

Manuel de Validation**Fascicule V3.01 : Statique linéaire des structures linéiques****Document : V3.01.107**

SLL107 - Validation de MACRO_CARA_POUTRE

Résumé :

L'ensemble des modélisations de ce test permettent de valider la macro_commande de calcul des caractéristiques de section de poutre, MACRO_CARA_POUTRE, pour toutes les options proposées. Les sections étudiées sont différentes suivant les modélisations.

- La modélisation A valide le calcul des caractéristiques d'une section de type cornière.
- La modélisation B valide le calcul des caractéristiques d'une section circulaire.
- La modélisation C valide le calcul des caractéristiques d'une section rectangulaire.
- La modélisation D valide le calcul des caractéristiques d'une section rectangulaire alvéolée.
- La modélisation E valide le calcul des caractéristiques d'une section octogonale.
- La modélisation F valide le calcul des caractéristiques d'une section circulaire avec un enchaînement sur un calcul de poutre.
- La modélisation G valide le calcul d'un réseau de 2 poutres de section rectangulaires.
- La modélisation H valide le calcul des caractéristiques d'une section mince en U.
- La modélisation I valide le calcul de la constante de torsion pour une section trouée.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La géométrie des différentes sections est fournie via un maillage plan. Elle sont différentes pour chaque modélisation, et seront donc décrites dans les paragraphes correspondants.

La modélisation G met également en œuvre le calcul chaîné des caractéristiques d'une section circulaire, et l'utilisation de ces caractéristiques dans un calcul d'une poutre droite, de longueur $L=1\text{m}$, en traction pure.

1.2 Propriétés de matériaux

Sans objet, sauf pour la modélisation G, où la poutre traitée a un module d'Young de $2.E11\text{Pa}$ et un coefficient de Poisson de 0.3.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Sans objet, sauf pour la modélisation G : la poutre droite est encastree à une extrémité, et soumise à l'autre extrémité à un effort de traction $F=1000\text{N}$.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Etant donné que les solutions sont spécifiques à chaque modélisation, elles sont décrites dans les paragraphes correspondants. Elles sont tirées principalement de [bib1] et [bib2] ;

2.2 Résultats de référence

On décrit ici les caractéristiques calculées par MACRO_CARA_POUTRE [R3.08.03] :

- Caractéristiques géométrique des sections
- 1) Dans le repère OXY de description du maillage 2D pour le maillage fourni par l'utilisateur
 - aire : AIRE_M
 - position du centre de gravité : CDG_X_M, CDG_Y_M
 - moments et produit d'inertie d'aire, au centre de gravité G dans le repère GXY : IX_G_M, IY_G_M, IXY_G_M
- 2) Dans le même repère global, pour le maillage obtenu par symétrisation si SYME_X ou SYME_Y :
 - aire : AIRE
 - position du centre de gravité : CDG_X, CDG_Y
 - moments et produit d'inertie d'aire, au centre de gravité G dans le repère GXY : IX_G, IY_G, IXY_G
- 3) Dans le repère principal d'inertie GYZ. de la section droite, dont la dénomination correspond à celle utilisée à la description des éléments de poutre de fibre neutre GX [U4.24.01].
 - moments d'inertie d'aire principaux dans le repère GYZ, utilisables pour le calcul de la rigidité de flexion de la poutre : IY_PRIN_G et IZ_PRIN_G
 - angle de passage du repère GXY au repère principal d'inertie GYZ : ALPHA
 - distances caractéristiques, par rapport au centre de gravité G de la section pour les calculs de contraintes maximales : Y_MAX, Y_MIN, Z_MAX, Z_MIN et R_MAX.
- 4) Dans le repère global, en un point P fourni par l'utilisateur :
 - X_P Y_P : point de calcul des moments d'inertie
 - IX_P IY_P IXY_P : moments d'inertie dans le repère PXY
 - IY_PRIN_P IZ_PRIN_P : moments d'inertie dans le repère PYZ.
- Caractéristiques mécaniques :

Identification	Signification
CT	Constante de torsion
EY	Position du centre de torsion / cisaillement
EZ	Position du centre de torsion / cisaillement
PCTX	
PCTY	
AX	Coefficient de cisaillement
AY	Coefficient de cisaillement
JG	Constante de gauchissement

