

SSL100 - Structure symétrique de poutres avec un coude

Résumé :

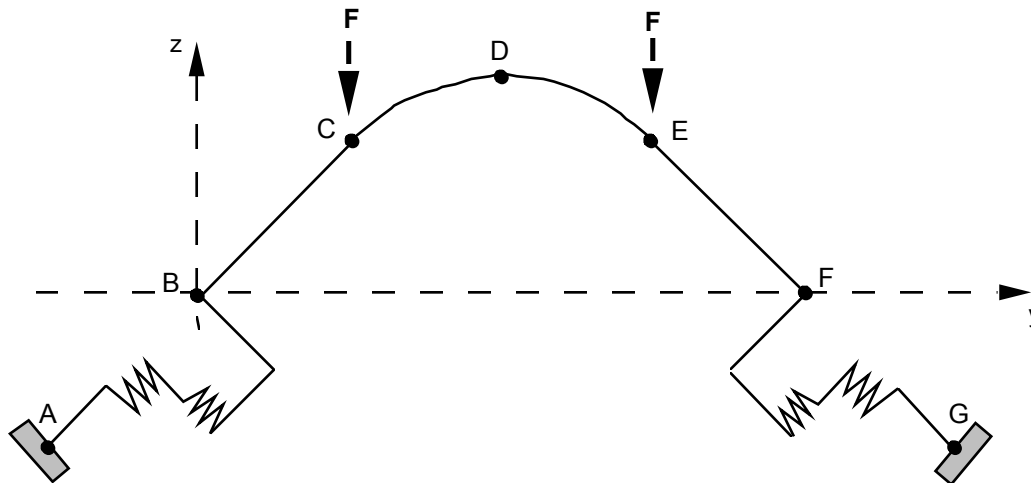
Ce test en statique, élasticité linéaire permet de valider les éléments de poutre droits et courbes en flexion plane, ainsi que les éléments discrets. Quatre chargements sont définis, dont certains en repère local.

Deux modélisations permettent de tester d'une part les éléments droits (le coude est modélisé à l'aide de 20 éléments droits) et d'autre part les éléments droits et courbes.

La solution de référence est issue du dossier de validation du code POUX (sauf pour le cas de chargement 5 où il s'agit de non-régression). Les résultats obtenus avec *Code_Aster* sont très proches (écart inférieur à 2.10^{-4} pour la modélisation de l'arc de cercle avec `POU_C_T`, écart un peu supérieur (3%) pour celle avec `POU_D_T`, ce qui est dû à une discrétisation trop grossière).

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Structure plane symétrique par rapport à la droite $y=4$.

Poutres de section	circulaire	diamètre extérieur	$de = 0.04\text{ m}$
		diamètre intérieur	$di = 0.01\text{ m}$
Coude	de centre	($y = 4 \quad z = 0$)	et de rayon = $2\sqrt{2}\text{ m}$
Liaison nœud-nœud		$Kx \equiv Kz = 10^5\text{ N/m}$	dans le repère local

Coordonnées des points (en m) :

	A	B	C	D	E	F	G
x	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
y	-2.	0.	2.	4.	6.	8.	10.
z	-2.	0.	2.	$2\sqrt{2}$	2.	0.	-2.

1.2 Propriétés de matériaux

Module d'Young: $E=2.1 \cdot 10^{11} Pa$

Coefficient de Poisson: $\nu=0.3$

Masse volumique: $\rho = 7800. kg/m^3$

Coefficient de dilatation thermique: $\alpha = 10^{-6} m/^{\circ}C$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Points A et G encastres ($v=w=0$) (sauf pour le cas de charge 2)

Chargement :

- 1) charge concentrée en C et E
- 2) déplacement imposé en A et G
- 3) dilatation thermique à $t = 100^\circ C$
- 4) poids propre
- 5) matériau dépendant de T

$$F = 1000 \text{ N}$$

$$Dx = \sqrt{2} \text{ en repère local des mailles } AB \text{ et } GF$$

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est celle donnée dans la fiche de validation STA.MPACO/B du code POUX de EDF R&D [bib1], sauf pour le cas de chargement 5 où il s'agit de non-régression.

2.2 Résultats de référence

Déplacements des points B , C et D .

2.3 Incertitude sur la solution

- modélisation A : $< 10^{-3}$ (élément fini fournissant des valeurs exactes aux nœuds),
- modélisation B : quelques % (solution numérique fonction de la discrétisation).

