

## SDLX300 - Tuyauterie soumise à une excitation en déplacement, vitesse, accélération

---

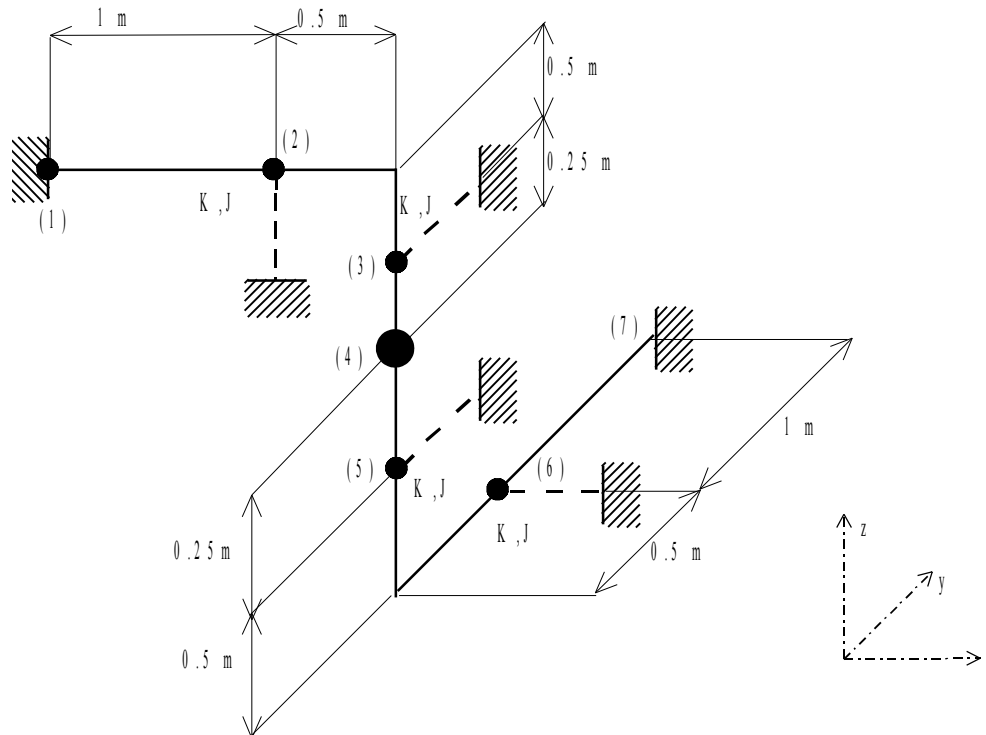
### Résumé :

Étude tridimensionnelle d'une tuyauterie encastrée-rotulée avec raideurs et masse localisées soumise à une excitation en déplacement, vitesse et accélération.

La référence est obtenue pour 6 modes avec CASTEM 2000.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



Diamètre extérieur	:	$48.E-3\text{ m}$
Epaisseur	:	$5.E-3\text{ m}$
Rayon de courbure des coudes	:	$0.170\text{ m}$

### 1.2 Propriétés des matériaux

Masse volumique	:	$7960.\text{ kg.m}^{-3}$
Module d'Young	:	$1.9\text{ E}+11\text{ N.m}^{-2}$
Coefficient de Poisson	:	$0.3$
Masse concentrée au nœud 4	:	$10.\text{ kg}$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

#### 1.3.1 Conditions aux limites

Au nœud 1 :  $dx = dy = dz = 0$  (rotule)

Au nœud 7 :  $dx = dy = dz = drx = dry = drz = 0$  (encastrement)

Au nœud 2, supportage dans la direction  $z$

Au nœud 3, supportage dans la direction  $y$

Au nœud 5, supportage dans la direction  $y$

Au nœud 6, supportage dans la direction  $x$

Les raideurs apportées par chacun des supportages sont :

$$K_x = K_y = K_z = 80.E+3\text{ N.m}^{-1} \quad K_{\theta_x} = K_{\theta_y} = K_{\theta_z} = J = 1.2\text{ N.m.deg}^{-1}$$

### 1.3.2 Chargements

#### Calcul des modes statiques

Un premier calcul permet de valider le calcul des modes statiques.