2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

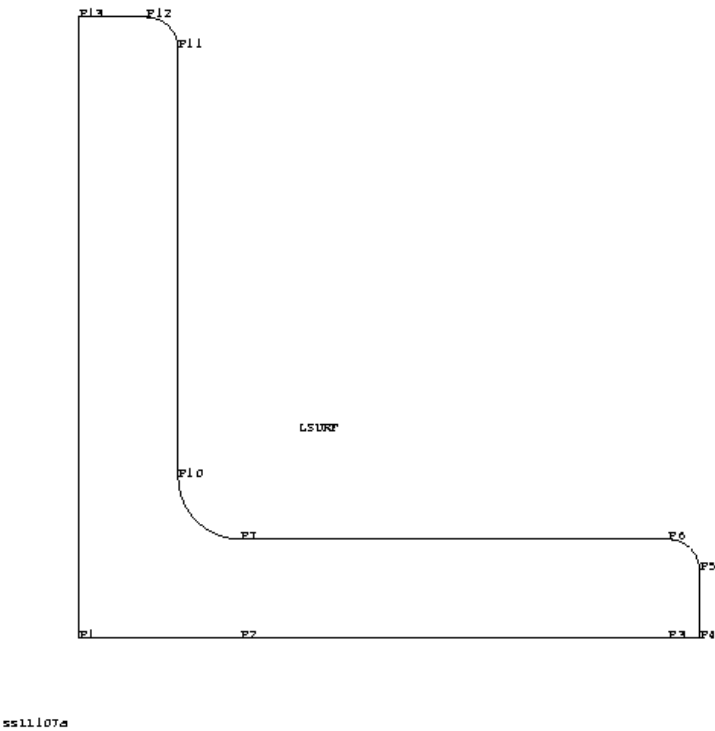
2.4 Références bibliographiques

- [1] PILKEY W.D. : « Formulas for stress, Strain and Structural Matrices ». Wiley & Cons, New York, 1994.
- [2] D. BLEVINS : Formulas for natural frequency and mode shape.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Section cornière :

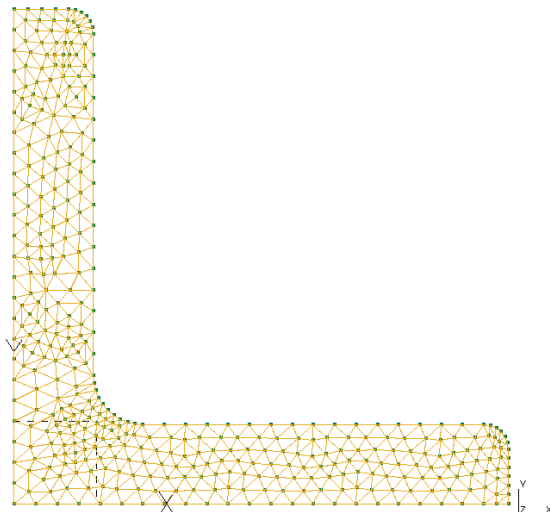


Les coordonnées des points sont :

P1	0.0	0.0
P2	1.3E-02	0.0
P3	4.75E-02	0.0
P4	5.0E-02	0.0E+00
P5	5.0E-02	5.5E-03
P6	4.750E-02	8.0E-03
P7	1.30E-02	8.0E-03
P8	9.4645E-03	9.4645E-03
P9	4.750E-02	5.500E-03
P10	8.0E-03	1.300E-02
P11	8.0E-03	4.75E-02
P12	5.5E-03	5.0E-02
P13	0.	5.0E-02
P14	5.5E-03	4.75E-02

3.2 Caractéristiques du maillage

182 mailles TRIA6.



3.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MACRO_CARA_POUTRE GROUP_MA_BORD

3.4 Solution de référence

Pas de solution analytique exacte. Les valeurs sont des valeurs de non régression.

4 Résultats de la modélisation A

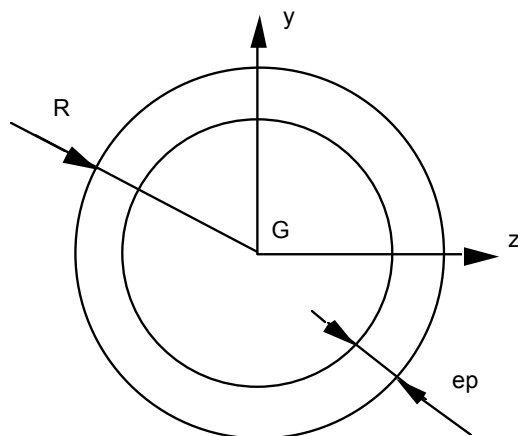
4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE	7.39E-04	7.39E-04	-0.043
ALPHA	1.35E+02	1.35E+02	0
CDG_X	1.53E-02	1.53E-02	0.131
CDG_Y	1.53E-02	1.53E-02	0.131
CT	1.43E-08	1.60E-08	11.0
EY	0.00E+00	7.13E-08	0
EZ	-1.60E-02	-1.51E-02	0.001
IX_G	1.64E-07	1.64E-07	0.138
IXR2_P	1.41E-08	1.39E-08	-1.295
IXY_G	-9.50E-08	-9.49E-08	-0.066
IY_G	1.64E-07	1.64E-07	0.138
IY_PRIN_G	6.95E-08	6.93E-08	-0.303
IYR2_P	1.41E-08	1.39E-08	-1.295
IZ_PRIN_G	2.60E-07	2.59E-07	-0.321
PCTX	-4.00E-03	-4.67E-03	-6.66E-04
PCTY	-4.00E-03	-4.67E-03	-6.66E-04
R_MAX	3.79E-02	3.79E-02	-0.018
Y_MAX	3.54E-02	3.54E-02	-0.013
Y_MIN	-3.54E-02	-3.54E-02	-0.013
	2.17E-02	2.17E-02	0.026
Z_MAX			
Z_MIN	-1.83E-02	-1.83E-02	0.005

