SDLL132 - Modes propres d'une charpente en poutres multi-fibres

Résumé :

Ce test concerne la validation de l'option MASS_INER, ainsi que du calcul des modes propres de la charpente lorsque le modèle contient des POU_D_TGM (poutres multi-fibres). Les résultats de la solution de référence sont obtenus en faisant la même étude mais avec un modèle de poutres basée sur des POU_D_E.

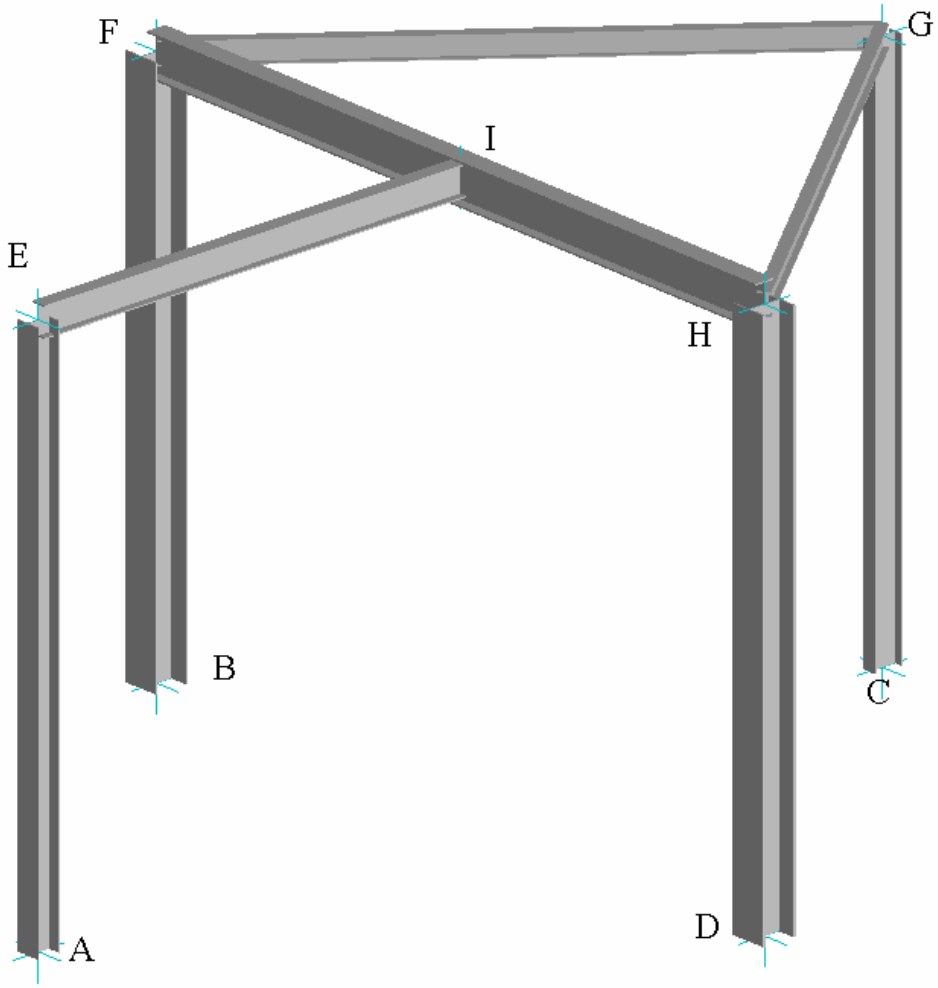
Ce test permet de valider, en faisant une analyse modale de la structure :
les éléments finis linéiques de type POU_D_TGM.
les résultats des commandes : POST_ELEM, NORM_MODE, EXTR_MODE.
les résultats de MACRO_MODE_MECA.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le cas test est une charpente métallique composée de poutres et de poteaux.



Coordonnées des nœuds principaux du maillage :

Point	Coord. X (en m)	Coord. Y (en m)	Coord. Z (en m)
A	2.0	2.5	0.0
B	4.0	0.0	0.0
C	2.0	– 2.5	0.0
D	0.0	0.0	0.0
E	2.0	2.5	3.0
F	4.0	0.0	3.0
G	2.0	– 2.5	3.0
H	0.0	0.0	3.0
I	2.0	0.0	3.0

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.2 Caractéristiques mécaniques des poutres

Les poutres du cas test sont des profilés standards de la construction métallique. Les unités de leurs caractéristiques mécaniques sont homogènes à des mètres.

