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.

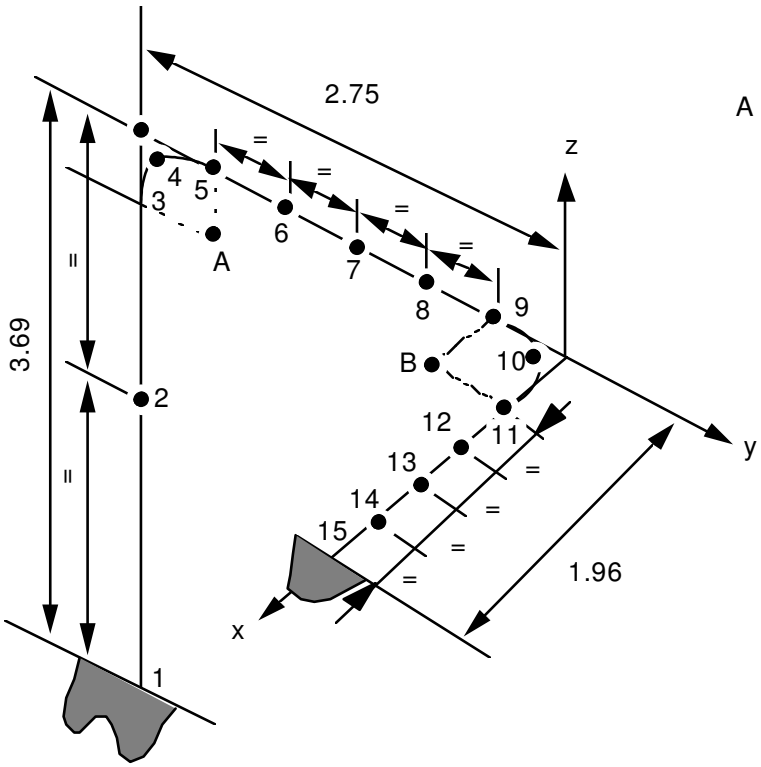
Par l'intermédiaire de ce problème, on teste l'élément de poutre de Timoshenko (poutre droite) en flexion, le calcul des modes propres par la méthode de Lanczos, le calcul des modes statiques et le calcul d'une réponse spectrale d'une structure soumise à un spectre d'accélération (on teste aussi l'interpolation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

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



A | - 0. | - 1.828 | - 0.922

B | - 0.922 | - 0.922 | - 0.

- 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

$E=1.658\,E+11\,Pa$ $\nu=0.3$ $\rho=13404.106\,kg/m^3$ (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

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

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.

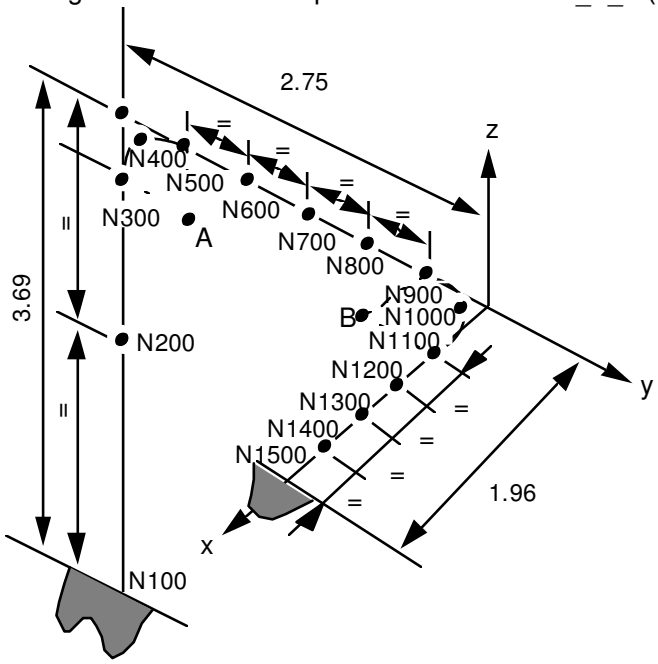
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Fréquences de la structure (matrice de masse diagnonale).

