

SSLL107 - Validation de MACR_CARA_POUTRE

Résumé :

L'ensemble des modélisations de ce test permettent de valider la macro_commande de calcul des caractéristiques de section de poutre, `MACR_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.
- La modélisation J valide le calcul des coefficients de cisaillement pour une section circulaire trouée.
- La modélisation K valide le calcul des coefficients de cisaillement pour une section rectangulaire 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 F 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 F, 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 F : 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

Étant 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 MACR_CARA_POUTRE [R3.08.03] :

- Caractéristiques géométrique des sections
 - Dans le repère OYZ de description du maillage 2D pour le maillage fourni par l'utilisateur
 - aire : A_M
 - position du centre de gravité : CDG_Y_M, CDG_Z_M
 - moments et produit d'inertie d'aire, au centre de gravité G dans le repère GYZ : IY_G_M, IZ_G_M, IYZ_G_M
 - Dans le même repère global, pour le maillage obtenu par symétrisation si $SYME_Y$ ou $SYME_Z$:
 - aire : A
 - position du centre de gravité : CDG_Y, CDG_Z
 - moments et produit d'inertie d'aire, au centre de gravité G dans le repère GYZ : IY_G, IZ_G, IYZ_G
 - Dans le repère principal d'inertie G_{yz} de la section droite, dont la dénomination correspond à celle utilisée à la description des éléments de poutre de fibre neutre G_X [U4.24.01].
 - moments d'inertie d'aire principaux dans le repère G_{yz} , utilisables pour le calcul de la rigidité de flexion de la poutre : IY et IZ
 - angle de passage du repère GYZ au repère principal d'inertie G_{yz} : $ALPHA$
 - 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} .
 - Dans le repère global, en un point P fourni par l'utilisateur :
 - Y_P, Z_P : point de calcul des moments d'inertie
 - IY_P, IZ_P, IYZ_P : moments d'inertie dans le repère PYZ
 - IY_P, IZ_P : moments d'inertie dans le repère P_{yz} .

- Caractéristiques mécaniques :

Identification	Signification
<i>JX</i>	Constante de torsion
<i>EY</i>	Position du centre de torsion / cisaillement
<i>EZ</i>	Position du centre de torsion / cisaillement
<i>PCTY</i>	Excentrement du centre de torsion dans le repère <i>GYZ</i> suivant l'axe <i>Y</i>
<i>PCTZ</i>	Excentrement du centre de torsion dans le repère <i>GYZ</i> suivant l'axe <i>Z</i>
<i>AY</i>	Coefficient de cisaillement
<i>AZ</i>	Coefficient de cisaillement
<i>JG</i>	Constante de gauchissement

2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

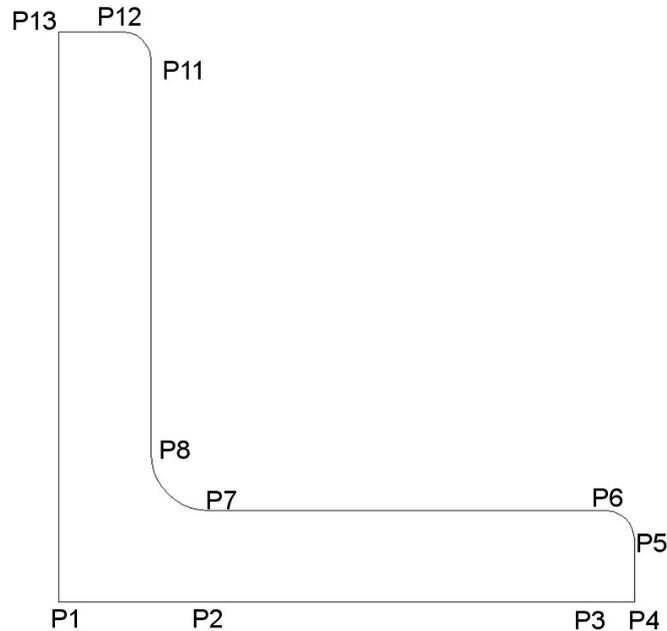
2.4 Références bibliographiques

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 :

