

**Manuel de Validation****Fascicule V2.05 : Dynamique linéaire des structures assemblées****Document : V2.05.002**

# **SDLX02 - Tuyauterie : Problème de Hovgaard. Analyse spectrale**

---

**Résumé :**

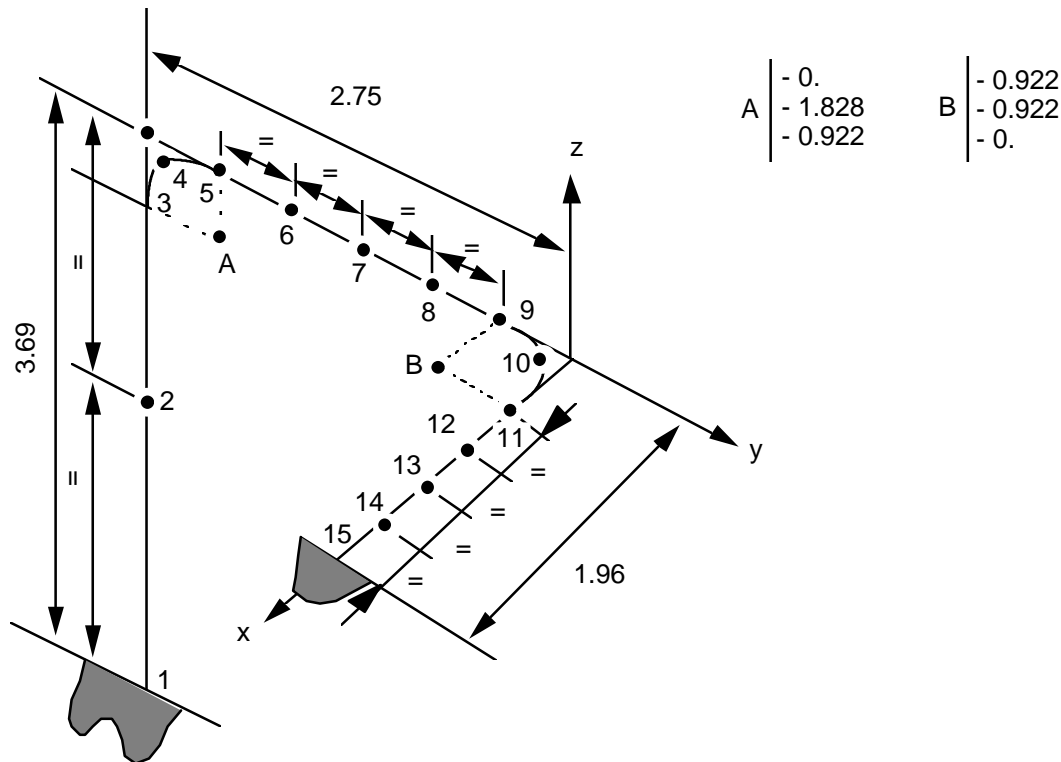
Le problème tridimensionnel consiste *primo*, à chercher les modes de vibration d'une structure mécanique composée d'une poutre courbe encastree-encastree (problème de Hovgaard), *secundo*, d'analyser la réponse de cette structure soumise à un spectre d'accélération. Ce test de mécanique des structures correspond à une analyse dynamique d'un modèle linéique (structure assemblée) ayant un comportement linéaire. Il comprend trois modélisations.

Par l'intermédiaire de ce problème, on teste l'élément de poutre de Timoshenko (poutre droite ou courbe) en flexion, le calcul des modes propres par la méthode de Lanczos, le calcul des modes statiques et le calcul d'une réponse spectrale d'une structure soumise à un spectre d'accélération (on teste aussi l'interpolation de spectre).

Les résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats de référence (compilation de résultats obtenus par d'autres progiciels).

## 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie



- diamètre extérieur du tuyau : 0.185 m
- épaisseur du tuyau : 6.12 m
- rayon de courbure des coudes : 0.922 m

## 1.2 Propriétés de matériaux

$$E = 1.658 \text{ E} + 11 \text{ Pa}$$
$$v = 0.3$$
$$\rho = 13404.106 \text{ kg/m}^3 \text{ (tuyau plein d'eau)}$$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

Points 1 et 15 encastrés ( $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$ ).