5 Modélisation B

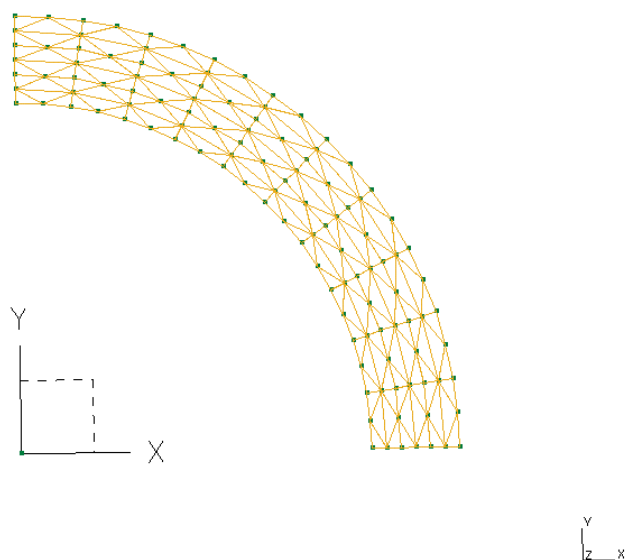
5.1 Caractéristiques de la modélisation

Section cercle de rayon externe $R=0.025\text{m}$ et d'épaisseur 0.005m . On ne représente qu'un quart de la section. Cette modélisation permet de tester le mot-clé `CARA_GEOM` de `POST_ELEM`, employé également par `MACRO_CARA_POUTRE` pour calculer les caractéristiques géométriques d'une aire plane.



5.2 Caractéristiques du maillage

30 mailles QUAD8.



5.3 Fonctionnalités testées

Commandes

POST_ELEM	CARA_GEOM	SYME_X	SYME_Y

5.4 Solution de référence

Pour la section complète :

$$A = \pi [R^2 - (R - ep)^2] = 1.76714 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{4} [R^4 - (R - ep)^4] = 1.81132 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$I_p = \frac{\pi}{2} [R^4 - (R - ep)^4]$$

6 Résultats de la modélisation B

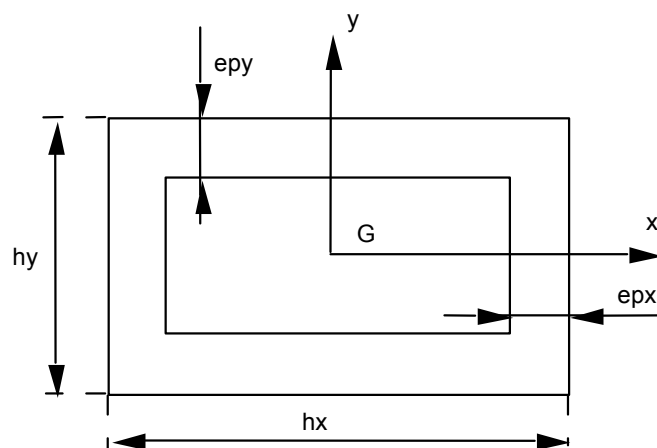
6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE_M	1.76714E-04	1.76714E-04	-7.76E-05
CDG_X_M	1.438288E-02	1.43829E-02	-1.25E-04
CDG_Y_M	1.438288E-02	1.43829E-02	-1.25E-04
IX_G_M	8.7265757E-09	8.7266E-09	-2.78E-04
IY_G_M	8.7265757E-09	8.7266E-09	-2.78E-04
IXY_G_M	-7.72837E-09	-7.7284E-09	-3.83E-04
AIRE	7.0685745E-04	7.06858E-04	-7.76E-05
CDG_X	0.00000E+00	0.00000E+00	0
CDG_Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0
IX_G	1.81132E-07	1.81132E-07	-4.19E-06
IY_G	1.81132E-07	1.81132E-07	-4.19E-06
IXY_G	0.00000E+00	0.00000E+00	
IY_PRIN_G	1.81132E-07	1.81132E-07	-4.19E-06
IZ_PRIN_G	1.81132E-07	1.81132E-07	-4.19E-06
Y_MIN	-2.50000E-02	-2.50000E-02	0.00E+00
Y_MAX	2.50000E-02	2.50000E-02	0.00E+00
Z_MIN	-2.50000E-02	-2.50000E-02	0.00E+00
Z_MAX	2.50000E-02	2.50000E-02	0.00E+00