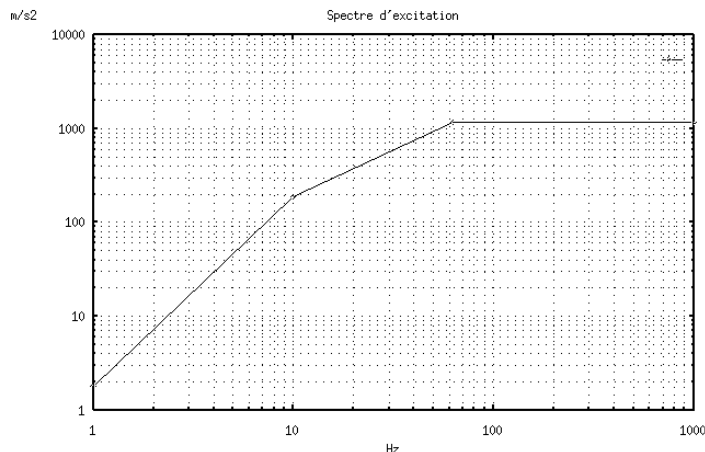
L'ensemble du modèle est soumis à une accélération uniforme selon  $x$  de valeur  $100 \times g$  avec  $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$

#### Réponse spectrale

On soumet la ligne de tuyauterie à une excitation suivant  $x$ , définie par un spectre de réponse tel que :

- sa valeur en déplacement pour des fréquences comprises entre 1. et 10.  $\text{Hz}$ , soit  $d = 48.E - 3 \text{ m}$
- sa valeur en vitesse pour des fréquences comprises entre 10. et 63.  $\text{Hz}$ , soit  $v = 3.\text{m.s}^{-1}$
- sa valeur en accélération pour des fréquences comprises entre 63. et 1000.  $\text{Hz}$ , soit  $\gamma = 120 * g$

Ci-dessous est représenté le spectre d'accélération, déterminé à partir de l'excitation pour un amortissement réduit  $\xi = 0$ .



Les valeurs caractéristiques utilisées sont :

$$\begin{aligned} \gamma(1 \text{ Hz}) &= 1.92 \text{ m/s}^2 & \gamma(10 \text{ Hz}) &= 192 \text{ m/s}^2 & \gamma(63 \text{ Hz}) &= 1000 \text{ m/s}^2 \\ \gamma(1000 \text{ Hz}) &= 1000 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

### 1.3.3 Flexibilité des coudes

Le coefficient de flexibilité,  $C_{flex}$ , des coudes est donné par la réglementation RCC-M :

$$C_{flex} = \frac{1.65}{h} \quad \text{avec} \quad h = \frac{ep * r_{courb}}{r_m^2}$$

- $ep$  : épaisseur du coude  
 $r_{courb}$  : rayon de courbure du coude  
 $r_m$  : rayon moyen du coude

L'indice d'intensification des contraintes,  $I_{sigm}$ , est donné par :

$$I_{sigm} = \frac{0.9}{h^{0.666}}$$

Selon la réglementation RCC-M, le coefficient de flexibilité et l'indice d'intensification des contraintes sont supérieurs ou égaux à un. Ce n'est pas le cas dans ce cas-test.

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La référence est obtenue pour 6 modes avec Castem 2000, pour la méthode de recombinaison modale CQC.

### 2.2 Résultats de référence

#### Calcul modal

Fréquences, masses effectives suivant  $x, y, z$

#### Mode statique

Déplacements aux nœuds caractéristiques

#### Réponse spectrale

Déplacements et efforts généralisés aux nœuds caractéristiques  
Réaction à l'encastrement

Les résultats sont obtenus avec 6 modes pour la recombinaison modale CQC.

