

**Manuel de Validation****Fascicule V3.01 : Statique linéaire des structures linéiques****Document : V3.01.101**

# SSLL101 - Tuyauterie : Problème de HOVGAARD

---

**Résumé :**

Il s'agit d'un test élastique linéaire, en statique, d'une tuyauterie tridimensionnelle non coplanaire comportant des coudes. Il existe un test en dynamique de la même structure (SDLX02) [V2.05.002].

On teste les éléments `POU_D_T`, `POU_C_T`, `TUYAU` (SEG3 et SEG4) et `TUYAU_6M` (SEG3) par l'intermédiaire de cinq modélisations, chaque coude est représenté par :

- 20 éléments `POU_D_T` dans la modélisation A,
- 2 éléments `POU_C_T` dans la modélisation B,
- 28 éléments `TUYAU` (SEG3) dans la modélisation C,
- 28 éléments `TUYAU_6M` (SEG3) dans la modélisation D,
- 28 éléments `TUYAU` (SEG4) dans la modélisation E.

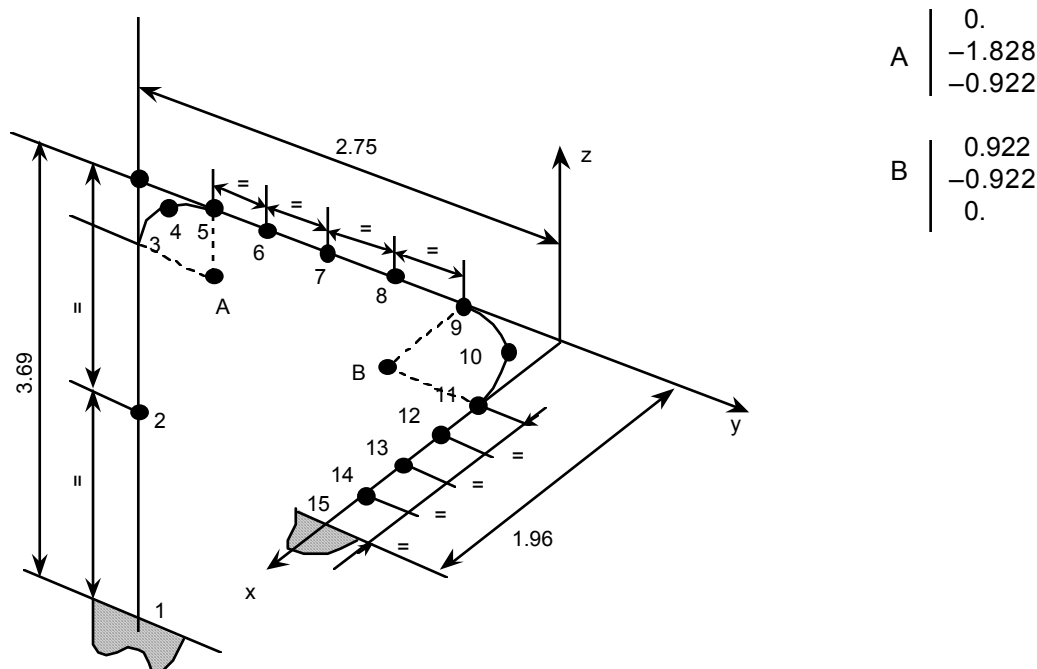
Les chargements sont :

- pesanteur,
- dilatation thermique,
- forces nodales.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

La géométrie, ainsi que les points de modélisation sont représentés sur la figure suivante :



longueurs données en mètres

- diamètre extérieur du tuyau : 0.185 m
- épaisseur du tuyau : 6.12 mm
- rayon de courbure des coudes : 0.922 m
- tuyauterie pleine d'eau

### 1.2 Propriétés de matériaux

$$E = 1.658 \text{ E}+11 \text{ Pa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\rho = 13404.10 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0.1288 \text{ E}-4 / \text{C}^\circ$$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

- Points 1 et 15 encastrés,
- Chargement :
  - 1) Pesanteur selon  $-z$ ,
  - 2) Elévation uniforme de température de  $472.22 \text{ C}^\circ$ ,
  - 3) Forces nodales.

