# 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.

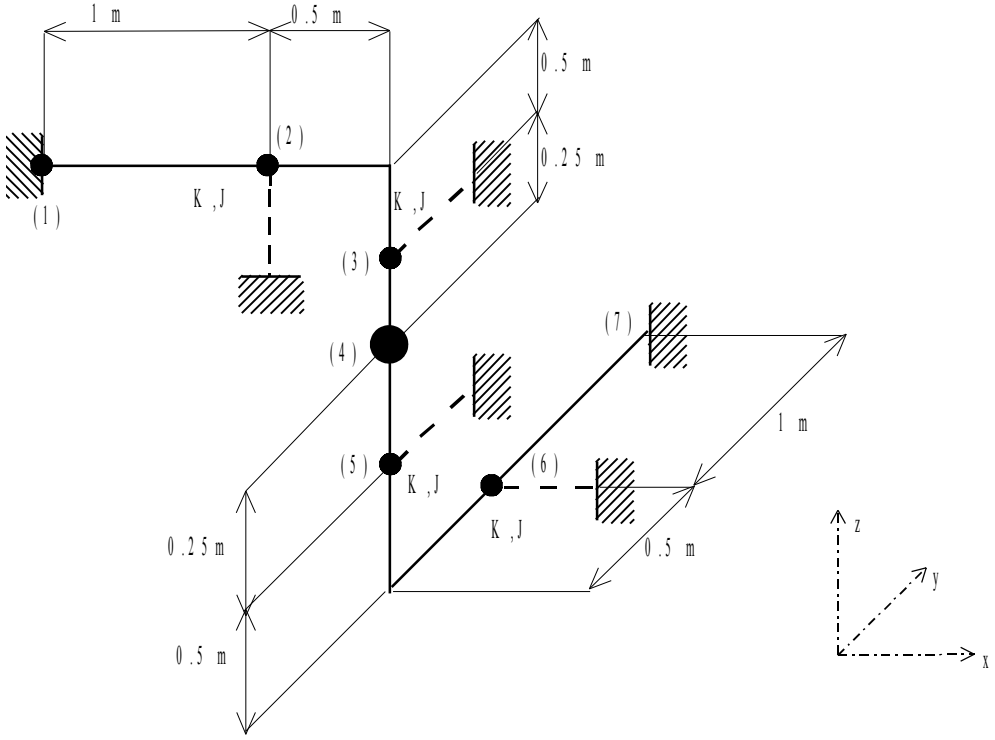
La référence est obtenue pour 6 modes avec CASTEM 2000.



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie




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

## 1.2 Propriétés des matériaux

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

## 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 :

$$K_x=K_y=K_z=80.\mathrm{E}+3\,N.m^{-1} \qquad K_{\theta x}=K_{\theta y}=K_{\theta z}=J=1.2\,N.m.deg^{-1}$$



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

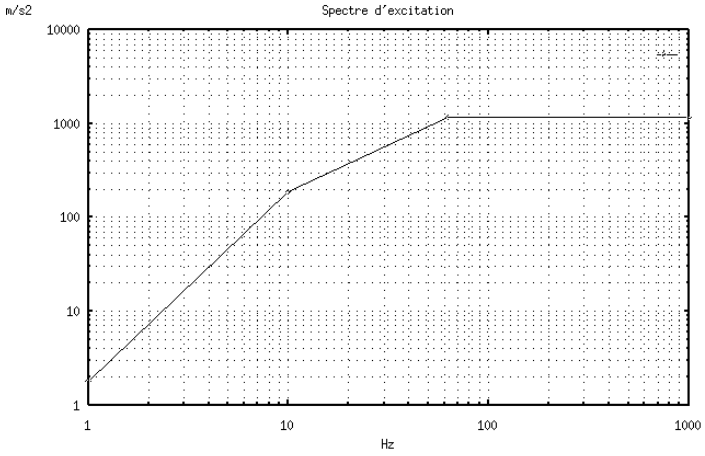
### 1.3.2 Chargements

**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 $g=9.81\,m.s^{-2}$

**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. $Hz$, soit $d=48.\mathrm{E}-3\mathrm{m}$
- sa valeur en vitesse pour des fréquences comprises entre 10. et 63. $Hz$, soit $v=3.\mathrm{m.s}^{-1}$
- sa valeur en accélération pour des fréquences comprises entre 63. et 1000. $Hz$, 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 :
$\gamma(1\,Hz)=1.92\mathrm{m}/s^2 \quad \gamma(10\,Hz)=192\,m/s^2 \quad \gamma(63\,Hz)=1000\,m/s^2$
$\gamma(1000\,Hz)=1000\,m/s^2$

### 1.3.3 Flexibilité des coudes

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

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

$ep$ : 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 :

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


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

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.



