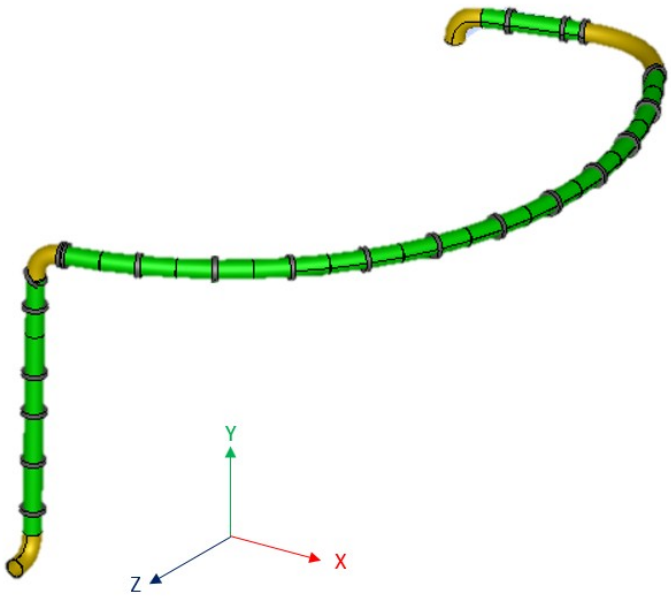
SDLL17 - Large poutre courbée fixée sur les deux extrémités

Résumé :

Cette étude vise à réaliser une analyse modale spectrale sur un réseau de tuyauterie d'après les données d'entrée spécifiées du test N°06 dans le document NUREG/CR-1677 BNL-NUREG-51267 vol.1

La tuyauterie est modélisée par des éléments de poutre de Timoshenko à section circulaire. L'ensemble de la tuyauterie repose sur plusieurs appuis élastiques. Le système est soumis à quelques masses ponctuelles.

Le modèle et l'analyse modale sont générés à partir du module BEAM de salome_meca 2020 tandis que le



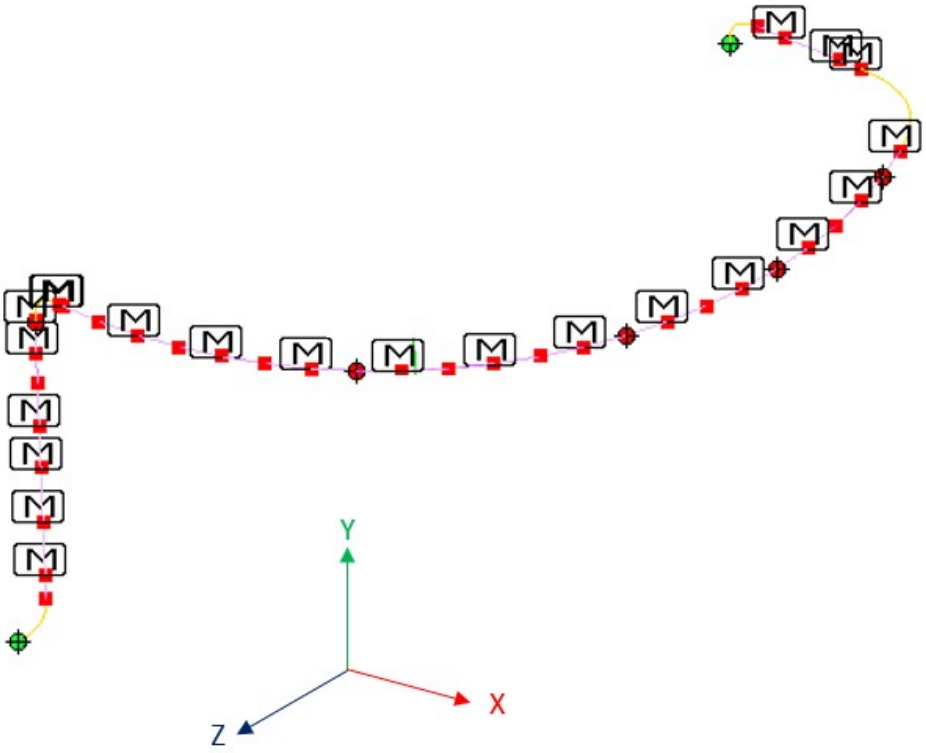
calcul modal spectral est effectué à l'aide de Code-Aster.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La tuyauterie est modélisée par une section circulaire creuse de 762 mm de diamètre et 22 mm d'épaisseur (S1) ou de 813 mm de diamètre et et 23 mm d'épaisseur (S2). La modélisation est réalisée avec des SEG2 (élément POU_D_T) uniquement.