### 2.3 Incertitude sur la solution

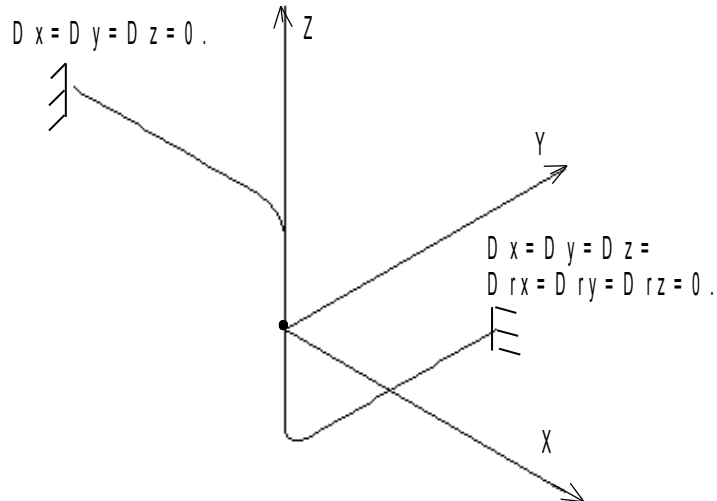
Comparaison entre codes

### 2.4 Références bibliographiques

- [1] B. Kurth - P. Pasquet : Calcul d'une tuyauterie - Test Castem2000 DCN - Cherbourg.  
Référence CISI 93020

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation



### 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de 88 éléments poutre droite de Timoshenko.

## 4 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

Lors du passage de la modélisation des coudes en POU\_D\_T, certains tests ont été supprimés car les résultats étaient trop éloignés de la référence. Le signe \* signifie que le test a été supprimé.

### 4.1 Calcul de la base modale

Fréquences propres de la structure (  $Hz$  )

Numéro de mode	Référence
1	1.6848E+01
2	2.0762E+01
3	2.2386E+01
4	4.4822E+01
5	5.2218E+01
6	7.9692E+01

Masses effectives suivant la direction  $x$  (  $kg$  )

Numéro de mode	Référence
1	1.6134E+00
2	4.4041E-01
3	1.8187E+01
4	1.0628E-02
*5	3.8555E-02
*6	7.7799E-02

Masses effectives suivant la direction  $y$  (  $kg$  )

Numéro de mode	Référence
1	9.2479E+00
2	1.1224E+01
3	1.7076E-01
4	6.7896E-01
*5	1.1784E-03
*6	4.2460E-02

Masses effectives suivant la direction  $z$  (  $kg$  )

Numéro de mode	Référence
1	1.3324E+01
*2	1.1625E+01
3	2.8852E+00
4	4.1979E-01
5	2.5868E-01
*6	6.5858E-01

### 4.2 Chargement A : Calcul des modes statiques

Déplacements (  $m$  )

Direction	Nœuds	Référence
$U_x$	2	1.001E-04
	*3	3.169E-02
	4	4.830E-02
	5	6.162E-02
	6	4.527E-02

$U_y$	2	3.823E-03
	3	7.525E-03
	4	5.556E-03
	5	3.777E-03
	6	-4.516E-06
$U_z$	*2	-6.607E-03
	*3	1.032E-02
	*4	1.031E-02
	*5	1.031E-02
	6	5.632E-03

## 4.3 Chargement B : Réponse spectrale

Calcul avec 6 modes - recombinaison modale quadratique complète 'CQC'  
Déplacements (m)

Direction	Nœuds	Référence
$U_x$	2	1.859E-05
	3	1.092E-02
	4	1.722E-02
	5	2.259E-02
	*6	1.695E-02
$U_y$	2	6.765E-03
	3	6.555E-03
	4	5.029E-03
	5	3.398E-03
	*6	2.398E-06
$U_z$	*2	1.004E-02
	3	7.574E-03
	4	7.575E-03
	5	7.574E-03
	6	4.238E-03

Réaction (  $N$  ) et Moment (  $N.m$  ) au nœud 7

	Référence
$F_x$	1.284E+03
* $F_y$	3.079E+02
$F_z$	4.070E+02
$M_x$	3.748E+02
* $M_y$	2.301E+02
$M_z$	1.431E+03

Efforts généralisés  
Tableau n°1 (\*)

Nœuds	Composantes	Référence
2	* $F_x(N)$	2.385E+03
	$F_y(N)$	2.275E+02
	* $F_z(N)$	5.183E+02
	$M_x(N.m)$	3.067E-01
	$M_y(N.m)$	7.984E+02
	$M_z(N.m)$	2.367E+02
3	$F_x(N)$	6.092E+02
	$F_y(N)$	2.555E+02
	$F_z(N)$	2.151E+03