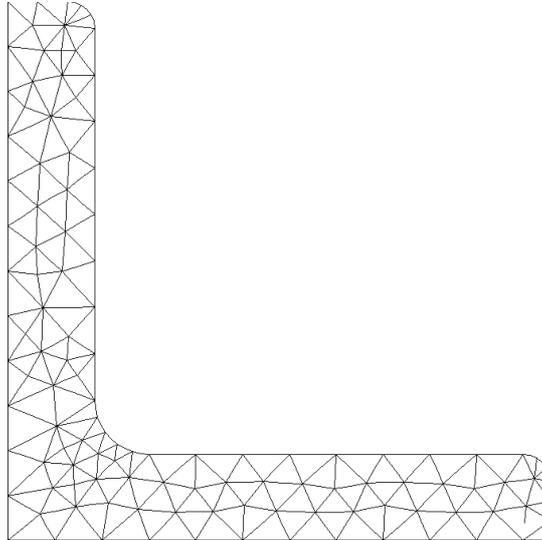


Les coordonnées des points sont :

<i>P1</i>	0.0	0.0
<i>P2</i>	1.3E-02	0.0
<i>P3</i>	4.75E-02	0.0
<i>P4</i>	5.0E-02	0.0E+00
<i>P5</i>	5.0E-02	5.5E-03
<i>P6</i>	4.750E-02	8.0E-03
<i>P7</i>	1.30E-02	8.0E-03
<i>P10</i>	8.0E-03	1.300E-02
<i>P11</i>	8.0E-03	4.75E-02
<i>P12</i>	5.5E-03	5.0E-02
<i>P13</i>	0.	5.0E-02

3.2 Caractéristiques du maillage

182 mailles TRIA6.



3.3 Solution de référence

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

3.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance
<i>A</i>	7.39E-04	1,00E-03
<i>ALPHA</i>	1.35E+02	1,00E-03
<i>CDG_Y</i>	1.53E-02	1,50E-03
<i>CDG_Z</i>	1.53E-02	1,50E-03
<i>JX</i>	1.43E-08	1,20E-01
<i>EY</i>	0.00E+00	1,00E-03
<i>EZ</i>	-1.60E-02	1,00E-03
<i>IY_G</i>	1.64E-07	4,00E-03
<i>IYR2_P</i>	1.41E-08	1,40E-02
<i>IYZ_G</i>	-9.50E-08	1,00E-03
<i>IZ_G</i>	1.64E-07	4,00E-03
<i>IY</i>	6.95E-08	4,00E-03
<i>IZR2_P</i>	1.41E-08	1,40E-02
<i>IZ</i>	2.60E-07	4,00E-03
<i>PCTY</i>	-4.00E-03	1,00E-03
<i>PCTZ</i>	-4.00E-03	1,00E-02
<i>R_{MAX}</i>	3.79E-02	1,00E-03
<i>Y_{MAX}</i>	3.54E-02	1,00E-03
<i>Y_{MIN}</i>	-3.54E-02	1,00E-03
<i>Z_{MAX}</i>	2,17E-002	1,00E-03
<i>Z_{MIN}</i>	-1.83E-02	1,00E-03