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

3.4.1 Réponse spectrale en mono-appui

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	$N100$	DX	2132.0
		DY	1241.0
		DZ	564.6
		DRX	2352.0
		DRY	4746.0
		DRZ	937.3
	$N1500$	DX	1653.0
		DY	3354.0
		DZ	893.7
		DRX	170.8
		DRY	1668.0
		DRZ	4903.0

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Efforts généralisés

Identification			Référence
EFGE	$N300$	N	559.9
		VY	430.8
		VZ	914.9
		MT	932.5
		MFY	587.3
		MFZ	620.4
	N700	N	1625.0
		VY	1367.0
		VZ	225.4
		MT	649.6
		MFY	499.8
		MFZ	908.7
	N1100	N	1652.0
		VY	3177.0
		VZ	795.7
		MT	170.6
		MFY	924.7
		MFZ	2150.0

3.4.2 Réponse spectrale en mono-appui avec correction statique

Idem §3.4.1, mais en tenant compte de la correction statique et en supprimant les contributions des deux derniers modes. On teste les composantes totale (COMBI), dynamique (COMBI_DYN), qui doit correspondre à la contribution des 7 premiers modes sans correction statique, et statiques (COMBI_QS) qui doit correspondre à la différence quadratique entre les composantes totale et dynamique.

Déplacements :

Identification		NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
DEPL	$N300$	COMBI	DX	SOURCE_EXTERNE	4.847E-03
		COMBI	DY	SOURCE_EXTERNE	2.192E-03
		COMBI	DZ	SOURCE_EXTERNE	2.735E-06
	$N300$	COMBI_DYN	DX	AUTRE_ASTER	4.880E-03
		COMBI_DYN	DY	AUTRE_ASTER	2.1987E-03
		COMBI_DYN	DZ	AUTRE_ASTER	2.6496E-06
	$N300$	COMBI_QS	DX	AUTRE_ASTER	8.2022E-07
		COMBI_QS	DY	AUTRE_ASTER	5.8656E-07
		COMBI_QS	DZ	AUTRE_ASTER	8.5755E-07

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Réactions nodales :

Identification		NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
REAC_NODA	$N100$	COMBI	DX	SOURCE_EXTERNE	2132.0
		COMBI	DY	SOURCE_EXTERNE	1241.0
		COMBI	DZ	SOURCE_EXTERNE	564.6
	$N100$	COMBI_DYN	DX	AUTRE_ASTER	2116.8
		COMBI_DYN	DY	AUTRE_ASTER	1228.5
		COMBI_DYN	DZ	AUTRE_ASTER	546.9
	$N100$	COMBI_QS	DX	AUTRE_ASTER	96.19
		COMBI_QS	DY	AUTRE_ASTER	103.0
		COMBI_QS	DZ	AUTRE_ASTER	272.8

Contraintes généralisées :

Identification			NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
EFGE_ELNO	$M2$	$N300$	COMBI	N	SOURCE_EXTERNE	559.9
			COMBI	VY	SOURCE_EXTERNE	430.8
			COMBI	VZ	SOURCE_EXTERNE	914.9
			COMBI	MT	SOURCE_EXTERNE	932.5
			COMBI	MFY	SOURCE_EXTERNE	587.3
			COMBI	MFZ	SOURCE_EXTERNE	620.4
	$M2$	$N300$	COMBI_DYN	N	AUTRE_ASTER	542.5
			COMBI_DYN	VY	AUTRE_ASTER	430.6
			COMBI_DYN	VZ	AUTRE_ASTER	921.5
			COMBI_DYN	MT	AUTRE_ASTER	944.9
			COMBI_DYN	MFY	AUTRE_ASTER	551.6
			COMBI_DYN	MFZ	AUTRE_ASTER	598.9
	$M2$	$N300$	COMBI_QS	N	AUTRE_ASTER	129.1
			COMBI_QS	VY	AUTRE_ASTER	104.8
			COMBI_QS	VZ	AUTRE_ASTER	96.9
			COMBI_QS	MT	AUTRE_ASTER	0.6
			COMBI_QS	MFY	AUTRE_ASTER	5.9
			COMBI_QS	MFZ	AUTRE_ASTER	3.5

