

Manuel de Validation
Fascicule V2.02 : Dynamique linéaire des poutres
Document : V2.02.131

SDLL131 - Calcul sismique d'une tuyauterie VVP. Comparaison Aster-SYSPIPE

Résumé :

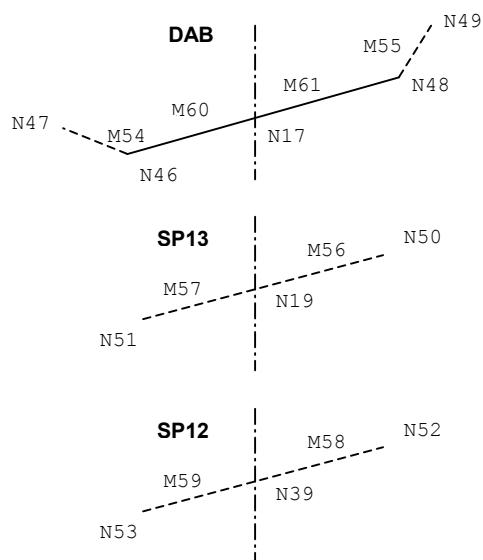
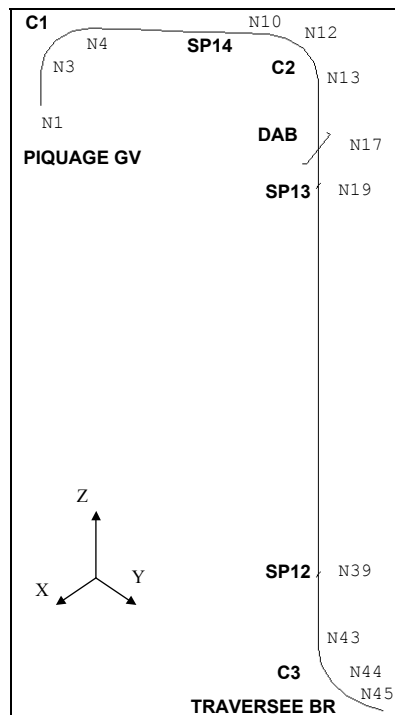
Ce test contribue à la validation de l'opérateur d'analyse spectrale `COMB_SISM_MODAL` de *Code_Aster*.
La structure étudiée est une ligne de tuyauterie VVP soumise à une excitation multi appuis. Elle est maillée en éléments de poutre droite `POU_D_T` et courbe `POU_C_T`.

La solution de référence numérique est donnée par le code SYSPIPE de FRAMATOME.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

- Isométrie :



La ligne VVP étudiée présente une longueur développée de 28,4m.
Les supports poids (SP12, SP13 et SP14) et le dispositif auto bloquant (DAB) ne sont pas pris en compte dans l'analyse sismique.

Coordonnées des points (m) :

	NOEUDS	COOR X (m)	COOR Y (m)	COOR Z (m)
coude C1	N3	-0,91514	10,46	30,861
	N4	-1,7194	11,368	32,081
	centre de courbure	-1,7194	11,368	30,861
coude C2	N12	-4,5175	14,526	32,069
	N13	-5,3224	15,435	30,849
	centre de courbure	-4,5175	14,526	30,849
coude C3	N43	-5,3224	15,435	15,409
	N44	-5,7184	16,583	14,189
	centre de courbure	-5,7184	16,583	15,409
piquage GV	N1	-0,91514	10,46	29,944
traversée BR	N45	-5,8819	17,058	14,187
support SP14	N10	-3,6221	13,515	32,076
DAB+attache	N17	-5,3224	15,435	29
	N46	-4,7079	15,646	29
	N47	-4,6449	15,569	29
	N48	-5,9369	15,223	29
	N49	-5,9386	15,123	29
support SP13	N19	-5,3224	15,435	28
	N50	-5,4169	15,402	28
	N51	-5,2278	15,467	28
support SP12	N39	-5,3224	15,435	17,4
	N52	-5,4169	15,402	17,4
	N53	-5,2278	15,467	17,4

- Caractéristiques des sections :

	R _{ext} (m)	e _p (m)	GROUP_MA
virole GV	0,408	0,038	GMAT04
portion droite courante	0,406	0,03	GMAT02
attache du DAB	0,406	0,03	GMAT06
ancrage support	0,406	0,4	GMAT05
coudes C1, C2 et C3	0,406	0,032	GMAT03

Coefficient de flexibilité RCC-M des coudes : $k=6,43$.
Rayon de courbure : $R_c=1,22m$.