Nœuds	2	3	4 - 10	5 - 9	6 - 7 - 8	11	12 - 13	14
Fz (N)	624.897	788.724	-327.654	214.839	-102.5145	-222.687	117.720	-176.580

## 2 Solution de référence

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

Les solutions de référence retenues pour vérifier les modélisations *Code\_Aster* sont les suivantes :

- pour les modélisations POUTRE : comparaison avec les codes : POUX, ADL et TITUS-T [bib1], utilisant une modélisation de type poutre,
- pour les modélisations TUYAUX : comparaison avec le code ABAQUS, utilisant une modélisation de type tuyau. Le nombre de mode de Fourier (M) utilisé lors du calcul de la référence est identique à celui utilisé lors des calculs avec le *Code\_Aster*.

### 2.2 Résultats de référence

Cas de Chargement	Déplacement au point 3	Modélisation Poutre (POUX,ADL,TITUS)	Modélisation Tuyau: M=3 (ABAQUS)	Modélisation Tuyau: M=6 (ABAQUS)
Poids propre	DX	-0.1658E-3	-0.16517E-3	-0.16512E-3
	DY	-0.2040E-4	-0.13870E-4	-0.13946E-4
	DZ	-0.8010E-5	-0.80376E-5	-0.80369E-5
Force nodale	DX	-0.1651E-3	-0.16445E-3	-0.16441E-3
	DY	-0.2080E-4	-0.14245E-4	-0.14320E-4
	DZ	-0.9516E-5	-0.10047E-4	-0.10047E-4
Dilatation	DX	-6.1418E-3	-6.3277E-3	-6.3236E-3
	DY	-13.090E-3	-13.092E-3	-13.093E-3
	DZ	16.799E-3	16.798E-3	16.798E-3

### 2.3 Incertitude sur la solution

2%

### 2.4 Références bibliographiques

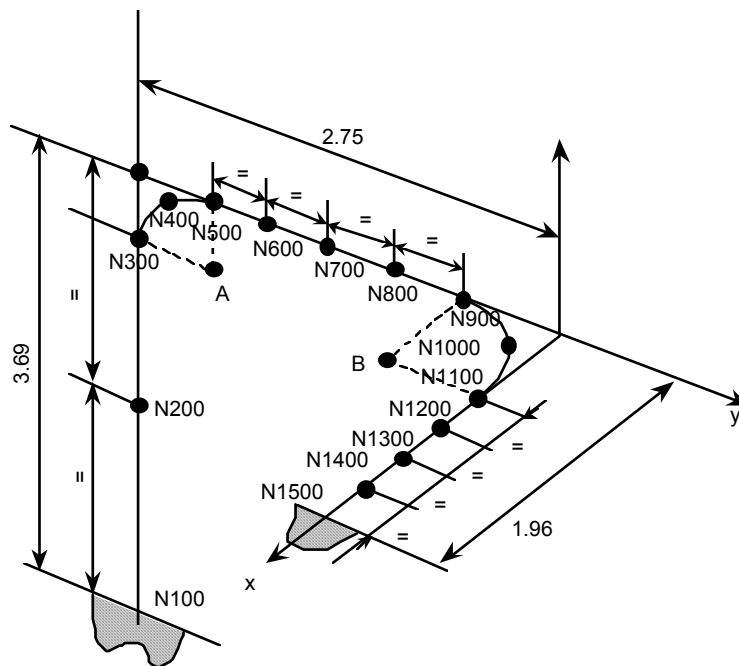
- [1] M.W. KELLOG Co. Design of Piping Systems. New York, 1956 - Problème n°5.9

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments droits.

Un demi élément courbe est modélisé par 20 éléments droits.