3.4.3 Réponse spectrale en mono-appui avec correction des fréquences d'amortissement

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
DEPL	N 300	DX	SOURCE_EXTERNE	4.847 10^{-3}	7,3E-3
		DY	SOURCE_EXTERNE	2.192 10^{-3}	3,5E-3
	N 700	DX	SOURCE_EXTERNE	3.588 10	4,4E-3
		DY	SOURCE_EXTERNE	2.914 10^{-3}	3,5E-3
		DRY	SOURCE_EXTERNE	1.436 10-3	1,0E-2
	N 100	DX	SOURCE_EXTERNE	2132.	8,0E-3
		DY	SOURCE_EXTERNE	1241.	1,0E-2
		DZ	SOURCE_EXTERNE	564.6	3,5E- 2
	N 150(	DRX	SOURCE_EXTERNE	170.8	2 ,5E- 2
		DRY	SOURCE_EXTERNE	1668	1 ,5E- 2
		DRZ	SOURCE_EXTERNE	4903.0	8,1E-3

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
REAC_NODA	N 100	N	SOURCE_EXTERNE	564.6	3,5E-3
		VY	SOURCE_EXTERNE	1241.0	1,0e-2
		VZ	SOURCE_EXTERNE	2132.0	1,0e-2
	N 200	MT	SOURCE_EXTERNE	936.2	1,4e-2
		MFY	SOURCE_EXTERNE	1857.0	1,4e-2
		MFZ	SOURCE_EXTERNE	759.6	7,6e-3
	N 1000	N	SOURCE_EXTERNE	2454.0	1,7e-2
		VY	SOURCE_EXTERNE	1997.0	1,4e-2
		VZ	SOURCE_EXTERNE	505.0	2,8e-2
	N 1100	MT	SOURCE_EXTERNE	170.6	0,23
		MFY	SOURCE_EXTERNE	925.1	1,2e-3
		MFZ	SOURCE_EXTERNE	2151.0	2,5e-3

3.4.4 Réponse spectrale en multi-appui corrélé

On teste ensuite la commande COMB_SISM_MODAL en multi-appuis avec excitation tridimensionnel en dupliquant le précédent calcul mono-appui. Il s'agit de tests informatiques.

Le premier calcul valide la combinaison suivante :

- MULTI_APPUI='CORRELE' + EXCIT/TRI_SPEC

Les mêmes excitations sont imposées aux deux appuis afin de coller au calcul mono-appui.

Déplacement et Réaction nodale

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
DEPL	N 300	DX	SOURCE_EXTERNE	4.847 10^{-3}	7, 5 E-3
		DY	SOURCE_EXTERNE	2.192 10^{-3}	4,1 E-3
	N 700	DX	SOURCE_EXTERNE	3.588 10	4,8E-3
		DY	SOURCE_EXTERNE	2.914 10^{-3}	3, 7 E-3
		DRY	SOURCE_EXTERNE	1.436 10	1,1E-2
REAC_NODA	N 100	DX	SOURCE_EXTERNE	2132.	2,0E-3
		DY	SOURCE_EXTERNE	1241.	2,0E-3
		DZ	SOURCE_EXTERNE	564.6	3, 0 E- 2
	N 150(	DRX	SOURCE_EXTERNE	170.8	3 , 1 E- 2
		DRY	SOURCE_EXTERNE	1668	5,0 E- 2
		DRZ	SOURCE_EXTERNE	4903.0	8,6E-3