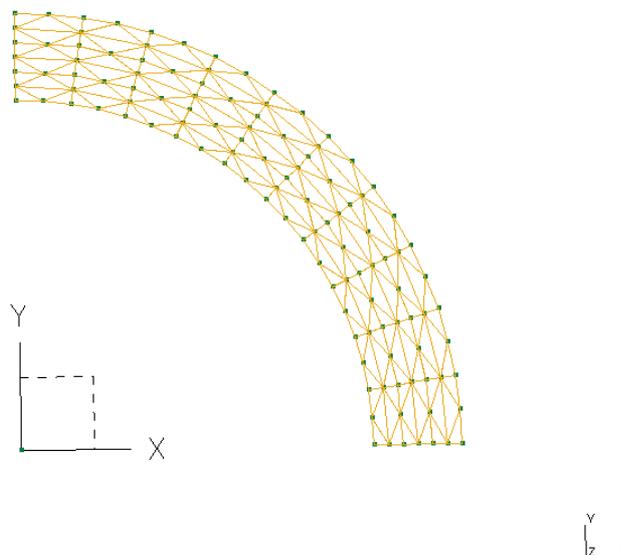
4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la section d'un 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 `MACR_CARA_POUTRE` pour calculer les caractéristiques géométriques d'une aire plane.

4.2 Caractéristiques du maillage

30 mailles QUAD8.



4.3 Solution de référence

Pour la section complète :

$$A = \pi [R^2 - (R - ep)^2] = 1.76714\text{E} - 04 \text{ m}^2$$

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

$$I_p = 2 I_y = 2 I_z$$

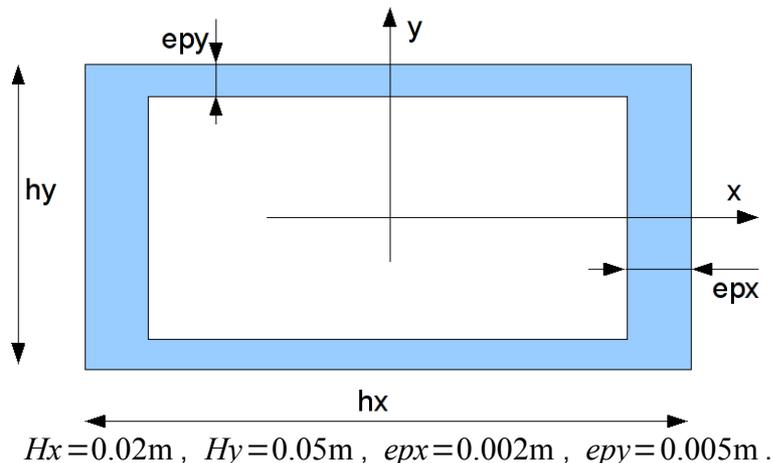
4.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	% différence
A_M	1.76714E-04	-7.76E-05
CDG_{Y-M}	1.438288E-02	-1.25E-04
CDG_{Z-M}	1.438288E-02	-1.25E-04
IY_{G-M}	8.7265757E-09	-2.78E-04
IZ_{G-M}	8.7265757E-09	-2.78E-04
IYZ_{G-M}	-7.72837E-09	-3.83E-04
A	7.0685745E-04	-7.76E-05
CDG_Y	0.00000E+00	0
CDG_Z	0.00000E+00	0
IY_G	1.81132E-07	-4.19E-06
IZ_G	1.81132E-07	-4.19E-06
IYZ_G	0.00000E+00	
IY	1.81132E-07	-4.19E-06
IZ	1.81132E-07	-4.19E-06
Y_{MIN}	-2.50000E-02	0.00E+00
Y_{MAX}	2.50000E-02	0.00E+00
Z_{MIN}	-2.50000E-02	0.00E+00
Z_{MAX}	2.50000E-02	0.00E+00

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

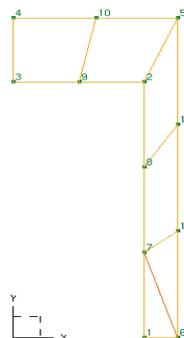
Section rectangulaire creuse dont on représente un quart. Cette modélisation permet de tester le mot-clé CARA_GEOM de POST_ELEM, employé également par MACR_CARA_POUTRE pour calculer les caractéristiques géométriques d'une aire plane.



