

SDLX02 - Tuyauterie : Problème de Hovgaard. Analyse spectrale

Résumé :

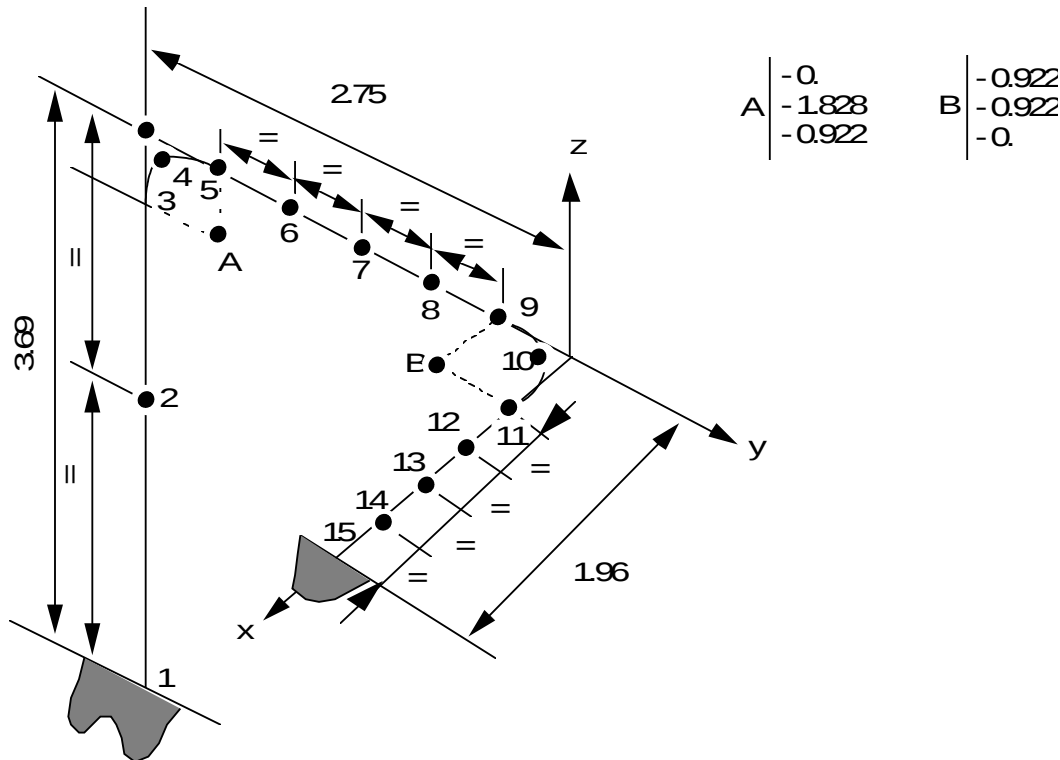
Le problème tridimensionnel consiste *primo*, à chercher les modes de vibration d'une structure mécanique composée d'une poutre courbe encastrée-encastrée (problème de Hovgaard), *secundo*, d'analyser la réponse de cette structure soumise à un spectre d'accélération. Ce test de mécanique des structures 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

$$E = 1.658 \times 10^{11} \text{ Pa} \quad \nu = 0.3 \quad \rho = 13404.106 \text{ kg/m}^3 \text{ (tuyau plein d'eau)}$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

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

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

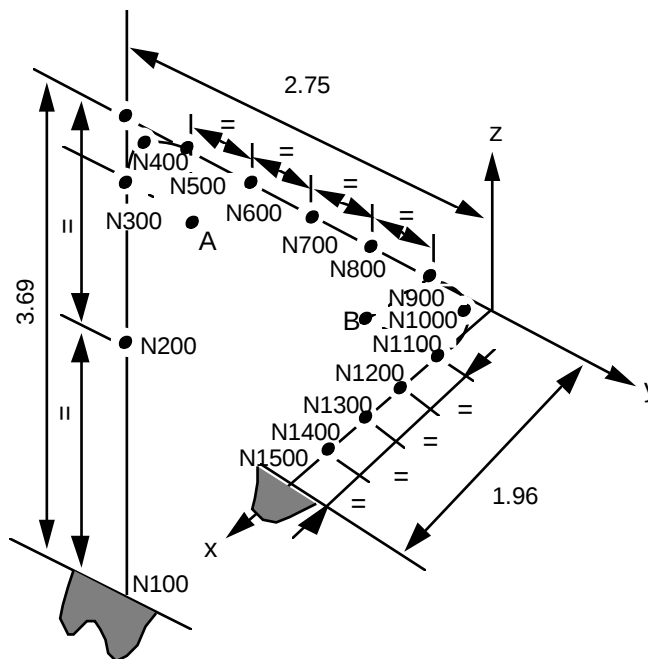
- 1) Guide VPCS AFNOR Technique - 1990
- 2) W. HOVGAAARD "Stress in three dimensionnel pipe bens", Trans of ASME vol. 57, FSP 75-12 P 401-416.

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 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 15

Nombre de mailles et types :

10 POU_D_T

4 POU_C_T

3.3 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.

3.4 Grandeurs testées et résultats

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

Fréquences propres	Référence
Mode 1	10.39
2	20.02
3	25.45
4	48.32
5	52.60
6	84.81
7	87.16
8	129.31
9	131.69

Fréquences de la structure (matrice de masse diagonale).