Symbole	Description
	Masse ponctuelle
	Ressort 0D en translation et/ou rotation

Figure 1: Schéma du benchmark 6

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

Le tableau suivant présente les coordonnées de chacun des points de la tuyauterie :

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

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

Nœud	X (m)	Y (m)	Z (m)
PT_1	3.20	12.29	17.93
PT_2	3.20	12.29	17.90
PT_3	3.20	13.44	16.75
PT_4	3.20	14.43	16.75
PT_5	3.20	16.56	16.75
PT_6	3.20	18.69	16.75
PT_7	3.20	20.39	16.75
PT_8	3.20	22.08	16.75
PT_9	3.20	23.30	16.75
PT_10	3.20	24.52	16.75
PT_11	3.20	24.59	16.75
PT_12	4.31	25.74	16.50
PT_13	4.42	25.74	16.48
PT_14	5.84	25.74	16.03
PT_15	7.21	25.74	15.46
PT_16	8.53	25.74	14.77
PT_17	9.79	25.74	13.97
PT_18	10.97	25.74	13.07
PT_19	12.07	25.74	12.06
PT_20	13.08	25.74	10.96
PT_21	13.98	25.74	9.78
PT_22	14.78	25.74	8.52
PT_23	15.47	25.74	7.20
PT_24	16.04	25.74	5.83
PT_25	16.49	25.74	4.41
PT_26	16.81	25.74	2.95
PT_27	17.00	25.74	1.48
PT_28	17.07	25.74	-0.01
PT_29	17.00	25.74	-1.50
PT_30	16.81	25.74	-2.97
PT_31	16.49	25.74	-4.43
PT_32	16.04	25.74	-5.85
PT_33	15.47	25.74	-7.22
PT_34	14.78	25.74	-8.54
PT_35	13.99	25.74	-9.79

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

Nœud	X (m)	Y (m)	Z (m)
PT_36	9.53	25.74	-11.35
PT_37	8.78	25.74	-11.09
PT_38	6.66	25.74	-10.36
PT_39	5.63	25.74	-10.00
PT_40	4.55	24.59	-9.63
PT_41	4.55	24.59	-9.63

Tableau 1: Coordonnées des nœuds de la tuyauterie

Le tableau suivant présente les types d' éléments composant la tuyauterie :

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

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

Élément	Nœud 1	Nœud 2	Type	Section
EL_1	PT_1	PT_2	Tangent	1
EL_2	PT_2	PT_3	Bend	1
EL_3	PT_3	PT_4	Tangent	1
EL_4	PT_4	PT_5	Tangent	1
EL_5	PT_5	PT_6	Tangent	1
EL_6	PT_6	PT_7	Tangent	1
EL_7	PT_7	PT_8	Tangent	1
EL_8	PT_8	PT_9	Tangent	1
EL_9	PT_9	PT_10	Tangent	1
EL_10	PT_10	PT_11	Tangent	1
EL_11	PT_11	PT_12	Bend	1
EL_12	PT_12	PT_13	Tangent	1
EL_13	PT_13	PT_14	Tangent	1
EL_14	PT_14	PT_15	Tangent	1
EL_15	PT_15	PT_16	Tangent	1
EL_16	PT_16	PT_17	Tangent	1
EL_17	PT_17	PT_18	Tangent	1
EL_18	PT_18	PT_19	Tangent	1
EL_19	PT_19	PT_20	Tangent	1
EL_20	PT_20	PT_21	Tangent	1
EL_21	PT_21	PT_22	Tangent	1
EL_22	PT_22	PT_23	Tangent	1
EL_23	PT_23	PT_24	Tangent	1
EL_24	PT_24	PT_25	Tangent	1
EL_25	PT_25	PT_26	Tangent	1
EL_26	PT_26	PT_27	Tangent	1
EL_27	PT_27	PT_28	Tangent	1
EL_28	PT_28	PT_29	Tangent	1
EL_29	PT_29	PT_30	Tangent	1
EL_30	PT_30	PT_31	Tangent	1
EL_31	PT_31	PT_32	Tangent	1
EL_32	PT_32	PT_33	Tangent	1
EL_33	PT_33	PT_34	Tangent	1
EL_34	PT_34	PT_35	Tangent	1
EL_35	PT_35	PT_36	Bend	1
EL_36	PT_36	PT_37	Tangent	1

