

---

## 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`.

## 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), [1_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, [1_gr_maille]  
    ◇ GROUP_NO = lgn, [group_no]  
    ◇ GROUP_MA_INTE = lgi, [1_gr_maille]  
  
  # Calcul des caractéristiques équivalentes pour des sections disjointes  
  ◇ GROUP_MA = lgm, [1_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']  
)
```

## 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 clés 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*

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 **lgn**), 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 **lgn**) 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.

## 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  $Z_{principal}$ .

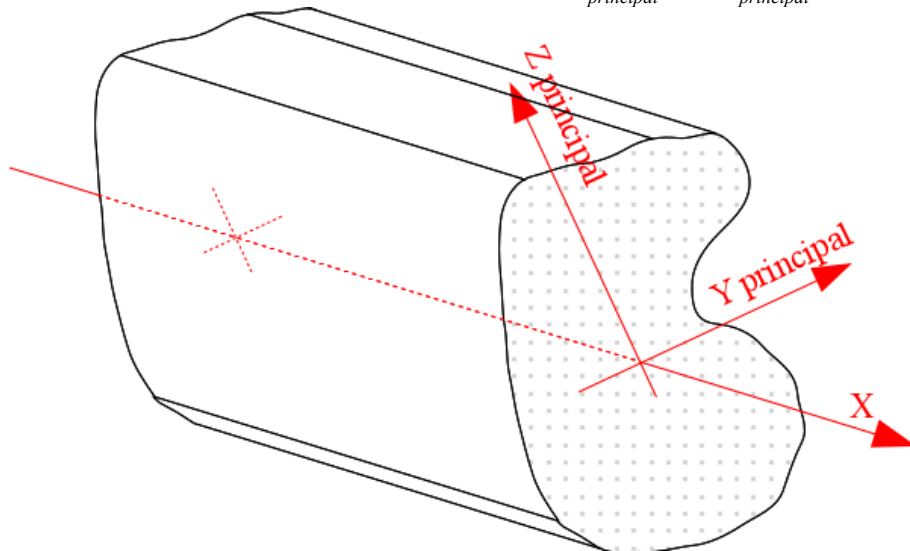


Figure 3.1-a : Repère de l'élément de structure.

### 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  $G_{yz}$  de la section droite, dont la dénomination correspond à celle utilisée à la description des éléments de poutre de fibre neutre  $G_x$  [U4.42.01].

**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  $Z$ .

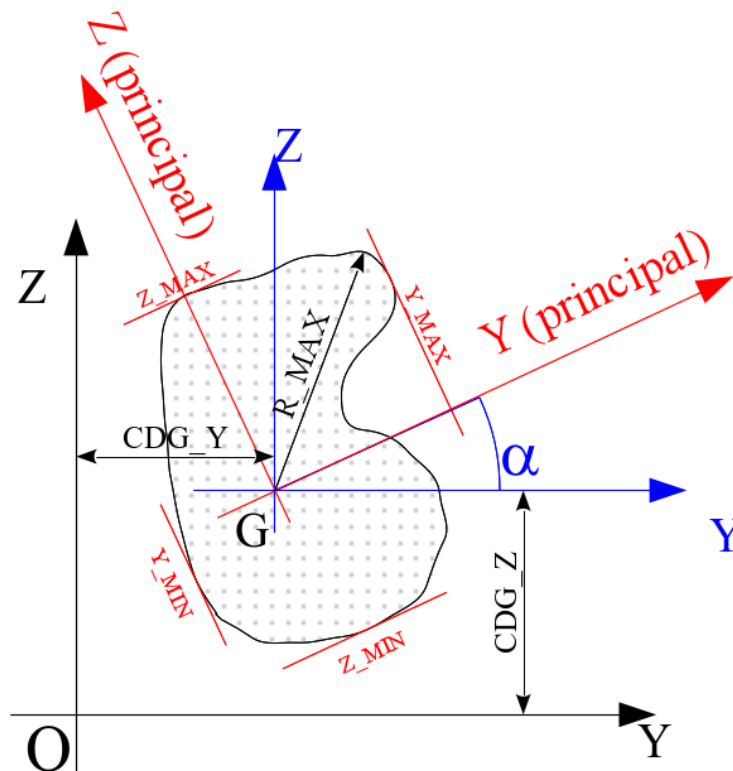


Figure 3.2-a : Définition des grandeurs géométriques relatives à une section de poutre.

### 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 G<sub>yz</sub>, 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<sub>yz</sub> : 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 P<sub>yz</sub>.

- 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] :

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

### 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  $\phi$  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 de cisaillement sont donnés, dans le repère principal d'inertie  $G_{yz}$ , sous la forme du rapport ( $> 1$ ) de l'aire totale à l'aire effectivement cisailée : AY et AZ.

## 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.

## 4 Exemples d'utilisation

### 4.1 Caractéristique d'un profilé en cornière à ailes égales

(50×50×8) traité par le test SSSL107A [V1.01.105].

#### 4.1.1 Section étudiée

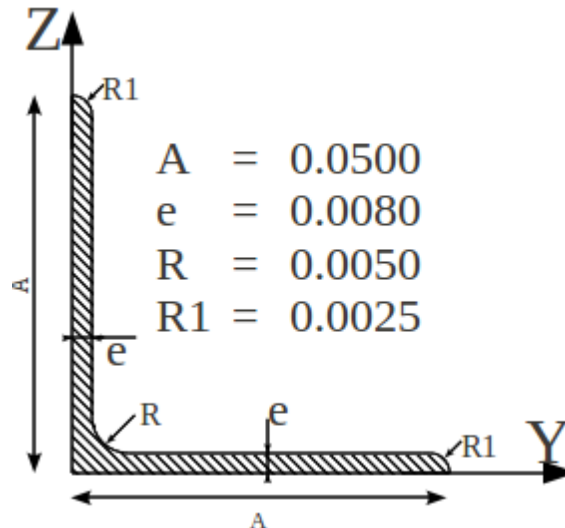


Figure 4.1.1-a : Cornière à ailes égales 50x50x8.

#### 4.1.2 Fichier de commandes

```
TCARA = MACR_CARACT_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
R_Y = -Y_MIN = 2.166E-02
R_Z = Z_MAX = 3.536E-02
```

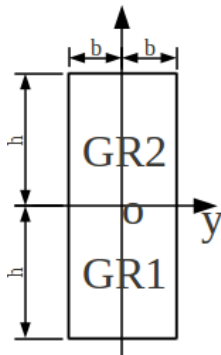


## 4.1.4 Caractéristiques mécaniques

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 SSSL107G)

### 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 = 'GN64')

### 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

## 5 Références

---

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