1.2 Propriétés de matériaux

matériaux	E (Pa)	ρ (Kg/m ³)	ν	α (°C ⁻¹)	GROUP_MA
MAT02	2,04E+11	8100,2	0,3	1,092E-05	GMAT02
MAT03	2,04E+11	8098	0,3	1,092E-05	GMAT03
MAT04	2,04E+11	8053,6	0,3	1,092E-05	GMAT04
MAT05	2,04E+11	0	0,3	1,092E-05	GMAT05
MAT06	2,04E+11	1774,4	0,3	1,092E-05	GMAT06

1.3 Conditions aux limites et chargements

• Conditions aux limites

Encastrement piquage GV et traversée BR : DX=DY=DZ=DRX=DRY=DRZ=0 aux nœuds N1 et N45

• Chargement sismique – Séisme Normalement Admissible (1/2 séisme de dimensionnement)

– Excitation multiple (plusieurs spectres par direction) :

nœud N1 (piquage GV) dans les directions X et Y

fréquence (Hz)	0,2	0,5	1,7	2,3	3	3,3	4,5	6	9	10	20	100
accélération (g)	0,031	0,1	0,53	0,65	0,73	0,69	0,52	0,39	0,29	0,284	0,23	0,23

nœud N45 (traversée BR) dans les directions X et Y

fréquence (Hz)	1	1,4	2,65	4,8	10	20	25	100
accélération (g)	0,13	0,43	1,48	0,86	0,38	0,29	0,22	0,22

nœuds N1 et N45 (piquage GV et traversée BR) dans la direction Z

fréquence (Hz)	0,2	0,3	0,5	1	2	3	4	5	7	10	20	25	100
accélération (g)	0,0155	0,025	0,044	0,1	0,2	0,25	0,28	0,28	0,22	0,15	0,12	0,1	0,1

– Déplacement Différentiels Sismiques

u=0,004m au nœud N45 (traversée BR) suivant la direction locale U.

U se déduit de l'axe X par une rotation d'angle $\psi=109,02^\circ$ autour de l'axe Z.

Ce chargement revient à appliquer les déplacements $u \cos \psi$ et $u \sin \psi$ suivant les axes X et Y.

Plusieurs cas de déplacements sont mentionnés dans la note de calcul FRAMATOME [bib1] mais un seul est retenu dans ce test.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est obtenue par :

- le logiciel SYSPIPE de FRAMATOME,
- *Code_Aster* : test de non régression basé sur un jeu de commandes équivalentes.

2.2 Résultats de référence

La ligne de tuyauterie a fait l'objet d'une étude réglementaire complète. Les résultats de l'analyse sismique sont mentionnés dans la note du constructeur [bib1].

2.3 Incertitude sur la solution

Solution numérique, obtenue avec des données identiques et des éléments comparables.

2.4 Références bibliographiques

- [1] Note de calcul FRAMATOME ITMC/DC/414 : Lignes vapeur intérieur BR des tranches Fessenheim.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Le modèle comporte 12 éléments `POU_C_T` (4 par coude) et 49 éléments `POU_D_T`.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 62

Nombre de mailles et type : 61 `SEG2`

- Connectivité :