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
effort	N 100	N	SOURCE_EXTERNE	564.6	3,0e-2
		VY	SOURCE_EXTERNE	1241.0	2,0e-3
		VZ	SOURCE_EXTERNE	2132.0	2,0e-3
	N 200	MT	SOURCE_EXTERNE	936.2	1,4e-2
		MFY	SOURCE_EXTERNE	1857.0	1,7e-2
		MFZ	SOURCE_EXTERNE	759.6	1,4e-2
	N 1000	N	SOURCE_EXTERNE	2454.0	2,e-2
		VY	SOURCE_EXTERNE	1997.0	1,2e-2
		VZ	SOURCE_EXTERNE	505.0	8,0e-2
	N 1100	MT	SOURCE_EXTERNE	170.6	0,24
		MFY	SOURCE_EXTERNE	925.1	1,0e-2
		MFZ	SOURCE_EXTERNE	2151.0	3,0e-3

3.4.5 Réponse spectrale en multi-appui corrélé avec correction statique

Idem § 3.4.4 , mais en tenant compte de la correction statique et en supprimant les contributions des deux derniers modes. On teste les composantes totale (COMBI), dynamique (COMBI_DYN), qui doit correspondre à la contribution des 7 premiers modes sans correction statique, et statiques (COMBI_QS) qui doit correspondre à la différence quadratique entre les composantes totale et dynamique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Déplacements :

Identification		NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
DEPL	$N300$	COMBI	DX	SOURCE_EXTERNE	4.847E-03
		COMBI	DY	SOURCE_EXTERNE	2.192E-03
	$N300$	COMBI_DYN	DX	AUTRE_ASTER	4.8864E-03
		COMBI_DYN	DY	AUTRE_ASTER	2.2044E-03
	$N300$	COMBI_QS	DX	AUTRE_ASTER	8.2005E-07
		COMBI_QS	DY	AUTRE_ASTER	5.8645E-07

Réactions nodales :

Identification		NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
REAC_NODA	$N100$	COMBI	DX	SOURCE_EXTERNE	2132.0
		COMBI	DY	SOURCE_EXTERNE	1241.0
		COMBI	DZ	SOURCE_EXTERNE	564.6
	$N100$	COMBI_DYN	DX	AUTRE_ASTER	2139.9
		COMBI_DYN	DY	AUTRE_ASTER	1248.6
		COMBI_DYN	DZ	AUTRE_ASTER	581.7
	$N100$	COMBI_QS	DX	AUTRE_ASTER	6.21
		COMBI_QS	DY	AUTRE_ASTER	6.75
		COMBI_QS	DZ	AUTRE_ASTER	224.6

Contraintes généralisées :

Identification			NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
EFGE_ELNO	$M1$	$N100$	COMBI	N	ANALYTIQUE	564.6
			COMBI	VY	ANALYTIQUE	1241.0
			COMBI	VZ	ANALYTIQUE	2132.0
	$M1$	$N100$	COMBI_DYN	N	AUTRE_ASTER	581.7
			COMBI_DYN	VY	AUTRE_ASTER	1248.6
			COMBI_DYN	VZ	AUTRE_ASTER	2139.9
	$M1$	$N100$	COMBI_QS	N	AUTRE_ASTER	224.6
			COMBI_QS	VY	AUTRE_ASTER	6.74
			COMBI_QS	VZ	AUTRE_ASTER	6.21

3.4.6 Réponse spectrale en multi-appui décorrélé

On valide la combinaison suivante :

- MULTI_APPUI='DECORRELE' + EXCIT/TRI_SPEC

On précise que mettre la même excitation aux différents appuis n'est pas une bonne pratique du multi-appui décorrélé, mais le but du présent test est uniquement de vérifier que les choses fonctionnent informatiquement. Il s'agit d'un test de non-régression.

Déplacement et Réaction nodale

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
DEPL	N 300	DX	NON_REGRESSION	-	-
		DY	NON_REGRESSION	-	-
	N 700	DX	NON_REGRESSION	-	-
		DY	NON_REGRESSION	-	-
		DRY	NON_REGRESSION	-	-
REAC_NODA	N 100	DX	NON_REGRESSION	-	-
		DY	NON_REGRESSION	-	-
		DZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 1500	DRX	NON_REGRESSION	-	-
		DRY	NON_REGRESSION	-	-
		DRZ	NON_REGRESSION	-	-