Longueurs données en mètres

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 93

Nombre de mailles et type : 92 POU\_D\_T

### 3.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

AFFE\_CHAR\_MECA

PESANTEUR

TEMP\_CALCULEE

AFFE\_MODELE

'MECANIQUE'

'POU\_D\_T'

TOUT

## 4 Résultats de la modélisation A

### 4.1 Valeurs testées

Identification	Déplacement		Référence poutre	Aster	%
<b>Poids propre</b>	N300	DX	-0.1658E-3	-0.1658E-3	0.0
		DY	-0.2040E-4	-0.2039E-4	0.02
		DZ	-0.8010E-5	-0.8010E-5	0.0
<b>Force nodale</b>	N300	DX	-0.1651E-3	-0.1651E-3	0.04
		DY	-0.2080E-4	-0.2080E-4	-0.01
		DZ	-0.9516E-5	-0.9516E-5	0.004
<b>Dilatation</b>	N300	DX	-6.1418E-3	-6.1413E-3	0.007
		DY	-13.090E-3	-13.091E-3	0.012
		DZ	16.799E-3	16.799E-3	0.003

### 4.2 Remarque

Les différences entre les résultats *Aster* et la solution de référence poutre sont toutes inférieures à 0.04%

### 4.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.6

Machine : Origin 2000

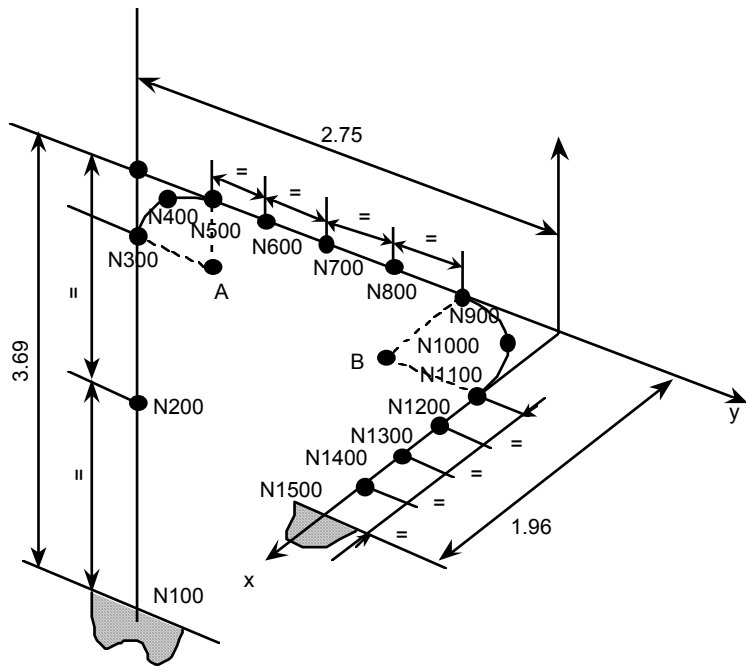
Encombrement mémoire : 16 Mo

Temps CPU User : 3 secondes

## 5Modélisation B

### 5.1Caractéristiques de la modélisation

Les éléments courbes sont modélisés par des éléments "POU\_C\_T".



Longueurs données en mètres

### 5.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 15  
Nombre de mailles et type : 10 POU\_D\_T  
4 POU\_C\_T

### 5.3Fonctionnalités testées

Commandes			
AFFE_CHAR_MECA	PESANTEUR		
	TEMP CALCULEE		
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'POU_D_T'	TOUT

## 6 Résultats de la modélisation B

### 6.1 Valeurs testées

Identification	Déplacement	Référence poutre	Aster	%
<b>Poids propre</b>	N300 DX	-0.1658E-3	-0.1658E-4	0.017
	DY	-0.2040E-4	-0.2053E-5	0.65
	DZ	-0.8010E-5	-0.8010E-6	-0.006
<b>Force nodale</b>	N300 DX	-0.1651E-3	-0.1652E-4	0.04
	DY	-0.2080E-4	-0.2080E-5	0.02
	DZ	-0.9516E-5	-0.9516E-6	0.002
<b>Dilatation</b>	N300 DX	-6.1418E-3	-6.1404E-3	-0.02
	DY	-13.090E-3	-13.090E-2	0.005
	DZ	16.799E-3	16.799E-2	0.003

### 6.2 Remarque

Les différences entre les résultats *Aster* et les résultats de référence poutre sont toutes inférieures à 0.02% sauf pour DY en poids propre où l'écart est de 0.65%

