

Manuel de Validation
Fascicule V2.02 : Dynamique linéaire des poutres
Document V2.02.006

SDLL06 - Réponse transitoire d'un poteau encastré-libre

Résumé

Dans ce cas test, on analyse la réponse transitoire d'une poutre encastrée-libre non amortie, modélisée par un système masse - ressort et soumise à un chargement dynamique quelconque.

On teste l'élément discret en flexion, le calcul des modes propres par la méthode de Lanczos et le calcul de la réponse transitoire par recombinaison modale de la structure soumise soit à un accélérogramme (modélisation A) soit à une force imposée équivalente (modélisation B).

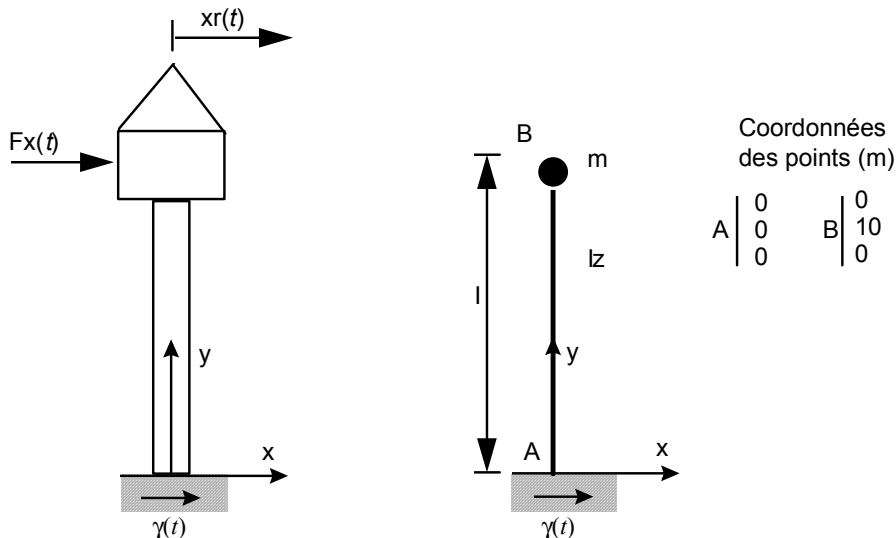
Le schéma d'Euler est utilisé.

Les résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats de référence (résultats analytiques).

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

C'est un problème proposé initialement dans la référence [bib1] et repris dans [bib2].



- poutre AB : poutre élancée sans masse de longueur AB, $l = 10$ m et de moment d'inertie $I_z = 0,3285$ m⁴.
- masse ponctuelle en B : $m = 43,8 \cdot 10^3$ kg

1.2 Propriétés des matériaux

Module d'Young : $E = 4 \cdot 10^{10}$ Pa
Masse volumique : $\rho = 0$ kg/m³

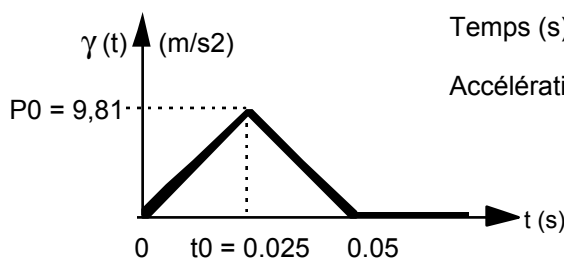
1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites :

Les seuls déplacements autorisés sont les translations selon l'axe x.
Le point A est encastré : $dx = dy = dz = drx = dry = drz = 0$.

Chargements :

- modélisation A : accélération transversale au point A : $\gamma(t)$



Temps (s)	0	0.025	0.05
Accélération suivant x (ms ⁻²)	0	9.81	0

- modélisation B : force transversale au point B : $F_x(t)$ avec $F_x(t) = -m \cdot \gamma(t)$

1.4 Conditions initiales

Le système est au repos : à $t = 0$, $dx(0) = 0$, $dx/dt(0) = 0$ en tout point.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Le problème est traité par un modèle à un degré de liberté. Le poteau est considéré comme une poutre non amortie et non pesante élastique de rigidité $k = 3EI_z/l^3 = 3,942 \cdot 10^7$ N/m. La superstructure située au sommet du poteau est modélisée par une masse ponctuelle $m = 43,8 \cdot 10^3$ kg.

