

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`,

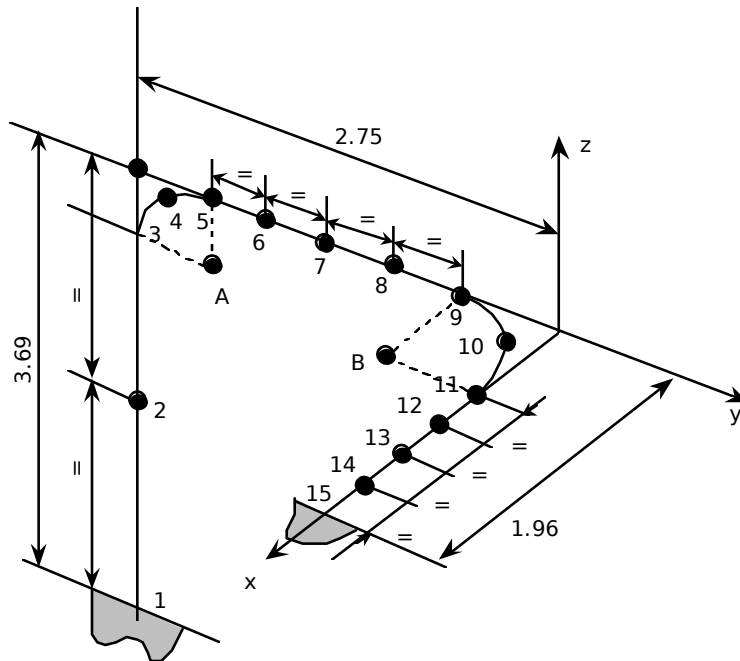
Les chargements sont de type :

- 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 :



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

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

- 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

$$E = 1.658 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\nu = 0.3$$

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

$$\alpha = 0.1288 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

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

Nœuds	2	3	4 - 10	5 - 9	6 - 7 - 8	11	01/12/13	14
$F_z \text{ (N)}$	-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 **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*.

2.2 Résultats de référence

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

2.3 Incertitude sur la solution

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

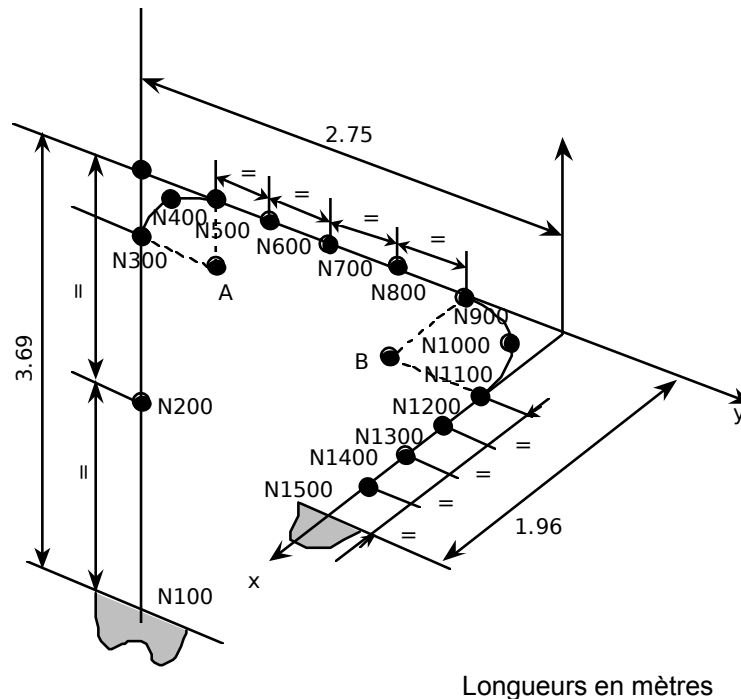
2.4 Références bibliographiques

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.



