

Manuel de Validation**Fascicule V6.02 : Statique non linéaire des structures linéiques****Document : V6.02.117**

SSNL117 - Coude en flexion en élastoplasticité

Résumé :

Ce test valide la modélisation des phénomènes d'ovalisation dans les tuyauteries dans le domaine élastoplastique avec les éléments TUYAU : un coude, prolongé par des tuyaux droits est soumis à une flexion dans son plan. La tuyauterie est épaisse (de dimensions semblables aux coudes des circuits primaires). La solution de référence est numérique : elle est obtenue avec le *Code_Aster* à l'aide d'un maillage 3D du coude.

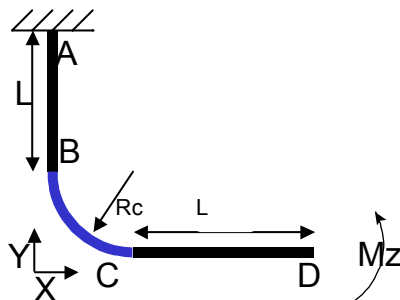
Les deux modélisations permettent de valider les éléments TUYAU (avec des éléments droits et coudés à 3 noeuds pour la modélisation A et des éléments droits et coudés à 4 noeuds pour la modélisation B) en élastoplasticité.

Dans la modélisation B, un terme de rotation « globale », développé par EDF, CEA et FRAMATOME [bib2], pour les tuyauteries sous séisme, est introduit par l'intermédiaire d'une macro-commande Python.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Tuyauterie coudée dans le plan XY. Les parties droites ont pour longueur $L = 1 \text{ m}$.
Le coude a pour rayon de courbure : $R_c = 1.25 \text{ m}$



La section tubulaire a pour rayon moyen $R = 395.5 \text{ mm}$ et pour épaisseur $e = 77 \text{ mm}$.

1.2 Propriétés des matériaux

Le matériau est élastoplastique avec écrouissage linéaire isotrope.

$E = 2.E11 \text{ Pa}$

$\nu = 0.3$

Limite d'élasticité $SIGY = 200.10^6 \text{ Pa}$

Module d'écrouissage $D_SIGM_EPSI = 2.10^{10} \text{ Pa}$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Encastrement en A (DDL de poutre bloqués, mais DDL d'ovalisation libres).

Moment M_z imposé en D croissant :

Incrément 1 $M_z = 3086702.1520853 \text{ Nm}$

10 incréments égaux jusqu'à :

Incrément 11 $M_z = 7091146.5935484 \text{ Nm}$

1.4 Conditions initiales

Sans objet.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Comparaison à d'autres résultats numériques obtenus avec le *Code_Aster* (version 4.3 [bib1]) avec un maillage 3D du coude et des parties droites, reliées aux extrémités à des poutres droites. Ce maillage 3D comporte 1024 mailles HEXA20. Une modélisation du coude en éléments COQUE_3D a donné des résultats comparables au calcul 3D (voir [§2.2]).

2.2 Résultats de référence

Pour un moment appliqué M_z en D, le déplacement DY du même point D vaut [bib1] :

Moment	Dy point D (m) (3D)	Dy point D (m) (COQUE_3D)
0.	0.	0.
3.08670D+06	1.09349D-02	1.08875D-02
3.48715D+06	1.23536D-02	
3.88759D+06	1.37891D-02	1.37381D-02
4.28804D+06	1.52727D-02	
4.68848D+06	1.68128D-02	
5.08892D+06	1.84085D-02	
5.48937D+06	2.01272D-02	
5.88981D+06	2.20836D-02	
6.29026D+06	2.43502D-02	
6.69070D+06	2.70438D-02	
7.09115D+06	3.04756D-02	

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% par comparaison des solutions 3D et COQUE_3D.

2.4 Références bibliographique

- [1] J.M. PROIX, A. BEN HAJ YEDDER : « Projet CACIP : étude d'une tuyauterie coudée en flexion ». Note EDF/DER HI-75/98/001/0
- [2] C. BARATTE (SEPTEN), MN. BERTON, N. BLAY (CEA), F. LE BRETON (FRAMATOME-ANP) : « Projet de nouvelle codification des critères de dimensionnement sismique des tuyauteries ». Note EDF/SEPTEN E-N-ES-MS/01-01004-A.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La structure est maillée en éléments tuyaux (mailles SEG3, modélisation TUYAU).