2.4 Références bibliographiques

- 1.Code de calcul de structures de poutre POUX. Fiche de validation du module EFPOU MPACO/B - Direction des Etudes et Recherches E.D.F (1988)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

6 mailles SEG2 : 2 mailles *CD* , *CE* poutre courbe POU_C_T
 2 mailles *BC* , *EF* poutre droite POU_D_T
 2 mailles *AB* , *FG* élément de liaison DIS_T

Conditions limites :

```
DDL_IMPO=_F(GROUP_NO=Poutre,            DX= 0.,   DRY= 0.,   DRZ= 0. )  
          _F(NOEUD=('A', 'G'),            DX= 0.,   DY= 0. ,   DZ= 0. )
```

cas de charge 1

```
FORCE_NODALE=_F(NOEUD=('C','E'), FZ = -1000.0)
```

cas de charge 2 (uniquement)

```
(NOEUD='A',                    DX= 0.,   DY= 1.,   DZ= 1. )  
(NOEUD='G',                    DX= 0.,   DY=-1.,   DZ= 1. )
```

cas de charge 3 : Chargement en température via la commande AFTE_MATERIAU

```
AFTE_VARC=_F(NOM_VARC='TEMP', VALE_REF=0., EVOL=TEMP,  
              TOUT='OUI', NOM_CHAM='TEMP',),)
```

cas de charge 4

```
PESANTEUR=_F(GRAVITE=9.81,  
              DIRECTION=(0.,0.,-1.))
```

cas de charge 5 : Cas de charge 1 + chargement thermique dépendant du temps + dépendance du matériau à la température

```
T('INST','X','Y','Z')=2.*INST*(3.+(4.*Y*Z) + (5.*Y*Y) + (5.*Z*Z))  
T('INST'=2)=500  
T('INST'=3)=1000
```

 $\alpha = 0 \text{ m/}^\circ\text{C}$ $E(T) = (1.910\text{E} + 4 * T * T) + (9.045\text{E} + 7 * T) + 1.80005\text{E} + 11$ $\nu(T) = (-2.0\text{E} - 8 * T * T) + (7.044\text{E} - 5 * T) + 0.2996$ Nom des nœuds : *A* , *B* , *C* , *D* , *E* , *F*Nom des mailles : *AB* , *BC* , *CD* , *DE* , *EF* , *FG*

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 7

Nombre de mailles et types : 6 SEG2

3.3 Grandeurs testées et résultats

Cas	Point	déplacement (m)	Référence	Aster	%diff	tolérance
1 Forces nodales	<i>B</i>	v_B	-8.120E-3	-8.1201E-3	0.00	1.E-3
		w_B	-1.000E-2	-1.0000E-2	0.00	
	<i>C</i>	v_C	7.389E-3	7.3895E-3	0.00	
	<i>D</i>	w_D	-2.553E-2	-2.5530E-2	0.00	
2 Déplacement imposé	<i>B</i>	v_B	9.858E-1	9.8585E-1	0.00	1.E-3
		w_B	1.000	1.0000	0.00	-
	<i>C</i>	v_C	1.738E-1	1.7382E-1	0.01	-
	<i>D</i>	w_D	1.812	1.8120	0.00	-
3 Dilatation	<i>B</i>	v_B	-5.660E-6	-5.6597E-6	0.01	1.E-3
		w_B				
	<i>C</i>	v_C	-1.305E-4	-1.3047E-4	0.02	
	<i>D</i>	w_D	5.248E-4	5.2480E-4	0.00	
4 Pesanteur	<i>B</i>	v_B	-3.111E-3	-3.1107E-3	0.01	1.E-3
		w_B	-4.552E-3	-4.5522E-3	0.00	
	<i>C</i>	v_C	1.180E-3	1.1802E-3	0.02	
	<i>D</i>	w_D	-8.850E-3	-8.8504E-3	0.00	
5 Fonction de T INST=1	<i>B</i>	v_B	-8.12266E-03	-8.12368E-03	0.013	1.E-3
		w_B	-0.0100	-0.0100	0.00	
	<i>C</i>	v_C	9.1571E-03	9.15710E-03	0.00	
		w_C	-0.027304	-0.027304	0.00	
	<i>E</i>	v_E	-5.64313E-03	-5.643138E-03	0.00	
		w_E	-0.023785	-0.023785	0.00	
	<i>F</i>	v_F	8.12266E-03	8.123686	0.013	
		w_F	-0.0100	-0.0100	0.00	
5 Fonction de T INST=2	<i>B</i>	v_B	-8.10916E-03	-8.10916E-03	0.00	1.E-3
		w_B	-0.0100	-0.0100	0.00	
	<i>C</i>	v_C	6.62445E-03	6.6241987E-03	0.004	
		w_C	-0.0247525	-0.0247522	0.00	
	<i>E</i>	v_E	-6.62445E-03	-6.6242806E-03	0.003	
		w_E	-0.0247525	-0.0247523	0.00	
	<i>F</i>	v_F	8.10916E-03	8.10916E-03	0.00	
		w_F	-0.0100	-0.0100	0.00	