Chargement : sans objet pour l'analyse modale.

Pour l'analyse spectrale : définition d'un spectre d'accélération aux appuis pour un amortissement de 2%.

Fréquence (Hz)	1	10	30	100	10000
Accélération (g) suivant x et y	0.2	2.	2.	0.2	0.2
Accélération (g) suivant z	0.1	1.	1.	0.1	0.1

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Moyennes de codes : Poux, ADL, TITUS-T.

Guide de validation des Progiciels de calcul de structures - AFNOR - 1990 (pour le calcul modal). Les valeurs fournies dans la fiche sont sous estimées et ont été corrigées par la suite en 1992. Cependant, elles ont été conservées pour les calculs avec matrice de masse diagonale.

### 2.2 Résultats de référence

Calcul modal :	9 premières fréquences propres.
Réponse spectrale :	déplacement des nœuds N3 N5 et N7, N9, N11 .
	Réaction d'appuis aux nœuds N1, N15.
	Efforts généralisés des nœuds N3, N7, N11.

### 2.3 Incertitude sur la solution

De l'ordre de 1% sur les 5 premiers modes.

Entre 1 et 2,5% pour les modes 6 à 9.

### 2.4 Références bibliographiques

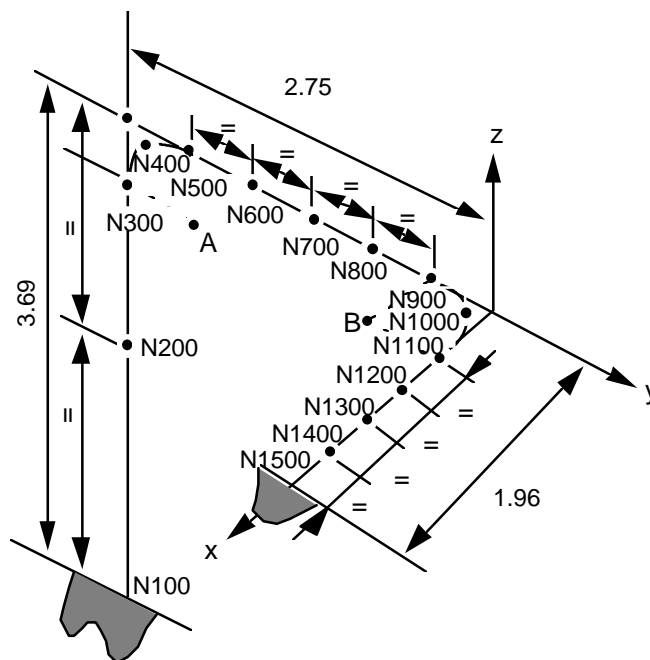
- [1] Guide VPCS AFNOR Technique - 1990
- [2] W. HOVGAAARD "Stress in three dimensionnel pipe bens", Trans of ASME vol. 57, FSP 75-12 P 401-416.

### 3 Modélisation A

#### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments "POU\_C\_T" (2 éléments par coude).

Les éléments droits sont modélisés par des éléments "POU\_D\_T".



#### 3.2 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_MODELE	GROUP_MA	'MECANIQUE'	'POU_D_T' 'POU_C_T'	[U4.22.01]
CALC_MATR_ELEM	OPTION	'MASS_MECA_DIAG'		[U4.41.01]
MODE_ITER_SIMULT	METHODE	'TRI_DIAG'		[U4.52.01]
	CALC_FREQ	DIM_SOUS_ESPACE NMAX_FREQ		
NORM_MODE	NORME	'TRAN_ROTA'		[U4.64.02]
CALC_ELEM	OPTION	'SIELF_ELGA_DEP' 'EFGE_ELNO_DEPL'		[U4.61.02]
CALC_NO	OPTION	'REAC_NODA'		[U4.61.03]
MODE_STATIQUE	ACCE_UNIF			[U4.52.04]
COMB_SISM_MODAL	EXCIT	MONO_APPUI TRI_SPEC SPEC_OSCI		[U4.54.04]
	CORR_FREQ			

#### 3.3 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 15      Nombre de mailles et types : 10 POU\_D\_T  
4 POU\_C\_T

#### 3.4 Remarques

Les modes sont normés de la façon suivante : plus grande composante (degré de liberté de translation ou rotation) à un.