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

Élément	Nœud 1	Nœud 2	Type	Section
EL_37	PT_37	PT_38	Tangent	1
EL_38	PT_38	PT_39	Tangent	1
EL_39	PT_39	PT_40	Bend	2
EL_40	PT_40	PT_41	Tangent	2

Tableau 2: Type d'éléments de la tuyauterie

1.2 Propriétés du matériau

Les caractéristiques sont les suivantes :

- $YOUNG = 206\,000\,MPa$
- $NU = 0.30$
- $RHO = 0\,kg/m3$

La masse de la tuyauterie n'est pas considérée dans ce cas-test.

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

1.3 Conditions aux limites et chargements

1.3.1 Conditions aux limites

Conformément à la Figure 1, cette étude ne comporte pas d'appuis fixes. En revanche, certains points sont des appuis élastiques dont les caractéristiques sont spécifiées dans les tableaux qui suivent :

Noeud	X (m)	Y (m)	Z (m)	Type
RESS_PT10_42_BASE	0.00	0.00	-0.19	K_T_D_L
RESS_PT10_43_BASE	1.83	3.69	-0.03	K_T_D_L
RESS_PT30_50_BASE	2.78	3.69	0.92	K_T_D_L
RESS_PT34_51_BASE	2.75	3.71	3.00	K_T_D_L
RESS_PT1_BASE	3.20	12.29	17.93	K_TR_D_L
RESS_PT20_BASE	13.08	25.74	10.96	K_TR_D_L
RESS_PT26_BASE	16.81	25.74	2.95	K_TR_D_L
RESS_PT41_BASE	4.55	24.59	-9.63	K_TR_D_L

Tableau 3: Coordonnées et type des appuis élastiques

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

Noeud	K_{local} (N/m)	KX (N/m)	KY (N/m)	KZ (N/m)	KRX (N/rad)	KRY (N/rad)	KRZ (N/rad)
RESS_PT10_42_BASE	1.75E+08	-	-	-	-	-	-
RESS_PT10_43_BASE	1.75E+08	-	-	-	-	-	-
RESS_PT30_50_BASE	3.50E+08	-	-	-	-	-	-
RESS_PT34_51_BASE	1.40E+08	-	-	-	-	-	-
RESS_PT1_BASE	-	1.75E+21	1.75E+21	1.75E+21	1.75E+21	1.75E+21	1.75E+21
RESS_PT20_BASE	-	4.37E+07	3.50E+08	4.37E+07	-	-	-
RESS_PT26_BASE	-	7.87E+07	3.50E+08	7.87E+07	-	-	-
RESS_PT41_BASE	-	1.75E+11	1.75E+11	1.75E+11	1.13E+16	1.13E+16	1.13E+16

Tableau 4 : Raideurs des appuis élastiques

1.3.2 Chargements

Les chargements appliqués à la tuyauterie sont les suivants :

- Masses ponctuelles en différents nœuds (identiques dans les 3 directions) ;
- Séisme dans les directions X, Y et Z. Le spectre est pondéré par 1 dans les trois directions ;

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

Nœud	M (kg)
PT_4	1 738.13
PT_5	954.97
PT_6	856.02
PT_7	1 031.15
PT_9	940.96
PT_11	691.75
PT_12	425.56
PT_13	690.17
PT_15	1 332.54
PT_17	1 332.54
PT_19	1 333.07
PT_21	1 332.89
PT_23	1 332.89
PT_25	1 332.89
PT_27	1 332.89
PT_29	1 332.89
PT_31	1 332.89
PT_33	1 331.14
PT_35	1 802.58
PT_36	1 316.60
PT_37	678.97
PT_38	1 843.74

Tableau 5: Valeurs et localisations des masses ponctuelles

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

L e s spectre s utilisé s pour l'analyse modale son t présenté s sur la figure suivante :

