

SSNL503 - Ruine élasto-plastique d'un tuyau coudé mince

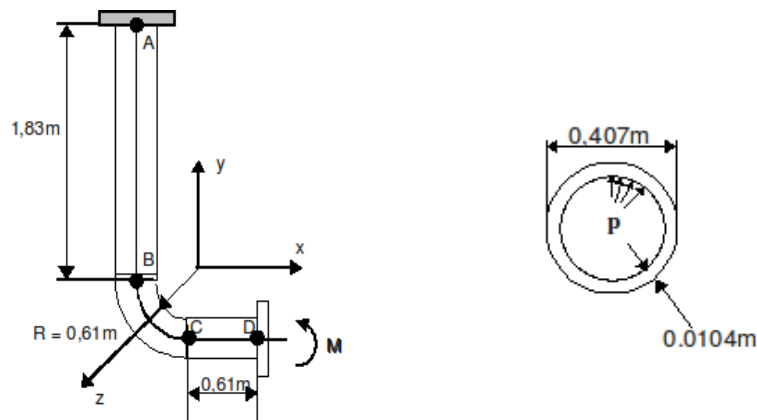
Résumé :

Ce test consiste à calculer la ruine élasto-plastique d'un tuyau coudé mince soumis à une flexion dans son plan et à une pression interne avec effet de fond. Il permet de valider la modélisation éléments finis TUYAU (SEG3 et SEG4) et TUYAU_6M (SEG3) dans le domaine quasi-statique en non-linéaire matériau.

Les résultats obtenus sont comparés à une solution de référence numérique obtenue avec le code de calcul ABAQUS.

1 Problème de référence

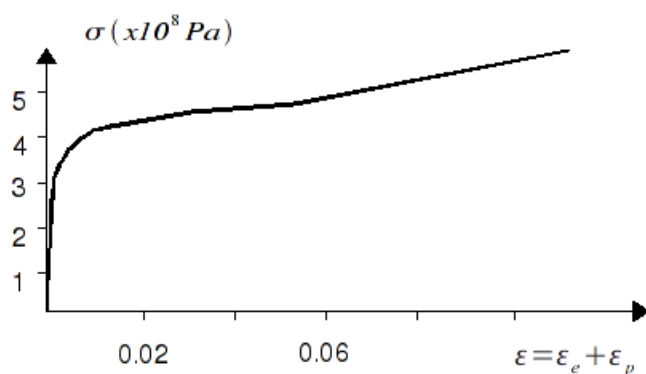
1.1 Géométrie



1.2 Propriétés du matériau

Les propriétés du matériau constituant le tuyau sont :

$E = 193 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ Module d'Young
 $\nu = 0.2642$ Coefficient de poisson



Contrainte Pa	Déformation Plastique ϵ_p
2.72E+08	0.00000
3.46E+08	0.00473
3.79E+08	0.01264
4.04E+08	0.02836
4.24E+08	0.04910
5.28E+08	0.10500

1.3 Conditions aux limites et chargements

- Conditions aux limites :
 - Section A encastrée
 - Section D rigide (aucune déformation de la section)
- Chargement : on cherche les états successifs d'équilibre sous les chargements suivants :
 - Étape A : $0 = t < t_1$
 - la pression varie de 0 à $3.45 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
 - La force (effet de fond) au point D varie de 0 à $4.0414 \cdot 10^5 \text{ N}$
 - le moment est nul
 - Étape B : $t_1 = t < t_2$
 - la pression est constante et vaut $3.45 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
 - la force (effet de fond) au point D est constante et vaut $4.0414 \cdot 10^5 \text{ N}$
 - le moment varie de 0 à $2.534 \cdot 10^5 \text{ N.m}$

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence a été obtenue numériquement avec ABAQUS 5.5. Le maillage utilisé est constitué d'éléments `ELBOW31` à 2 nœuds avec 6 modes de Fourier. La discrétisation utilisée est la suivante :

- Partie *AB* : 24 éléments,
- Partie *BC* : 8 éléments,
- Partie *CD* : 12 éléments.

L'intégration dans la section est la suivante :

- 7 couches dans l'épaisseur,
- 18 secteurs dans le sens circonférentiel.

2.2 Résultats de référence

Moment limite = $253.4 \cdot 10^3 \text{ N.m}$ pour une rotation autour de *z* de 0.22 rad au point *D*.

