
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_C_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 X ou à Y , quart de maillage avec deux symétries par rapport à X et à Y),
- les caractéristiques de torsion : rayon de torsion, constante de rigidité en torsion, position et excentricité 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 "ouverte" 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.

1 Syntaxe

```
tb[table_sdaster] = MACR_CARA_POUTRE (

  ◇      MAILLAGE          =      ma,                                [mailage]
  # Si maillage n'est pas renseigné
    /      UNITE            =      20,                                [DEFAULT]
    /      FORMAT           =      /      ASTER                      [DEFAULT]
                                /      MED
                                /      iuni,                          [entier]
  ◇      INFO               =      /      1                          [DEFAULT]
                                /      2
  ◇      ORIG_INER          =      /      (xp,yp),                    [l_réel]
                                /      (0.0, 0.0)                      [DEFAULT]

  # Si on veut les caractéristiques géométriques seulement

  /      ◇      |      SYME_X      =      'OUI',
            |      SYME_Y      =      'OUI',
            ◇      GROUP_MA      =      lgm,                        [l_gr_maille]

  # Si on veut les caractéristiques géométriques et mécaniques d'une section
  /      ◇      GROUP_MA_BORD    =      lgb,                        [l_gr_maille]
            ◇      /      NOEUD      =      ln,                      [noeud]
            /      GROUP_NO      =      gn,                        [group_no]
            ◇      GROUP_MA_INTE =      lgi,                        [l_gr_maille]

  # Si on veut les caractéristiques d'un réseau de poutres entre deux planchers
  /      ◇      GROUP_MA_BORD    =      lgb,                        [l_gr_maille]
            ◇      GROUP_MA      =      lgm,                        [l_gr_maille]
            ◇      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 clefs suivant pour que la macro commande réalise la lecture par la commande `LIRE_MAILLAGE`.
- ◇ `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 Opérandes SYME_X / SYME_Y

- ◇ `| SYME_X`
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 $X=0$.
- ◇ `| 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 $Y=0$.
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_X et SYME_Y 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_X et SYME_Y ne peuvent pas être renseignés simultanément à GROUP_MA_BORD .

2.3 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 = (xp, yp)

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).

◇ NOEUD = ln,
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 nœud ou un groupe de nœuds (ou une liste de nœuds ou de groupe de nœuds si lgn est donnée) pour lesquels la température est imposée.

2.4 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 Repères utilisés pour les caractéristiques géométriques

Deux repères sont utilisés :

1. le repère OXY de description du maillage 2D ;
2. 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].

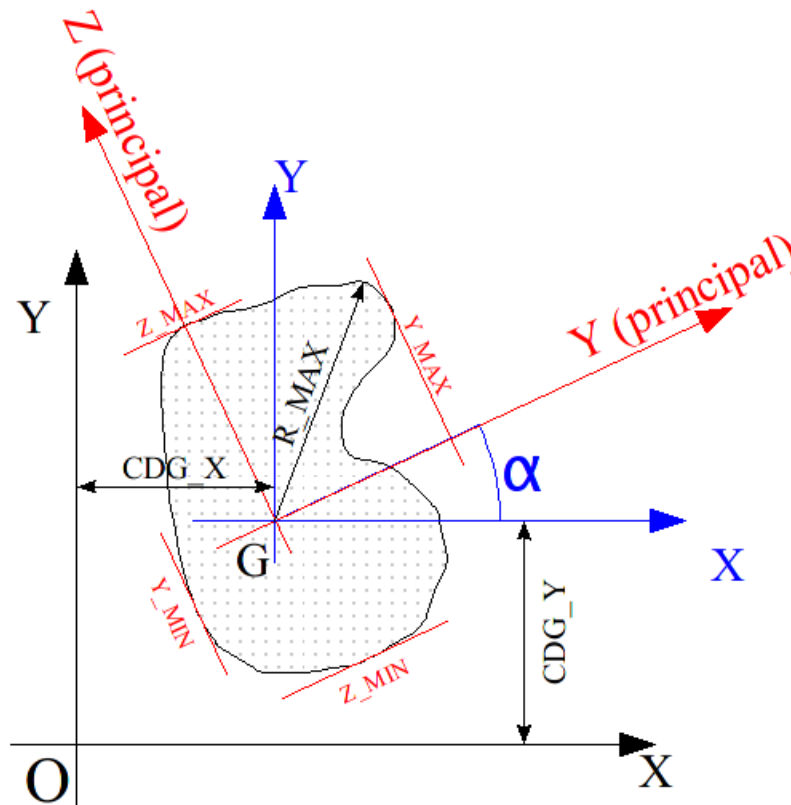


Figure 3.1-a : Définition des grandeurs géométriques relatives à une section de poutre.

3.2 Grandeurs disponibles dans la table produite

3.2.1 Caractéristiques géométriques

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

3.2.1.1 Caractéristiques du maillage lu

- 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

3.2.1.2 Caractéristiques de la section de poutre

- 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

- moments d'inertie d'aire principaux dans le repère G_{yz} , utilisables pour le calcul de la rigidité de flexion de la poutre : IY_PRIN_G et IZ_PRIN_G
- angle de passage du repère G_{XY} 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 .
- X_P , Y_P : point de calcul des moments d'inertie géométriques
- IX_P , IY_P , IXY_P : moments d'inertie géométriques dans le repère P_{XY}
- IY_PRIN_P , IZ_PRIN_P : moments d'inertie dans le repère P_{yz} .