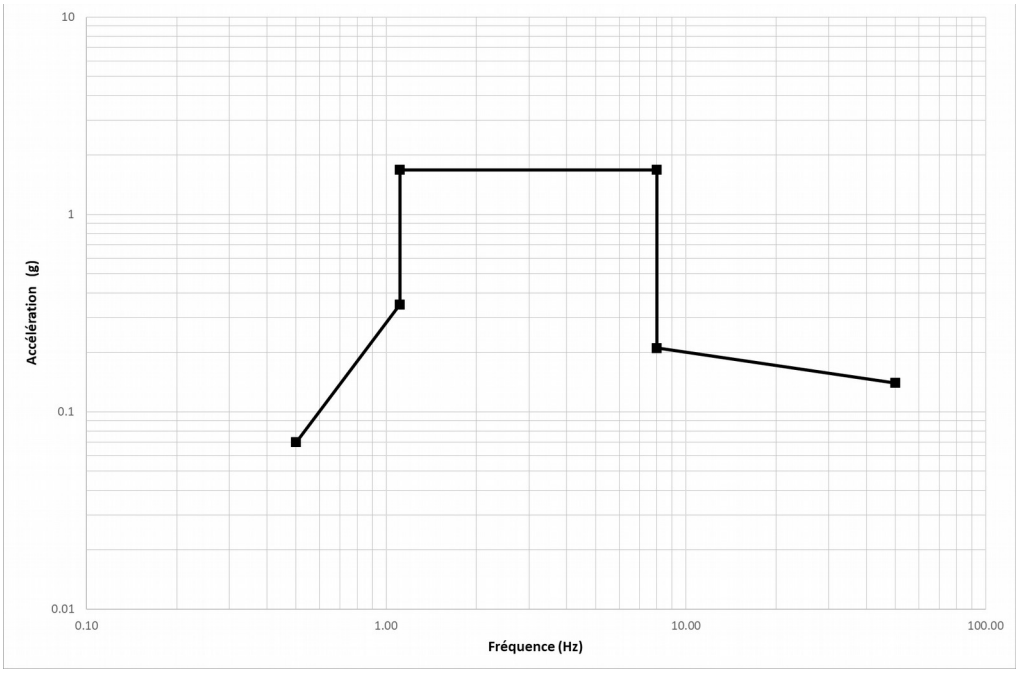


Figure 2: Spectre de calcul – X et Z

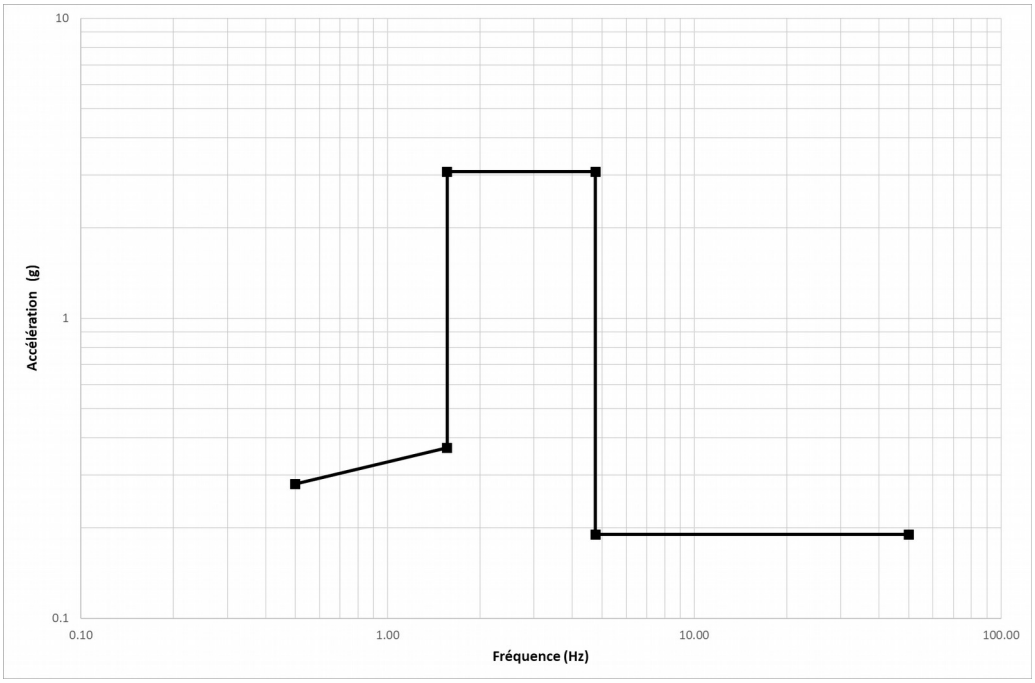


Figure 3: Spectre de calcul - Y

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

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation

Une analyse modale est réalisée en prenant en compte les masses, rigidité. Par la suite, la réponse dynamique est obtenu par l'opérateur « COMB_SISM_MODAL ». Pour cette étude, la combinaison choisie est la combinaison avec règle des 10 % soit COMB_MODE/TYPE = 'DPC'. Pour rappel, pour ce type de combinaison les modes voisins (dont les fréquences différentes de moins de 10%) sont d'abord combinés par sommation des valeurs absolues. Les valeurs résultant de cette première combinaison sont ensuite combinées quadratiquement. La combinaison retenue suivant les directions est la combinaison quadratique (COMB_DIRECTION/TYPE='QUAD').

2.2 Caractéristiques du maillage

La longueur des éléments est d'environ 303mm. Le tableau suivant résume les éléments présents dans le maillage :

Tableau 6: Caractéristiques générales du maillage

PARAMÈTRE	TYPE	NOMBRE
Éléments	Poutre (SEG2)	204
	Ressorts (SEG2)	8
	Masse ponctuelle	22
	Total d'éléments	**234**
	Total de nœuds	**213**

2.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs testés sont :

- les fréquences propres
- les déplacements et rotations à différents nœuds
- efforts ('EFGE_ELNO') à différents nœuds

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

Mode	NUREG - Fréquence (Hz)	Code_Aster - Fréquence (Hz)	Écart (%)
1	6.39	6.35	0.61
2	9.99	9.91	0.83
3	13.27	13.25	0.18
4	14.49	14.47	0.169
5	15.33	15.32	0.056
6	17.50	17.42	0.459
7	19.09	19.08	0.073
8	19.62	19.58	0.24
9	21.44	21.25	0.89
10	28.71	28.64	0.229
11	29.86	29.69	0.57
12	31.48	31.30	0.59
13	32.01	31.82	0.59
14	36.37	35.95	1.2
15	40.98	40.82	0.389
16	41.37	41.45	0.21