3.2 Caractéristiques du maillage

20 mailles SEG3 (Le maillage est régulier : 10 éléments dans le coude, 5 dans chaque tuyau droit)

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE		MODELISATION	TUYAU
STAT_NON_LINE		TUYAU_NCOU	
AFFE_CARA_ELEM	ORIENTATION	CARA	GENE_TUYAU
STAT_NON_LINE		TUYAU_NSEC	

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Incrément de charge	DY du point D	Référence	Aster	% diff
1 : Mz =3.08670D+06Nm	DY (m)	1.09349D-02	1.118834D-02	2.3
8 : Mz =5.88981D+06Nm	DY (m)	2.20836D-02	2.269183D-02	2.75

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La structure est maillée en éléments tuyaux à 4 nœuds (mailles SEG4, modélisation TUYAU).

5.2 Caractéristiques du maillage

11 mailles SEG4 (5 éléments dans le coude, 3 dans chaque tuyau droit)

5.3 Calcul du terme de Rotation « Globale »

Ce terme de rotation « globale » a été développé dans le cadre d'une action tripartite EDF-CEA-FRAMATOME [bib2], en vue d'une intégration future dans le code de dimensionnement RCC-M.

Il s'exprime à partir des rotations de deux points représentatifs du coude (entrée et sortie), par :

$$R_G = \sqrt{\Delta R_x^2 + \Delta R_y^2 + \Delta R_z^2}$$

où

$$\Delta R_x = DRX_{sortiecoude} - DRX_{entréecoude}$$

$$\Delta R_y = DRY_{sortiecoude} - DRY_{entréecoude}$$

$$\Delta R_z = DRZ_{sortiecoude} - DRZ_{entréecoude}$$

Ce terme est calculé par la macro-commande Python MACR_ROTATION_GLOBALE qui est intégrée dans le corps du fichier de commande. Le résultat de cette macro-commande est une fonction Aster de la rotation globale en fonction de l'instant. Un test de non-régression vient valider cette fonction.

5.4 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE		MODELISATION	TUYAU
STAT_NON_LINE		TUYAU_NCOU	
AFFE_CARA_ELEM	ORIENTATION	CARA	GENE_TUYAU
STAT_NON_LINE		TUYAU_NSEC	
CALC_ELEM	EQUI_ELGA_SIGM		
	EQUI_ELGA_EPSI		
CALC_ELEM	VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	VMIS
MACR_ROTATION_GLOBALE			

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Incrément de charge	DY du point D	Référence	Aster	% diff
1 : Mz =3.08670D+06Nm	DY (m)	1.09349D-02	1.097089D-02	0.3
8 : Mz =5.88981D+06Nm	DY (m)	2.20836D-02	2.185D-02	1.1

Test de non-régression pour la rotation globale :

Instant	Aster
5.88981E+06	9.26451E-03

Tests de non régression pour les options de CALC_ELEM :

Option	Composante	Maille	Point	Sous-point	Numéro d'ordre	Aster
EQUI_ELGA_SIGM	VMIS	M1	2	61	1	4.675554583E+07
EQUI_ELGA_SIGM	VMIS	M1	3	55	3	5.608141169E+07
EQUI_ELGA_EPSI	INVA_2	M1	1	77	4	2.590281477E-04
EQUI_ELGA_EPSI	INVA_2	M1	1	8	5	1.769279362E-04

Option	Champ	Composante	Maille	Point	Numéro d'ordre	Aster
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	MAX	M1	1	1	8.84099E+07
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	MIN	M1	1		5.88318E+06
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NCOUMAX	M2	2	1	1.00000E+00
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NCOUMIN	M3	3	1	1.00000E+00
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NSECMAX	M4	1	1	1.20000E+01
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NSECMIN	M5	2	1	1.60000E+01
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NPCOUMAX	M6	3	1	1.00000E+00
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NPCOUMIN	M7	1	1	2.00000E+00
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NPSECMAX	M8	2	1	3.00000E+00
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	NPSECMIN	M9	3	1	3.00000E+00
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	MAX	M1	2	4	1.27695E+08
VALE_NCOU_MAXI	EQUI_ELGA_SIGM	MIN	M5	3	5	2.20755E+07

7 Synthèse des résultats

La solution de référence n'étant pas analytique, mais numérique (obtenue par une modélisation 3D), les écarts constatés (de 1% à 3%) peuvent être considérés comme raisonnables. Pour obtenir une meilleure correspondance des solutions 3D et TUYAU, il conviendrait de modéliser les parties droites sur une plus grande longueur, et d'adopter un maillage plus fin pour chacune des modélisations. Ceci n'a pas été fait dans le cadre de ce test, pour garder des temps d'exécution raisonnables.