Les deux cas de charge conduisent au calcul de la réponse d'un système à un degré de liberté soumis à une accélération $\gamma(t)$ de forme quelconque :

$$\ddot{x}_r + \omega^2 x_r = -\gamma(t) \quad \text{avec} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3EI_z}{m \cdot l^3}} \quad \text{la fréquence propre du système et } x_r \text{ le}$$

déplacement relatif du point B par rapport au point A. La solution est obtenue par intégration de l'intégrale de Duhamel [bib3] :

$$x_r(t) = -\frac{m}{\omega} \int_0^t \gamma(\tau) \sin \omega(t - \tau) d\tau$$

2.2 Résultats de référence

Déplacement relatif au point B.

Pour une accélération imposée triangulaire, on peut calculer l'intégrale de Duhamel analytiquement [bib3] :

$$\begin{cases} t < t_0 & : x_r = -\frac{P_0}{\omega^2 t_0} \left[t - \frac{\sin \omega t}{\omega} \right] \\ t_0 < t < 2t_0 & : x_r = -\frac{P_0}{\omega^2 t_0} \left[2t_0 - t - \frac{2 \sin \omega(t - t_0)}{\omega} - \frac{\sin \omega t}{\omega} \right] \\ t > 2t_0 & : x_r = -\frac{P_0}{\omega^3 t_0} \left[2 \sin \omega(t - t_0) - \sin \omega(t - 2t_0) - \sin \omega t \right] \end{cases}$$

2.3 Incertitude sur la solution

Aucune si l'on calcule l'intégrale de Duhamel analytiquement [bib3]. De l'ordre de la précision de la méthode d'intégration numérique employée pour calculer l'intégrale de Duhamel ([bib1], [bib2]) : méthode de Simpson avec 40 points par période.

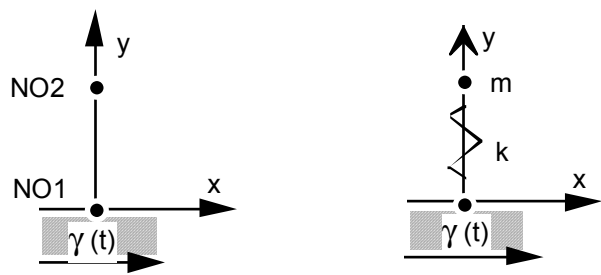
2.4 Références bibliographiques

- [1] R.W. Clough et J. Penzien : Dynamics of structures New York, Mac Graw-Hill, 1975, p. 102-105
- [2] Guide VPCS AFNOR Technique - 1990
- [3] J.S. Przemieniecki : Theorie of matrix structural analysis New York, Mac Graw-Hill, 1968, p. 351-357

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments sont modélisés par des éléments discrets à 6 degrés de liberté "DIS_TR".



Le noeud NO1 est soumis à une accélération imposée $\gamma(t)$. On calcule le déplacement relatif du nœud NO2 par rapport au déplacement du nœud NO1 et on le compare au déplacement calculé analytiquement.
L'intégration temporelle est réalisée avec l'algorithme d'Euler (pas de temps : $5 \cdot 10^{-4}$ s).

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de 2 nœuds et d'un élément discret (DIS_TR).

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes			
AFFE_MODELE	GROUP_MA	'MECANIQUE'	'DIS_TR'
AFFE_CARA_ELEM	DISCRET	NOEUD	M_TR_D_N
		MAILLE	K_TR_D_L
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO		
MODE_ITER_INV	CALC_FREQ	PROCHE	
CALC_CHAR_SEISME	MONO_APPUI		
MACRO_PROJ_BASE			
DYNA_TRAN_MODAL	METHODE	EULER	
REST_BASE_PHYS			
RECU_FONCTION	RESU_GENE		
FORMULE			
CALC_FONC_INTERP			

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Déplacement relatif du nœud NO1 (en mètres).