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Section rectangulaire creuse dont on représente un quart. Cette modélisation permet de tester le mot-clé CARA_GEOM de POST_ELEM, employé également par MACRO_CARA_POUTRE pour calculer les caractéristiques géométriques d'une aire plane.

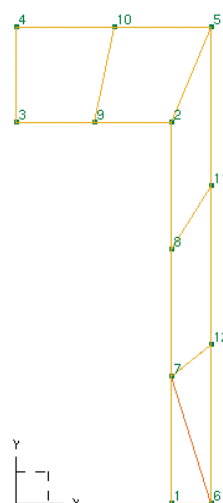


$$Hx=0.02m, Hy=0.05m, epx=0.002m, epy=0.005m.$$

7.2 Caractéristiques du maillage

Les coordonnées des nœuds sont :

N1	8.00E-03	0.00E+00
N2	8.00E-03	2.00E-02
N3	0.00E+00	2.00E-02
N4	0.00E+00	2.50E-02
N5	1.00E-02	2.50E-02
N6	1.00E-02	0.00E+00
N7	8.00E-03	6.6667E-03
N8	8.00E-03	1.3333E-02
N9	4.00E-03	2.00E-02
N10	5.00E-03	2.50E-02
N11	1.00E-02	1.66667E-02
N12	1.00E-02	8.3333E-03



7.3 Fonctionnalités testées

Commandes

POST_ELEM

CARA_GEOM

SYME_X

SYME_Y

7.4 Solution de référence

$$A = h_y h_z - (h_y - 2 \text{ ep}_y)(h_z - 2 \text{ ep}_z) = 3.610^{-4} m^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} [h_y h_z^3 - (h_y - 2 \text{ ep}_y)(h_z - 2 \text{ ep}_z)^3] = 1.2310^{-7} m^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} [h_z h_y^3 - (h_z - 2 \text{ ep}_z)(h_y - 2 \text{ ep}_y)^3] = 1.96810^{-8}$$

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE	3.60000E-04	3.60000E-04	-2.26E-13
ALPHA	9.00000E+01	9.00000E+01	0.00E+00
CDG_X	0.00000E+00	0.00000E+00	0
CDG_Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00E+00
IX_G	1.23000E-07	1.23000E-07	-6.46E-14
IXY_G_M	-1.11111E-09	-1.11111E-09	1.00E-04
IY_G	1.96800E-08	1.96800E-08	-2.52E-13
IY_PRIN_G	1.96800E-08	1.96800E-08	-2.52E-13
IZ_PRIN_G	1.23000E-07	1.23000E-07	-6.46E-14
R_MAX	2.69258E-02	2.69260E-02	-6.54E-04
Y_MAX	2.50000E-02	2.50000E-02	0.00E+00
Y_MIN	-2.50000E-02	-2.50000E-02	0.00E+00
Z_MAX	1.00000E-02	1.00000E-02	0.00E+00
Z_MIN	-1.00000E-02	-1.00000E-02	0.00E+00

9 Modélisation D

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Section rectangulaire creuse. Cette modélisation permet de tester MACRO_CARA_POUTRE pour calculer les caractéristiques géométriques et mécaniques d'une aire plane.

Deux calculs sont effectués :

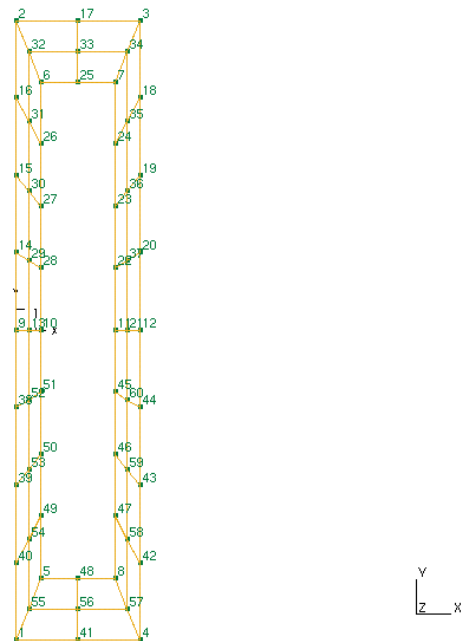
- le premier est effectué avec le mot-clé SYME_Y = 'OUI', c'est à dire que la section considérée est obtenue par symétrie autour de l'axe Y (section alvéolée). De plus les inerties sont calculés par rapport au point de coordonnées (0, -0.025) (mot-clé ORIG_INER),
- le second est effectué sans symétrie, sur la section maillée, avec un calcul des inerties au centre du maillage, C de coordonnées (0.005,0), et 2 groupes de mailles différents, qui correspondent chacun à la moitié verticale du maillage (de part et d'autre de l'axe Cy).

