SSLX102 - Tuyauterie coudée en flexion

Résumé :

Ce test valide la modélisation des phénomènes d'ovalisation dans les tuyauteries : un coude, prolongé par des tuyaux droits est soumis à un moment de flexion. Celle-ci provoque dans le coude une ovalisation qui se propage et s'amortit dans les parties droites, et qui modifie la rigidité de l'ensemble de la tuyauterie. Pour vérifier l'exactitude des résultats, on teste la flexibilité de l'ensemble de la tuyauterie (valeur du déplacement à l'extrémité pour un moment imposé) et les éléments de coques DKT.
Le cas test comporte six modélisations :

- Pour la modélisation A, le coude est maillé en coques (modélisation DKT), la modélisation tuyau est utilisée pour les parties droites, la liaison est assurée par un raccord COQUE_TUYAU.

- Pour les modélisations B et C, la modélisation TUYAU est affectée à l'ensemble de la tuyauterie : TUYAU_3M pour B et TUYAU_6M pour C (M = modes de Fourier).

- Dans la modélisation D, la tuyauterie est maillée en coques (éléments COQUE_3D), les extrémités sont maillées en poutres pour appliquer les chargements.
- Modélisation E : La modélisation TUYAU (3 modes de Fourier) est affectée à l'ensemble de la tuyauterie.
- Pour la modélisation F, le coude est maillé en mailles volumiques, les parties droites en éléments TUYAU et la liaison est assurée par un raccord 3D_TUYAU.

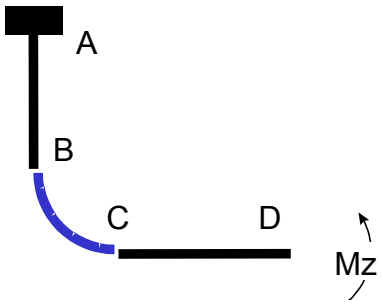
La modélisation A permet de valider la bonne transmission de l'ovalisation (mode 2) entre les éléments TUYAU, et valide le raccord COQUE_TUYAU, les deux modélisations B et C permettent de valider les éléments TUYAU (avec 3 et 6 modes de Fourier) en élasticité linéaire et la dernière modélisation permet de valider la bonne transmission de l'ovalisation (mode 2) entre les éléments TUYAU, et valide le raccord 3D_TUYAU.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Tuyauterie coudée dans le plan XY. Les parties droites ont pour longueur $L=1200\,mm$.
Le coude a pour rayon de courbure : $Rc=305\text{mm}$



La section tubulaire a pour rayon moyen $R=105.5\text{mm}$ et pour épaisseur $e=8.18\text{mm}$

1.2 Propriétés des matériaux

$E=200000\,MPa$
$\nu=0.3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Encastrement en A

2 cas de charge :

1) Moment MZ imposé en D : $MZ=17000\,Nm$ (flexion plane).
2) Flexion hors plan : moment My imposé en D
   $My=17000\,Nm$

1.4 Conditions initiales

Sans objet.

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

Comparaison à d'autres résultats numériques obtenus avec des maillages 3D ou coques (dans le cadre notamment de la Fiche tripartite 3455 du CEA, (voir références), et avec un calcul COQUE_3D assez fin (modélisation D).

2.2 Résultats de référence

Pour un moment appliqué MZ en D de $17000\,Nm$, le déplacement DY du même point D vaut :

Type de calcul	Dy **point** D **(** mm **)**
Calcul CEA (coques + Victus)	0.02
Calcul COQUE_3D	0.02012 (modélisation D)

Nous choisissons pour référence la valeur $Dy = 0.02\,mm$.

Pour la flexion hors plan, la valeur de référence (calcul COQUE_3D fin) vaut $-1.5657\,10^{-2}\,mm$.

2.3 Précision sur les résultats de référence

Du fait que la solution de référence est numérique, on peut évaluer la précision d'après [§2.2] à 2%.

2.4 Références bibliographique

1) M.N. BERTON : « Calculs élastoplastiques de tuyauteries avec CASTEM 2000. Formulation VICTUS. Synthèse de la fiche 3455 ». Note CEA/LDM 96/6036

2) J.M. PROIX, A. BEN HAJ YEDDER : « Projet CACIP : étude d'une tuyauterie coudée en flexion ». Note EDF/DER HI-75/98/001/0

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Le coude est maillé en coques (mailles QUAD4, modélisation DKT). Toutes les parties droites sont maillées en éléments tuyaux (mailles SEG3, modélisation TUYAU).

3.2 Caractéristiques du maillage

320 mailles QUAD4
8 mailles SEG3
32 mailles SEG2 (bords de coques).

