce qu'il y ait contact dès le début du calcul.

L'intégration temporelle est réalisée avec l'algorithme d'Euler et un pas de temps de $10^{-6} s$.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 102

Nombre de mailles et types : 100 SEG2

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

Premier calcul

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DX au point A t=2.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	1,0%
DX au point A t=4.0e-4 s	–2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%
DX au point A t=6.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DX au point A t=8.0e-4 s	-1.E-9	'ANALYTIQUE'	1,0E-5
DX au point A t=1.0e-3 s	2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%

Deuxième calcul

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DX au point A t=2.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	1,0%
DX au point A t=4.0e-4 s	–2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%
DX au point A t=6.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DX au point A t=8.0e-4 s	-1.E-9	'ANALYTIQUE'	1,0E-5
DX au point A t=1.0e-3 s	2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%

Troisième calcul

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DX au point A t=2.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	1,0%
DX au point A t=4.0e-4 s	–2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%
DX au point A t=6.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DX au point A t=8.0e-4 s	-1.E-9	'ANALYTIQUE'	1,0E-5
DX au point A t=1.0e-3 s	2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Discrétisation des deux poutres par des mailles SEG2 (50 chacune) et des éléments finis de type POU_D_T.

Une base modale de 40 modes propres (20 par poutres) est utilisée pour la superposition modale.
Un amortissement modal réduit forfaitaire de 0.1 % est appliqué à chaque mode propre.

Les conditions de vitesses initiales sont imposées en construisant un champ de vitesse initial appliqué aux poutres $poutre1$ et $poutre2$.

Les paramètres de modélisation de la loi de choc utilisés sont :

- la normale au plan du choc est choisie selon Z : NORM_OBST: (0. 1. 0.)
- un obstacle de type BI_CERC_INT est choisi

- Raideur de choc : RIGI_NOR $5.10^9 N/m$
- Amortissement de choc : AMOR_NOR $2.10^4 Ns/m$

L'intégration temporelle est réalisée avec l'algorithme d'Euler et un pas de temps de $10^{-6} s$.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 102

Nombre de mailles et types : 100 SEG2

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DX au point A t=2.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	1,0%
DX au point A t=4.0e-4 s	–2.E-4	'ANALYTIQUE'	3,5%
DX au point A t=6.0e-4 s	–1.E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DX au point A t=8.0e-4 s	-1.E-9	'ANALYTIQUE'	1,0E-5
DX au point A t=1.0e-3 s	1.E-4	'ANALYTIQUE'	7,0%
DX au point A t=1.2e-3 s	2.E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DX au point A t=1.4e-3 s	1.E-4	'ANALYTIQUE'	7,0%
DX au point A t=1.6e-3 s	-1.E-9	'ANALYTIQUE'	1,0E-5

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux poutres sont modélisées avec des mailles HEXA8 (50 par poutre) et des éléments finis 3D. Le comportement est élastique.

Les conditions de vitesses initiales sont imposées en construisant un champ de vitesse initiale appliqué aux deux poutres : DZ = -1.0 pour POU1 et DZ = 0.0 pour POU2.

Le choc est modélisé par une condition de contact. La méthode utilisée est CONTRAINTE.

L'intégration temporelle est réalisée avec la méthode d'accélération moyenne modifiée (mot clé HHT avec $\alpha=-0,1$) et un pas de temps de $10^{-6}s$.

On teste ensuite un autre algorithme d'intégration temporelle : α -méthode (mot clé HHT avec $\alpha=-0,3$ et MODI_EQUI='OUI') et un pas de temps inchangé de $10^{-6}s$.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 408

Nombre de mailles et types : 100 HEXA8

5.3 Grandeurs testées et résultats

Premier calcul

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DZ au point A t=2.0e-4 s	–1.050E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=4.0e-4 s	–1.550E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=6.0e-4 s	–5.540E-5	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%

Deuxième calcul

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DZ au point A t=2.0e-4 s	–1.050E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=4.0e-4 s	–1.550E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=6.0e-4 s	–5.540E-5	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux poutres sont modélisées avec des mailles HEXA8 (50 par poutre) et des éléments finis 3D. Le comportement est élastique.

Les conditions de vitesses initiales sont imposées en construisant un champ de vitesse initiale appliqué aux deux poutres : DZ = -1.0 pour POU1 et DZ = 0.0 pour POU2.

Le choc est modélisé par une condition de contact. La méthode utilisée est PENALISATION.

L'intégration temporelle est réalisée avec la méthode HHT ($\alpha = -0.1$) et un pas de temps de $10^{-6} s$.

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 408

Nombre de mailles et types : 100 HEXA8

6.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DZ au point A t=2.0e-4 s	–1.050E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=4.0e-4 s	–1.550E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=6.0e-4 s	–5.540E-5	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	'ANALYTIQUE'	5,0%
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	'ANALYTIQUE'	5,0%

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux poutres sont modélisées avec des mailles HEXA8 (50 par poutre) et des éléments finis 3D. Le comportement est élastique.

Les conditions de vitesses initiales sont imposées en construisant un champ de vitesse initiale appliqué aux deux poutres : DZ = -1.0 pour POU1 et DZ = 0.0 pour POU2.

Le choc est modélisé par une condition de contact. La formulation utilisée est CONTINUE.

L'intégration temporelle est réalisée avec la méthode HHT ($\alpha = -0.1$) et un pas de temps de $10^{-6} s$.

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 408

Nombre de mailles et types : 100 HEXA8

7.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
DZ au point A t=2.0e-4 s	–1.050E-4	'ANALYTIQUE'	0,01%
DZ au point A t=4.0e-4 s	–1.550E-4	'ANALYTIQUE'	0,03%
DZ au point A t=6.0e-4 s	–5.540E-5	'ANALYTIQUE'	0,2%
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	'ANALYTIQUE'	6,0%
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	'ANALYTIQUE'	2,0%

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

8 Synthèse des résultats

Pour les modélisations A et B (avec DYNA_TRAN_MODAL) :
La précision du calcul est relativement moyenne ce qui est dû au choix des coefficients de pénalisation utilisés pour modéliser le contact. L'augmentation de la raideur de contact améliore considérablement le champ de déplacement mais engendre des oscillations importantes du champ de vitesse autour de la solution analytique.

Pour les modélisations C, D et E (avec DYNA_NON_LINE) :
La précision du calcul est très bonne (4% d'écart maximum). Dans ce cas, les trois méthodes utilisées donnent des résultats de qualité comparable.

De plus, pour la modélisation C, on a aussi testé deux types de schémas d'intégration en temps implicites : accélération moyenne modifiée (mot clé HHT avec l'option MODI_EQUI='NON' : option par défaut) et HHT « complet » (mot clé HHT avec l'option MODI_EQUI='OUI').
Avec le schéma HHT « complet » , l'écart maximal observé avec la solution de référence baisse légèrement : 2,15% contre 3,73% avec l'accélération moyenne modifiée. Les autres valeurs testées sont très peu impactées, avec le choix de valeurs du paramètre α des schémas employés dans ce cas-test ($\alpha=0.1$ pour l'accélération moyenne modifiée et $\alpha=0.3$ pour HHT).

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