### 6.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.6

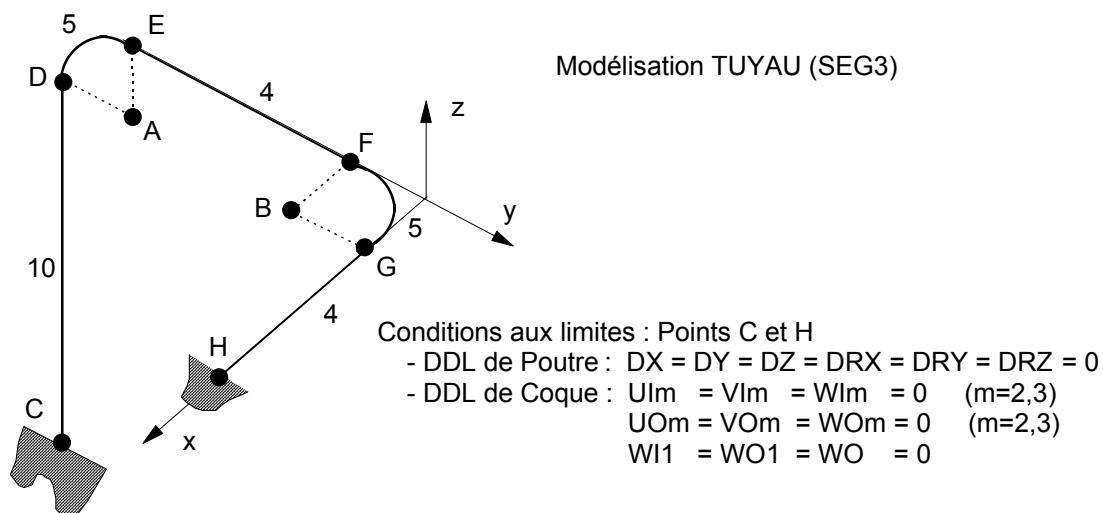
Machine : Origin 2000

Encombrement mémoire : 16 Mo

Temps CPU User : 3 secondes

## 7 Modélisation C

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation



### 7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 57  
Nombre de mailles et type : 28 SEG3

### 7.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION='TUYAU'
AFFE_CARA_ELEM		POUTRE: (SECTION:'CERCLE')
		ORIENTATION: (CARA:'GENE_TUYAU'
		VALE : (X Y Z)
AFFE_CHAR_MECA	PESANTEUR	
	TEMP_CALCULEE	



## 8 Résultats de la modélisation C

### 8.1 Valeurs testées

Identification	Déplacement	Référence tuyau (M = 3)	Aster	%
<b>Poids propre</b>	Point D DX	-0.16517E-3	-0.1636E-3	-0.93
	DY	-0.13870E-4	-0.1251E-4	-9.80
	DZ	-0.80376E-5	-0.8018E-5	-0.24
<b>Force nodale</b>	Point D DX	-0.16445E-3	-0.1629E-3	-0.94
	DY	-0.14245E-4	-0.1288E-4	-9.61
	DZ	-0.10047E-4	-0.1003E-4	-0.20
<b>Dilatation</b>	Point D DX	-6.3277E-3	-6.4534E-3	1.99
	DY	-13.092E-3	-13.103E-3	0.08
	DZ	16.798E-3	16.880 E-3	0.49

### 8.2 Remarque

Les résultats obtenus avec le *Code\_Aster* sont similaires à ceux d'ABAQUS par des éléments tuyaux sauf pour le déplacement DY (poids propre et force nodale) où l'écart est de l'ordre de 10%.

