

## 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`, `TUYAU (SEG3 et SEG4)` et `TUYAU_6M (SEG3)` par l'intermédiaire de 5 modélisations :

- modélisation A : 92 éléments `POU_D_T` (40 pour un coude), calcul avec `MECA_STATIQUE`,
- modélisation C : 28 éléments `TUYAU (SEG3)` (5 pour un coude), calcul avec `MECA_STATIQUE`,
- modélisation D : 28 éléments `TUYAU_6M (SEG3)` (5 pour un coude), calcul avec `MECA_STATIQUE`,
- modélisation E : 28 éléments `TUYAU (SEG4)` (5 pour un coude), calcul avec `MECA_STATIQUE`,

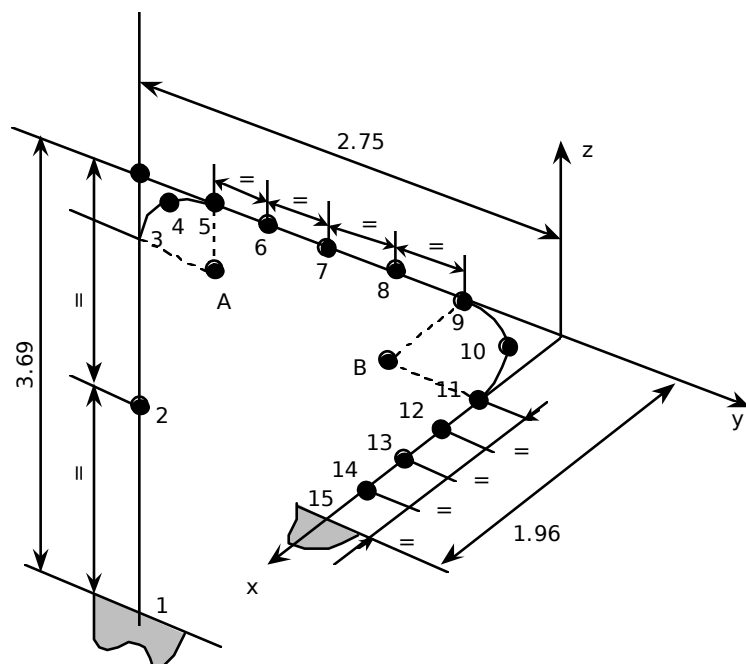
Les chargements sont de type :

- pesanteur,
- thermique,
- forces nodales.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

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



$$A \begin{vmatrix} 0. \\ -1.828 \\ -0.922 \end{vmatrix}$$

$$B \begin{vmatrix} 0.922 \\ -0.922 \\ 0. \end{vmatrix}$$

Longueurs 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

$$E = 1.658 E + 11 Pa$$

$$\nu = 0.3$$

$$\rho = 13404.10 kg/m^3$$

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

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

- Points 1 (groupe de nœud T1) et 15 (groupe de nœud T15) encastés,
  - Chargement :
    - Pesanteur selon  $-z$ ,
    - Élévation uniforme de température de  $472.22 C^\circ$ ,
    - Forces nodales.

Groupes de nœud	T2	T3	T4, T10	T5, T9	T6, T7, T8	T11	T12, T13	T14
$F_z (N)$	-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** [1], utilisant une modélisation de type poutre,
- pour les modélisations **TUYAU** : 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 *Code\_Aster*.
- pour les modélisations poutres, on définit également un moment équivalent au point  $T1$  comme  $M_{eq} = \sqrt{(MT^2 + MFY^2 + MFZ^2)}$  . La valeur de référence est celle obtenue à la main avec les résultats de la modélisation A (référence **AUTRE\_ASTER**).

### 2.2 Résultats de référence

Cas de Chargement	Déplacement au point 3 (groupe de nœud T3)	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

Cas de chargement	Moment équivalent au point $T1$	Référence <b>AUTRE_ASTER</b> (modélisation A)
Poids propre	$M_{eq}$	189.76886594440944

### 2.3 Incertitude sur la solution

L'incertitude sur la solution de référence est fixée à 2% .

