Macro-commande MACR_CARA_POUTRE

Cette macro commande permet de calculer les caractéristiques d'une section transversale de poutre à partir d'un maillage 2D de sa section transversale.

Elle permet de construire une table de valeurs, utilisable par la commande AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01] pour affecter des caractéristiques de sections droites à tous les éléments finis de poutre (modélisations POU_D_E, POU_D_T, POU_D_TG, POU_D_EM, POU_D_TGM) ou de barre (modélisation BARRE) de section quelconque.

Les caractéristiques nécessaires sont définies dans la note de référence [R3.08.03]. Ce sont :
- les caractéristiques géométriques (qui peuvent être calculées sur le maillage complet, demi maillage avec symétrie par rapport à Y ou à Z, quart de maillage avec deux symétries par rapport à Y et à Z),
- les caractéristiques de torsion : rayon de torsion, constante de rigidité en torsion, position et excentrement du centre de torsion pour le couplage flexion-torsion,
- les caractéristiques de cisaillement pour les modèles avec déformations d'effort tranchant,
- les caractéristiques de gauchissement pour les modèles de torsion des sections ouvertes non symétriques.

La macro-commande produit un concept de type table_sdaster contenant les caractéristiques de la section. Les valeurs contenues dans cette table peuvent être utilisées, via Python, dans la commande AFFE_CARA_ELEM pour un calcul de type poutre ou en renseignant la table produite dans AFFE_CARA_ELEM via le mot-clé TABLE_CARA.

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

1 Syntaxe

```
tb[table_sdaster] = MACR_CARA_POUTRE(

   ◊ / MAILLAGE = MA,                                              [maillage]
   # Si maillage n'est pas renseigné
     / ♦ UNITE  = [IUNI (20)],                                [entier (défaut)]
       ♦ FORMAT = /'MED'                                              [défaut]
                  / 'ASTER'
   ◊ INFO = [1, 2]                                                  [défaut]

   # Point par rapport auquel les inerties sont calculées
   ◊ ORIG_INER  = / (YP,ZP),                                         [l_réel]
                  / (0.0, 0.0)                                       [défaut]

   ◊ TABLE_CARA = ['OUI'|'NON']                                      [défaut]

   # Conditions de symétries
   / ◊ SYME_Y = 'OUI',
     ◊ SYME_Z = 'OUI',
   # Groupe(s) de mailles linéiques, bord(s) de(s) section(s)
   / ◊ GROUP_MA_BORD     = lgb,                                  [l_gr_maille]
       ◊ GROUP_NO        = lgn,                                     [group_no]
       ◊ GROUP_MA_INTE   = lgi,                                  [l_gr_maille]

   # Calcul des caractéristiques équivalentes pour des sections disjointes
   ◊ GROUP_MA = lgm,                                             [l_gr_maille]

   # Nom de la section : Si TABLE_CARA='OUI' et GROUP_MA non renseigné
   ♦ NOM = NOM                                                        [txt_8]

   # Caractéristiques d'un réseau de poutres entre deux planchers
   # Si GROUP_MA_BORD et GROUP_MA renseignés
     ♦ LONGUEUR = h,                                                  [réel]
     ♦ MATERIAU = mater,                                            [mater]
     ♦ LIAISON  = ['ROTULE','ENCASTREMENT']
   )
```


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

2 Opérandes

2.1 Opérande MAILLAGE

/ ◊ MAILLAGE
Nom du maillage 2D de la section de poutre dont on va calculer les caractéristiques. Si le nom du maillage n'est pas donné, il faut renseigner les mots clefs suivant pour que la macro commande réalise la lecture par la commande LIRE_MAILLAGE.

Remarque :
Lorsque la section est constituée d'éléments de faibles épaisseurs (tubes, sections reconstituées, ...), il est nécessaire d'avoir plusieurs mailles dans cette épaisseur pour calculer correctement les caractéristiques liées à la torsion.

/ ♦ UNITE
Numéro d'unité logique pour la lecture du maillage 2D de la section de poutre dont on va calculer les caractéristiques.
♦ FORMAT
Format du fichier de maillage

Remarque :
Si on doit faire plusieurs appels à MACR_CARA_POUTRE *dans le même fichier de commandes sur le même maillage ou des maillages différents il faut alors changer* UNITE.