maille	nœud 1	nœud 2	maille	nœud 1	nœud 2
M1	N4	N5	M32	N36	N37
M2	N5	N6	M33	N37	N38
M3	N6	N7	M34	N38	N39
M4	N7	N8	M35	N39	N40
M5	N8	N9	M36	N40	N41
M6	N9	N10	M37	N41	N42
M7	N10	N11	M38	N42	N43
M8	N11	N12	M39	N44	N45
M9	N13	N14	M40	N3	N55
M10	N14	N15	M41	N55	N56
M11	N15	N16	M42	N56	N57
M12	N16	N17	M43	N57	N4
M13	N17	N18	M44	N12	N59
M14	N18	N19	M45	N59	N60
M15	N19	N20	M46	N60	N61
M16	N20	N21	M47	N61	N13
M17	N21	N22	M48	N43	N63
M18	N22	N23	M49	N63	N64
M19	N23	N24	M50	N64	N65
M20	N24	N25	M51	N65	N44
M21	N25	N26	M52	N1	N2
M22	N26	N27	M53	N2	N3
M23	N27	N28	M54	N46	N47
M24	N28	N29	M55	N48	N49
M25	N29	N30	M56	N19	N50
M26	N30	N31	M57	N19	N51
M27	N31	N32	M58	N39	N52
M28	N32	N33	M59	N39	N53
M29	N33	N34	M60	N17	N46
M30	N34	N35	M61	N17	N48
M31	N35	N36			

- Groupe de maille :

GROUP_MA	nb maille	liste des mailles contenu dans le groupe				
GMAT02	39	M1	M2	M3	M4	M5
		M6	M7	M8	M9	M10
		M11	M12	M13	M14	M15
		M16	M17	M18	M19	M20
		M21	M22	M23	M24	M25
		M26	M27	M28	M29	M30
		M31	M32	M33	M34	M35
		M36	M37	M38	M39	
GMAT03	12	M40	M41	M42	M43	M44
		M45	M46	M47	M48	M49
		M50	M51			
GMAT04	2	M52	M53			
GMAT05	6	M54	M55	M56	M57	M58
		M59				
GMAT06	2	M60	M61			

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes			
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'POU_D_T'	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'POU_C_T'	
AFFE_CARA_ELEM	POUTRE	GROUP_MA	CERCLE
	DEFI_ARC	GROUP_MA	CENTRE
		GROUP_MA	COEF_FLEX
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
DEFI_MATERIAU	ELAS		
AFFE_MATERIAU			
MACRO_MATR_ASSE			
POST_ELEM	MASS_INER		
MACRO_MODE_MECA	CALC_FREQ		
	NORM_MODE	'MASS_GENE'	
CALC_ELEM			
CALC_NO			
DEFI_FONCTION			
DEFI_NAPPE			
MODE_SATIQUE	MODE_STAT		
	PSEUDO_MODE		
COMB_SISM_MODAL	MODE_CORR		
	AMOR_REDUIT		
	EXCIT	GROUP_NO	
	COMB_MODE		
	COMB_MULT_APPUI		
	COMB_DIRECTION		
	DEPL_MULT_APPUI		
	COMB_DEPL_APPUI		
IMPR_RESU			

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Fréquences propres

mode	Code_Aster	Référence	% écart
1	5,0791	5,0793	-0,004
2	8,7391	8,7402	-0,012
3	11,642	11,633	0,075
4	23,104	23,111	-0,029

4.2 Analyse spectrale multi appuis

4.2.1 Composante primaire (effet inertiel)

- Méthode de calcul
 - Base modale comportant les 4 modes précédents,
 - Amortissement réduit de 5% pour tous les modes,
 - Prise en compte de la contribution statique des modes propres négligés (>25 Hz),
 - Combinaison des réponses modales suivant la méthode CQC :
COMB_MODE=_F (TYPE='CQC') ,
 - Cumul quadratique des réponses par appuis :
COMB_MULT_APPUI=_F (TYPE='QUAD') ,
 - Cumul quadratique des réponses directionnelles :
COMB_DIRECTION=_F (TYPE='QUAD') ,

- **Référence SYSPIPE**

Efforts généralisés : EFGE_ELNO_DEPL (N.m)