5 Fonction de T INST=3	<i>B</i>	v_B	-8.07655E-03	-8.076795E-03	0.003	1.E-3
		w_B	-0.0100	-0.0100	0.00	
	<i>C</i>	v_C	4.96385E-03	4.973485E-03	0.19	0.21E-2
		w_C	-0.0230554	-0.0230652	0.00	1.E-3
	<i>E</i>	v_E	-4.96385E-03	-4.973567E-03	0.2	0.21E-2
		w_E	-0.0230554	-0.0230653	0.043	1.E-3
	<i>F</i>	v_F	8.07655E-03	8.0767953E-03	0.003	
		w_F	-0.01000	-0.01000	0.00	

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

L'arc de poutre a été modélisé en une ligne polygonale de 2×20 SEG2.

Conditions limites :

```
DDL_IMPO= _F(GROUP_NO='Npoutre', DX= 0.0, DRY= 0.0, DRZ= 0.)
          _F(NOEUD=('A', 'G'), DX= 0.0, DY= 0.0, DZ= 0.)
```

sauf pour cas de charge 2

```
(NOEUD='A', DX= 0.0, DY= 1.0, DZ= 1.0)
(NOEUD='G', DX= 0.0, DY=-1.0, DZ= 1.0)
```

cas de charge 1

```
FORCE_NODALE= _F(NOEUD=('C', 'D'), Fz = -1000.0)
```

cas de charge 3 : Chargement en température via la commande AFPE MATERIAU

```
AFPE_VARC= _F(NOM_VARC='TEMP', VALE_REF=0., EVOL=TEMP,
              TOUT='OUI', NOM_CHAM='TEMP',),)
```

cas de charge 4

```
PESANTEUR= _F(GRAVITE=9.81,
              DIRECTION=(0., 0., -1.))
```

Nom des nœuds : A, B, C, D, E, F

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 45

Nombre de mailles et types : 44 SEG2

4.3 Grandeurs testées et résultats

Cas	Point	déplacement (m)	Référence	Aster	%diff	tolérance
1	B	v_B	-8.120E-3	-8.1209E-3	0.01	1.E-3
		w_B	-1.000E-2	-1.0000E-2	0.00	
	C	v_C	7.389E-3	7.3863E-3	-0.04	
		w_D	-2.553E-2	-2.5528E-2	-0.01	
2	B	v_B	9.858E-1	9.8585E-1	-0.00	1.E-3
		w_B	1.000	1.0000	-0.00	
	C	v_C	1.738E-1	1.7374E-1	-0.04	
		w_D	1.812	1.8121	0.	
3	B	v_B	-5.660E-6	-5.6612E-6	0.02	1.E-3
		w_B				

Dilatation	<i>C</i>	v_C	-1.305E-4	-1.3051E-4	0.01	
	<i>D</i>	w_D	5.248E-4	5.2484E-4	0.01	
4	<i>B</i>	v_B	-3.111E-3	-3.1145E-3	0.11	5.E-3
		w_B	-4.552E-3	-4.5521E-3	0.00	
Pesanteur	<i>C</i>	v_C	1.180E-3	1.1409E-3	-3.31	5.E-2
	<i>D</i>	w_D	-8.850E-3	-8.8148E-3	-0.40	5.E-3

4.4 Remarques

La modélisation du coude par des éléments droits nécessite un maillage très fin, pour une précision suffisante (notamment pour un chargement réparti).

5 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus avec *Code_Aster* coïncident bien avec ceux du code POUX (solution de référence) notamment pour la modélisation A (POU_C_T).

Pour la modélisation *B*, ils sont très proches également ($< 4,0 \cdot 10^{-4}$) sauf pour le cas de charge de pesanteur (3 % d'écart au maximum) à cause de la dépendance de la solution à la finesse de discrétisation.

Ce test valide donc l'élément POU_C_T.