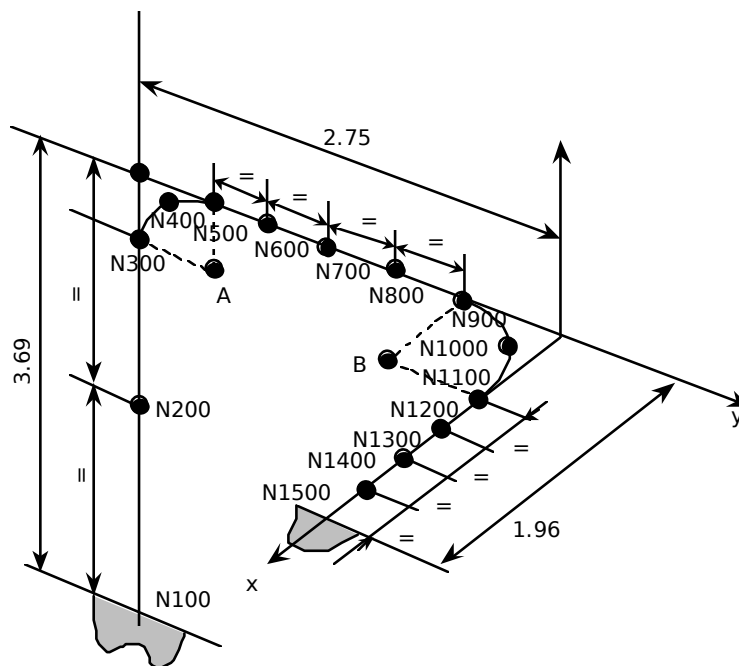
### 2.4 Références bibliographiques

- [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 en mètres

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 93  
Nombre de mailles et type : 92 POU\_D\_T

### 3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Déplacement	Type de référence	Valeur de référence	Précision (%)	
Poids propre	T3	DX	'SOURCE_EXTERNE'	-0.1658E-3	0.1
		DY	'SOURCE_EXTERNE'	-0.2040E-4	0.1
		DZ	'SOURCE_EXTERNE'	-0.8010E-5	0.1
Force nodale	T3	DX	'SOURCE_EXTERNE'	-0.1651E-3	0.1
		DY	'SOURCE_EXTERNE'	-0.2080E-4	0.1
		DZ	'SOURCE_EXTERNE'	-0.9516E-5	0.1
Dilatation	T3	DX	'SOURCE_EXTERNE'	-6.1418E-3	0.1
		DY	'SOURCE_EXTERNE'	-13.090E-3	0.1
		DZ	'SOURCE_EXTERNE'	16.799E-3	0.1

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision (%)
Point T1 - X1 Champ UT01_ELNO	'AUTRE_ASTER'	189.76886594440944	0,1

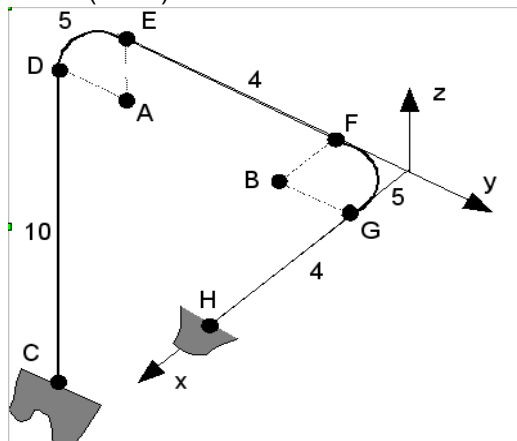
## 3.4 Remarque

Les différences entre les résultats Aster et la solution de référence poutre sont toutes inférieures à 0.05% .

## 4 Modélisation C

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation TUYAU (SEG3)



Longueurs en mètres

Conditions aux limites : points *C* et *H*

- DDL poutre :  $DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$
- DDL coque :
  - $UIm = VIm = WIm = 0 (m=2,3)$
  - $UOm = VOm = WOm = 0 (m=2,3)$
  - $WI = WO1 = WO = 0$

### 4.2 Caractéristiques du maillage

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

### 4.3 Valeurs testées

Identification	Déplacement	Référence tuyau ( $M=3$ )	%
	Point <i>D</i> $DX$	-0.16517E-3	-0.93
<b>Poids propre</b>	$DY$	-0.13870E-4	-9.80
	$DZ$	-0.80376E-5	-0.24
	Point <i>D</i> $DX$	-0.16445E-3	-0.94
<b>Force nodale</b>	$DY$	-0.14245E-4	-9.61
	$DZ$	-0.10047E-4	-0.20
	Point <i>D</i> $DX$	-6.3277E-3	1.99
<b>Dilatation</b>	$DY$	-13.092E-3	0.08
	$DZ$	16.798E-3	-0.93