MAILLE	NŒUD	CMP	Code_Aster	Référence	% écart
M52	N1	MT	132314,352	131471	0,641
		MFY	34671,9174	34622	0,144
		MFZ	34062,3639	33951	0,328
M40	N3	MT	132347,543	131466	0,671
		MFY	13271,7861	13716	-3,239
		MFZ	12698,7018	12679	0,155
M43	N4	MT	25427,8116	25624	-0,766
		MFY	96610,7623	95915	0,725
		MFZ	8474,33445	8335	1,672
M5	N8	MT	24995,7612	24868	0,514
		MFY	12762,0643	12564	1,576
		MFZ	42196,6397	42006	0,454
M44	N12	MT	25027,5711	24931	0,387
		MFY	15984,253	15811	1,096
		MFZ	17688,0827	17390	1,714
M47	N13	MT	40765,3048	40491	0,677
		MFY	3066,98979	3201,1	-4,190
		MFZ	6599,21353	6521	1,199
M24	N28	MT	41227,5405	40943	0,695
		MFY	37631,0924	37086	1,470
		MFZ	45605,1023	44926	1,512
M48	N43	MT	41265,0496	41104	0,392
		MFY	51189,9272	50726	0,915
		MFZ	13728,1788	13628	0,735
M51	N44	MT	67834,6989	67395	0,652
		MFY	27343,0908	27167	0,648
		MFZ	33365,2076	32890	1,445
M39	N45	MT	67893,3287	67396	0,738
		MFY	38018,4979	37285	1,967
		MFZ	23350,1075	23551	-0,853

La [Figure 4.2.1-a] donne l'évolution d'une grandeur globale de moment équivalent $\sqrt{M_T^2 + M_{FY}^2 + M_{FZ}^2}$ en fonction de l'abscisse curviligne de la section analysée. On note un écart maximum de 1,2% entre SYSPIPE et Code_Aster au nœud N29 de la maille M25.

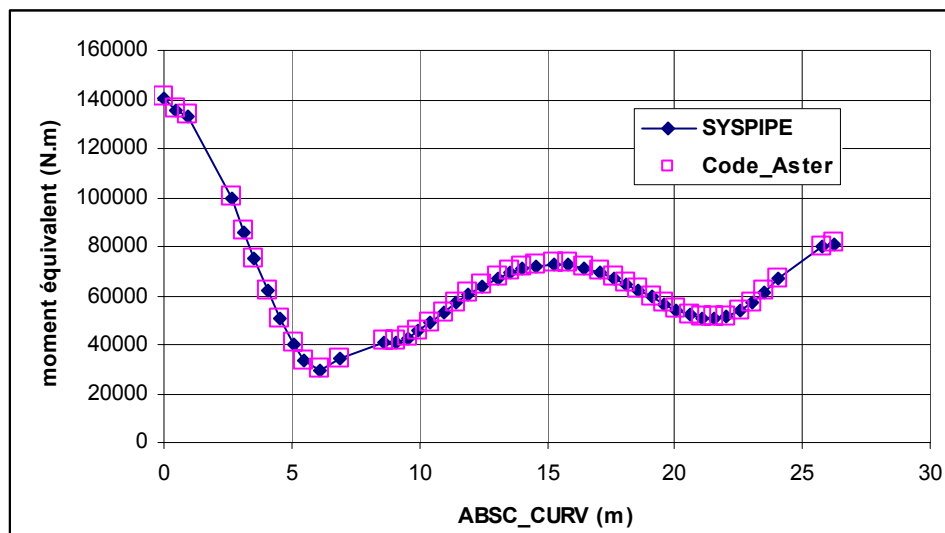


Figure 4.2.1-a : Composante primaire - Champ de moment équivalent

• Référence Code_Aster

La référence est obtenue en calculant la réponse globale avec des déplacements différentiels nuls.

Efforts généralisés : EFGE_ELNO_DEPL (N.m)