	HEA200	*IPE220*	*IPE160*	*HEA140*	*IPE120*
Poutres	*BF , DH*	*HF*	*EI , CG*	*AE*	*FG , GH*
A	5.39E – 03	3.34E – 03	2.01E – 03	3.14E – 03	1.32E – 03
IY	3.69E – 05	2.77E – 05	8.70E – 06	1.03E – 05	3.18E – 06
IZ	1.34E – 05	2.05E – 06	6.83E – 07	3.89E – 06	2.77E – 07
AY	1.474994	1.789865	1.792884	1.464032	1.774392
AZ	4.466038	2.633754	2.586199	4.464173	2.590182
JX	1.97E – 07	8.66E – 08	3.37E – 08	7.76E – 08	1.63E – 08
JG	1.06E – 07	2.23E – 08	3.89E – 09	1.47E – 08	8.73E – 10

Les grandeurs EY , EZ , $IYR2$, $IZR2$ sont nulles pour toutes les poutres.

1.3 Propriétés du matériau

Un seul matériau est utilisé :

Young	$2.10\mathrm{e}{+11}\ Pa$
Rho	$7.85\mathrm{e}{+03}\ kg/m^3$

1.4 Conditions aux limites

Les points A , B , C , D sont encastrés.

$$DX=0 \quad DY=0 \quad DZ=0 \quad DRX=0 \quad DRY=0 \quad DRZ=0$$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Les valeurs de la solution de référence sont obtenues avec la charpente, réalisée avec un modèle à base de POU_D_E.

2.2 Résultats de référence

Les valeurs obtenues par la commande POST_ELEM, avec le mot clé MASS_INER :

Grandeurs	Valeur
MASSE	5.85759E+02
CDG_X	2.00000E+00
CDG_Z	2.03968E+00
IX_PRIN_G	1.56562E+03
IY_PRIN_G	1.81822E+03
IZ_PRIN_G	2.23486E+03

Le tableau ci-dessous donne les modes propres calculés avec un modèle de POU_D_E. Les modes sont filtrés par la commande EXTR_MODE avec le critère MASS_EFFE_UN et un seuil de 5.0E-04.

NUME MODE	FREQUENCE	MASS_EFFE_UN DX	CUMUL_DX	MASS_EFFE_UN DY	CUMUL_DY	MASS_EFFE_UN DZ	CUMUL_DZ
1	1.00E+01	2.41E – 01	2.41E – 01	1.69E – 26	1.69E – 26	7.04E – 30	7.04E – 30
2	1.24E+01	4.33E – 01	6.74E – 01	3.99E – 24	4.01E – 24	2.64E – 27	2.65E – 27
3	1.31E+01	3.84E – 24	6.74E – 01	5.29E – 01	5.29E – 01	4.13E – 04	4.13E – 04
4	1.75E+01	7.73E – 04	6.74E – 01	4.54E – 26	5.29E – 01	2.74E – 28	4.13E – 04
5	1.91E+01	7.92E – 02	7.54E – 01	1.88E – 27	5.29E – 01	4.25E – 28	4.13E – 04
6	2.24E+01	6.29E – 27	7.54E – 01	1.38E – 01	6.67E – 01	2.22E – 04	6.35E – 04
7	2.69E+01	1.21E – 29	7.54E – 01	6.00E – 02	7.27E – 01	1.50E – 07	6.35E – 04
10	3.36E+01	2.42E – 30	7.54E – 01	6.37E – 04	7.27E – 01	6.26E – 06	6.41E – 04
13	3.53E+01	1.67E – 03	7.55E – 01	7.43E – 30	7.27E – 01	1.13E – 29	6.41E – 04
14	3.70E+01	1.21E – 02	7.68E – 01	9.09E – 30	7.27E – 01	2.84E – 33	6.41E – 04

2.3 Incertitude sur la solution

Sans objet.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation et du maillage

Le modèle est composé de POU_D_TGM (poutres multi-fibres). Toutes les sections, sont en forme de "I" et sont décrites avec 30 fibres : 1 dans l'épaisseur de l'âme et des semelles, 10 dans la largeur des semelles et 10 dans la hauteur de l'âme.

3.2 Grandeurs testées et résultats

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus par la commandes POST_ELEM, avec le mot clé MASS_INER, pour le modèle POU_D_TGM et les compare aux valeurs de références obtenues avec un modèle de POU_D_E.