9.2 Caractéristiques du maillage

40 mailles QUAD4.

Les coordonnées des nœuds sommets du rectangle sont :

N1	0.00E+00	-2.50E-02
N2	0.00E+00	2.50E-02
N3	1.00E-02	2.50E-02
N4	1.00E-02	-2.50E-02
N5	2.00E-03	-2.00E-02
N6	2.00E-03	2.00E-02
N7	8.01E-03	2.00E-02
N8	8.01E-03	-2.00E-02
N9	0.00E+00	0.00E+00



9.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MACRO_CARA_POUTRE	SYME_Y	OUI
MACRO_CARA_POUTRE	ORIG_INER	

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

Pour la section symétrisée suivant OY, les caractéristiques géométriques sont :

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE_M	2.600E-04	2.6000E-04	-1.25E-13
AIRE	5.200E-04	5.2000E-04	-1.25E-13
ALPHA	9.000E+01	9.0000E+01	0.00E+00
CDG_X_M	5.000E-03	5.0000E-03	-5.20E-14
CDG_X	0.000E+00	0.0000E+00	0.00E+00
CDG_Y_M	0.000E+00	1.4008E-18	1.40E-18
CDG_Y	0.000E+00	1.4002E-18	1.40E-18
IX_G_M	7.21667E-08	7.21667E-08	-4.62E-05
IX_G	1.44333E-07	1.44333E-07	2.31E-04
IX_P	4.69333E-07	4.69333E-07	7.10E-05
IXY_G_M	0.000E+00	-4.332E-26	-4.33E-26
IXY_G	0.000E+00	-4.332E-26	-4.33E-26
IY_G_M	3.44667E-09	3.446667E-09	-9.67E-05
IY_G	1.98933E-08	1.989333E-08	1.68E-04
IY_PRIN_G	1.98933E-08	1.989333E-08	1.68E-04
IY_P	1.98933E-08	1.989333E-08	1.68E-04
IZ_PRIN_G	1.44333E-07	1.443333E-07	2.31E-04
R_MAX	2.69260E-02	2.692582E-02	-6.54E-04
Y_MAX	2.500E-02	2.5000E-02	0.00E+00
Y_MIN	-2.500E-02	-2.5000E-02	0.00E+00
Z_MAX	1.000E-02	1.0000E-02	1.73E-14
Z_MIN	-1.000E-02	-1.0000E-02	1.73E-14

Pour la section non symétrisée, les caractéristiques géométriques sont :

Lieu	Identification	Référence	Aster	% différence
TOUT	IX_P	3.60833E-08	3.60833E-08	9.24E-05
GR1	IX_P	3.60833E-08	3.60833E-08	9.24E-05
GR2	IX_P	7.21667E-08	7.21667E-08	-4.62E-05
TOUT	IY_P	1.72333E-09	1.72333E-09	1.93E-04
GR1	IY_P	1.72333E-09	1.72333E-09	1.93E-04
GR2	IY_P	3.44667E-09	3.44667E-09	-9.67E-05

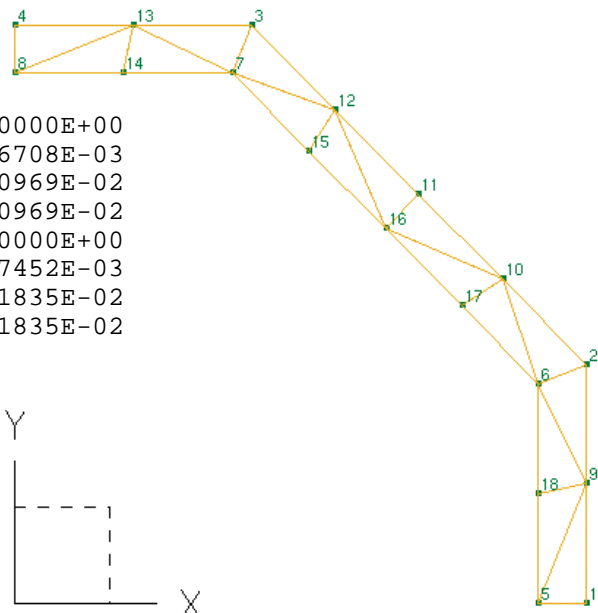
11Modélisation E

11.1Caractéristiques de la modélisation

Section octogonale creuse, dont on maille un quart.