Fréquence propres	Référence
1	10.18
2	19.54
3	25.47
4	48.09
5	52.86
6	75.94
7	80.11
8	122.34
9	123.15

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
DEPL N300 DX	4.847 10 ⁻³
DY	2.192 10 ⁻³
DZ	2,735 10 ⁻⁶
N500 DX	4.808 10 ⁻³
DY	2.914 10 ⁻³
DZ	6.507 10 ⁻⁴
N700 DX	3.588 10 ⁻³
DY	2.914 10 ⁻³
DZ	8.599 10 ⁻⁴
N900 DX	2.342 10 ⁻³
DY	2.913 10 ⁻³
DZ	1.027 10 ⁻³
N1100 DX	3.009 10 ⁻⁶
DY	9.375 10 ⁻⁴
DZ	3.364 10 ⁻⁴

Réaction nodale

Identification		Référence	
REAC	<i>N100</i>	DX	2132
		DY	1241
		DZ	564.6
		DRX	2352
		DRY	4746
		DRZ	937.3
	<i>N1500</i>	DX	1653
		DY	3354
		DZ	893.7
		DRX	170.8
		DRY	1668
		DRZ	4903

Efforts généralisés

Identification		Référence	
EFGE	<i>N300</i>	N	559.9
		VY	430.8
		VZ	914.9
		MT	932.5
		MFY	587.3
		MFZ	620.4
	<i>N700</i>	N	162.5
		VY	1367.
		VZ	225.4
		MT	170.6
		MFY	924.7
		MFZ	2150

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	
DEPL	<i>N3</i>	DX	4.847 10 ⁻³
		DY	2.192 10 ⁻³
	<i>N7</i>	DX	3.588 10
		DY	2.914 10 ⁻³
		DRY	1.436 10
REAC_NODA	<i>NI</i>	DX	2132.
		DY	1241.
		DZ	564.6
	<i>NI5</i>	DRX	170.8
		DRY	166.8
		DRZ	4903.

3.5 Remarques

Valeurs du spectre (interpolation).

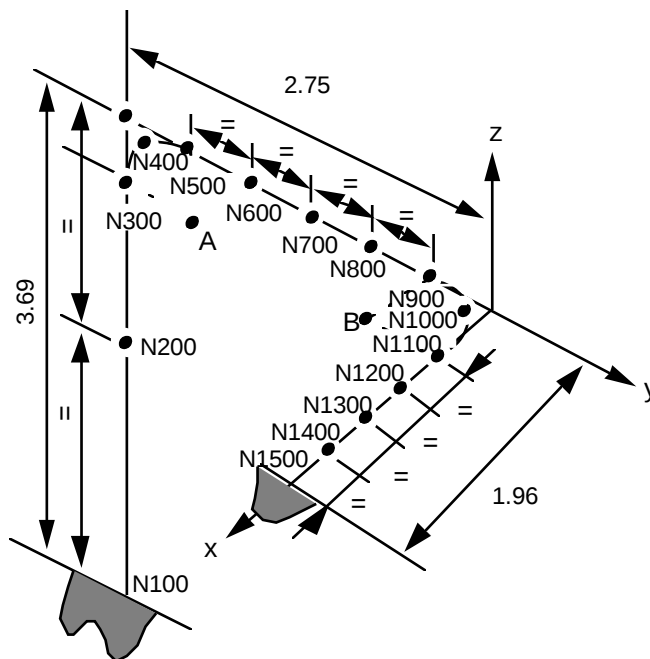
Mode	1, 2, 3	4	5	6	7	8, 9
Accélération suivant x et y	19.620	8.06148	6.72586	3.38994	3.04168	1.9620
Accélération suivant z	9.810	4.03074	3.36293	1.69497	1.52084	0.9810

4 Modélisation B

4.1 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`.



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 15 Nombre de mailles et types : 10 `POU_D_T_G`
4 `POU_C_T`

4.3 Remarques

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

4.4 Grandeurs testées et résultats

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

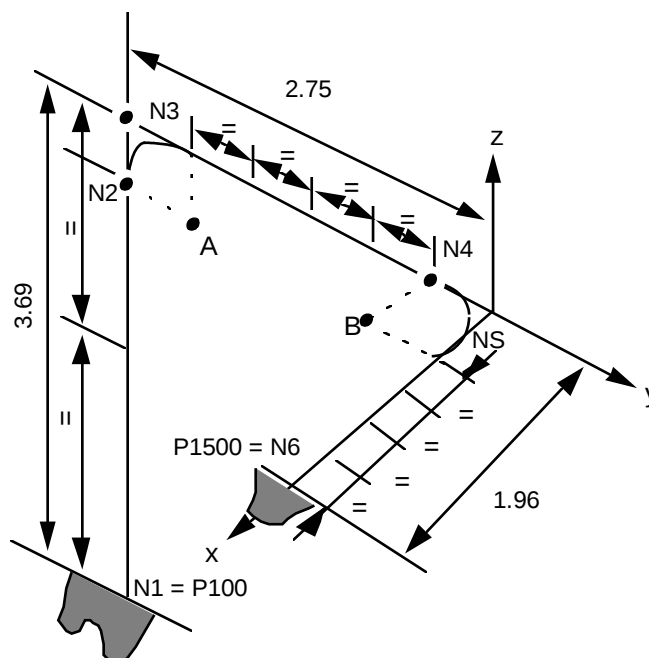
Fréquence propres	Référence
Mode 1	10.39
2	20.02
3	25.45
4	48.32
5	52.60
6	84.81
7	87.16
8	129.31
9	131.69

5 Modélisation C

5.1 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).



5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 51 Nombre de mailles et types : 30 $\text{POU}_{\text{D-T-G}}$
20 $\text{POU}_{\text{C-T}}$

5.3 Remarques

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

5.4 Grandeurs testées et résultats

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

Fréquence propres	Référence
Mode 1	10.39
2	20.02
3	25.45
4	48.32
5	52.60
6	84.81
7	87.16
8	129.31

Fréquences de la structure (matrice de masse diagonale).

Référence
10.39
20.02
25.45
48.32
52.60
84.81
87.16
129.31

6 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).