5.2 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



5.3 Solution de référence

$$A = h_y h_z - (h_y - 2ep_y)(h_z - 2ep_z) = 3.6E-04 m^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} \left[h_y h_z^3 - (h_y - 2ep_y)(h_z - 2ep_z)^3 \right] = 1.23E-7 m^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} \left[h_z h_y^3 - (h_z - 2ep_z)(h_y - 2ep_y)^3 \right] = 1.968E-8 m^4$$

5.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	% différence
A	3.60000E-04	-2.26E-13
$ALPHA$	9.00000E+01	0.00E+00
CDG_Y	0.00000E+00	0
CDG_Z	0.00000E+00	0.00E+00
IY_G	1.23000E-07	-6.46E-14
IYZ_{G-M}	-1.11111E-09	1.00E-04
IZ_G	1.96800E-08	-2.52E-13
IY	1.96800E-08	-2.52E-13
IZ	1.23000E-07	-6.46E-14
R_{MAX}	2.69258E-02	-6.54E-04
Y_{MAX}	2.50000E-02	0.00E+00
Y_{MIN}	-2.50000E-02	0.00E+00
Z_{MAX}	1.00000E-02	0.00E+00
Z_{MIN}	-1.00000E-02	0.00E+00

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

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

Deux calculs sont effectués :

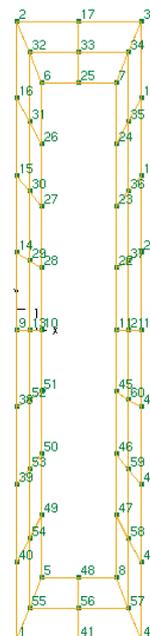
- le premier est effectué avec le mot-clé SYME_Z = 'OUI', c'est à dire que la section considérée est obtenue par symétrie autour de l'axe Z (section alvéolée). De plus les inerties sont calculées par rapport au point de coordonnées $(0, -0.025)$ (mot-clé ORIG_INER),
- le second est effectué sans symétrie, 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 C_z).

6.2 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



6.3 Grandeurs testées et résultats

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

Identification	Référence	% différence
A_M	2.600E-04	-1.25E-13
A	5.200E-04	-1.25E-13
$ALPHA$	9.000E+01	0.00E+00
CDG_{Y-M}	5.000E-03	-5.20E-14
CDG_Y	0.000E+00	0.00E+00
CDG_{Z-M}	0.000E+00	1.40E-18
CDG_Z	0.000E+00	1.40E-18
IY_{G-M}	7.21667E-08	-4.62E-05
IY_G	1.44333E-07	2.31E-04
IY_P	4.69333E-07	7.10E-05
IYZ_{G-M}	0.000E+00	-4.33E-26
IYZ_G	0.000E+00	-4.33E-26
IZ_{G-M}	3.44667E-09	-9.67E-05
IZ_G	1.98933E-08	1.68E-04
IY	1.98933E-08	1.68E-04
IY_P	1.98933E-08	1.68E-04
IZ	1.44333E-07	2.31E-04
R_{MAX}	2.69260E-02	-6.54E-04
Y_{MAX}	2.500E-02	0.00E+00
Y_{MIN}	-2.500E-02	0.00E+00
Z_{MAX}	1.000E-02	1.73E-14
Z_{MIN}	-1.000E-02	1.73E-14

Pour la section non symétrisée, les caractéristiques géométriques sont :

Lieu	Identification	Référence	% différence
$TOUT$	IY_P	3.60833E-08	9.24E-05
GRI	IY_P	3.60833E-08	9.24E-05
$GR2$	IY_P	7.21667E-08	-4.62E-05
$TOUT$	IZ_P	1.72333E-09	1.93E-04
GRI	IZ_P	1.72333E-09	1.93E-04
$GR2$	IZ_P	3.44667E-09	-9.67E-05

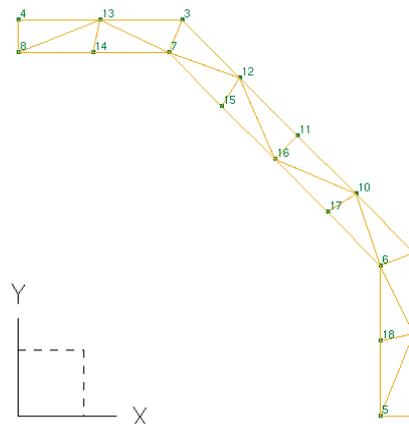
7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Section octogonale creuse, dont on maille un quart.

