

Titre : SDNL111 - Impact de deux poutres

Date : 04/05/06

Auteur(s) : N. GREFFET, S. LAMARCHE, G. JACQUART

Clé : V5.02.111-C Page : 1/10

Organisme(s) : EDF-R&D/AMA, EDF-Pôle Industrie/CNPE du Tricastin

Manuel de Validation**Fascicule V5.02 : Dynamique non linéaire des structures linéiques****Document V5.02.111**

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.

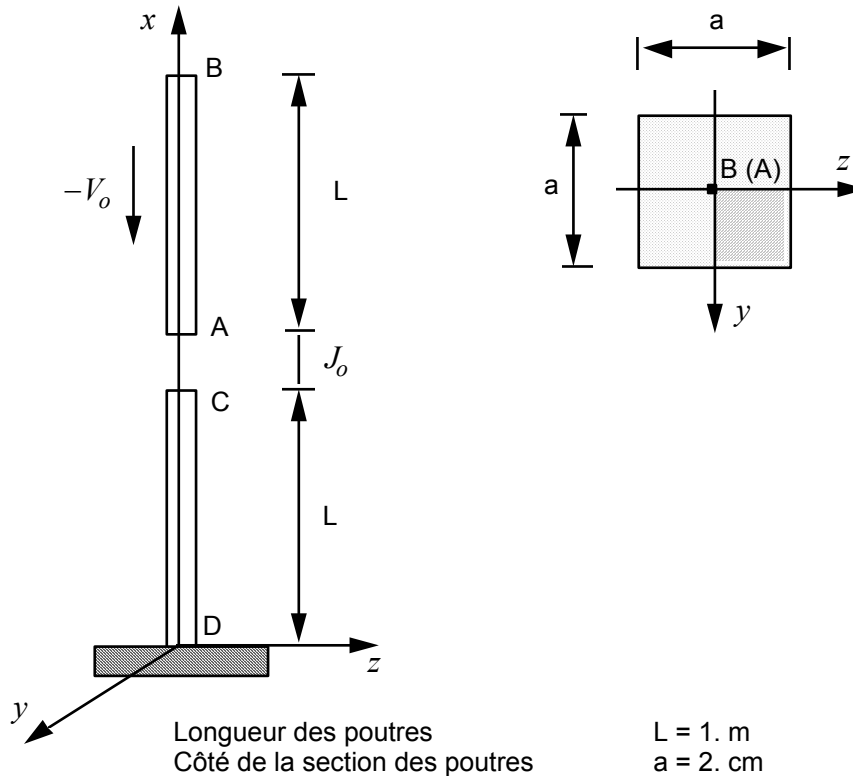
Dans un premier temps, on utilise une analyse transitoire par recombinaison modale d'un système non-linéaire constitué de structures de poutres (modélisations a et b).

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`, `AFFE_CHAR_MECA` / `CONTACT` avec les méthodes `CONTRAINTE`, `LAGRANGE` et `CONTINUE`.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



1.2 Propriétés de matériaux

Poutre : module d'Young : $E = 2.10^{11} \text{ Pa}$
coefficient de Poisson : $\nu = 0.$ pour la modélisation 1D, et 0.3 pour la modélisation 3D
masse volumique $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

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

1.4 Conditions initiales

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

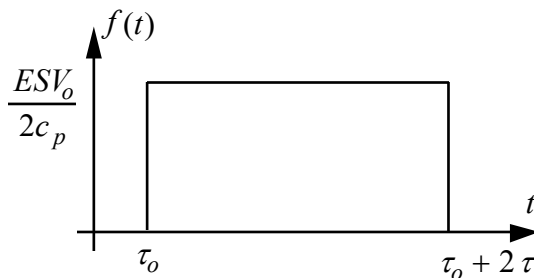
- une vitesse initiale : $v_0 = -1 \text{ m/s}$

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_o très faible : $J_o = 10^{-5} \text{ m}$.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Tirée de [bib1].