### 8.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.6

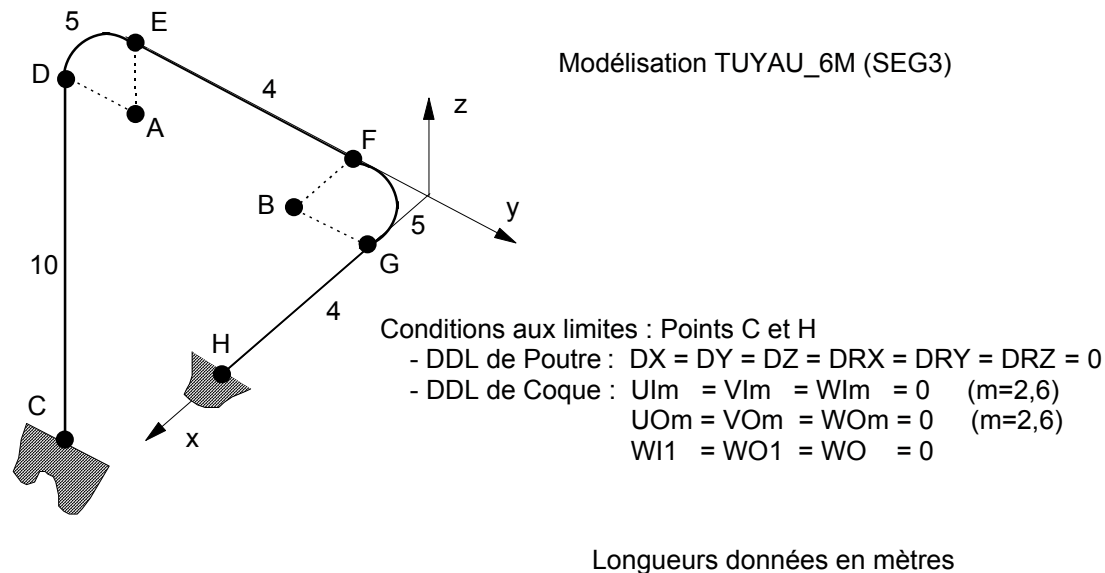
Machine : SGI-Origin2000 R12000

Encombrement mémoire : 16 Mo

Temps CPU User : 4,7 secondes

## 9 Modélisation D

### 9.1 Caractéristiques de la modélisation



### 9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 57  
Nombre de mailles et type : 28 SEG3

### 9.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION='TUYAU_6M'
AFFE_CARA_ELEM		POUTRE: (SECTION:'CERCLE')
		ORIENTATION: (CARA:'GENE_TUYAU'
		VALE : (X Y Z)
AFFE_CHAR_MECA	PESANTEUR	
	TEMP_CALCULEE	

## 10 Résultats de la modélisation D

### 10.1 Valeurs testées

Identification	Déplacement	Référence tuyau (M = 6)	Aster	%
<b>Poids propre</b>	Point D DX	-0.16512E-3	-0.1636E-3	-0.93
	DY	-0.13946E-4	-0.1258E-4	-9.78
	DZ	-0.80369E-5	-0.8018E-5	-0.24
<b>Force nodale</b>	Point D DX	-0.16441E-3	0.1629E-3	-0.94
	DY	-0.14320E-4	-0.1295E-4	-9.58
	DZ	-0.10047E-4	-0.1003E-4	-0.21
<b>Dilatation</b>	Point D DX	-6.3236E-3	-6.4495E-3	1.99
	DY	-13.093E-3	-13.104E-3	0.08
	DZ	16.798E-3	16.880E-3	0.49

### 10.2 Remarque

Les résultats obtenus avec le *Code\_Aster* sont similaires à ceux d'ABAQUS pour des éléments tuyaux sauf pour le déplacement DY (poids propre et force nodale) où l'écart est de l'ordre de 10%.