2.3 Incertitudes sur la solution

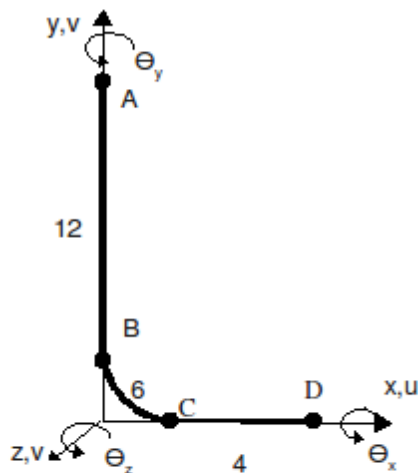
Inférieure à 2%

2.4 Références bibliographiques

[1] ABAQUS/ Standard Version 5.5 : Example Problems Manual Volume 2 , pp 4.2.2-1.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation TUYAU (SEG3)

Découpage pour l'intégration numérique

Nombre de couches : 7

Nombre de secteurs : 18

Conditions aux limites :

Point A :

degré de liberté de poutre

$$DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$$

degré de liberté de Coque :

$$U_{lm} = V_{lm} = W_{lm} = 0 \quad (m=2,3)$$

$$U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 \quad (m=2,3)$$

$$W_{l1} = W_{o1} = W_o = 0$$

Point D :

degré de liberté de coque :

$$U_{lm} = V_{lm} = W_{lm} = 0 \quad (m=2,3)$$

$$U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 \quad (m=2,3)$$

$$W_{l1} = W_{o1} = W_o = 0$$

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 45

Nombre de mailles et type : 22 SEG3

3.3 Grandeurs testées et résultats

DRZ	Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
0.32	ETA_PILOTAGE	18	1.0	1.1699	16.99
0.34	ETA_PILOTAGE	18.5	1.0	1.1787	17.87
0.36	ETA_PILOTAGE	19	1.0	1.1869	18.69
0.38	ETA_PILOTAGE	19.5	1.0	1.1946	19.46
0.40	ETA_PILOTAGE	20	1.0	1.2020	20.20

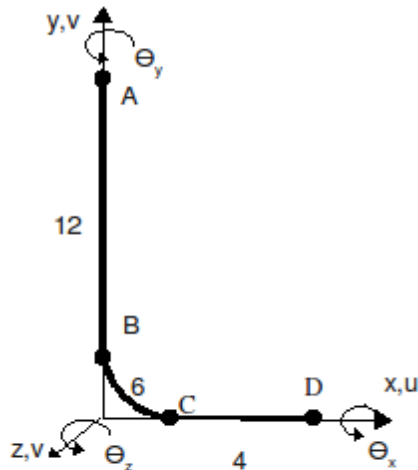
On teste également la distribution en volume de la composante SIXY (tests de non-régression) des champs SIEF_ELGA et SIGM_ELNO ainsi que le volume du tuyau.

3.4 Remarques

Lors de l'étape A, on impose progressivement la pression interne et l'effort dû à l'effet de fond sur l'intervalle de temps $0 < t < 10$. Ensuite (étape B), on impose progressivement le moment fléchissant sur l'intervalle de temps $10 < t < 20$. Pour résoudre, on impose lors de l'étape B un accroissement de rotation DRZ de 0.4 rad à la solution obtenue lors de l'étape A.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation TUYAU_6M (SEG3)

Découpage pour l'intégration numérique

Nombre de couches : 7

Nombre de secteurs : 18

Conditions aux limites :

Point *A* :

degré de liberté de poutre :

$$DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$$

degré de liberté de coque :

$$U_{lm} = V_{lm} = W_{lm} = 0 \quad (m=2,6)$$

$$U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 \quad (m=2,6)$$

$$W_{l1} = W_{o1} = W_{o} = 0$$

Point *D* :

degré de liberté de coque :

$$U_{lm} = V_{lm} = W_{lm} = 0 \quad (m=2,6)$$

$$U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 \quad (m=2,6)$$

$$W_{l1} = W_{o1} = W_{o} = 0$$

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 45

Nombre de mailles et type : 22 SEG3

4.3 Grandeurs testées et résultats

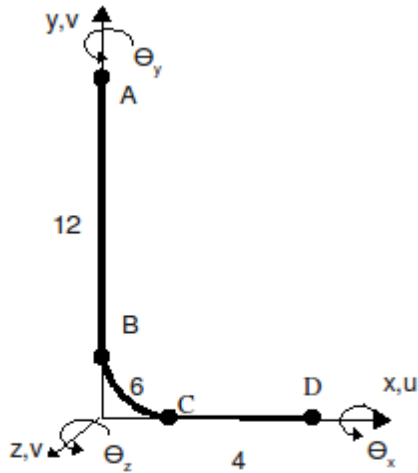
<i>DRZ</i>	Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
0.32	ETA_PILOTAGE	18	1.0	1.0296	2.96
0.34	ETA_PILOTAGE	18.5	1.0	1.0379	3.79
0.36	ETA_PILOTAGE	19	1.0	1.0456	4.56
0.38	ETA_PILOTAGE	19.5	1.0	1.0528	5.28
0.40	ETA_PILOTAGE	20	1.0	1.0597	5.97

4.4 Remarques

Lors de l'étape A, on impose progressivement la pression interne et l'effort dû à l'effet de fond sur l'intervalle de temps $0 < t < 10$. Ensuite (étape B), on impose progressivement le moment fléchissant sur l'intervalle de temps $10 < t < 20$. Pour résoudre, on impose lors de l'étape B un accroissement de rotation *DRZ* de 0.4 rad à la solution obtenue lors de l'étape A.