17	47.39	47.10	0.61
18	49.77	49.53	0.5
19	50.13	50.01	0.25
20	52.93	52.17	1.5
21	56.90	56.53	0.66
22	58.51	58.01	0.85
23	67.47	67.34	0.2
24	70.46	70.41	0.073
25	75.41	75.12	0.389
26	79.18	78.46	0.91
27	80.74	80.39	0.44
28	86.11	85.06	1.3
29	88.28	86.52	2.0
30	92.74	92.45	0.32
31	99.36	97.43	2.0

Tableau 7: **Comparaison des résultats de l'analyse modale**

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

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

Noeud	Composante	NUREG	Code_Aster	Écart (%)
PT_3	DX (mm)	0.089	0.120	3.52921E+01
	DY (mm)	0.064	0.069	9.39667E+00
	DZ (mm)	0.081	0.093	1.49315E+01
	DRX (mrad)	0.073	0.083	1.38046E+01
	DRY (mrad)	0.062	0.084	3.41959E+01
	DRZ (mrad)	0.061	0.081	3.28204E+01
PT_6	DX (mm)	0.297	0.393	3.2097E+01
	DY (mm)	0.066	0.073	1.06215E+01
	DZ (mm)	0.310	0.354	1.41841E+01
	DRX (mrad)	0.011	0.013	2.02646E+01
	DRY (mrad)	0.057	0.075	3.02786E+01
	DRZ (mrad)	0.006	0.007	1.72135E+01
PT_9	DX (mm)	0.119	0.165	3.79149E+01
	DY (mm)	0.069	0.075	9.53364E+00
	DZ (mm)	0.117	0.139	1.88680E+01
	DRX (mrad)	0.068	0.074	8.0747E+00
	DRY (mrad)	0.062	0.075	1.97586E+01
	DRZ (mrad)	0.065	0.081	2.52836E+01
PT_12	DX (mm)	0.140	0.184	3.19612E+01
	DY (mm)	0.099	0.105	6.08625E+00
	DZ (mm)	0.132	0.158	1.99237E+01
	DRX (mrad)	0.050	0.054	7.91922E+00
	DRY (mrad)	0.058	0.070	2.10168E+01
	DRZ (mrad)	0.070	0.085	2.17501E+01
PT_18	DX (mm)	0.165	0.222	3.46224E+01
	DY (mm)	0.173	0.221	2.78519E+01
	DZ (mm)	0.218	0.264	2.10765E+01
	DRX (mrad)	0.062	0.074	1.88360E+01
	DRY (mrad)	0.043	0.054	2.50748E+01
	DRZ (mrad)	0.026	0.031	1.71645E+01
PT_24	DX (mm)	0.163	0.194	1.91709E+01
	DY (mm)	0.102	0.111	8.93288E+00
	DZ (mm)	0.112	0.140	2.56284E+01
	DRX (mrad)	0.021	0.024	1.41253E+01
	DRY (mrad)	0.032	0.035	8.70203E+00
	DRZ (mrad)	0.029	0.030	3.43153E+00
PT_30	DX (mm)	0.566	0.595	5.05972E+00
	DY (mm)	0.051	0.051	9.17199E-01
	DZ (mm)	0.107	0.131	2.31266E+01