7.2 Caractéristiques 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
```



7.3 Grandeurs testées et résultats

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

Identification	Référence	% différence
$ALPHA$	9.00000E+01	0.00E+00
IYZ_G	0.00000E+00	0.00E+00
IZ_G	7.28824E-08	0.003
IY	7.28824E-08	0.003
IZ	7.28824E-08	0.003
R_{MAX}	2.50000E-02	4.58E-13
Y_{MAX}	2.30967E-02	0.001
Y_{MIN}	-2.30967E-02	0.001
Z_{MAX}	2.30967E-02	0.001
Z_{MIN}	-2.30967E-02	0.001

8 Modélisation F

8.1 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 $2.E11Pa$. Les caractéristiques de la section sont données à AFPE_CARA_ELEM via le mot-clé TABLE_CARA.

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 52 TRIA6, 299 QUAD8

8.3 Solution de référence

$$A = \pi R^2 = 1.9635E-3 m^2 ; \quad I_y = I_z = \frac{\pi}{4} R^4 = 3.06796E-7 m^4 ; \quad A_y = A_z = \frac{10}{9} ; \quad C = I_x = 2 I_y = 2 I_z$$

Traction pure d'une poutre de section circulaire pleine, de longueur $L=1m$, soumise à une force

$$F = 1000N : \quad u(x) = \frac{F x}{E A} \quad u(L) = \frac{F L}{E A} = 2.54648E-6 m$$

8.4 Grandeurs testées et résultats

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

Identification	Référence	Valeur	Tolérance
A	ANALYTIQUE	1,96E-03	0,50%
CDG_Y	ANALYTIQUE	0,00E+00	0,10%
CDG_Z	ANALYTIQUE	0,00E+00	0,10%
IY_G	ANALYTIQUE	3,07E-07	0,90%
IZ_G	ANALYTIQUE	3,07E-07	0,90%
IYZ_G	ANALYTIQUE	0,00E+00	0,10%
IY	ANALYTIQUE	3,07E-07	0,90%
IZ	ANALYTIQUE	3,07E-07	0,90%
Y_{MIN}	ANALYTIQUE	-2,50E-02	0,10%
Y_{MAX}	ANALYTIQUE	2,50E-02	0,10%
Z_{MIN}	ANALYTIQUE	-2,50E-02	0,10%
Z_{MAX}	ANALYTIQUE	2,50E-02	0,10%
JX	ANALYTIQUE	6,14E-07	0,90%
AY	ANALYTIQUE	1,17E+00	0,10%
AZ	ANALYTIQUE	1,17E+00	0,10%
EY	ANALYTIQUE	0,00E+00	0,10%
EZ	ANALYTIQUE	0,00E+00	0,10%
JG	ANALYTIQUE	0,00E+00	0,10%

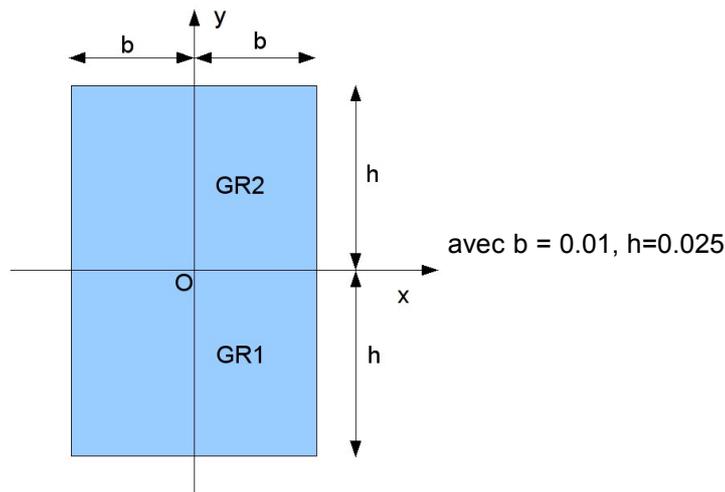