3.3 Valeurs testées

Cas de charge	Déplacement du point D	Référence	*Aster*	% diff
$Mz = 17000\,Nm$	$DY\,(mm)$	0.02	0.01941	3.0
$My = 17000\,Nm$	$DZ\,(mm)$	–0.015657	–0.0157	0.3

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

L'ensemble de la tuyauterie est maillé avec des éléments TUYAU, droits ou coudés.

4.2 Caractéristiques du maillage

86 mailles SEG3

4.3 Valeurs testées

Cas de charge	Déplacement du point D	Référence	*Aster*	% diff
$Mz = 17000\,Nm$	$DY\,(mm)$	0.02	0.0186	6.8
$My = 17000\,Nm$	$DZ\,(mm)$	–0.015657	–0.0154	1.9

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Toute la tuyauterie est modélisée en TUYAU_6M (6 modes de Fourier).

5.2 Caractéristiques du maillage

86 mailles SEG3

5.3 Valeurs testées

Cas de charge	Déplacement du point D	Référence	*Aster*	% diff
$Mz = 17000\,Nm$	$DY(mm)$	0.02	0.0199	0.01
$My = 17000\,Nm$	$DZ(mm)$	–0.015657	–0.01598	2

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

- La tuyauterie est maillée en coques (éléments coques 3D).
- Les extrémités sont maillées en poutres (POU_D_T) pour pouvoir appliquer facilement les conditions aux limites.
- Cette modélisation constitue une solution de référence pour les modélisations A, B et C en particulier pour la flexion hors plan où l'on ne dispose pas de résultats publiés.

6.2 Caractéristiques du maillage

680 mailles QUAD8
2 mailles SEG2

6.3 Valeurs testées

Cas de charge	Déplacement du point D	Référence	*Aster*	% diff
$Mz = 17000\,Nm$	$DY\,(mm)$	0.02	0.0192	0.6
$My = 17000\,Nm$	$DZ\,(mm)$	–0.015657	–0.015601	0.4

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

L'ensemble de la tuyauterie est maillé avec des éléments TUYAU, droits ou coudés, s'appuyant sur des mailles à 4 nœuds.

7.2 Caractéristiques du maillage

18 mailles SEG4 (10 dans le coude, 4 dans chaque partie droite).

7.3 Valeurs testées

Cas de charge	Déplacement du point D	Référence (mod B)	*Aster*	% diff
$Mz = 17000\,Nm$	$DY\,(mm)$	0.0186	0.01854	0.4
$My = 17000\,Nm$	$DZ\,(mm)$	–0.0154	–0.0153	0.2

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Les deux parties droites de la tuyauterie sont maillées avec des éléments TUYAU coudés, s'appuyant sur des mailles à 3 nœuds. Le coude est maillé avec des mailles volumiques HEXA20.

Cette modélisation permet donc de valider la bonne transmission de l'ovalisation (mode 2) entre les éléments TUYAU sur les parties droites et le coude en 3D, et valide le raccord 3D_TUYAU.

8.2 Caractéristiques du maillage

234 mailles SEG3.
512 mailles HEXA20.

8.3 Valeurs testées

Cas de charge	Déplacement du point D	Référence	*Aster*	% diff
$Mz = 17000\,Nm$	$DY\,(mm)$	0.0200	0.01922	4.4
$My = 17000\,Nm$	$DZ\,(mm)$	–0.015657	–0.01561	0.0

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

9 Synthèse des résultats

Ce test n'ayant pas des solutions de référence analytiques, mais numériques, les écarts constatés (inférieurs à 2% hormis une valeur) peuvent être considérés comme raisonnables.

Plus précisément, pour la modélisation A (coude maillé en coques DKT et poutres droites en TUYAU) on peut estimer que la solution obtenue (2.7% d'écart en flexion plane, et 0.4% en flexion hors plan, par rapport à la référence : maillage tout en coques de la modélisation D) permet de valider le bon fonctionnement du raccordement coque_tuyau.

Pour la modélisation B (éléments TUYAU, 3 modes de Fourier), l'écart important sur la flexion plane (6.8%) est dû au fait que la tuyauterie est relativement mince, donc que l'ovalisation dans le coude fait apparaître des modes de Fourier d'ordre supérieur à 3.

De fait, la modélisation C (TUYAU, 6 modes de Fourier) est très proche de la référence (0.01% en flexion plane, et 2% en flexion hors plan). L'élément tuyau est donc validé en élasticité pour ces chargements, par rapport à une solution en coques (modélisation D).

La modélisation E (éléments TUYAU à 4 nœuds) donne des résultats identiques à la modélisation B, pour un coût de calcul plus faible dû à un maillage moins fin.

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