Grandeurs	Valeurs Références	Valeurs POU_D_TGM	Erreur Relative
MASSE	5.8576E+02	5.8576E+02	– 7.04E – 07
CDG_X	2.0000E+00	2.0000E+00	0.00E+00
CDG_Z	2.0397E+00	2.0397E+00	– 2.16E – 06
IX_PRIN_G	1.5656E+03	1.5656E+03	– 1.11E – 06
IY_PRIN_G	1.8182E+03	1.8182E+03	1.80E – 07
IZ_PRIN_G	2.2349E+03	2.2349E+03	– 4.72E – 07

Dans ce test, l'erreur relative maximale autorisée est fixée à 2.0E-05.

Le tableau ci-dessous donne les modes propres calculés avec un modèle de POU_D_TGM. Les modes sont filtrés par la commande EXTR_MODE avec le critère MASS_EFFE_UN et un seuil de 5.0E-04. L'erreur relative maximale autorisée sur le calcul des fréquences est fixée à 2.0E-02. L'erreur absolue maximale autorisée sur le calcul des MASS_EFFE_UN est fixée à 1.0E-02.

NUME MODE	FREQUENCE	MASS_EFFE_UN DX	CUMUL_DX	MASS_EFFE_UN DY	CUMUL_DY	MASS_EFFE_UN DZ	CUMUL_DZ
1	1.00E+01	2.45E – 01	2.45E – 01	1.38E – 27	1.38E – 27	7.12E – 31	7.12E – 31
2	1.23E+01	4.30E – 01	6.75E – 01	1.28E – 25	1.30E – 25	7.59E – 29	7.66E – 29
3	1.29E+01	1.10E – 25	6.75E – 01	5.35E – 01	5.35E – 01	4.02E – 04	4.02E – 04
4	1.73E+01	1.90E – 03	6.77E – 01	4.08E – 28	5.35E – 01	5.99E – 31	4.02E – 04
5	1.91E+01	7.67E – 02	7.54E – 01	2.18E – 27	5.35E – 01	3.36E – 30	4.02E – 04
6	2.21E+01	7.04E – 28	7.54E – 01	1.40E – 01	6.75E – 01	2.28E – 04	6.30E – 04
7	2.68E+01	7.31E – 28	7.54E – 01	5.57E – 02	7.31E – 01	1.34E – 07	6.30E – 04
8	3.49E+01	2.32E – 03	7.56E – 01	5.33E – 29	7.31E – 01	2.56E – 31	6.30E – 04
9	3.76E+01	1.72E – 02	7.73E – 01	1.77E – 29	7.31E – 01	8.92E – 34	6.30E – 04

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Le tableau ci-dessous compare les résultats obtenus avec le modèle POU_D_TGM et les valeurs de référence obtenues avec un modèle de POU_D_E (NUME_MODE 1, 2, 3, 5, 6, 7), pour lesquels il n'y a pas de remarques particulières.

	NUME MODE	FREQUENCE	MASS_EFFE_UN DX	MASS_EFFE_UN DY	MASS_EFFE_UN_DZ
Valeurs références	1	10.0386	2.4062E – 01	1.6855E – 26	7.0440E – 30
POU_D_TG M	1	10.0299	2.4507E – 01	1.3770E – 27	7.1158E – 31
Erreur relative		– 8.7E – 04	1.8E – 02	---	---
Erreur absolue		– 8.7E – 03	4.4E – 03	---	---
Valeurs références	2	12.3631	4.3310E – 01	3.9884E – 24	2.6399E – 27
POU_D_TGM	2	12.2722	4.3008E – 01	1.2845E – 25	7.5937E – 29
Erreur relative		– 7.4E – 03	– 7.0E – 03	---	---
Erreur absolue		– 9.1E – 02	– 3.0E – 03	---	---
Valeurs références	3	13.0613	3.8389E – 24	5.2880E – 01	4.1267E – 04
POU_D_TGM	3	12.8877	1.1018E – 25	5.3471E – 01	4.0172E – 04
Erreur relative		– 1.3E – 02	---	1.1E – 02	– 2.7E – 02
Erreur absolue		– 1.7E – 01	---	5.9E – 03	– 1.1E – 05
Valeurs références	5	19.1421	7.9213E – 02	1.8759E – 27	4.2482E – 28
POU_D_TGM	5	19.0752	7.6706E – 02	2.1807E – 27	3.3632E – 30
Erreur relative		– 3.5E – 03	– 3.3E – 02	---	---
Erreur absolue		– 6.7E – 02	– 2.5E – 03	---	---
Valeurs références	6	22.359	6.2877E – 27	1.3777E – 01	2.2223E – 04
POU_D_TGM	6	22.1023	7.0371E – 28	1.4041E – 01	2.2790E – 04
Erreur relative		– 1.2E – 02	---	1.9E – 02	2.5E – 02
Erreur absolue		– 2.6E – 01	---	2.6E – 03	5.7E – 06
Valeurs références	7	26.9214	1.2099E – 29	6.0029E – 02	1.5014E – 07
POU_D_TGM	7	26.7993	7.3140E – 28	5.5675E – 02	1.3418E – 07
Erreur relative		– 4.6E – 03	---	– 7.8E – 02	---
Erreur absolue		– 1.2E – 01	---	– 4.4E – 03	---

