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

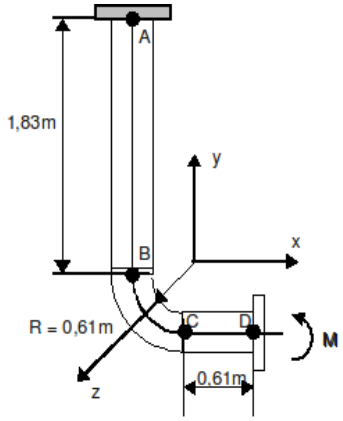
Résumé :
Ce test consiste à calculer la ruine élasto-plastique d'un tuyau coudé mince soumis à une flexion dans son plan et à une pression interne avec effet de fond. Il permet de valider la modélisation éléments finis TUYAU (SEG3 et SEG4) et TUYAU_6M (SEG3) dans le domaine quasi-statique en non-linéaire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

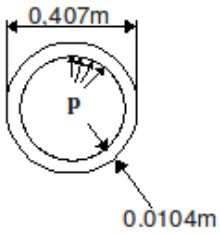
Les résultats obtenus sont comparés à une solution de référence numérique obtenue avec le code de calcul ABAQUS.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



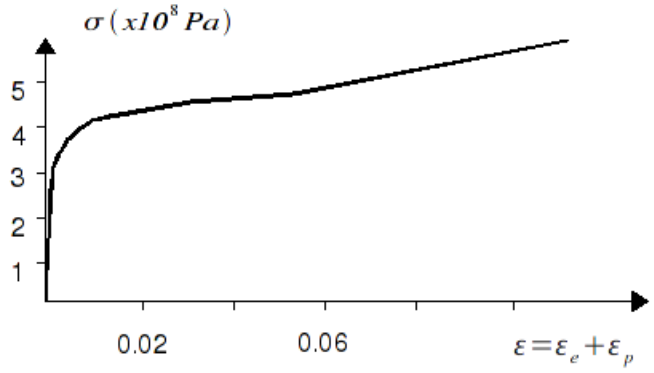


1.2 Propriétés du matériau

Les propriétés du matériau constituant le tuyau sont :

$E = 193.10^9\ Pa$ 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 $3.45\,10^6\ Pa$
    - La force (effet de fond) au point D varie de 0 à $4.0414\,10^5\ N$
    - le moment est nul
  - Étape B : $t_1 = t < t_2$
    - la pression est constante et vaut $3.45\,10^6\ Pa$
    - la force (effet de fond) au point D est constante et vaut $4.0414\,10^5\ N$
    - le moment varie de 0 à $2.534\,10^5\ N.m$

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 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 = $253.4\,10^3\,N.m$ pour une rotation autour de z de $0.22\,rad$ au point D.

2.3 Incertitudes sur la solution

Inférieure à 2%

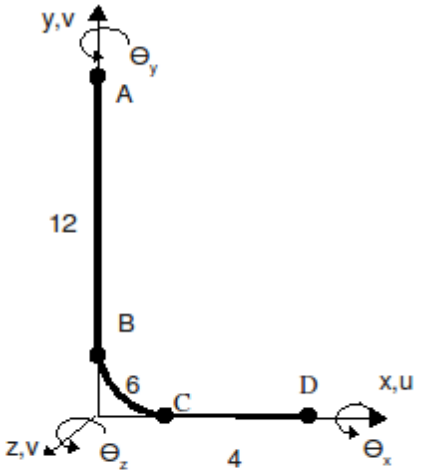
2.4 Références bibliographiques

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

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

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 :
$Ulm=Vlm=Wlm=0 \left(m=2,3\right)$
$UOm=VOm=WOm=0 \left(m=2,3\right)$
$Wl1=WO1=WO=0$
Point D :
degré de liberté de coque :
$Ulm=Vlm=Wlm=0 \left(m=2,3\right)$
$UOm=VOm=WOm=0 \left(m=2,3\right)$
$Wl1=WO1=WO=0$

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.

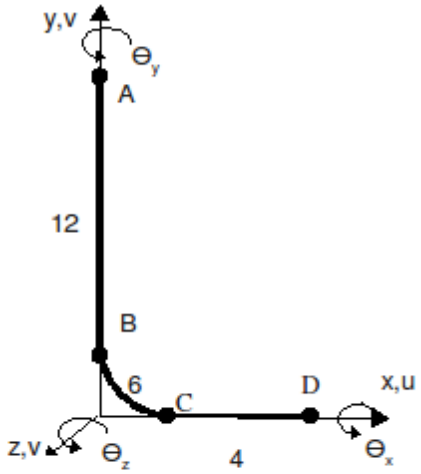
3.4 Remarques

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.

