

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

---

### **Résumé :**

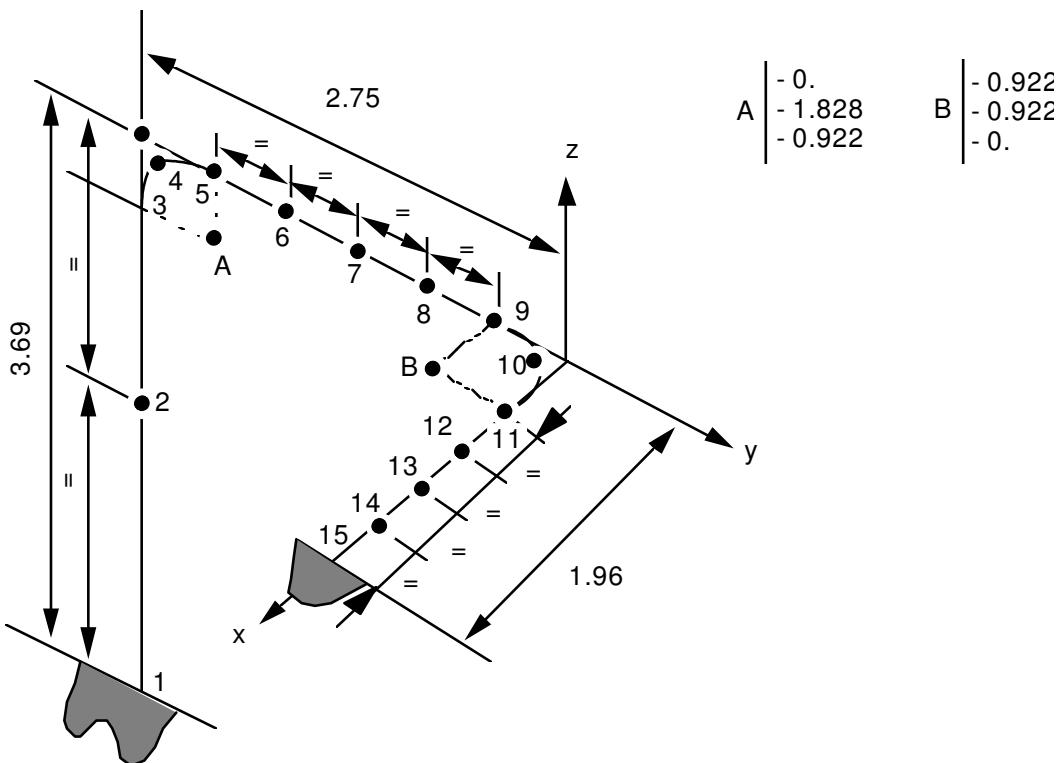
Le problème tridimensionnel consiste *primo*, à chercher les modes de vibration d'une structure mécanique composée d'une poutre courbe encastrée-encastrée (problème de Hovgaard), *secundo*, d'analyser la réponse de cette structure soumise à un spectre d'accélération. Ce test de mécanique des structures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

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

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

Points 1 et 15 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.  
déplacement des nœuds *N3 N5 et N7 , N9 , N11*.

Réponse spectrale : 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**

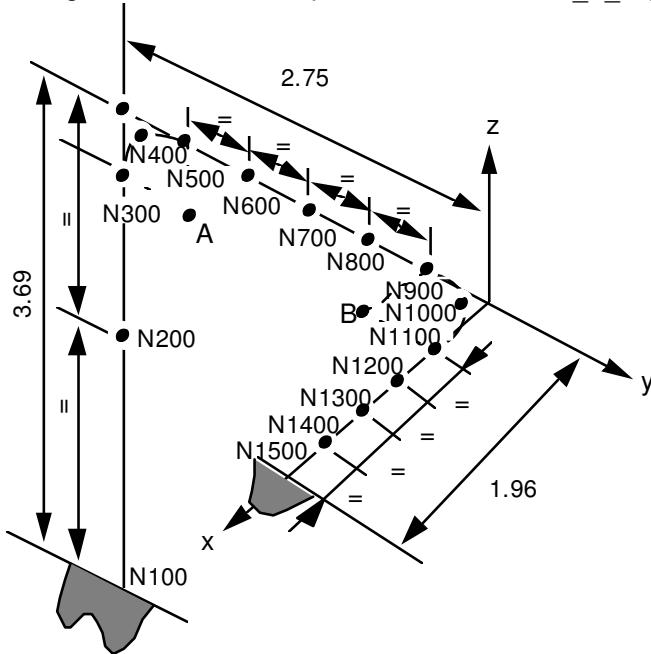
- 1) Guide VPCS AFNOR Technique - 1990
- 2) W. HOVGAARD "Stress in three dimensionnel pipe bens", Trans of ASME vol. 57, FSP 75-12 P 401-416.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

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

Les éléments courbes sont également modélisés par des éléments POU\_D\_T (20 éléments par coude).



### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 51 Nombre de mailles et types : 50 POU\_D\_T (10 pour les parties droites)

### 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 Grandeur 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).