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation TUYAU (SEG4)

Découpage pour l'intégration numérique

Nombre de couches : 7

Nombre de secteurs : 18

Conditions aux limites :

Point A :

degré de liberté de Poutre :

$$DX = DY = DZ = DRX = DRY = DRZ = 0$$

degré de liberté de Coque :

$$U_{lm} = V_{lm} = W_{lm} = 0 \quad (m = 2, 6)$$

$$U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 \quad (m = 2, 6)$$

$$W_{l1} = W_{o1} = W_o = 0$$

Point D :

degré de liberté de Coque :

$$U_{lm} = V_{lm} = W_{lm} = 0 \quad (m = 2, 6)$$

$$U_{Om} = V_{Om} = W_{Om} = 0 \quad (m = 2, 6)$$

$$W_{l1} = W_{o1} = W_o = 0$$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 67

Nombre de mailles et type : 22 SEG4

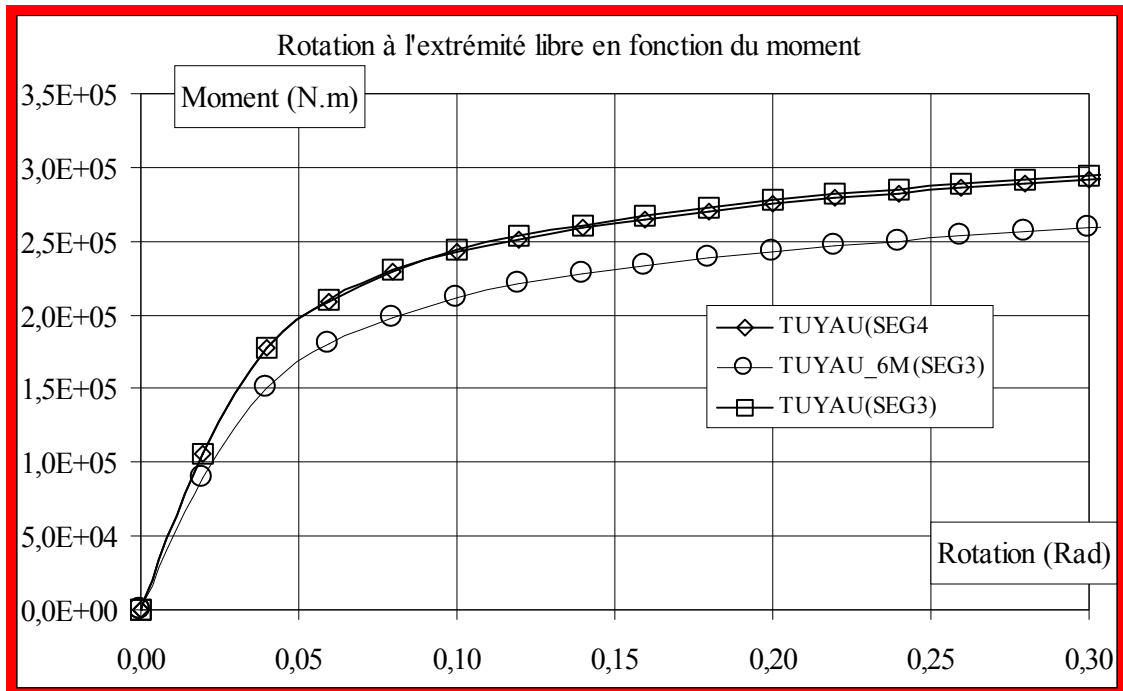
5.3 Grandeurs testées et résultats

DRZ	Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
0.32	ETA_PILOTAGE	18	1.0	1.1681	16.81
0.34	ETA_PILOTAGE	18.5	1.0	1.1678	16.78
0.36	ETA_PILOTAGE	19	1.0	1.1758	17.58
0.38	ETA_PILOTAGE	19.5	1.0	1.1834	18.34
0.40	ETA_PILOTAGE	20	1.0	1.1905	19.05

5.4 Remarques

Lors de l'étape A, on impose progressivement la pression interne et l'effort dû à l'effet de fond sur l'intervalle de temps $0 < t < 10$. Ensuite (étape B), on impose progressivement le moment fléchissant sur l'intervalle de temps $10 < t < 20$. Pour résoudre, on impose lors de l'étape B un accroissement de rotation DRZ de 0.4 rad à la solution obtenue lors de l'étape A.

6 Synthèse des résultats



Les résultats obtenus pour la modélisation TUYAU (SEG3 et SEG4) sont assez éloignés de la solution de référence, (erreur de 20%). Par contre, ils sont meilleurs pour la modélisation TUYAU_6M (erreur de 6%).

La déformation de la section transverse dans le coude est mieux représentée par la modélisation TUYAU_6M, mieux adaptée à la modélisation des tuyaux minces. Dans cette modélisation, les déplacements de la surface moyenne du tuyau sont décomposés en série de Fourier jusqu'à l'ordre 6, au lieu de 3 pour la modélisation TUYAU. La modélisation de référence utilise une décomposition en série de Fourier jusqu'à l'ordre 6.