11.2Caractéristiques du maillage

N1	2.30969E-02	0.00000E+00
N2	2.30969E-02	9.56708E-03
N3	9.56708E-03	2.30969E-02
N4	0.00000E+00	2.30969E-02
N5	2.11835E-02	0.00000E+00
N6	2.11835E-02	8.77452E-03
N7	8.77452E-03	2.11835E-02
N8	0.00000E+00	2.11835E-02



11.3Fonctionnalités testées

Commandes		
MACRO_CARA_POUTRE	SYME_Y	OUI

12 Résultats de la modélisation E

12.1 Valeurs testées

Pour la section symétrisée suivant OY, les caractéristiques géométriques sont :

Identification	Référence	Aster	% différence
ALPHA	9.00000E+01	9.000000E+01	0.00E+00
IXY_G	0.00000E+00	0.000000E+00	0.00E+00
IY_G	7.28824E-08	7.288478E-08	0.003
IY_PRIN_G	7.28824E-08	7.288478E-08	0.003
IZ_PRIN_G	7.28824E-08	7.288478E-08	0.003
R_MAX	2.50000E-02	2.500000E-02	4.58E-13
Y_MAX	2.30967E-02	2.309698E-02	0.001
Y_MIN	-2.30967E-02	-2.309698E-02	0.001
Z_MAX	2.30967E-02	2.309698E-02	0.001
Z_MIN	-2.30967E-02	-2.309698E-02	0.001

13 Modélisation F

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Section circulaire pleine, de rayon 0.025m. Les caractéristiques calculés sont ensuite utilisées directement dans un calcul de poutre droite (de longueur L=1m), en traction pure (F=1000N). Le module d'Young vaut 2.E11 Pa.

Les caractéristiques de la section sont introduite dans AFFE_CARA_ELEM via des variables python.

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 52 TRIA6, 299 QUAD8

13.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MACRO_CARA_POUTRE

GROUP_MA_BORD

13.4 Solution de référence

$$A = \pi [R^2] = 1.9635 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{4} [R^4] = 3.06796 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$A_y = A_z = \frac{10}{9}$$

$$C = I_x = \pi \frac{R^4}{2} = 6.13592 \cdot 10^{-7}$$

Traction pure d'une poutre de section circulaire pleine, de longueur L=1m, soumise à une force F=1000N :

$$A = \pi [R^2]$$

$$u(x) = \frac{F}{EA} x$$

$$u(L) = \frac{F}{EA} L = 2.54648 \cdot 10^{-6} m$$

14 Résultats de la modélisation F

14.1 Valeurs testées

Pour la section symétrisée suivant OY, les caractéristiques géométriques sont :

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE	1.963495E-03	1.963495E-03	1.46E-06
AY	1.166666E+00	1.166664E+00	-1.45E-04
AZ	1.166666E+00	1.166664E+00	-1.45E-04
CDG_X	0.000000E+00	1.033285E-19	1.03E-19
CDG_Y	0.000000E+00	-3.715818E-19	-3.72E-19
CT	6.135900E-07	6.135909E-07	1.54E-04
EY	0.000000E+00	1.263839E-18	1.26E-18
EZ	0.000000E+00	-9.610445E-20	-9.61E-20
IX_G	3.067961E-07	3.067960E-07	-1.99E-05
IXY_G	0.000000E+00	2.774478E-22	2.77E-22
IY_G	3.067961E-07	3.067960E-07	-1.99E-05
IY_PRIN_G	3.067961E-07	3.067960E-07	-1.99E-05
IZ_PRIN_G	3.067961E-07	3.067960E-07	-1.99E-05
JG	0.000000E+00	9.814751E-41	9.81E-41
Y_MAX	2.500000E-02	2.500000E-02	0.00E+00
Y_MIN	-2.500000E-02	-2.500000E-02	0.00E+00
Z_MAX	2.500000E-02	2.500000E-02	0.00E+00
Z_MIN	-2.500000E-02	-2.500000E-02	0.00E+00

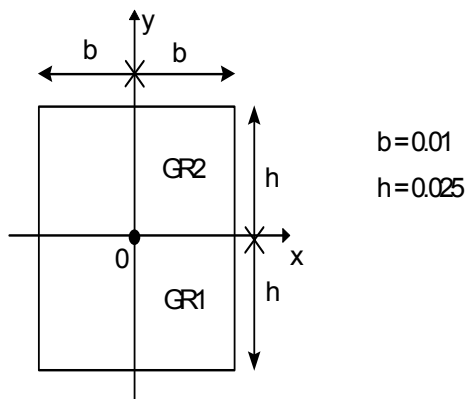
Pour le calcul de traction de poutre, le résultat est :