2.2 Opérande TABLE_CARA

◊ TABLE_CARA = 'OUI'
Quand cette option est présente, la table produite ne contient que les paramètres utiles à AFFE_CARA_ELEM.

2.3 Opérande NOM

♦ NOM = nom
L'opérande NOM doit être donné (sauf si TABLE_CARA='OUI' et GROUP_MA renseigné, car il est inutile dans ce cas).
On retrouve cette valeur dans la colonne LIEU de la table. Cela permet à l'utilisateur de donner un nom à sa section, qu'il peut utiliser dans AFFE_CARA_ELEM.
Remarque : Si GROUP_MA est renseigné (et que TABLE_CARA='OUI'), les noms des groupes de mailles sont directement utilisables dans AFFE_CARA_ELEM.

2.4 Opérandes SYME_Y / SYME_Z

◊ | SYME_Y
Précise que le maillage fourni par l'utilisateur correspond à un demi maillage. Le calcul des caractéristiques de la section droite tient compte d'une symétrie par rapport à $Y=0$.
| SYME_Z
Précise que le maillage fourni par l'utilisateur correspond à un demi maillage. Le calcul des caractéristiques de la section droite tient compte d'une symétrie par rapport à $Z=0$.
L'utilisation simultanée des deux options permet de ne fournir qu'un quart du maillage.
Les propriétés de symétrie sont utilisées pour accélérer le calcul des caractéristiques géométriques.

Remarque :
Les mots clés SYME_Y *et* SYME_Z *ne sont utilisés que pour le calcul des caractéristiques géométriques. Les caractéristiques mécaniques (constante de torsion, constante de gauchissement, coefficients de cisaillement) n'en tiennent pas compte. Pour les calculer, il faut donc mailler la section*

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

en entier. C'est pourquoi SYME_Y *et* SYME_Z *ne peuvent pas être renseignés lorsque* GROUP_MA_BORD *est utilisé.*

2.5 Calcul des caractéristiques mécaniques

◊ GROUP_MA_BORD = **lgb**

lgb désigne un (ou plusieurs) groupe de mailles (SEG2 ou SEG3) décrivant le contour (fermé) de la section maillée. C'est la présence de ce mot clé qui entraîne le calcul des caractéristiques mécaniques de la section (cf. [U4.42.01] AFFE_CARA_ELEM, mot clé POUTRE).

◊ GROUP_MA_INTE = **lgi**

lgi désigne un ou plusieurs groupes de mailles décrivant les contours d'éventuels trous. Cette donnée sert au calcul de la constante de torsion.

◊ GROUP_MA = **lgm**

lgm correspond à une liste de groupes de mailles pour lesquels le calcul des caractéristiques doit être effectué de façon indépendante. Cette fonctionnalité permet en particulier de rechercher les caractéristiques de poutre équivalente à plusieurs sections disjointes. Si on souhaite le calcul des caractéristiques mécaniques pour chaque groupe de maille, il faut alors donner un groupe de mailles de bord par section (à l'aide du mot clé GROUP_MA_BORD). Les listes **lgb** et **lgm** doivent alors se correspondre.

◊ ORIG_INER = (yp, zp)

Ce mot clé définit le point où les caractéristiques inertielles de la section sont calculées. Les valeurs des moments d'inertie sont alors fournies en ce point et au centre de gravité de la section (pour tout le maillage ou bien pour chaque groupe de maille si GROUP_MA est précisé).

◊ GROUP_NO = **lgn**

Pour le calcul des coefficients de cisaillement (si le mot clé GROUP_MA_BORD est présent), on est amené à résoudre un problème thermique sur la section (ou chaque groupe de la liste **lgm**), avec pour seule condition aux limites un terme source. Ceci peut produire des messages d'alarme dus à la présence de pivots nuls, sans que la qualité du résultat en soit affectée. Pour éviter ces messages d'alarme, il est possible de donner un groupe de nœuds ou une liste de groupe de nœuds (de même cardinal que **lgm**) pour lesquels la température est imposée. Chaque GROUP_NO ne doit contenir qu'un seul nœud.