Pour le calcul de traction de poutre, le résultat est :

Identification	Référence	Valeur	Tolérance
DEPL	ANALYTIQUE	2,55E-06	1,00E-03
FORC_NODA	ANALYTIQUE	1,00E+03	1,00E-03

9 Modélisation G

9.1 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 $L=0.0002m$ (ce qui permet d'obtenir des caractéristiques (coefficient de cisaillement) très proches de celle de la section complète).



9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 32 QUAD8

9.3 Solution de référence

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

LIEU	A	CDG_Y	CDG_Z	IY_G	IZ_G	IYZ_G
Tout	1.00E-03	0.0	0.0	2.08E-07	3.33E-08	0.0
GR1	5.00E-04	0.0	-1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	0.0
GR2	5.00E-04	0.0	1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	0.0

LIEU	Y_P	Z_P	IY_P	IZ_P	IYZ_P	IY	IZ
Tout	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-07	3.33E-08	0.0	3.33E-08	2.08E-07
GR1	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08	0.0	1.67E-08	1.04E-07
GR2	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08	0.0	1.67E-08	1.04E-07

Coefficients de cisaillement : pour chaque section rectangulaire : $A_y = A_z = 1.2$

9.4 Grandeurs testées et résultats

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

Identification	Référence	% différence
<i>A</i>	1.0000000E-03	0.00E+00
<i>ALPHA</i>	9.0000000E+01	0.00E+00
<i>AY</i>	1.2000000E+00	-0.004
<i>AZ</i>	1.2000000E+00	-0.065
<i>CDG_Y</i>	0.0000000E+00	-1.03E-19
<i>CDG_Z</i>	0.0000000E+00	-2.67E-19
<i>JX</i>	9.9805000E-08	-0.124
<i>EY</i>	0.0000000E+00	1.55E-18
<i>EZ</i>	0.0000000E+00	-4.79E-18
<i>IY_G</i>	2.0833333E-07	1.60E-06
<i>IYZ_G</i>	0.0000000E+00	-1.40E-24
<i>IZ_G</i>	3.3333330E-08	1.00E-05
<i>PCTY</i>	0.0000000E+00	4.90E-18
<i>PCTZ</i>	0.0000000E+00	1.82E-18
<i>Y_{MAX}</i>	2.5000000E-02	0.00E+00