	$M_x (N.m)$	3.611E+02
	$M_y (N.m)$	1.417E+02
	$M_z (N.m)$	1.114E+02
4	$F_x (N)$	8.733E+02
	$F_y (N)$	3.777E+02
	$F_z (N)$	2.665E+03
	$M_x (N.m)$	3.617E+02
	$M_y (N.m)$	6.081E+02
	$M_z (N.m)$	1.894E+02
5	$F_x (N)$	6.373E+02
	$F_y (N)$	4.489E+02
	$F_z (N)$	1.284E+03
	$M_x (N.m)$	3.615E+02
	$M_y (N.m)$	3.416E+02
	$M_z (N.m)$	1.766E+02
6	* $F_x (N)$	3.078E+02
	$F_y (N)$	1.922E+03
	$F_z (N)$	5.692E+02
	$M_x (N.m)$	2.306E+02
	$M_y (N.m)$	1.420E+02
*	$M_z (N.m)$	3.415+02

Voir remarque [§ 4.4].

Tableau n°2 (\*)

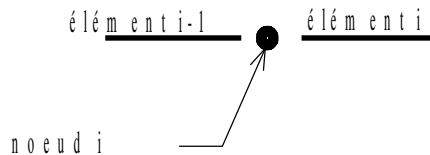
Nœuds	Composantes	Référence
2	$F_x (N)$	2.387E+03
	$F_y (N)$	4.333E+02
	$F_z (N)$	1.164E+03
	$M_x (N.m)$	2.781E-01
	$M_y (N.m)$	7.985E+02
	$M_z (N.m)$	2.368E+02
3	$F_x (N)$	9.656E+02
	$F_y (N)$	4.511E+02
	$F_z (N)$	2.955E+03
	$M_x (N.m)$	3.618E+02
	$M_y (N.m)$	1.429E+02
	$M_z (N.m)$	1.113E+02
4	$F_x (N)$	5.281E+02
	* $F_y (N)$	3.928E+02
	* $F_z (N)$	8.652E+02
	$M_x (N.m)$	3.616E+02
	$M_y (N.m)$	6.081E+02
	$M_z (N.m)$	1.894E+02
5	$F_x (N)$	2.223E+02
	* $F_y (N)$	2.753E+02
	$F_z (N)$	4.752E+02
	$M_x (N.m)$	3.627E+02

	$My (N.m)$	3.403E+02
	$Mz (N.m)$	1.766E+02
6	* $Fx (N)$	3.076E+02
	$Fy (N)$	6.588E+02
	$Fz (N)$	2.842E+02
	$Mx (N.m)$	2.299E+02
	$My (N.m)$	1.418E+02
	* $Mz (N.m)$	3.396E+02

\* Voir remarque [§ 4.4].

## 4.4 Remarques

Pour un nœud  $i$  donné, l'effort généralisé pour l'élément  $i-1$  et pour l'élément  $i$  est comparé respectivement dans les tableaux 1 et 2.



## 5 Synthèse des résultats

---

### Caractéristiques modales

Les écarts sur les fréquences calculées restent inférieurs à 0.4%.

L'écart maximum sur les masses effectives significatives est de 4.4 % (direction  $z$ ). Un écart de 24% est relevé dans la direction  $y$ , sur la masse effective du mode 6 qui représente 0.15% de la masse totale.

### Modes statiques

Les écarts sont de l'ordre de 1% dans les directions  $y$  et  $z$ , et inférieurs à 0.5% dans la direction  $x$ .

### Réponse spectrale

#### Déplacements

Les écarts sont de l'ordre de 1%, avec un écart de 4.6% pour le nœud 6 dans la direction  $y$  ( mais le déplacement au nœud 6 est de l'ordre de  $1.e-6$  et n'est pas significatif par rapport aux autres valeurs calculées, de l'ordre de  $1.e-3$ ).

#### Réactions à l'encastrement et efforts généralisés

L'écart moyen est de l'ordre de 2%. Un écart de 12.8%, apparaît au niveau du nœud 5 pour la composante  $F_z$  de l'effort généralisé. Il existe un ordre de grandeur entre la valeur de l'effort à gauche et à droite de la masse, l'écart sur la valeur minimale de l'effort est de 12.8 %, de 2.6 % sur la valeur maximale, et de 5% sur la valeur moyenne.