MAILLE	NEUD	CMP	Code_Aster	Référence	% écart
M52	N1	MT	132314,352	132314,352	0,000
		MFY	34671,9174	34671,9174	0,000
		MFZ	34062,3639	34062,3639	0,000
M40	N3	MT	132347,543	132347,543	0,000
		MFY	13271,7861	13271,7861	0,000
		MFZ	12698,7018	12698,7018	0,000
M43	N4	MT	25427,8116	25427,8116	0,000
		MFY	96610,7623	96610,7623	0,000
		MFZ	8474,33445	8474,33445	0,000
M5	N8	MT	24995,7612	24995,7612	0,000
		MFY	12762,0643	12762,0643	0,000
		MFZ	42196,6397	42196,6397	0,000
M44	N12	MT	25027,5711	25027,5711	0,000
		MFY	15984,253	15984,253	0,000
		MFZ	17688,0827	17688,0827	0,000
M47	N13	MT	40765,3048	40765,3048	0,000
		MFY	3066,98979	3066,98979	0,000
		MFZ	6599,21353	6599,21353	0,000
M24	N28	MT	41227,5405	41227,5405	0,000
		MFY	37631,0924	37631,0924	0,000
		MFZ	45605,1023	45605,1023	0,000
M48	N43	MT	41265,0496	41265,0496	0,000
		MFY	51189,9272	51189,9272	0,000
		MFZ	13728,1788	13728,1788	0,000
M51	N44	MT	67834,6989	67834,6989	0,000
		MFY	27343,0908	27343,0908	0,000
		MFZ	33365,2076	33365,2076	0,000
M39	N45	MT	67893,3287	67893,3287	0,000
		MFY	38018,4979	38018,4979	0,000
		MFZ	23350,1075	23350,1075	0,000

4.2.2 Composante secondaire (effet statique des déplacements différentiels)

- Méthode de calcul

- Cumul linéaire des chargements en déplacement imposé de la traversée BR (nœud N45) suivant DX et DY :

```
DEPL_MULT_APPUI=(  
  _F(  
    NOM_CAS='DDS BR U local suivant DX',  
    NUME_CAS=1,  
    MODE_STAT=MSTAT,  
    NEUD=N45,  
    DX=ucos $\psi$ ,),  
  _F(  
    NOM_CAS='DDS BR U local suivant DY',  
    NUME_CAS=2,  
    MODE_STAT=MSTAT,  
    NEUD=N45,  
    DY=usin $\psi$ ,),),  
  
COMB_DEPL_APPUI=_F(  
  TOUT='OUI',  
  TYPE='LINE',),
```

avec $u=0,004\text{mm}$ et $\psi=109,02^\circ$

• Référence SYSPIPE

Efforts généralisés : EFGE_ELNO_DEPL (N.m)

MAILLE	NŒUD	CMP	Code_Aster	Référence	% écart
M52	N1	MT	-3514,643	-3519	-0,124
		MFY	-8718,626	-8731	-0,142
		MFZ	3839,959	3847	-0,183
M40	N3	MT	-3498,378	-3519	-0,586
		MFY*	4627,678	4620	0,166
		MFZ*	-6559,864	-6572	-0,185
M43	N4	MT*	-5466,298	-5482	-0,286
		MFY	-2661,552	-2645	0,626
		MFZ	707,119	704	0,443
M5	N8	MT	-5451,862	-5458	-0,112
		MFY	-7813,834	-7819	-0,066
		MFZ	-1373,902	-1376	-0,153
M44	N12	MT	-5452,502	-5459	-0,119
		MFY*	232,577	221	5,239
		MFZ*	16264,520	16280	-0,095
M47	N13	MT*	-1080,825	-1091	-0,933
		MFY	-4608,238	-4612	-0,082
		MFZ	17959,849	17978	-0,101
M24	N28	MT	-1090,004	-1091	-0,091
		MFY	616,317	617	-0,111
		MFZ	-581,559	-581	0,096
M48	N43	MT	-1087,843	-1091	-0,289
		MFY*	1008,866	1008	0,086
		MFZ*	18334,269	18351	-0,091
M51	N44	MT*	-1295,762	-1299	-0,249
		MFY	-803,728	-799	0,592
		MFZ	16745,356	16759	-0,081
M39	N45	MT*	-1298,075	-1299	-0,071
		MFY*	14896,226	14908	-0,079
		MFZ*	680,911	681	-0,013

(*) : Les signes des moments de référence sont inversés. Les conventions de signe de Code_Aster et SYSPIPE sont différentes.

La [Figure 4.2.2-a] donne l'évolution d'une grandeur globale de moment équivalent $\sqrt{M_T^2 + M_{FY}^2 + M_{FZ}^2}$ en fonction de l'abscisse curviligne de la section analysée. On note un écart maximum de 0,93% entre SYSPIPE et Code_Aster au nœud N4 de la maille M1.