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

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 :
$Ulm=Vlm=Wlm=0\,(m=2,6)$
$UOm=VOm=WOm=0\,(m=2,6)$
$Wl1=WO1=WO=0$
Point D :
degré de liberté de coque :
$Ulm=Vlm=Wlm=0\,(m=2,6)$
$UOm=VOm=WOm=0\,(m=2,6)$
$Wl1=WO1=WO=0$

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 45
Nombre de mailles et type : 22 SEG3

4.3 Grandeurs testées et résultats

DRZ	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

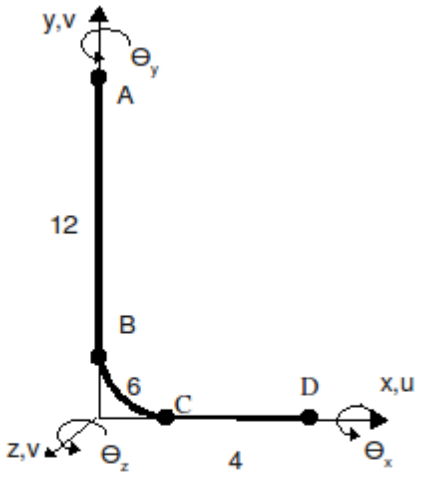
4.4 Remarques

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.

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

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 :
$Ulm = Vlm = Wlm = 0 \left(m = 2,6 \right)$
$UOm = VOm = WOm = 0 \left(m = 2,6 \right)$
$Wl1 = WO1 = WO = 0$
Point D :
degré de liberté de Coque :
$Ulm = Vlm = Wlm = 0 \left(m = 2,6 \right)$
$UOm = VOm = WOm = 0 \left(m = 2,6 \right)$
$Wl1 = WO1 = WO = 0$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 67
Nombre de mailles et type : 22 SEG4

5.3 Grandeurs testées et résultats

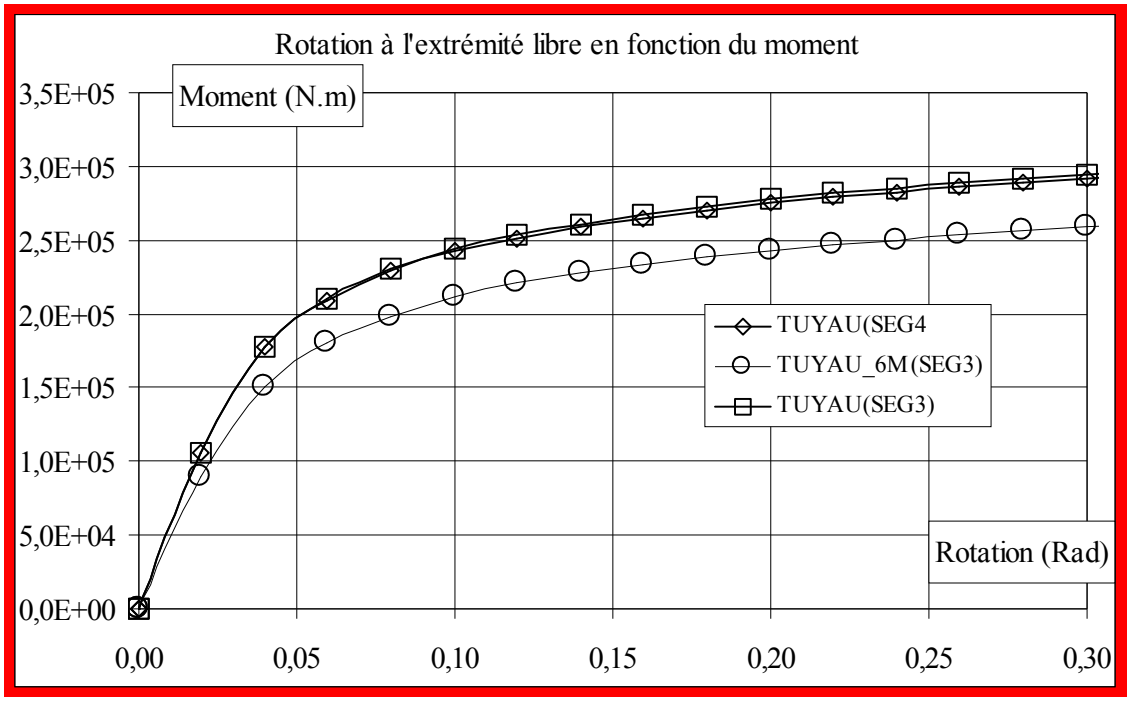
DRZ	Identification	Instants	Référence	*Aster*	% différence
0.32	ETA_PILOTAGE	18	1.0	1.1681	16.81
0.34	ETA_PILOTAGE	18.5	1.0	1.1678	16.78
0.36	ETA_PILOTAGE	19	1.0	1.1758	17.58
0.38	ETA_PILOTAGE	19.5	1.0	1.1834	18.34
0.40	ETA_PILOTAGE	20	1.0	1.1905	19.05

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.

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

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.

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