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
effort	N 100	N	NON_REGRESSION	-	-
		VY	NON_REGRESSION	-	-
		VZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 200	MT	NON_REGRESSION	-	-
		MFY	NON_REGRESSION	-	-
		MFZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 1000	N	NON_REGRESSION	-	-
		VY	NON_REGRESSION	-	-
		VZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 1100	MT	NON_REGRESSION	-	-
		MFY	NON_REGRESSION	-	-
		MFZ	NON_REGRESSION	-	-

Enfin, on effectue le même calcul avec le mot-clé AXE répété au lieu de TRI_SPEC :

- MULTI_APPUI='DECORRELE' + EXCIT/TRI_SPEC

Les occurrences d'EXCIT/AXE sont volontairement désordonnées. Cela aboutissait à une erreur fatale lors du traitement des groupes d'appuis. Ce calcul valide la correction apportée.

Déplacement et Réaction nodale

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
DEPL	N 300	DX	NON_REGRESSION	-	-
		DY	NON_REGRESSION	-	-
	N 700	DX	NON_REGRESSION	-	-
		DY	NON_REGRESSION	-	-
		DRY	NON_REGRESSION	-	-
REAC_NODA	N 100	DX	NON_REGRESSION	-	-
		DY	NON_REGRESSION	-	-
		DZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 1500	DRX	NON_REGRESSION	-	-
		DRY	NON_REGRESSION	-	-
		DRZ	NON_REGRESSION	-	-

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Identification			Type de référence	Référence	Tolérance
effort	N 100	N	NON_REGRESSION	-	-
		VY	NON_REGRESSION	-	-
		VZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 200	MT	NON_REGRESSION	-	-
		MFY	NON_REGRESSION	-	-
		MFZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 1000	N	NON_REGRESSION	-	-
		VY	NON_REGRESSION	-	-
		VZ	NON_REGRESSION	-	-
	N 1100	MT	NON_REGRESSION	-	-
		MFY	NON_REGRESSION	-	-
		MFZ	NON_REGRESSION	-	-

3.4.7 Réponse spectrale en multi-appui décorrélé avec correction statique

Idem §3.4.6, mais en tenant compte de la correction statique et en supprimant les contributions des deux derniers modes. On teste les composantes totale (COMBI), dynamique (COMBI_DYN), qui doit correspondre à la contribution des 7 premiers modes sans correction statique, et statiques (COMBI_QS) qui doit correspondre à la différence quadratique entre les composantes totale et dynamique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Déplacements :

Identification		NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
DEPL	$N300$	COMBI	DX	NON_REGRESSION	3.529E-03
		COMBI	DY	NON_REGRESSION	1.625E-03
	$N300$	COMBI_DYN	DX	AUTRE_ASTER	3.529E-03
		COMBI_DYN	DY	AUTRE_ASTER	1.625E-03
	$N300$	COMBI_QS	DX	AUTRE_ASTER	1.138E-06
		COMBI_QS	DY	AUTRE_ASTER	7.232E-07

Réactions nodales :

Identification		NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
REAC_NODA	$N100$	COMBI	DX	NON_REGRESSION	1565.8
		COMBI	DY	NON_REGRESSION	950.5
		COMBI	DZ	NON_REGRESSION	501.5
	$N100$	COMBI_DYN	DX	AUTRE_ASTER	1565.8
		COMBI_DYN	DY	AUTRE_ASTER	950.4
		COMBI_DYN	DZ	AUTRE_ASTER	450.9
	$N100$	COMBI_QS	DX	AUTRE_ASTER	11.14
		COMBI_QS	DY	AUTRE_ASTER	7.18
		COMBI_QS	DZ	AUTRE_ASTER	219.5

Contraintes généralisées :

Identification			NOEUD_CMP	NOM_CMP	Type de référence	Référence
EFGE_ELNO	$M1$	$N100$	COMBI	N	NON_REGRESSION	501.5
			COMBI	VY	NON_REGRESSION	950.5
			COMBI	VZ	NON_REGRESSION	1565.8
	$M1$	$N100$	COMBI_DYN	N	AUTRE_ASTER	450.9
			COMBI_DYN	VY	AUTRE_ASTER	950.4
			COMBI_DYN	VZ	AUTRE_ASTER	1565.8
	$M1$	$N100$	COMBI_QS	N	AUTRE_ASTER	219.5
			COMBI_QS	VY	AUTRE_ASTER	7.18
			COMBI_QS	VZ	AUTRE_ASTER	11.14

3.5 Remarques

Valeurs du spectre (interpolation).