◊ NOM = nom

Lorsque NOM est renseigné et que TABLE_CARA='OUI' le nom de la section est renseigné dans la colonne LIEU de la table. Cela permet à l'utilisateur d'utiliser directement la table dans AFFE_CARA_ELEM pour affecter les grandeurs mécaniques à différents éléments linéiques.

2.6 Cas de réseau de poutres

♦ LONGUEUR = h,
♦ MATERIAU = mater,
♦ LIAISON = ['ROTULE', 'ENCASTREMENT'],

Ces trois mots-clés permettent le calcul des coefficients de cisaillement équivalents à un ensemble de poutres parallèles (poteaux) situées entre deux planchers, distants de la longueur h. Les sections de ces poutres sont définies par le mot-clé GROUP_MA.

Elles sont toutes composées du même matériau élastique linéaire (mot-clé MATERIAU). La liaison avec le plancher inférieur est de type "encastrement". Celle avec le plancher supérieur est désigné par le mot-clé LIAISON.

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

3 Définition des grandeurs produites

3.1 Repère de l'élément de structure

La figure 3.1-a indique le repère lié à l'élément de structure. L'axe X représente l'axe neutre de l'élément de structure. Les caractéristiques mécaniques sont obligatoirement données dans les axes principaux de la section droite [R3.08.01] de l'élément : $Y_{principal}$ et $Z_{principal}$.

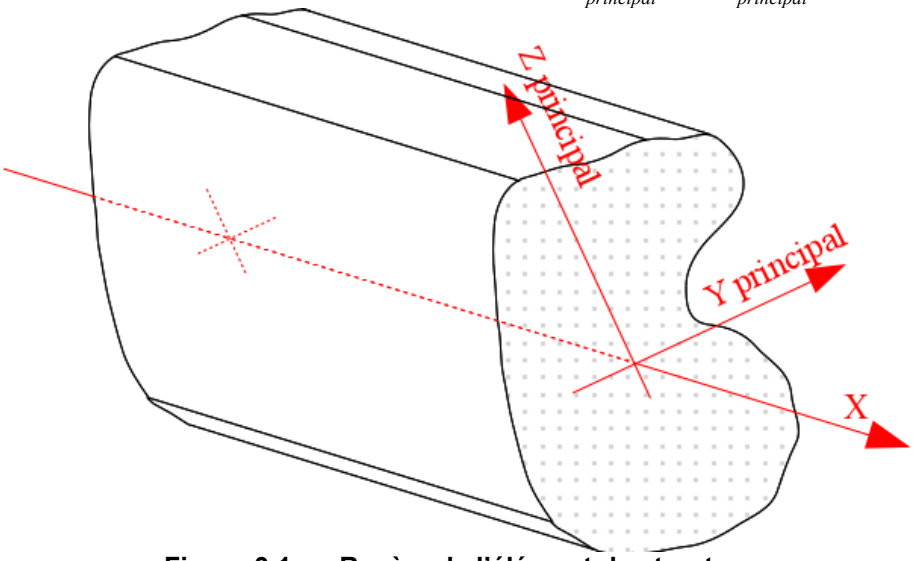


Figure 3.1-a : Repère de l'élément de structure.

3.2 Repères utilisés pour les caractéristiques géométriques

Deux repères sont utilisés :

- le repère OYZ de description du maillage 2D ;
- 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 [U4.42.01].

Remarque :

Le maillage qui est en entrée de la commande est en 2D et doit donc être donné dans les axes oxy. Les coordonnées z doivent toutes être identiques. La commande MACR_CARA_POUTRE fait la correspondance entre les axes x et Y, y et Z.