Le tableau ci-dessous compare les résultats obtenus avec le modèle POU_D_TGM et les valeurs de référence obtenues avec un modèle de POU_D_E (NUME_MODE 4, 8, 9) pour lesquels quelques remarques sont nécessaires.

	NUME MODE	FREQUENCE	MASS_EFFE_UN DX	MASS_EFFE_UN DY	MASS_EFFE_UN_DZ
Valeurs références	4	17.53	7.7262E – 04	4.5440E – 26	2.7423E – 28
POU_D_TGM	4	17.3126	1.9020E – 03	4.0831E – 28	5.9912E – 31
Erreur relative		– 1.3E – 02	5.9E – 01	---	---
Erreur absolue		– 2.2E – 01	1.1E – 03	---	---
Valeurs références	13	35.2798	1.6712E – 03	7.4262E – 30	1.1337E – 29
POU_D_TGM	8	34.9301	2.3155E – 03	5.3345E – 29	2.5636E – 31
Erreur relative		– 1.0E – 02	2.8E – 01	---	---
Erreur absolue		– 3.5E – 01	6.4E – 04	---	---
Valeurs références	14	37.0148	1.2125E – 02	9.0891E – 30	2.8395E – 33
POU_D_TGM	9	37.6334	1.7201E – 02	1.7660E – 29	8.9176E – 34
Erreur relative		1.6E – 02	3.0E – 01	---	---
Erreur absolue		6.2E – 01	5.1E – 03	---	---

Pour le NUME_MODE 4, la fréquence est correcte, par contre il y a une erreur relative de 59% sur la MASS_EFFE_UN_DX (1.9E-03 à comparer à 7.7E-04), et une erreur absolue de 1.1E-03. La valeur de MASS_EFFE_UN_DX indique une faible participation de ce mode à la réponse dynamique de la structure. Les deux analyses sont donc en accord, il y a bien un mode au voisinage de 17.5Hz , et sa contribution est très faible vis-à-vis de la réponse dynamique de la structure.

Après analyse des résultats, le mode calculé à 34.9Hz (NUME_MODE 8 pour le modèle POU_D_TGM)

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

correspond au mode de référence à 35.3Hz (NUME_MODE 13). Par contre il existe une erreur relative de 28% sur la MASS_EFFE_UN_DX (2.3E-03 à comparer à 1.7E-03) et une erreur absolue de 6.4E-04. La valeur de MASS_EFFE_UN_DX indique une faible participation de ce mode à la réponse dynamique de la structure, les deux analyses sont donc en accord.

Après analyse des résultats, le mode calculé à 37.6Hz (NUME_MODE 9 pour le modèle POU_D_TGM) correspond au mode de référence à 37.0Hz (NUME_MODE 14). Par contre il existe une erreur relative de 30% sur la MASS_EFFE_UN_DX (1.7E-02 à comparer à 1.2E-02) et une erreur absolue de 5.1E-03. La valeur de MASS_EFFE_UN_DX indique une faible participation de ce mode à la réponse dynamique de la structure, les deux analyses sont donc en accord.

Le mode, de la solution de référence, qui correspond à la fréquence de 33.6Hz (NUME_MODE 10) n'est pas retrouvé par la modélisation en POU_D_TGM. La masse MASS_EFFE_UN_DY, correspondant à ce mode est de 6.37E-04, inférieure à 0.1%. Cette valeur indique une faible participation de ce mode à la réponse dynamique de la structure. Le fait que l'on ne retrouve pas ce mode, avec une modélisation de POU_D_TGM, ne va donc pas influencer l'analyse dynamique que l'on pourrait faire par la suite.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Synthèse des résultats

Les résultats de référence sont obtenus avec un modèle de POU_D_E.
Les analyses réalisées avec une modélisation en POU_D_TGM sont en accord avec la solution de référence.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)