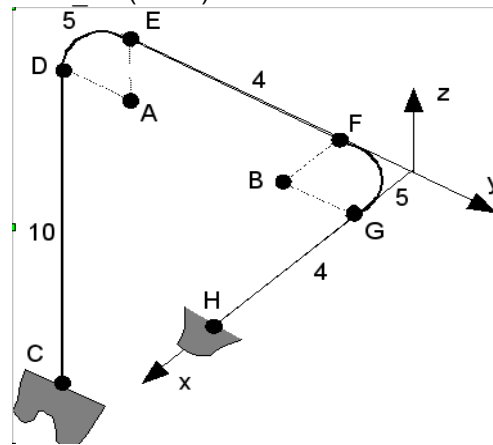
### 4.4 Remarque

Les résultats obtenus avec *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%.

## 5 Modélisation D

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation TUYAU\_6M (SEG3)



Longueurs en mètres

Conditions aux limites : points *C* et *H*

- DDL poutre :  $DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$
- DDL coque :
  - $U_{Im} = V_{Im} = W_{Im} = 0 (m = 2, 6)$
  - $U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 (m = 2, 6)$
  - $W_{II} = W_{OI} = W_O = 0$

### 5.2 Caractéristiques du maillage

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

### 5.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Déplacement	Référence tuyau ( $M = 6$ )	%
Poids propre	Point <i>D</i> $DX$	-0.16512E-3	-0.93
	$DY$	-0.13946E-4	-9.78
	$DZ$	-0.80369E-5	-0.24
Force nodale	Point <i>D</i> $DX$	-0.16441E-3	-0.94
	$DY$	-0.14320E-4	-9.58
	$DZ$	-0.10047E-4	-0.21
Dilatation	Point <i>D</i> $DX$	-6.3236E-3	1.99
	$DY$	-13.093E-3	0.08
	$DZ$	16.798E-3	0.49

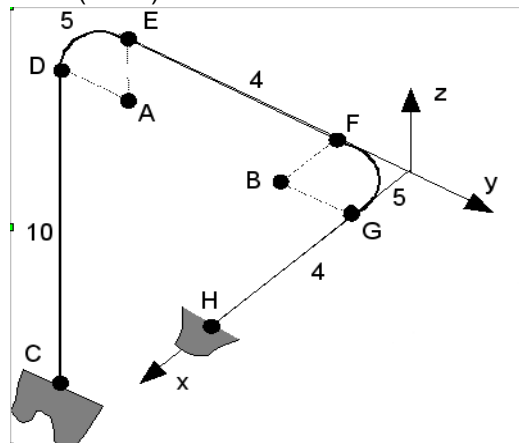
### 5.4 Remarque

Les résultats obtenus avec *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%.

## 6 Modélisation E

### 6.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation TUYAU (SEG4)



Longueurs en mètres

Conditions aux limites : points *C* et *H*

- DDL poutre :  $DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$
- DDL coque :
  - $UIm = VIm = WIm = 0 (m = 2, 3)$
  - $UOm = VOm = WOm = 0 (m = 2, 3)$
  - $WI1 = WO1 = WO = 0$

### 6.2 Caractéristiques du maillage

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

### 6.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Déplacement	Référence tuyau ( $M = 3$ )	%	
Poids propre	Point <i>D</i>	<i>DX</i>	-0.16517E-03	-0.22
		<i>DY</i>	-0.13870E-04	-4.73
		<i>DZ</i>	-0.80376E-05	-0.18
Force nodale	Point <i>D</i>	<i>DX</i>	-0.16445E-03	-0.37
		<i>DY</i>	-0.14245E-04	-1.74
		<i>DZ</i>	-0.10047E-04	-0.50
Dilatation	Point <i>D</i>	<i>DX</i>	-6.3277E-03	0.02
		<i>DY</i>	-13.092E-03	0.10
		<i>DZ</i>	16.798E-03	0.27

### 6.4 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 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%.



## 7 Synthèse des résultats

---

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

### **Modélisation poutre :**

Les résultats sont similaires à la solution de référence (modélisation poutre : moyenne de résultats de 3 codes).

### **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 thermique donne des résultats similaires.