Identification	Référence	Aster	% différence
DEPL	2.546479E-06	2.546479E-06	1.66E-14
FORC_NOD A	1.000000E+03	1.000000E+03	0.00E+00

15 Modélisation G

15.1 Caractéristiques de la modélisation

Section rectangulaire pleine, de largeur 0.02m et de hauteur 0.05m. Elle est divisée en deux rectangles de hauteurs respectives 0.025m, afin de tester le calcul des caractéristiques sur des groupes de mailles pour un réseau constitué ici de deux poutres parallèles, comprises entre deux planchers distant de $L=0.0002$ (ce qui permet d'obtenir des caractéristiques (coefficient de cisaillement) très proches de celle de la section complète).



15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 32 QUAD8

15.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MACRO_CARA_POUTRE	GROUP_MA	
MACRO_CARA_POUTRE	LONGUEUR	0.0002
MACRO_CARA_POUTRE	LIAISON	ENCASTREMENT
MACRO_CARA_POUTRE	MATERIAU	

15.4 Solution de référence

Caractéristiques géométriques pour la section complète et pour chaque demi-section :

LIEU	AIRE	CDG_X	CDG_Y	IX_G	IY_G	IXY_G
Tout	1.00E-03	0	0	2.08E-07	3.33E-08	0
GR1	5.00E-04	0	-1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	0
GR2	5.00E-04	0	1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	0

LIEU	X_P	Y_P	IX_P	IY_P	IXY_P	IY_PRIN_P	IZ_PRIN_P
Tout	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-07	3.33E-08	0	3.33E-08	2.08E-07
GR1	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08	0	1.67E-08	1.04E-07
GR2	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08	0	1.67E-08	1.04E-07

Coefficients de cisaillement : pour chaque section rectangulaire, il vaut

$$A_y = A_z = 1.2.$$

16 Résultats de la modélisation G

16.1 Valeurs testées

Pour la section complète, les caractéristiques géométriques et mécaniques sont :

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE	1.0000000E-03	1.000000E-03	0.00E+00
ALPHA	9.0000000E+01	9.000000E+01	0.00E+00
AY	1.2000000E+00	1.199951E+00	-0.004
AZ	1.2000000E+00	1.199218E+00	-0.065
CDG_X	0.0000000E+00	-1.032683E-19	-1.03E-19
CDG_Y	0.0000000E+00	-2.669725E-19	-2.67E-19
CT	9.9805000E-08	9.968135E-08	-0.124
EY	0.0000000E+00	1.550963E-18	1.55E-18
EZ	0.0000000E+00	-4.792477E-18	-4.79E-18
IX_G	2.0833333E-07	2.083333E-07	1.60E-06
IXY_G	0.0000000E+00	-1.395261E-24	-1.40E-24
IY_G	3.3333330E-08	3.333333E-08	1.00E-05
PCTX	0.0000000E+00	4.895746E-18	4.90E-18
PCTY	0.0000000E+00	1.817936E-18	1.82E-18
Y_MAX	2.5000000E-02	2.500000E-02	0.00E+00
Y_MIN	-2.5000000E-02	-2.500000E-02	0.00E+00
Z_MAX	1.0000000E-02	1.000000E-02	1.73E-14
Z_MIN	-1.0000000E-02	-1.000000E-02	1.73E-14

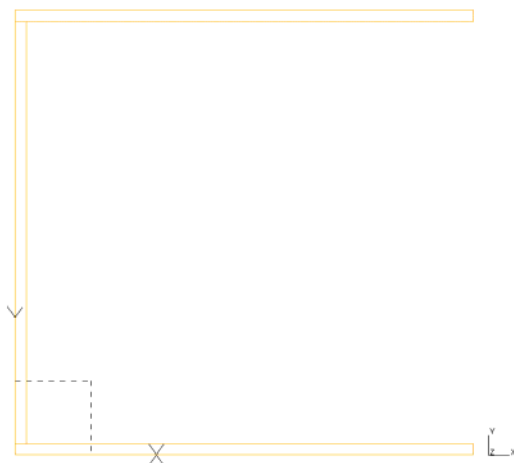
Pour les deux groupes disjoints, on obtient :