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	Référence poutre	%
Poids propre	N300 DX	-0.1658E-3	0.0
	DY	-0.2040E-4	0.02
	DZ	-0.8010E-5	0.0
Force nodale	N300 DX	-0.1651E-3	0.04
	DY	-0.2080E-4	-0.01
	DZ	-0.9516E-5	0.004
Dilatation	N300 DX	-6.1418E-3	0.007
	DY	-13.090E-3	0.012
	DZ	16.799E-3	0.003

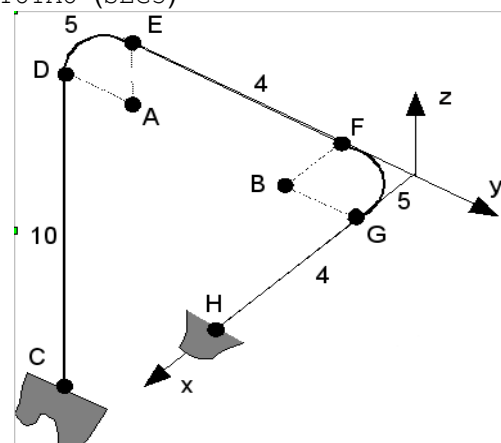
3.4 Remarque

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

4 Modélisation C

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation TUYAU (SEG3)



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

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

4.2 Caractéristiques du maillage

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

4.3 Valeurs testées

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

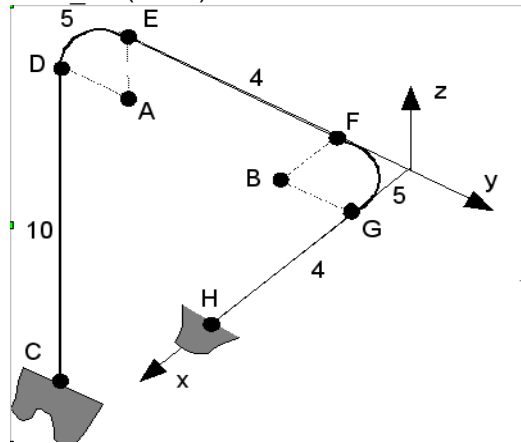
4.4 Remarque

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)



Conditions aux limites : points C et H

- DDL poutre : $DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$
- DDL coque :
 - $UIm = VIm = WIm = 0 (m=2,6)$
 - $UOm = VOm = WOm = 0 (m=2,6)$
 - $WI = WO1 = WO = 0$

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 D DX	-0.16512E-3	-0.93
	DY	-0.13946E-4	-9.78
	DZ	-0.80369E-5	-0.24
Force nodale	Point D DX	-0.16441E-3	-0.94
	DY	-0.14320E-4	-9.58
	DZ	-0.10047E-4	-0.21
Dilatation	Point D DX	-6.3236E-3	1.99
	DY	-13.093E-3	0.08
	DZ	16.798E-3	0.49

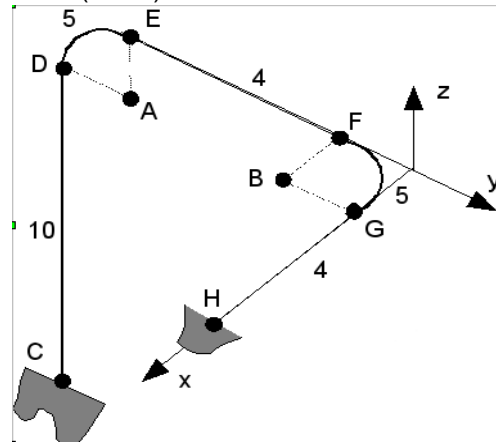
5.4 Remarque

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
		<i>DY</i>	-0.13870E-04
		<i>DZ</i>	-0.80376E-05
Force nodale	Point <i>D</i>	<i>DX</i>	-0.16445E-03
		<i>DY</i>	-0.14245E-04
		<i>DZ</i>	-0.10047E-04
Dilatation	Point <i>D</i>	<i>DX</i>	-6.3277E-03
		<i>DY</i>	-13.092E-03
		<i>DZ</i>	16.798E-03

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

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