La réponse globale s'obtient par combinaison quadratique des directions des excitations.

## 4 Résultats de la modélisation A

### 4.1 Valeurs testées

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

Fréquences propres	Référence	Aster	% différence
Mode 1	10.39	10.4488	0.566
2	20.02	19.9067	-0.566
3	25.45	25.3369	-0.444
4	48.32	46.8806	-2.979
5	52.60	51.7708	-1.576
6	84.81	82.4334	-2.802
7	87.16	84.1737	-3.426
8	129.31	130.138	0.640
9	131.69	131.691	0

Fréquences de la structure (matrice de masse diagonale).

Fréquence propres	Référence	Aster	% différence
	10.18	10.198	0.18
2	19.54	19.544	0.02
3	25.47	25.368	-0.40
4	48.09	74.763	-0.68
5	52.86	52.509	-0.66
6	75.94	75.131	-1.07
7	80.11	79.512	-0.75
8	122.34	120.785	-1.27
9	123.15	121.480	-1.36

Réponse spectrale : on ne tient pas compte de la correction des fréquences dues à l'amortissement (option CORR\_FREQ à non dans l'opérateur COMB\_SISM\_MODAL)

Déplacement

Identification			Référence	Aster	% différence
DEPL	N300	DX	4.847 10 <sup>-3</sup>	4.8449 10 <sup>-3</sup>	-0.04
		DY	2.192 10 <sup>-3</sup>	2.1914 10 <sup>-3</sup>	-0.03
		DZ	2,735 10 <sup>-6</sup>	2.7341 10 <sup>-6</sup>	-0.03
	N500	DX	4.808 10 <sup>-3</sup>	4.8062 10 <sup>-3</sup>	-0.04
		DY	2.914 10 <sup>-3</sup>	2.131 10 <sup>-3</sup>	-0.03
		DZ	6.507 10 <sup>-4</sup>	6.5048 10 <sup>-4</sup>	-0.03
	N700	DX	3.588 10 <sup>-3</sup>	3.5866 10 <sup>-3</sup>	-0.04
		DY	2.914 10 <sup>-3</sup>	2.9124 10 <sup>-3</sup>	-0.05
		DZ	8.599 10 <sup>-4</sup>	8.5959 10 <sup>-4</sup>	-0.03
	N900	DX	2.342 10 <sup>-3</sup>	2.3415 10 <sup>-3</sup>	-0.02
		DY	2.913 10 <sup>-3</sup>	2.9114 10 <sup>-3</sup>	-0.05
		DZ	1.027 10 <sup>-3</sup>	1.0261 10 <sup>-3</sup>	-0.08
	N1100	DX	3.009 10 <sup>-6</sup>	3.007 10 <sup>-6</sup>	-0.05
		DY	9.375 10 <sup>-4</sup>	9.3711 10 <sup>-4</sup>	-0.04
		DZ	3.364 10 <sup>-4</sup>	3.3621 10 <sup>-4</sup>	-0.06

## Réaction nodale

Identification			Référence	Aster	% différence
REAC	N100	DX	2132	2130.81	-0.06
		DY	1241	1240.24	-0.06
		DZ	564.6	564.33	-0.05
		DRX	2352	2351.27	-0.03
		DRY	4746	4744.27	-0.04
		DRZ	937.3	936.92	-0.04
	N1500	DX	1653	1652.24	-0.05
		DY	3354	3352.19	-0.05
		DZ	893.7	893.34	-0.04
		DRX	170.8	170.74	-0.03
		DRY	1668	1667.71	-0.02
		DRZ	4903	4900.62	-0.05