Mode	1, 2, 3	4	5	6	7	8, 9
Acclération 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

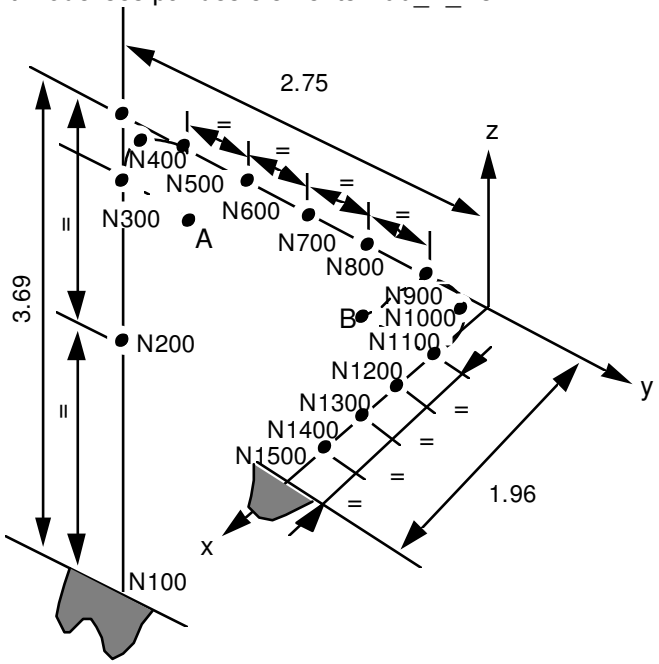
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

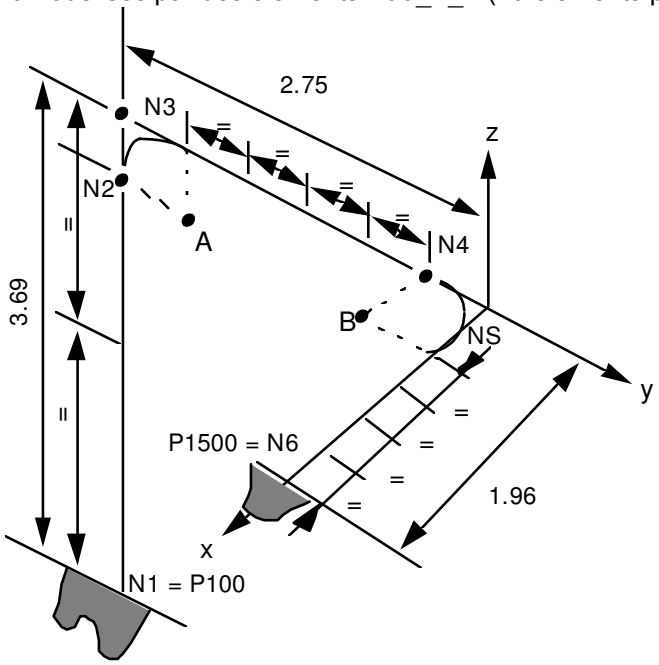
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