Lieu	Identification	Référence	Aster	% différence
GR2	AIRE	5.00000E-04	5.00000E-04	2.17E-14
GR1	AIRE	5.00000E-04	5.00000E-04	4.34E-14
TOUT	AY	1.20000E+00	1.19924E+00	-0.064
GR1	AY	1.20000E+00	1.19922E+00	-0.065
GR2	AY	1.20000E+00	1.19922E+00	-0.065
GR1	AZ	1.20000E+00	1.19922E+00	-0.065
GR2	AZ	1.20000E+00	1.19922E+00	-0.065
GR1	CDG_X	0.00000E+00	1.59374E-19	1.59E-19
GR2	CDG_X	0.00000E+00	2.11345E-19	2.11E-19
GR1	CDG_Y	1.25000E-02	1s.25000E-02	-1.39E-14
GR2	CDG_Y	-1.25000E-02	-1.25000E-02	-4.16E-14
GR1	IX_G	2.60417E-08	2.60417E-08	-1.28E-04
GR2	IX_G	2.60417E-08	2.60417E-08	-1.28E-04
GR1	IXY_G	0.00000E+00	-1.57868E-24	-1.58E-24
GR2	IXY_G	0.00000E+00	1.98030E-24	1.98E-24
GR1	IY_G	1.66667E-08	1.66667E-08	-2.00E-04
GR2	IY_G	1.66667E-08	1.66667E-08	-2.00E-04

17 Modélisation H

17.1 Caractéristiques de la modélisation

Section en U, de cote $l=20\text{mm}$, et d'épaisseur $e=0.5\text{mm}$



17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 236 QUAD8

17.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MACRO_CARA_POUTRE GROUP_MA_BORD

17.4 Solution de référence

Les valeurs analytiques approchées sont issues de [bib1].

Identificatio n	Référence	Valeur numérique
AIRE	$A = 2le + (l - 2e)e = e(3l - 2e)$	29.5
AY		4.25300E+00
AZ		1.61800E+00
CDG_X	$x_g = (20le + 0.25(l - 2e)e) / A$	6.8602
CDG_Y	$L/2$	10
CT	$C = \frac{1.12}{3} \sum_{i=1,3} l_i e_i^3 = 1.12le^3 = 2.8$ [bib1] $C = \frac{1}{3} \sum_{i=1,3} \frac{l_i^3 e_i^3}{l_i^2 + e_i^2 l} = \frac{l_i^3 e_i^3}{l_i^2 + e_i^2 l} = 2.4984$ [bib2]	2.4984 [bib2]
EY	0	0
EZ	$e_z = -x_g - (3/7)l + 0.25 = -15.43$	-15.09 [bib4]
JG	$J_g = (5/84)l^5 e = 9.52 \text{ E}+4$	8.69 E+04 [bib4]

18 Résultats de la modélisation H

18.1 Valeurs testées

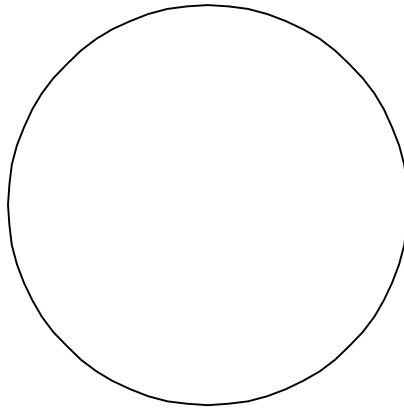
Pour la section complète, les caractéristiques géométriques et mécaniques sont :

Identification	Référence	Aster	% différence
AIRE	29.5	2.9500000E+01	0.00E+00
AY	4.25300E+00	4.4862058E+00	5.483
AZ	1.61800E+00	1.916878E+00	18.472
CDG_X	6.8602	6.860169E+00	-0.015
CDG_Y	10	1.00000E+01	-2.31E-13
CT	2.4984	2.449398E+00	-1.9
EY	0	-4.E-11	-4.18E-11
EZ	-15.43	-1.507743E+01	-0.089
JG	8.69 E+04 [bib4]	8.711924E+04	0.253

19 Modélisation I

19.1 Caractéristiques de la modélisation

Section circulaire creuse, de rayon externe 10mm, et d'épaisseur 1mm.



19.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 300 QUAD8

19.3 Fonctionnalités testées

Commandes	
MACRO_CARA_POUTRE	GROUP_MA_BORD
MACRO_CARA_POUTRE	GROUP_MA_INTE

19.4 Solution de référence

$$C = I_x = \pi \left(\frac{R^4}{2} - \frac{(R - e)^4}{2} \right) = 5401.97 m^4$$

20 Résultats de la modélisation I

20.1 Valeurs testées

La constante de torsion vaut :

Identification	Référence	Aster	% différence
CT	5401.97	5391.48	-0.194

21 Synthèse des résultats

Ce test permet de vérifier simultanément le bon fonctionnement de la commande MACRO_CARA_POUTRE pour différents types de sections.