## Efforts généralisés

Identification			Référence	Aster	% différence
EFGE	N300	N	559.9	559.86	0.01
		VY	430.8	430.75	−0.01
		VZ	914.9	914.88	0.
		MT	932.5	932.50	0.
		MF	587.3	587.35	0.01
		Y			
		MFZ	620.4	620.36	−0.01
	N700	N	162.5	1624.83	−0.01
		VY	1367.	1367.04	0.
		VZ	225.4	225.38	−0.01
		MT	170.6	170.64	0.03
		MF	924.7	924.69	0.
		Y			
		MFZ	2150	2150.29	0.01

Réponse spectrale : on tient compte de la correction des fréquences dues à l'amortissement (option CORR\_FREQ à oui dans l'opérateur COMB\_SISM\_MODAL)

## Déplacement et Réaction nodale

Identification			Référence	Aster	% différence
DEPL	N3	DX	4.847 10 <sup>-3</sup>	4.8469 10 <sup>-3</sup>	0
		DY	2.192 10 <sup>-3</sup>	2.1922 10 <sup>-3</sup>	0.01
	N7	DX	3.588 10	3.5881 10	0
		DY	2.914 10 <sup>-3</sup>	2.9135 10	-0.01
		DRY	1.436 10	1.4361 10	0.01
REAC_NOD	N1	DX	2132.	2131.66	-0.02
A		DY	1241.	1240.94	-0.02
		DZ	564.6	564.56	0
	N15	DRX	170.8	170.81	0
		DRY	166.8	1668.38	0.02
		DRZ	4903.	4902.58	0

## 4.2 Remarques

Valeurs du spectre (interpolation).

Mode	1, 2, 3	4	5	6	7	8, 9
Accélération suivant x et y	19.620	8.06148	6.72586	3.38994	3.04168	1.9620
Accélération suivant z	9.810	4.03074	3.36293	1.69497	1.52084	0.9810

## 4.3 Paramètres d'exécution

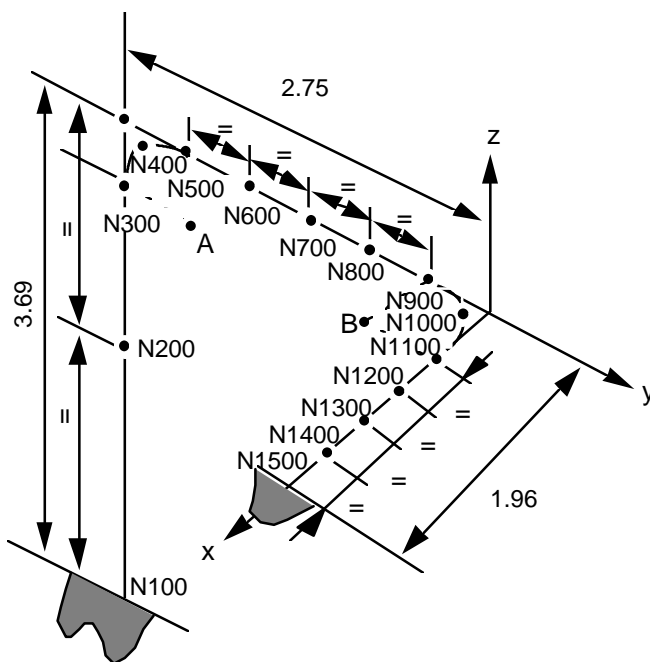
Version :	3.04.7	Système :	UNICOS 8.0
Machine :	CRAY C90	Temps CPU User :	14 secondes
Encombrement mémoire :	8 mégamots		

## 5 Modélisation B

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments "POU\_C\_T" (2 éléments par coude).

Les éléments droits sont modélisés par des éléments "POU\_D\_T\_G".



### 5.2 Fonctionnalités testées

Commandes			Clés
AFFE_MODELE	GROUP_MA	'MECANIQUE'	'POU_D_T_G' [U4.22.01] 'POU_C_T'
CALC_MATR_ELEM	OPTION	'MASS_MECA'	[U4.41.01]
MODE_ITER_SIMULT	METHODE	'TRI_DIAG'	[U4.52.01]
	CALC_FREQ	DIM_SOUS_ESPACE NMAX_FREQ	

### 5.3 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 15      Nombre de mailles et types : 10 POU\_D\_T\_G  
 4 POU\_C\_T

### 5.4 Remarques

Les modes sont normés de la façon suivante : plus grande composante (degré de liberté de translation ou rotation) à un.