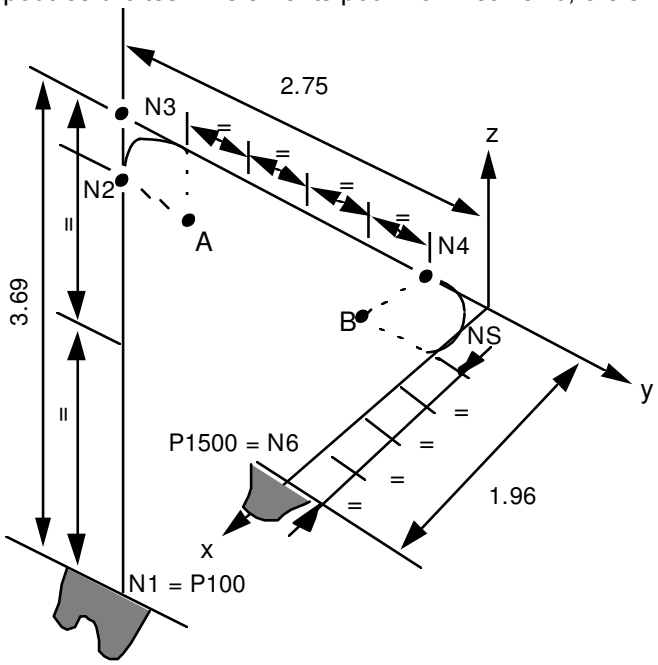
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation avec des éléments TUYAU_3M (SEG3 , 3 modes de Fourier).

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments TUYAU_3M (5 éléments par coude).
Les éléments droits sont modélisés par des éléments TUYAU_3M (18 éléments en total pour les trois poutres droites : 4 éléments pour N3N4 et NSN6, 5 éléments pour les deux parties droites de N1N2).



6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 57 Nombre de mailles et types : 28 TUYAU_3M

6.3 Remarques

Les modes sont calculés avec la méthode TRI_DIAG : les 9 plus petits modes.

6.4 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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Idem la modélisation D
Modélisation avec des éléments TUYAU_ 6 M (SEG3 , 6 modes de Fourier).

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments TUYAU_6M (5 éléments par coude).
Les éléments droits sont modélisés par des éléments TUYAU_6M (18 éléments en total pour les trois poutres droites : 4 éléments pour N3N4 et NSN6, 5 éléments pour les deux parties droites de N1N2).

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 57 Nombre de mailles et types : 28 TUYAU_6M

7.3 Remarques

Les modes sont calculés avec la méthode TRI_DIAG : les 9 plus petits modes.

7.4 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

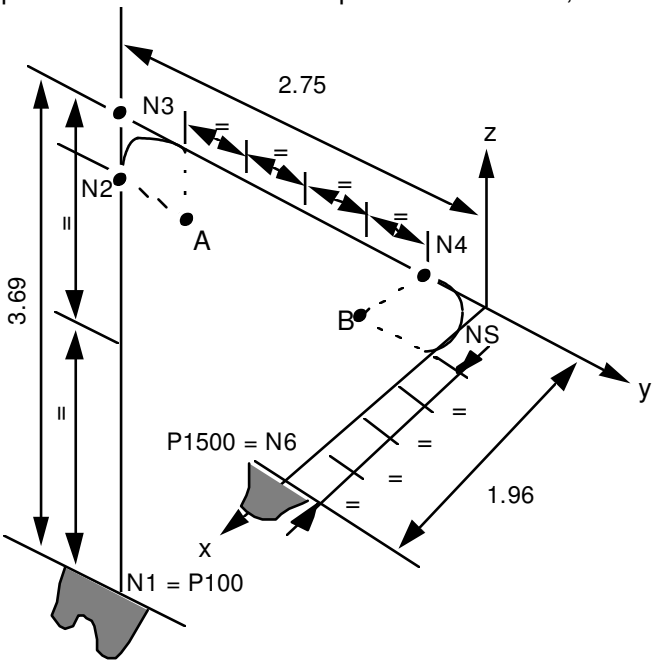
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Idem la modélisation D
Modélisation avec des éléments TUYAU_3M (SEG4 , 3 modes de Fourier).

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments TUYAU_3M (5 éléments par coude).
Les éléments droits sont modélisés par des éléments TUYAU_3M (18 éléments en total pour les trois poutres droites : 4 éléments pour N3N4 et NSN6, 5 éléments pour les deux parties droites de N1N2).



8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 85 Nombre de mailles et types : 28 TUYAU_3M

8.3 Remarques

Les modes sont calculés avec la méthode TRI_DIAG : les 9 plus petits modes.

8.4 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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)