<i>Y_{MIN}</i>	-2.5000000E-02	0.00E+00
<i>Z_{MAX}</i>	1.0000000E-02	1.73E-14
<i>Z_{MIN}</i>	-1.0000000E-02	1.73E-14

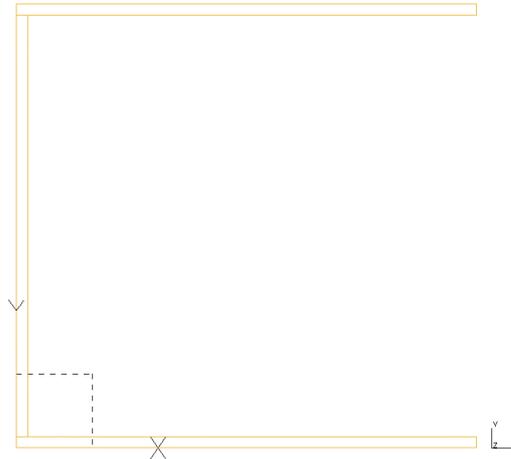
Pour les deux groupes disjoints, on obtient :

Lieu	Identification	Référence	% différence
<i>GR2</i>	<i>A</i>	5.00000E-04	2.17E-14
<i>GRI</i>	<i>A</i>	5.00000E-04	4.34E-14
<i>TOUT</i>	<i>AY</i>	1.20000E+00	-0.064
<i>GRI</i>	<i>AY</i>	1.20000E+00	-0.065
<i>GR2</i>	<i>AY</i>	1.20000E+00	-0.065
<i>GRI</i>	<i>AZ</i>	1.20000E+00	-0.065
<i>GR2</i>	<i>AZ</i>	1.20000E+00	-0.065
<i>GRI</i>	<i>CDG_Y</i>	0.00000E+00	1.59E-19
<i>GR2</i>	<i>CDG_Y</i>	0.00000E+00	2.11E-19
<i>GRI</i>	<i>CDG_Z</i>	1.25000E-02	-1.39E-14
<i>GR2</i>	<i>CDG_Z</i>	-1.25000E-02	-4.16E-14
<i>GRI</i>	<i>IY_G</i>	2.60417E-08	-1.28E-04
<i>GR2</i>	<i>IY_G</i>	2.60417E-08	-1.28E-04
<i>GRI</i>	<i>IYZ_G</i>	0.00000E+00	-1.58E-24
<i>GR2</i>	<i>IYZ_G</i>	0.00000E+00	1.98E-24
<i>GRI</i>	<i>IZ_G</i>	1.66667E-08	-2.00E-04
<i>GR2</i>	<i>IZ_G</i>	1.66667E-08	-2.00E-04

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

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



10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 236 QUAD8

10.3 Solution de référence

Les valeurs analytiques approchées sont issues de [bib1].

10.4 Grandeurs testées et résultats

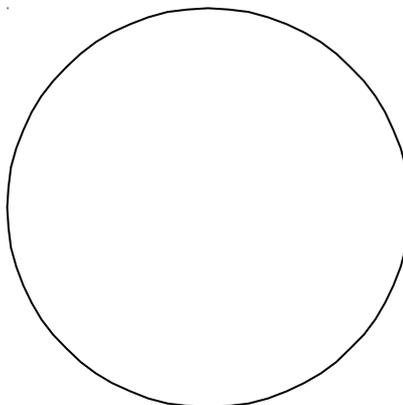
Pour la section complète, les caractéristiques géométriques et mécaniques sont :

Identification	Référence	% différence
A	29.5	0.00E+00
AY	4.25300E+00	5.483
AZ	1.61800E+00	18.472
CDG_y	6.8602	-0.015
CDG_z	10	-2.31E-13
JX	2.4984	-1.9
EY	0	-4.18E-11
EZ	-15.43	-0.089
JG	8.69 E+04 [bib4]	0.253

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

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



11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 300 QUAD8

11.3 Solution de référence