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

$V(x, t)$: vitesse ;

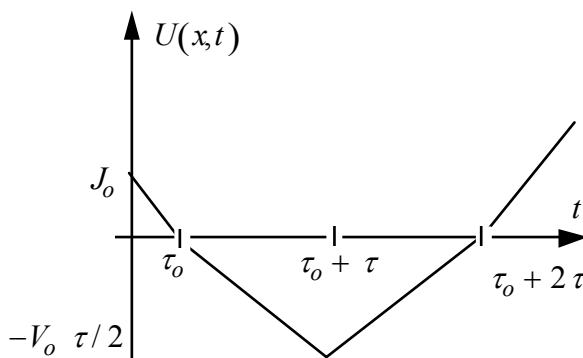
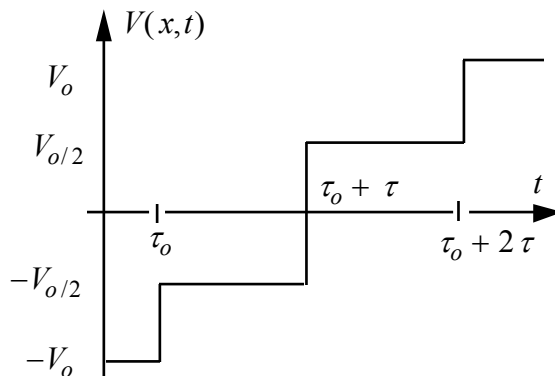
$U(x, t)$: déplacement ;

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

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

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

$$S = a^2 \quad \text{section.}$$



..... pour point A

2.2 Références bibliographiques

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Discretisation 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 par l'intermédiaire de groupes de nœuds :

```
GROUP_NO:  BARRE1  (vitesse initiale DX = -1.)  
GROUP_NO:  BARRE2  (vitesse initiale DX = 0.)
```

et en projetant ce champ au nœuds sur la base modale en précisant TYPE_VECT: 'VITE'.

Le vecteur généralisé ainsi calculé peut être introduit dans la commande DYNA_TRAN_MODAL derrière le mot-clé VITE_INIT.

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

Première modélisation (possible) :

- 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 modélisation :

- 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 modélisation :

- la normale au plan du choc est choisie selon Y: NORM_OBST: (0. 1. 0.)
- un obstacle de type BI_CERCLE est choisi
- Raideur de choc : RIGI_NOR: $5 \cdot 10^9$ N/m
- Amortissement de choc : AMOR_NOR: $2 \cdot 10^4$ Ns/m

Les valeurs de DIST_1 et DIST_2 qui sont ici fictives et seulement pour modéliser le contact sont choisies égales à $\text{DIST}_1 = \text{DIST}_2 = J_0/2$ 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

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_OBSTACLE	TYPE	'BI_PLAN_Z' 'BI_PLAN_Y' 'BI_CERCLE'
DYNA_TRAN_MODAL	CHOC	NOEU_2 DIST_1 DIST_2 INTITULE
	VITE_INIT_GENE METHODE	'EULER'

3.4 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
DX au point A t=2.0e-4 s	-1.E-4	-1.008E-4	0.78
DX au point A t=4.0e-4 s	-2.E-4	-1.939E-4	-3.071
DX au point A t=6.0e-4 s	-1.E-4	-9.558E-5	-4.417
DX au point A t=8.0e-4 s	0.	8.036E-6	Abs: 8.04E-6
DX au point A t=1.0e-3 s	2.E-4	2.063E-4	3.138

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Discretisation 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 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_OBSTACLE	TYPE	'BI_CERC_INT'
DYNA_TRAN_MODAL	CHOC	NOEU_2 DIST_1 DIST_2 INTITULE
	VITE_INIT_GENE METHODE	'EULER'

4.4 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
DX au point A t=2.0e-4 s	-1.E-4	-1.008E-4	0.8
DX au point A t=4.0e-4 s	-2.E-4	-1.937E-4	-3.15
DX au point A t=6.0e-4 s	-1.E-4	-9.558E-5	-4.42
DX au point A t=8.0e-4 s	0.	6.565E-6	Abs: 6.56E-6
DX au point A t=1.0e-3 s	1.E-4	1.069E-4	6.9
DX au point A t=1.2e-3 s	2.E-4	1.914E-4	-4.3
DX au point A t=1.4e-3 s	1.E-4	9.335E-5	-6.65
DX au point A t=1.6e-3 s	0.	-8.948E-6	Abs : 8.95E-6

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux poutres sont modélisées avec des mailles QUAD4 (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 des charges de contact. On utilise AFFE_CHAR_MECA avec le mot clef CONTACT.

L'appariement est de type maître-esclave. 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 MODI_EQUI='NON' : valeur par défaut) et un pas de temps de 10^{-6} s.

La subdivision de pas de temps est autorisée. Pour le solveur, on utilise la méthode MULT_FRONT.