Fréquences 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	<i>N300</i>	DX	$4.847 \cdot 10^{-3}$
		DY	$2.192 \cdot 10^{-3}$
		DZ	$2.735 \cdot 10^{-6}$
<i>N500</i>	DX		$4.808 \cdot 10^{-3}$
	DY		$2.914 \cdot 10^{-3}$
	DZ		$6.507 \cdot 10^{-4}$
<i>N700</i>	DX		$3.588 \cdot 10^{-3}$
	DY		$2.914 \cdot 10^{-3}$
	DZ		$8.599 \cdot 10^{-4}$
<i>N900</i>	DX		$2.342 \cdot 10^{-3}$
	DY		$2.913 \cdot 10^{-3}$
	DZ		$1.027 \cdot 10^{-3}$
<i>N1100</i>	DX		$3.009 \cdot 10^{-6}$
	DY		$9.375 \cdot 10^{-4}$
	DZ		$3.364 \cdot 10^{-4}$

Réaction nodale

Identification			Référence
REAC	<i>N100</i>	DX	2132.0
		DY	1241.0
		DZ	564.6
		DRX	2352.0
		DRY	4746.0
		DRZ	937.3
	<i>N1500</i>	DX	1653.0
		DY	3354.0
		DZ	893.7
		DRX	170.8
		DRY	1668.0
		DRZ	4903.0

## 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
N700	<i>N</i>	162.5	
		VY	1367.0
		VZ	225.4
		MT	170.6
		MFY	924.7
		MFZ	2150.0

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 <sup>-3</sup>
		DY	2.192 10 <sup>-3</sup>
	<i>N7</i>	DX	3.588 10
		DY	2.914 10 <sup>-3</sup>
		DRY	1.436 10
	<i>REAC_NODA NI</i>	DX	2132.
REAC_NODA		DY	1241.
		DZ	564.6
	<i>N15</i>	DRX	170.8
		DRY	166.8
		DRZ	4903.0

## 3.5 Remarques

Valeurs du spectre (interpolation).

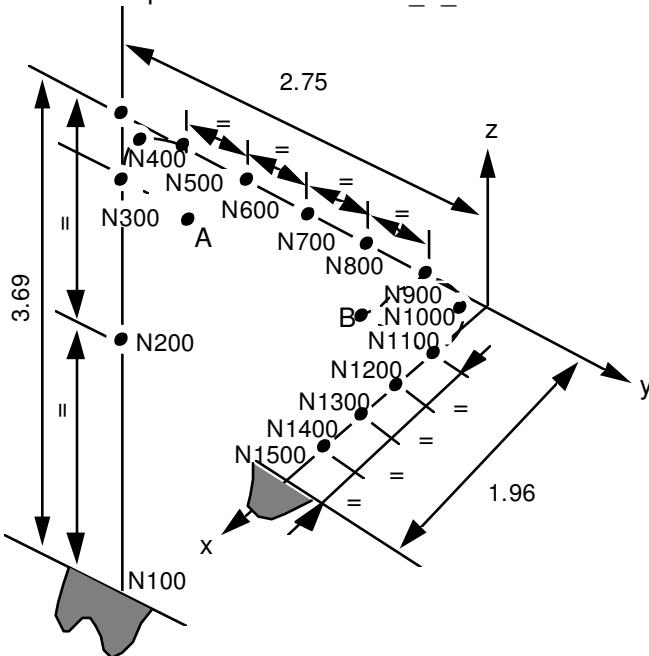
Mode	1, 2, 3	4	5	6	7	8, 9
Accélération suivant <i>x</i> et <i>y</i>	19.620	8.06148	6.72586	3.38994	3.04168	1.9620
Accélération suivant <i>z</i>	9.810	4.03074	3.36293	1.69497	1.52084	0.9810

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments POU\_D\_T (20 éléments par coude).

Les éléments droits sont modélisés par des éléments POU\_D\_TG.



### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 51 Nombre de mailles et types : 10 POU\_D\_TG  
40 POU\_D\_T

### 4.3 Remarques

Les modes sont normés de la façon suivante : plus grande composante (degré de liberté de translation ou rotation) à 1.

### 4.4 Grandeurs testées et résultats

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

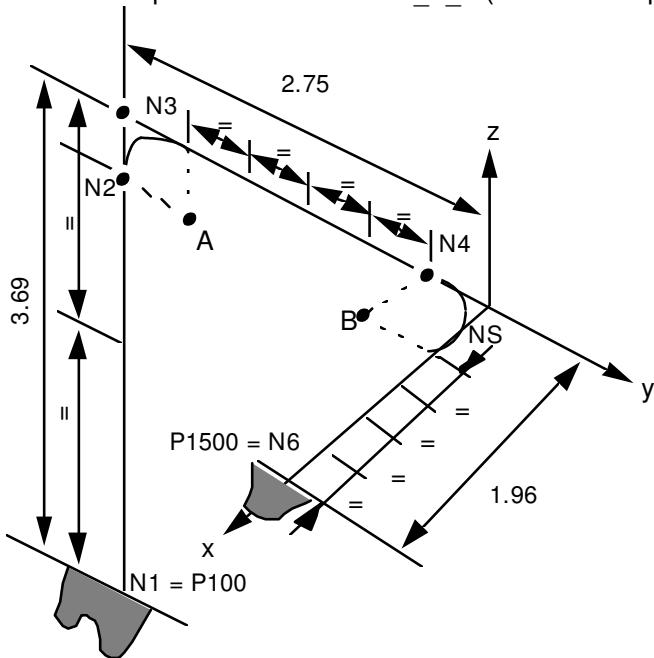
Fréquence propres	Référence
Mode 1	10.39
2	20.02
3	25.45
4	48.32
5	52.60
6	84.81
7	87.16
8	129.31
9	131.69

## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

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

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



### 5.2 Caractéristiques du maillage

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

### 5.3 Remarques

Les modes sont normés de la façon suivante : plus grande composante (degré de liberté de translation ou rotation) à 1.

### 5.4 Grandeur testées et résultats

Fréquences de la structure (matrice de masse complète).

Fréquence propre	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 plutôt conformes aux résultats de référence, l'erreur est de l'ordre du centième dans la plupart des tests.