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

11.4 Grandeurs testées et résultats

La constante de torsion vaut :

Identification	Référence	% différence
<i>JX</i>	5401.97	-0.194

12 Modélisation J

12.1 Caractéristiques de la modélisation

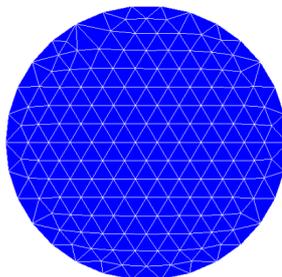
Trois sections :

- circulaire pleine de rayon 2 m.
- circulaire creuse, de rayon externe 2 m et de paramètre ALPHA = 0.5 .
- circulaire creuse, de rayon externe 2 m et de paramètre ALPHA = 0.9.

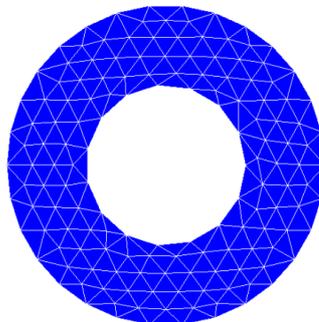
Remarque : $ALPHA = (R_{ext} - \text{épaisseur}) / R_{ext}$

12.2 Caractéristiques des maillages

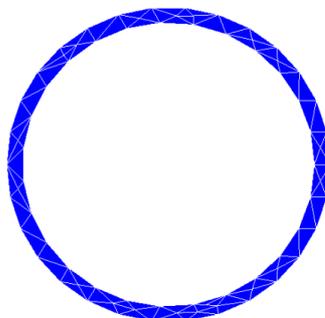
1. Nombre de mailles : 318 TRIA6



2. Nombre de mailles : 259 TRIA6



3. Nombre de mailles : 95 TRIA6



12.3 Grandeurs testées et résultats

Des tests pour garantir la non-régression du code sont réalisés sur les coefficients de cisaillement calculés.

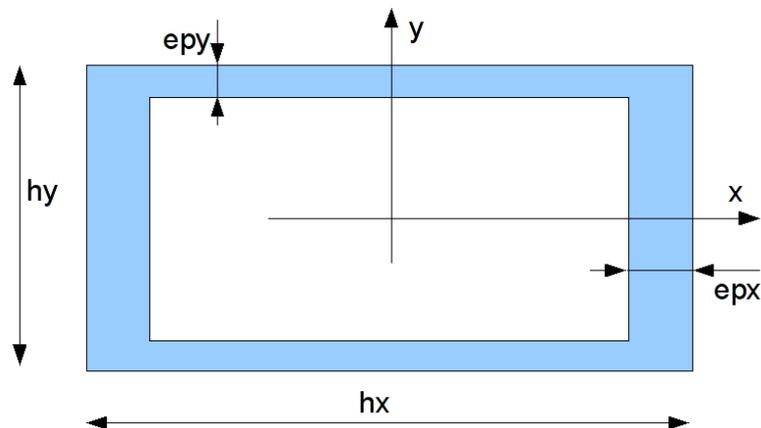
13 Modélisation K

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Trois sections :

- carré pleine de côté 4 m.
- carré creuse, de côté 4 m et de paramètre ALPHA = 0.5 / BETA = 0.525.
- carré creuse, de côté 4 m et de paramètre ALPHA = 0.9 / BETA = 0.945.

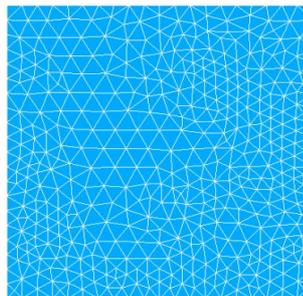
Remarque :



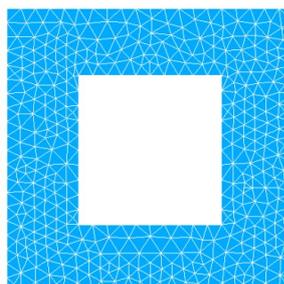
$$ALPHA = (HX - 2*EPX) / HX$$
$$BETA = (HY - 2*EPY) / HY$$

13.2 Caractéristiques des maillages

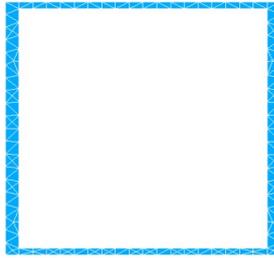
1. Nombre de mailles : 844 TRIA6



2. Nombre de mailles : 762 TRIA6



3. Nombre de mailles : 208 TRIA6



13.3 Grandeurs testées et résultats

Des tests pour garantir la non-régression du code sont réalisés sur les coefficients de cisaillement calculés.

14 Synthèse des résultats

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