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

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

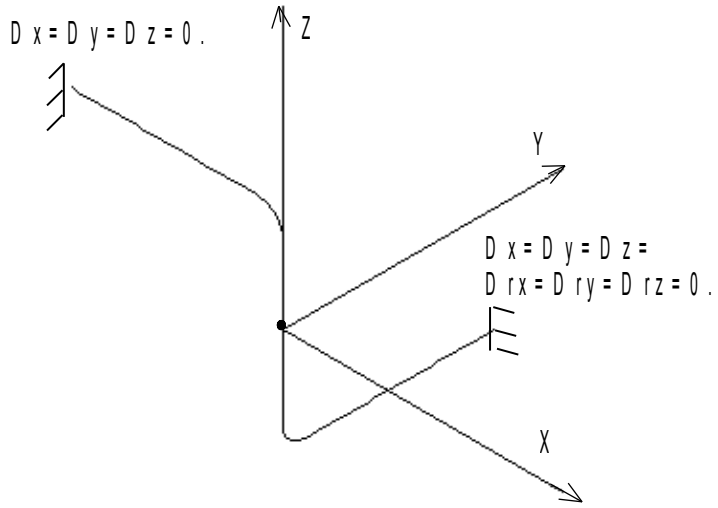
[1] B. Kurth - P. Pasquet : Calcul d'une tuyauterie - Test Castem2000 DCN - Cherbourg. Référence CISI 93020



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

# 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.



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

# 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 |
|---|---|---|
| $Ux$ | 2 | 1.001E–04 |
| | *3 | 3.169E–02 |
| | 4 | 4.830E–02 |
| | 5 | 6.162E–02 |
| | 6 | 4.527E–02 |



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

| | | |
|---|---|---|
| $Uy$ | 2 | 3.823E–03 |
| | 3 | 7.525E–03 |
| | 4 | 5.556E–03 |
| | 5 | 3.777E–03 |
| | 6 | –4.516E–06 |
| $Uz$ | *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 |
|---|---|---|
| $Ux$ | 2 | 1.859E–05 |
| | 3 | 1.092E–02 |
| | 4 | 1.722E–02 |
| | 5 | 2.259E–02 |
| | *6 | 1.695E–02 |
| $Uy$ | 2 | 6.765E–03 |
| | 3 | 6.555E–03 |
| | 4 | 5.029E–03 |
| | 5 | 3.398E–03 |
| | *6 | 2.398E–06 |
| $Uz$ | *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 |
|---|---|
| $Fx$ | 1.284E+03 |
| * $Fy$ | 3.079E+02 |
| $Fz$ | 4.070E+02 |
| $Mx$ | 3.748E+02 |
| * $My$ | 2.301E+02 |
| $Mz$ | 1.431E+03 |

Efforts généralisés
Tableau n°1 (*)

| Nœuds | Composantes | Référence |
|---|---|---|
| 2 | * $Fx(N)$ | 2.385E+03 |
| | $Fy(N)$ | 2.275E+02 |
| | * $Fz(N)$ | 5.183E+02 |
| | $Mx(N.m)$ | 3.067E–01 |
| | $My(N.m)$ | 7.984E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 2.367E+02 |
| 3 | $Fx(N)$ | 6.092E+02 |
| | $Fy(N)$ | 2.555E+02 |
| | $Fz(N)$ | 2.151E+03 |



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

| | | |
|---|---|---|
| | $Mx(N.m)$ | 3.611E+02 |
| | $My(N.m)$ | 1.417E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 1.114E+02 |
| 4 | $Fx(N)$ | 8.733E+02 |
| | $Fy(N)$ | 3.777E+02 |
| | $Fz(N)$ | 2.665E+03 |
| | $Mx(N.m)$ | 3.617E+02 |
| | $My(N.m)$ | 6.081E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 1.894E+02 |
| 5 | $Fx(N)$ | 6.373E+02 |
| | $Fy(N)$ | 4.489E+02 |
| | $Fz(N)$ | 1.284E+03 |
| | $Mx(N.m)$ | 3.615E+02 |
| | $My(N.m)$ | 3.416E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 1.766E+02 |
| 6 | * $Fx(N)$ | 3.078E+02 |
| | $Fy(N)$ | 1.922E+03 |
| | $Fz(N)$ | 5.692E+02 |
| | $Mx(N.m)$ | 2.306E+02 |
| | $My(N.m)$ | 1.420E+02 |
| * | $Mz(N.m)$ | 3.415+02 |

Voir remarque [§ 4.4].

Tableau n°2 (*)

| Nœuds | Composantes | Référence |
|---|---|---|
| 2 | $Fx(N)$ | 2.387E+03 |
| | $Fy(N)$ | 4.333E+02 |
| | $Fz(N)$ | 1.164E+03 |
| | $Mx(N.m)$ | 2.781E–01 |
| | $My(N.m)$ | 7.985E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 2.368E+02 |
| 3 | $Fx(N)$ | 9.656E+02 |
| | $Fy(N)$ | 4.511E+02 |
| | $Fz(N)$ | 2.955E+03 |
| | $Mx(N.m)$ | 3.618E+02 |
| | $My(N.m)$ | 1.429E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 1.113E+02 |
| 4 | $Fx(N)$ | 5.281E+02 |
| | * $Fy(N)$ | 3.928E+02 |
| | * $Fz(N)$ | 8.652E+02 |
| | $Mx(N.m)$ | 3.616E+02 |
| | $My(N.m)$ | 6.081E+02 |
| | $Mz(N.m)$ | 1.894E+02 |
| 5 | $Fx(N)$ | 2.223E+02 |
| | * $Fy(N)$ | 2.753E+02 |
| | $Fz(N)$ | 4.752E+02 |
| | $Mx(N.m)$ | 3.627E+02 |



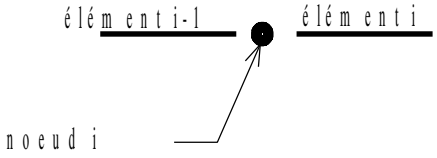
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | |
|---|---|---|
| | $My(N.m)$ | 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.






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

# 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 $Fz$ 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.



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