### 10.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.6

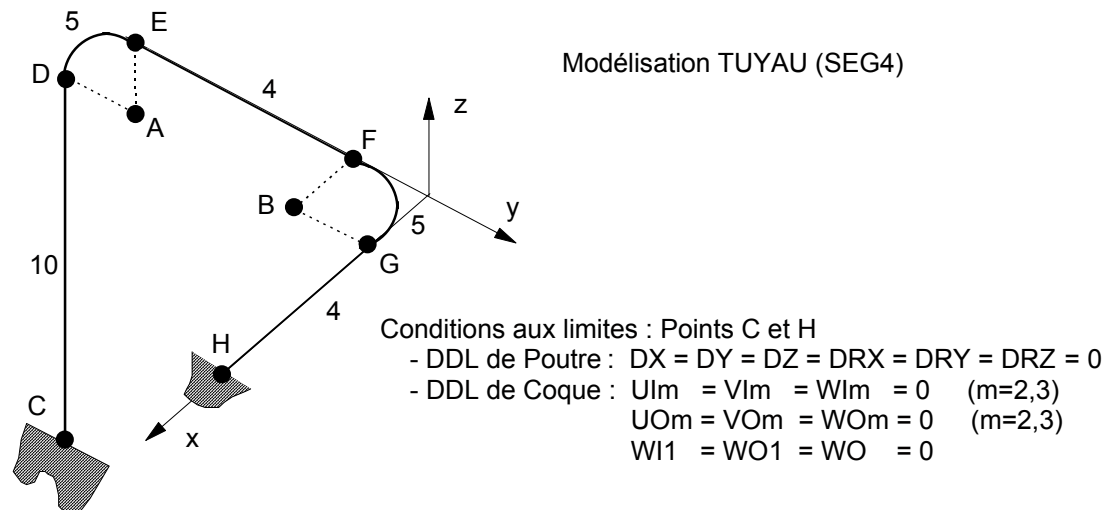
Machine : SGI-Origin2000 R12000

Encombrement mémoire : 16 Mo

Temps CPU User : 10,56 secondes

## 11 Modélisation E

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation



### 11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 85  
Nombre de mailles et type : 28 SEG4

### 11.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

CREA_MAILLAGE	MODI_MAILLE	OPTION: 'SEG3_4'
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION= 'TUYAU'
AFFE_CARA_ELEM		POUTRE: (SECTION: 'CERCLE')
		ORIENTATION: (CARA: 'GENE_TUYAU'
		VALE : (X Y Z)
AFFE_CHAR_MECA	PESANTEUR	
	TEMP_CALCULEE	

## 12 Résultats de la modélisation E

### 12.1 Valeurs testées

Identification	Déplacement	Référence tuyau (M = 3)	Aster	%
<b>Poids propre</b>	Point D DX	-0.16517E-3	-0.1648E-3	-0.22
	DY	-0.13870E-4	0.1321E-4	-4.73
	DZ	-0.80376E-5	-0.8024E-5	-0.18
<b>Force nodale</b>	Point D DX	-0.16445E-3	-0.1638E-3	-0.37
	DY	-0.14245E-4	-0.1400E-4	-1.74
	DZ	-0.10047E-4	-0.9997E-5	-0.50
<b>Dilatation</b>	Point D DX	-6.3277E-3	-6.329E-3	0.02
	DY	-13.092E-3	-13.105E-3	0.10
	DZ	16.798E-3	16.843E-3	0.27

### 12.2 Remarques

Le maillage en SEG4 est obtenu à partir d'un maillage SEG3 avec la commande `CREA_MAILLAGE`, `MODI_MAILLE` avec l'option 'SEG3\_4'. Il est important que le nœud milieu du SEG3 soit bien au milieu, le *Code\_Aster* vérifie cette condition avec une tolérance.

Les résultats obtenus avec le *Code\_Aster* sont similaires à ceux d'ABAQUS avec des éléments tuyaux sauf pour le déplacement DY (poids propre et force nodale) où l'écart est de l'ordre de 5% et 2%.

### 12.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.6

Machine : SGI-Origin2000 R12000

Encombrement mémoire : 16 Mo

Temps CPU User : 7,62 secondes

## 13 Synthèse des résultats

---

### Modélisation poutre :

Les résultats sont similaires à la solution de référence (modélisation poutre : moyenne de résultats de 3 codes) aussi bien pour la modélisation A, où chaque coude est discrétisé par 20 éléments droits, `POU_D_T`, que pour la modélisation B, où l'on utilise les éléments courbe `POU_C_T`. On note simplement, dans ce cas, un écart un peu plus important en une valeur de déplacement (0.65%).

### Modélisation tuyau :

Les résultats *Code\_Aster* sont similaires à ceux d'ABAQUS (pour des éléments tuyaux), sauf pour le déplacement DY et pour les chargements poids propre et forces nodales où l'écart avec la solution de référence est plus important avec les mailles SEG3 (10%) qu'avec les mailles SEG4 (5%).

Le chargement de dilatation donne des résultats similaires.

Ce cas-test permet de tester une tuyauterie non coplanaire.