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

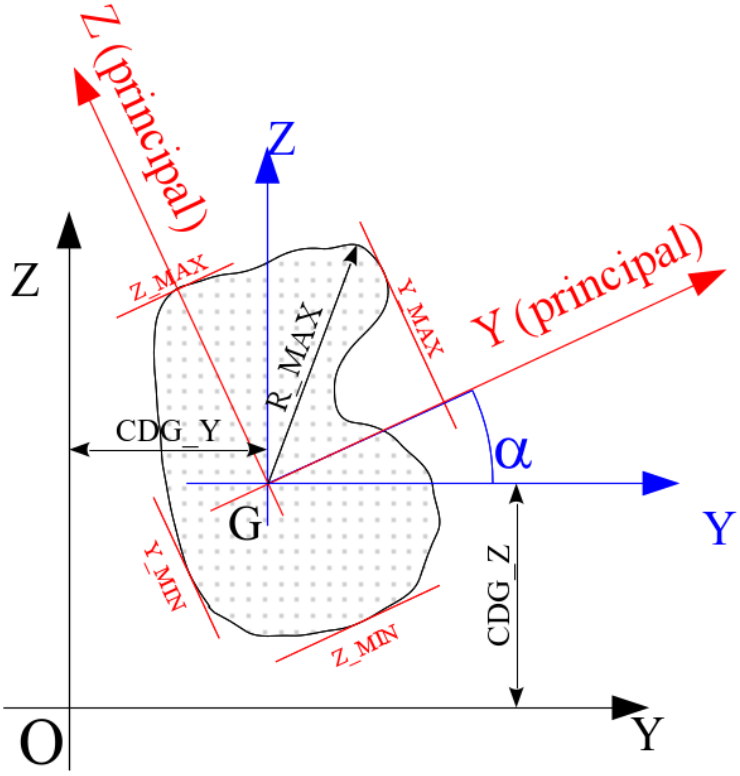


Figure 3.2-a : Définition des grandeurs géométriques relatives à une section de poutre.

3.3 Grandeurs disponibles dans la table produite

3.3.1 Caractéristiques géométriques

Ces caractéristiques sont données dans la table pour tout le maillage et pour chaque groupe de la liste `lgm` (qui peut correspondre à une moitié ou un quart de la section si les mots clés `SYME_Y` ou `SYME_Z` sont présents).

3.3.1.1 Caractéristiques du maillage lu

- 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`

3.3.1.2 Caractéristiques de la section de poutre

- 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`
- moments d'inertie d'aire principaux dans le repère Gyz, 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 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`.
- `RY` et `RZ` : maximum de `Y_MIN` et `Y_MAX` et de `Z_MIN` et `Z_MAX`.
- `Y_P, Z_P` : point de calcul des moments d'inertie géométriques
- `IY_P, IZ_P, IYZ_P` : moments d'inertie géométriques dans le repère `PYZ`
- `IY_P, IZ_P` : moments d'inertie dans le repère Pyz.

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

- IYR2_G, IZR2_G, IYR2, IZR2, IXR2_P, IYR2_P : caractéristiques utiles pour la matrice de rigidité géométrique des éléments POU_D_TG et POU_D_TGM. Pour plus de détail sur la définition des grandeurs voir [R3.08.04] :

$$I^2_{yr}=\int_S y(y^2+z^2)\,dS \quad I^2_{zr}=\int_S z(y^2+z^2)\,dS$$

3.3.2 Caractéristiques “mécaniques”

Ces caractéristiques sont fournies dans la table pour tout le maillage et pour chaque groupe de maille de la liste **lgm**.