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

Noeud	Composante	NUREG	Code_Aster	Écart (%)
	DRX (mrad)	0.132	0.130	1.57814E+00
	DRY (mrad)	0.043	0.046	6.51731E+00
	DRZ (mrad)	0.066	0.065	1.04947E+00 %
PT_36	DX (mm)	0.206	0.203	1.09275E+00
	DY (mm)	1.750	1.738	7.05878E-01
	DZ (mm)	0.384	0.397	3.52455E+00
	DRX (mrad)	0.241	0.241	6.32093E-03
	DRY (mrad)	0.053	0.057	4.97626E+00
	DRZ (mrad)	0.278	0.273	1.96532E+00
PT_39	DX (mm)	0.145	0.136	6.34394E+00
	DY (mm)	0.277	0.281	1.50518E+00
	DZ (mm)	0.135	0.134	2.18570E-01
	DRX (mrad)	0.188	0.191	1.55268E+00
	DRY (mrad)	0.080	0.084	5.03604E+00
	DRZ (mrad)	0.305	0.300	1.50026E+00

Tableau 8: **Comparaison des déplacements et rotations à la suite de la combinaison modale**

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

Noeud	Composante	NUREG	Code_Aster	NUREG/ASTER
PT_6	N (N)	6743.17	8247.25	2.23052E+01
	VY (N)	1573.70	1794.48	1.40295E+01
	VZ (N)	1392.22	2077.35	4.92115E+01
	MT (N.m)	2525.21	2858.02	1.31794E+01
	MFY (N.m)	13806.74	16882.75	2.22790E+01
	MFZ (N.m)	14925.29	18142.38	2.15546E+01
PT_17	N (N)	4817.18	5897.12	2.24185E+01
	VY (N)	3804.82	4481.16	1.77757E+01
	VZ (N)	3581.53	4810.00	3.43000E+01
	MT (N.m)	2451.77	2876.85	1.73377E+01
	MFY (N.m)	11693.93	14773.87	2.63379E+01
	MFZ (N.m)	10816.04	14481.66	3.38905E+01
PT_28	N (N)	4510.27	5323.58	1.80325E+01
	VY (N)	8820.38	8717.52	1.16611E+00
	VZ (N)	5177.47	5578.23	7.74039E+00
	MT (N.m)	1005.45	1050.75	4.50534E+00
	MFY (N.m)	5992.72	6793.32	1.33595E+01
	MFZ (N.m)	19218.72	19054.19	8.56075E-01
PT_36	N (N)	6351.74	6569.42	3.42716E+00
	VY (N)	4132.19	4061.34	1.71447E+00
	VZ (N)	2994.84	3114.78	4.00505E+00
	MT (N.m)	8676.11	8437.24	2.75314E+00
	MFY (N.m)	12597.81	13209.77	4.85770E+00
	MFZ (N.m)	12213.66	12343.87	1.06609E+00

Tableau 9: **Comparaison des efforts à la suite de la combinaison modale**

2.4 Remarques

Pour cette étude, les unités de départ sont en impérial (lb, inch, psi), une conversion en unité S.I a été réalisée. Certains écarts sont de l'ordre de 30 % sont notamment liés à la formulation entre les éléments poutres courbées utilisés dans le logiciel EPIPE de NUREG et les éléments poutres droites de aster.

2.5 Incertitudes sur la solution

Conversion des unités, Méthode de combinaison, lecture des données (document NUREG peu lisible).

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