

**Manuel de Validation**  
**Fascicule V2.02 : Dynamique linéaire des poutres**  
**Document : V2.02.132**

# **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`.

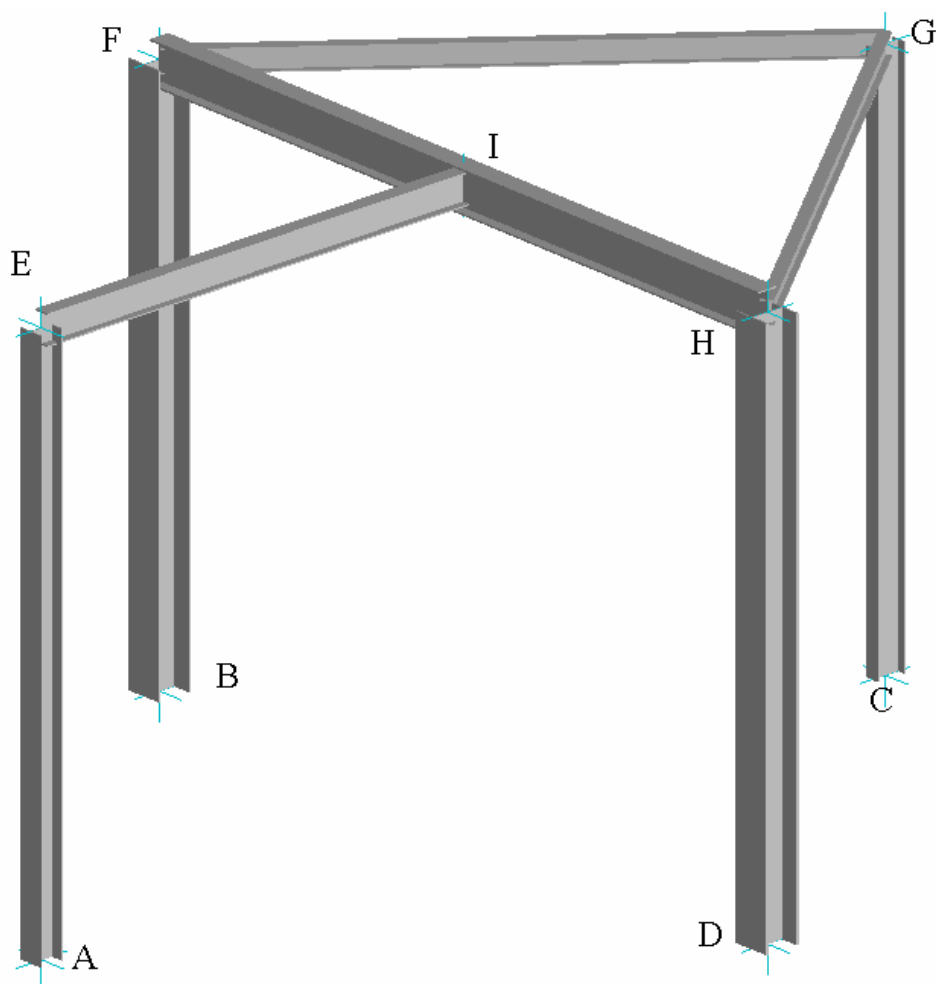
Ce test permet de valider, en faisant une analyse modale de la structure :

- 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`.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

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



Coordonnées des noeuds 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

## 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 [m].

	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 2.10e+11 Pa  
 Rho 7.85e+03 kg/m<sup>3</sup>

## 1.4 Conditions aux limites

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

DX = 0    DY = 0    DZ = 0    DRX = 0    DRY = 0    DRZ = 0

## 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.

### 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 Fonctionnalités testées

Le cas test comporte trois étapes :

- la première calcule les caractéristiques de la structure avec la commande `post_elem`,
- la deuxième étape consiste à calculer les modes propres de la structures à l'aide des commandes `calc_matr_elem`, `nume_ddl`, `asse_matrice`, `mode_iter_simult` et à les normer avec le résultat du concept `post_elem`,
- la troisième étape calcule les modes propres de la structure avec la macro-commande `MACRO_MODE_MECA` en normant les modes avec le résultat du concept `POST_ELEM`.

##### Commandes

AFFE_CARA_ELEM	POUTRE	
	AFFE_FIBRE	
POST_ELEM	MASS_INER	
CALC_MATR_ELEM	OPTION	'RIGI_MECA'
		'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	TYPE_RESU	'DYNAMIQUE'
	CALC_FREQ	BANDE
NORM_MODE	NORME	'MASS_GENE'
MACRO_MODE_MECA	NORME	'MASS_GENE'

#### 3.3 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.

Titre : SDLL132 - Modes propres d'une charpente  
Auteur(s) : J.-L. FLEJOU

Date : 15/04/03  
Clé : V2.02.132-A Page : 6/8

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

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_TGM	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	17.5316	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) 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 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.

## 3.4 Paramètres d'exécution

Version	: 6.0
Machine	: IRIX64
Encombrement mémoire	: 16Mo
Temps CPU User	: 9.0sec

## 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.