3.3.2.1 Caractéristiques de torsion

- constante de torsion : JX
  La résolution d’un problème thermique stationnaire d’inconnue ϕ permet de déterminer la constante de torsion et les contraintes de cisaillement.
  Remarque :
  Lorsque la section est constituée d’éléments de faibles épaisseurs (tubes, sections reconstituées, ...), il est nécessaire d’avoir plusieurs mailles dans cette épaisseur pour calculer correctement les caractéristiques liées à la torsion.
  Les caractéristiques de torsion sont obtenues par la résolution de $\Delta\phi$ sur la section, il faut donc que le maillage permette de résoudre cette équation.
  ***Il est nécessaire d’avoir plus de trois mailles linéaires ou deux mailles quadratiques dans l’épaisseur pour résoudre correctement $\Delta\phi$.** En cas de doute sur la valeur trouvée, il est possible d’en obtenir une valeur approchée, en appliquant la formule donnée dans [1, pp. 200, table 3.6.5].*
- rayon de torsion : RT
  Le rayon de torsion Rt peut varier le long du contour externe; en effet, pour une section quelconque, les cisaillements dus à la torsion varient sur le bord. On choisit de prendre la valeur de Rt conduisant aux cisaillements maximums sur le bord externe, c’est-à-dire la valeur maximum de Rt (en valeur absolue) sur le contour externe. De plus, si la section est alvéolée, on a plusieurs “plusieurs rayons de torsion” : $Rt=2*A(k)/L(k)$ (où $A(k)$ représente l’aire de l’alvéole k et $L(k)$ son périmètre).
  Si on se contente de rechercher la valeur maximale du cisaillement, il faut prendre le maximum des valeurs Rt obtenues sur le bord externe et sur les alvéoles.
- Position du centre de torsion (point C) dans le repère GYZ : PCTY et PCTZ. On en déduit l’excentrement du centre de torsion (composante de CG dans le repère principal d’inertie Gyz) : EY et EZ.
- Constante de gauchissement (utilisable pour les modélisations POU_D_TG et POU_D_TGM avec 7 degrés de liberté) : JG.

3.3.2.2 Caractéristiques de cisaillement

Les coefficients A_y et A_z sont donnés, dans le repère principal d’inertie Gyz, sous la forme du rapport (>1) de l’aire totale à l’aire effectivement cisaillée.

3.4 Affectation des grandeurs dans AFFE_CARA_ELEM

Les caractéristiques contenues dans cette table et qui peuvent être utilisées dans AFFE_CARA_ELEM ont les mêmes noms que les caractéristiques attendues sous le mot-clé CARA de la commande AFFE_CARA_ELEM.
Les résultats calculés par MACR_CARA_POUTRE peuvent être transmis simplement à AFFE_CARA_ELEM via le mot-clé TABLE_CARA.

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

4 Exemples d'utilisation

4.1 Caractéristique d'un profilé en cornière à ailes égales

$(50\times 50\times 8)$ traité par le test SSLL107A [V1.01.105].

4.1.1 Section étudiée

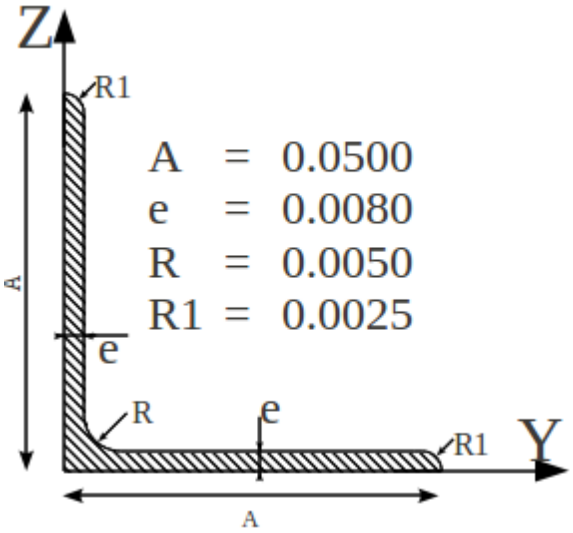


Figure 4.1.1-a : Cornière à ailes égales 50x50x8.

4.1.2 Fichier de commandes

```
TCARA = MACR_CARA_POUTRE(
    GROUP_MA_BORD = 'LSURF', GROUP_NO = 'GN1', INFO = 2)
```

ou LSURF est le groupe des mailles linéiques du contour de la section.