## 6 Résultats de la modélisation B

### 6.1 Valeurs testées

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

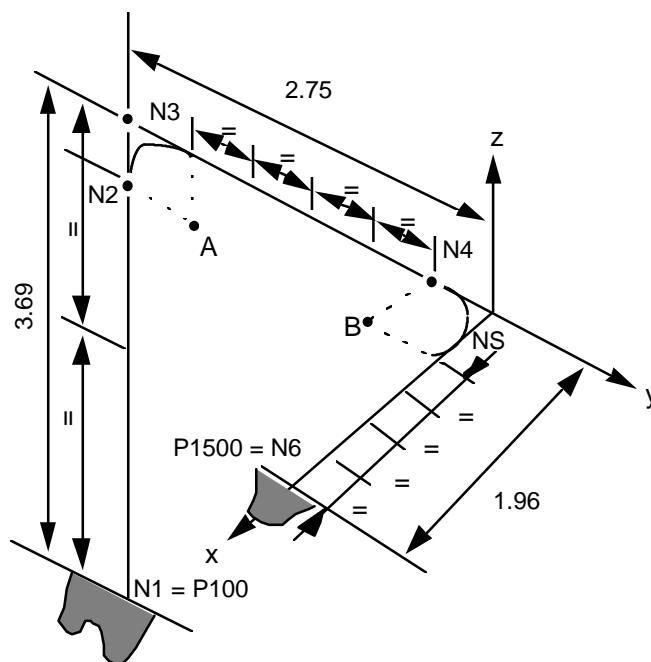
Fréquence propres	Référence	Aster	% différence
Mode 1	10.39	10.4488	0.566
2	20.02	19.9067	-0.566
3	25.45	25.3369	-0.444
4	48.32	46.8806	-2.979
5	52.60	51.7708	-1.576
6	84.81	82.4334	-2.802
7	87.16	84.1737	-3.426
8	129.31	130.138	0.641
9	131.69	131.691	0

## 7 Modélisation C

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments "POU\_C\_T" (10 éléments par coude).

Les éléments droits sont modélisés par des éléments "POU\_D\_T\_G" (10 éléments par poutre droite).



### 7.2 Fonctionnalités testées

Commandes			Clés
AFFE_MODELE	GROUP_MA	'MECANIQUE'	'POU_D_T_G' [U4.22.01] 'POU_C_T'
CALC_MATR_ELEM	OPTION	'MASS_MECA' 'MASS_MECA_DIAG'	[U4.41.01]
MODE_ITER_SIMULT	METHODE CALC_FREQ	'TRI_DIAG' DIM_SOUS_ESPACE NMAX_FREQ	[U4.52.01]

### 7.3 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 51      Nombre de mailles et types : 30 POU\_D\_T\_G  
 20 POU\_C\_T

### 7.4 Remarques

Les modes sont normés de la façon suivante : plus grande composante (degré de liberté de translation ou rotation) à un.

## 8 Résultats de la modélisation C

### 8.1 Valeurs testées

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

Fréquence propres	Référence	Aster	% différence
Mode 1	10.39	10.41	0.170
2	20.02	20.02	0.002
3	25.45	25.52	0.289
4	48.32	48.47	0.314
5	52.60	52.68	0.152
6	84.81	84.89	0.1
7	87.16	87.29	0.153
8	129.31	130.22	0.704

Fréquences de la structure (matrice de masse diagonale).

Référence	Aster	% différence
10.39	10.39	0.058
20.02	20.02	-0.089
25.45	25.51	0.265
48.32	48.51	0.392
52.60	52.70	0.192
84.81	84.63	-0.215
87.16	87.14	-0.021
129.31	129.77	0.357

---

## 9 Synthèse des résultats et remarques générales

---

### Calcul modal :

Les résultats sont conformes à la fiche de validation.

En raffinant le maillage (modélisation C) on obtient des résultats corrects.

### Réponse spectrale :

Les résultats sont conformes aux résultats de référence (l'erreur est inférieure au millième).