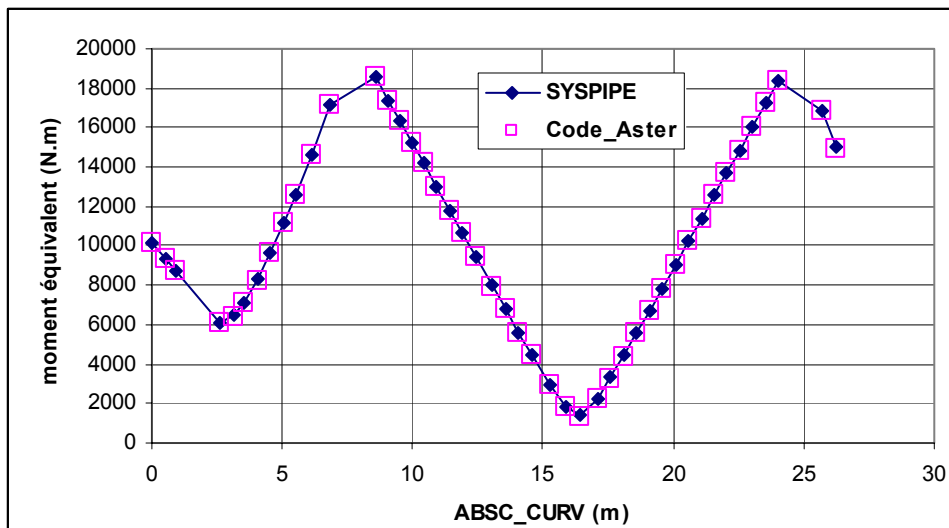


Figure 4.2.2-a : composante secondaire - champ de moment équivalent

• Référence Code_Aster

La solution est obtenue avec l'opérateur MECA_STATIQUE en imposant au nœud N45 les déplacements $DX=ucos\psi$ et $DY=usin\psi$.

Efforts généralisés : EFGE_ELNO_DEPL (N.m)

MAILLE	NŒUD	CMP	Code_Aster	Référence	% écart
M52	N1	MT	-3514,643	-3514,643	0,000
		MFY	-8718,626	-8718,626	0,000
		MFZ	3839,959	3839,959	0,000
M40	N3	MT	-3498,378	-3498,378	0,000
		MFY	4627,678	4627,678	0,000
		MFZ	-6559,864	-6559,864	0,000
M43	N4	MT	-5466,298	-5466,298	0,000
		MFY	-2661,552	-2661,552	0,000
		MFZ	707,119	707,119	0,000
M5	N8	MT	-5451,862	-5451,862	0,000
		MFY	-7813,834	-7813,834	0,000
		MFZ	-1373,902	-1373,902	0,000
M44	N12	MT	-5452,502	-5452,502	0,000
		MFY	232,577	232,577	0,000
		MFZ	16264,520	16264,520	0,000
M47	N13	MT	-1080,825	-1080,825	0,000
		MFY	-4608,238	-4608,238	0,000
		MFZ	17959,849	17959,849	0,000
M24	N28	MT	-1090,004	-1090,004	0,000
		MFY	616,317	616,317	0,000
		MFZ	-581,559	-581,559	0,000
M48	N43	MT	-1087,843	-1087,843	0,000
		MFY	1008,866	1008,866	0,000
		MFZ	18334,269	18334,269	0,000
M51	N44	MT	-1295,762	-1295,762	0,000
		MFY	-803,728	-803,728	0,000
		MFZ	16745,356	16745,356	0,000
M39	N45	MT	-1298,075	-1298,075	0,000
		MFY	14896,226	14896,226	0,000
		MFZ	680,911	680,911	0,000

5 Synthèse des résultats

Les réponses obtenues avec les deux codes sont très proches. Les écarts n'excèdent pas 1% sur les composantes primaires et secondaires. Des différences plus importantes sont observées dans les coudes. Ces derniers sont modélisés avec un élément courbe dans SYSPIPE et 4 éléments POU_C_T dans Code_Aster.