4.1.3 Caractéristiques géométriques obtenues

Les caractéristiques du maillage sont identiques à celles de la section. Elles sont conformes à celles trouvées dans le "Catalogue de produits sidérurgiques OTUA : Conditions d'emploi en construction métallique - 1959"

```
A_M         =  A            =  7.39E-04
CDG_Y_M     =  CDG_Y        =  1.53148E-02
CDG_Z_M     =  CDG_Z        =  1.53148E-02
IY_G_M      =  IY_G         =  1.64141E-07
IZ_G_M      =  IZ_G         =  1.64141E-07
IYZ_G_M     =  IYZ_G        = -9.48843E-08
IY                          =  2.59025E-07
IZ                          =  6.92568E-08

ALPHA                       =  45°
OG                          =  2.166E-02
Y_MIN       = -OG           = -2.166E-02
Y_MAX                       =  1.465E-02
Z_MIN       =  -A cos(α/4)  = -3.536E-02
Z_MAX       =  A cos(α/4)   =  3.536E-02
R_MAX                       =  3.792E-02
RY          = -Y_MIN        =  2.166E-02
RZ          =  Z_MAX        =  3.536E-02
```

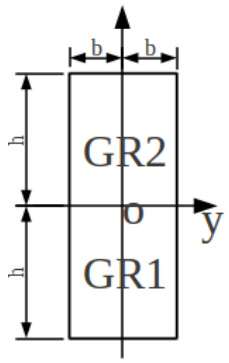

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4.1.4 Caractéristiques mécaniques

```
JX      =  1.596E-8
RT      =  1.164E-2
PCT_Y   =  4.665E-3
PCT_Z   =  4.665E-3
EY      =  1.51E-0 2
EZ      =  0.00
AY      =  2.174
AZ      =  2.174
```

4.2 Rectangle plein (traité par le test SSLL107G)

4.2.1 Section étudiée



$b=0.01$
$h=0.025$
On définit 3 groupes de mailles :
GR1 partie $y \leq 0$
GR2 partie $y \geq 0$
LR1 mailles linéiques du contour

4.2.2 Commande

```
TCARS = MACR_CARA_POUTRE (GROUP_MA_BORD = 'LR1', GROUP_NO = ' G N64')
```

4.2.3 Caractéristiques géométriques obtenues

LIEU	A_M	CDG_Y_M	CDG_Z_M	IY_G_M	IZ_G_M	IYZ_G_M
0.000003	1.00E-03	4.24E-18	-3.39E-18	2.08E-07	3.33E-08	2.65E-23
GR1	5.00E-04	2.20E-17	-1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	3.97E-23
GR2	5.00E-04	-8.47E-18	1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	5.62E-23

LIEU	A	CDG_Y	CDG_Z	IY_G	IZ_G	IYZ_G
0.000003	1.00E-03	4.24E-18	-3.39E-18	2.08E-07	3.33E-08	2.65E-23
GR1	5.00E-04	2.20E-17	-1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	3.97E-23
GR2	5.00E-04	-8.47E-18	1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	5.62E-23

LIEU	IY	IZ	Y_P	Z_P	IY_P	IZ_P
0.000003	3.33E-08	2.08E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-07	3.33E-08
GR1	1.67E-08	2.60E-08	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08
GR2	1.67E-08	2.60E-08	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08

LIEU	IYZ_P	IY_PRIN_P	IZ_PRIN_P	Y_MAX	Z_MAX	Y_MIN
0.000003	2.65E-23	3.33E-08	2.08E-07	2.50E-02	1.00E-02	-2.50E-02
GR1	-9.79E-23	1.67E-08	1.04E-07	2.50E-02	2.25E-02	-2.50E-02
GR2	3.31E-24	1.67E-08	1.04E-07	2.50E-02	-2.50E-03	-2.50E-02

LIEU	Z_MIN	R_MAX	JX	AY	AZ	EY
0.000003	-1.00E-02	2.69E-02	-	-	-	-
GR1	2.50E-03	3.36E-02	3.43E-08	1.20E+00	1.20E+00	9.00E-17
GR2	-2.25E-02	3.36E-02	3.43E-08	1.20E+00	1.20E+00	-4.03E-17

LIEU	EZ	PCTY	PCTZ	RT	ALPHA
0.000003	-	-	-	1.93871E-2	9.00E+01
GR1	-3.97E-18	2.60E-17	-1.25E-02	1.56391E-2	9.00E+01
GR2	1.19E-16	-1.27E-16	1.25E-02	1.56391E-2	9.00E+01

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

5 Références

[1] J.L. BATOZ, G. DHATT. Modélisation des structures par éléments finis, vol. 2–HERMES.

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