Temps (s)	Calcul analytique	Code_Aster	Erreur (%)
0,010	-6,511E-05	-6,495E-05	0
0,015	-2,185E-04	-2,183E-04	0
0,020	-5,139E-04	-5,136E-04	-0,058
0,024	-8,809E-04	-8,806E-04	-0,039
0,026	-1,115E-03	-1,115E-03	-0,041
0,030	-1,679E-03	-1,679E-03	-0,014
0,035	-2,523E-03	-2,523E-03	-0,004
0,040	-3,457E-03	-3,457E-03	0
0,045	-4,412E-03	-4,412E-03	0,004
0,049	-5,143E-03	-5,143E-03	0,005
0,051	-5,485E-03	-5,485E-03	0,005
0,055	-6,109E-03	-6,109E-03	0,005
0,060	-6,765E-03	-6,765E-03	0,005
0,065	-7,269E-03	-7,269E-03	0,005
0,070	-7,610E-03	-7,610E-03	0,005
0,075	-7,779E-03	-7,780E-03	0,005
0,080	-7,774E-03	-7,775E-03	0,004
0,085	-7,595E-03	-7,595E-03	0,004

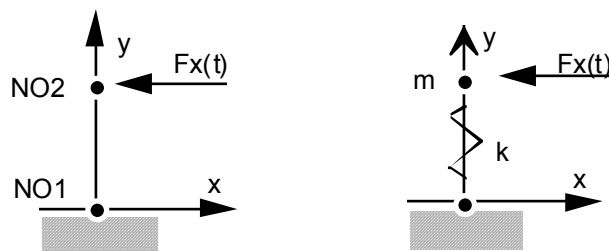
4.2 Paramètres d'exécution

Version : STA 5.02
Machine : SGI ORIGIN 2000
Temps CPU User : 3,16 secondes

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments sont modélisés par des éléments discrets à 6 degrés de liberté "DIS_TR".



Le noeud NO2 est soumis à une force imposée $F_x(t)$. On calcule le déplacement relatif du nœud NO2 par rapport au déplacement du nœud NO1 et on le compare au déplacement calculé dans les références [bib1] et [bib2].

L'intégration temporelle est réalisée avec l'algorithme d'Euler (pas de temps : 10^{-3} s).

5.2 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE	GROUP_MA	'MECANIQUE'	'DIS_TR'
AFFE_CARA_ELEM	DISCRET	NOEUD	M_TR_D_N
		MAILLE	K_TR_D_L
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO		
	FORCE_NODALE		
MODE_ITER_INV	CALC_FREQ	PROCHE	
CALC_CHAR_SEISME	MONO_APPUI		
MACRO_PROJ_BASE			
DYNA_TRAN_MODAL	METHODE	EULER	
REST_BASE_PHYS			
RECU_FONCTION	RESULTAT		

5.3 Caractéristiques du maillage

C'est le même maillage que pour la modélisation A.

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Déplacement relatif du nœud NO1 (en mètres).

Temps (s)	Références [bib1], [bib2]	Code_Aster	Erreur (%)
0,01	-6,500E-05	-6,447E-05	-0,82
0,02	-5,130E-04	-5,127E-04	-0,064
0,03	-1,679E-03	-1,678E-03	-0,037
0,04	-3,457E-03	-3,457E-03	0,013
0,05	-5,316E-03	-5,317E-03	0,022
0,06	-6,764E-03	-6,766E-03	0,035
0,07	-7,609E-03	-7,611E-03	0,027
0,08	-7,774E-03	-7,776E-03	0,024
0,09	-7,244E-03	-7,246E-03	0,028
0,1	-6,068E-03	-6,069E-03	0,014
0,12	-2,242E-03	-2,242E-03	-0,017
0,14	2,367E-03	2,369E-03	0,071
0,16	6,149E-03	6,152E-03	0,041
0,18	7,783E-03	7,785E-03	0,029
0,2	6,698E-03	6,699E-03	0,018

6.2 Paramètres d'exécution

Version : STA 5.02
Machine : SGI ORIGIN 2000
Temps CPU User : 1,9 secondes

7 Synthèse des résultats et remarques générales

Le modèle simplifié présenté dans ce cas test permet de valider la méthode de résolution numérique. Pour traiter le problème physique réel, il faudrait prendre en compte les effets d'inertie (masse du poteau, effet d'inertie de rotation autour de B de la superstructure) et de compression du poteau (poids propre).

Pour la modélisation A, l'erreur commise avec un pas de temps de $5 \cdot 10^{-4}$ s est de l'ordre de 0,01% ; pour la modélisation B (pas de temps de 10^{-3} s) elle est de l'ordre de 0,6%.

On pourra compléter ce cas test en vérifiant la convergence des résultats pour d'autres valeurs du pas de temps et en comparant les résultats obtenus avec d'autres schémas d'intégration.