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. Le solveur est aussi inchangé.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 408

Nombre de mailles et types : 50 QUAD4

5.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	CONTRAINTE	
CREA_CHAMP	OPERATION	'AFFE'	
	TYPE_CHAM	'NOEU_DEPL_R'	
	AFFE	GROUP_NO	'POU1'
			'POU2'
		NOM_CMP	'DZ'
DYNA_NON_LINE	METHODE	HHT	
	ETAT_INIT	VITE	

5.4 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster		% différence	
		HHT	HHT	HHT	HHT
		MODI_EQUI= 'NON'	MODI_EQUI= 'OUI'	MODI_EQUI= 'NON'	MODI_EQUI= 'OUI'
DZ au point A t=2.0e-4 s	-1.050E-4	-1.050E-4	-1.050E-4	0.00	0.00
DZ au point A t=4.0e-4 s	-1.550E-4	-1.552E-4	-1.554E-4	0.16	0.26
DZ au point A t=6.0e-4 s	-5.540E-5	-5.541E-5	-5.541E-5	0.01	0.01
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	9.550E-5	9.707E-5	-3.73	-2.15
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	2.955E-4	2.960E-4	-1.15	-1.00

tps_job 520 mem_job 512Mo ncpus1

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux poutres sont modélisées avec des mailles QUAD4 (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 des charges de contact. On utilise AFFE_CHAR_MECA avec le mot clef CONTACT.

L'appariement est de type maître-esclave. La méthode utilisée est LAGRANGE, sans frottement.

L'intégration temporelle est réalisée avec la méthode HHT ($\alpha = -0.1$) et un pas de temps de 10^{-6} s. La subdivision de pas de temps est autorisée. Pour le solveur, on utilise la méthode MULT_FRONT.

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 408

Nombre de mailles et types : 50 QUAD4

6.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	LAGRANGE	
CREA_CHAMP	OPERATION	'AFFE'	
	TYPE_CHAM	'NOEU_DEPL_R'	
	AFFE	GROUP_NO	'POU1'
			'POU2'
		NOM_CMP	'DZ'
DYNA_NON_LINE	METHODE	HHT	
	ETAT_INIT	VITE	

6.4 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
DZ au point A t=2.0e-4 s	-1.050E-4	-1.050E-4	0.00
DZ au point A t=4.0e-4 s	-1.550E-4	-1.552E-4	0.16
DZ au point A t=6.0e-4 s	-5.540E-5	-5.541E-5	0.01
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	9.550E-5	-3.73
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	2.955E-4	-1.15

tps_job 720 mem_job 800Mo ncpus1

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux poutres sont modélisées avec des mailles QUAD4 (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 des charges de contact. On utilise AFFE_CHAR_MECA avec le mot clef CONTACT.

L'appariement est de type maître-esclave. La méthode utilisée est CONTINUE, sans frottement.

L'intégration temporelle est réalisée avec la méthode HHT ($\alpha = -0.1$) et un pas de temps de 10^{-6} s. La subdivision de pas de temps est autorisée. Pour le solveur, on utilise la méthode MULT_FRONT.

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 408

Nombre de mailles et types : 50 QUAD4

7.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	CONTACT INTEGRATION	CONTINUE NOEUD	
CREA_CHAMP	OPERATION TYPE_CHAM AFFE	'AFFE' 'NOEU_DEPL_R' GROUP_NO	'POU1' 'POU2' 'DZ'
DYNA_NON_LINE	METHODE ETAT_INIT	NOM_CMP HHT VITE	

7.4 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
DZ au point A t=2.0e-4 s	-1.050E-4	-1.050E-4	0.00
DZ au point A t=4.0e-4 s	-1.550E-4	-1.522E-4	-1.82
DZ au point A t=6.0e-4 s	-5.540E-5	-5.537E-5	-0.05
DZ au point A t=8.0e-4 s	9.920E-5	9.550E-5	-3.73
DZ au point A t=1.0e-3 s	2.990E-4	2.950E-4	-1.33

tps_job 2100 mem_job 800Mo ncpus 1

8 Synthèse des résultats

Pour les modélisations a et b (avec DYNAL_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 les oscillations importantes du champ de vitesse autour de la solution analytique.

Pour les modélisations c, d et e (avec DYNAL_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. Pour cette taille de problème, le temps de calcul est plus long avec la méthode CONTINUE.

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).