- $IXR2$, $IYR2$, $IYR2_PRIN_G$, $IZR2_PRIN_G$, $IXR2_P$, $IYR2_P$: caractéristiques utiles pour la matrice de rigidité géométrique des éléments POU_D_TG et $POU_D_T_GM$. Pour plus de détail sur la définition des grandeurs voir [R3.08.04]

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

3.2.2 Caractéristiques "mécaniques"

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

3.2.2.1 Caractéristiques de torsion

- constante de torsion : `CT`
La résolution d'un problème thermique stationnaire d'inconnue ϕ permet de déterminer la constante de torsion et les contraintes de cisaillement.
- 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 maximum 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 G_{XY} : `PCTX` et `PCTY`. On en déduit l'excentricité du centre de torsion (composante de CG dans le repère principal d'inertie G_{yz}) : `EY` et `EZ`.
- Constante de gauchissement (utilisable pour les modélisations `POU\_D\_TG` et `POU\_D\_TGM` avec 7 degrés de liberté) : `JG`.

3.2.2.2 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`.

3.3 Affectation des grandeurs dans AFFE_CARA_ELEM

Les valeurs contenues dans cette table peuvent être dans la commande AFFE_CARA_ELEM pour un calcul de type poutre.

Dans AFFE_CARA_ELEM, les caractéristiques sont à fournir dans le repère principal d'inertie (G, y, z) . Les quantités à fournir $(IY, IZ, ..)$ correspondent à celles calculées dans le repère principal d'inertie défini à partir de G, X, Y (IY_PRIN_G, IZ_PRIN...).

Il faut donc prendre garde à bien orienter le repère local des éléments de poutre (mot clé ORIENTATION de AFFE_CARA_ELEM) afin d'affecter correctement les quantités.

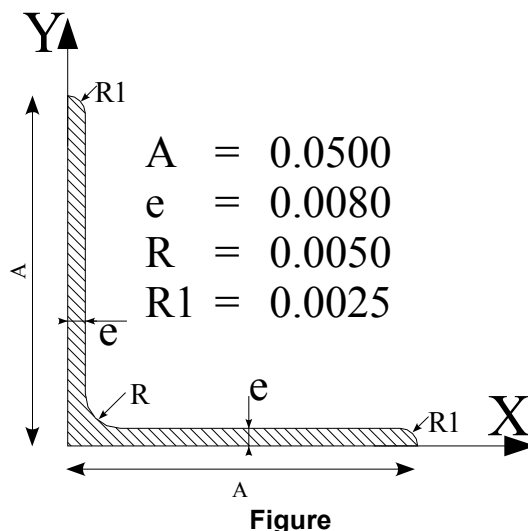
Il est possible de fournir directement (via des variables python) les caractéristiques des sections (générale) issues d'un calcul avec MACR_CARA_POUTRE. Ceci est mis en œuvre dans le test SSLL107F.

4 Exemples d'utilisation

4.1 Caractéristique d'un profilé en cornière à ailes égales

(50×50×8) traité par le test SSL107A [V1.01.105].

4.1.1 Section étudiée



4.1.2 Fichier de commandes

TCARA = MACR_CAR_POUTRE (GROUP_MA_BORD = 'LSURF', NOEUD = 'N1', 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"

AIRE_M	=	AIRE	=	7.39E-4
CDG_X_M	=	CDG_X	=	1.53148E-02
CDG_Y_M	=	CDG_Y	=	1.53148E-02
IX_G_M	=	IX_G	=	1.64141E-07
IY_G_M	=	IY_G	=	1.64141E-07
IXY_G_M	=	IXY_G	=	-9.48843E-08
IY_PRIN_G	=		=	2.59025E-07
IZ_PRIN_G	=		=	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

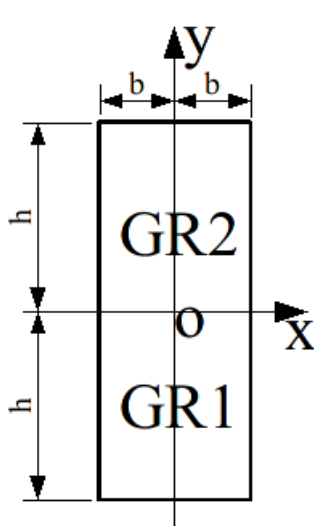
4.1.4 Caractéristiques mécaniques

CT	=	1.596E-8
RT	=	1.164E-2
PCT_X	=	4.665E-3
PCT_Y	=	4.665E-3
EY	=	1.51E-2
EZ	=	0.00
AY	=	2.174

AZ = 2.174

4.2 Rectangle plein (traité par le test ZZZZ105G)

4.2.1 Section étudiée



$$b = 0.01$$

$$h = 0.025$$

On définit 3 groupes de mailles :

GR1 correspond à la partie $y \leq 0$

GR2 correspond à la partie $y \geq 0$

LR1 correspond aux mailles linéiques du contour

4.2.2 Commande

TCARS = MACR_CAR_POUTRE (GROUP_MA_BORD = 'LR1', NOEUD = 'N64')

4.2.3 Caractéristiques géométriques obtenues

LIEU	AIRE_M	CDG_X_M	CDG_Y_M	IX_G_M	Y_G_M	IXY_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	AIRE	CDG_X	CDG_Y	IX_G	IY_G	IXY_G	IY_PRIN_G	Z_PRIN_G	ALPHA
0.000003	1.00E-03	4.24E-18	-3.39E-18	2.08E-07	3.33E-08	2.65E-23	3.33E-08	2.08E-07	9.00E+01
GR1	5.00E-04	2.20E-17	-1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	3.97E-23	1.67E-08	2.60E-08	9.00E+01
GR2	5.00E-04	-8.47E-18	1.25E-02	2.60E-08	1.67E-08	5.62E-23	1.67E-08	2.60E-08	9.00E+01

LIEU	X_P	Y_P	IX_P	IY_P	IXY_P	IY_PRIN_P	IZ_PRIN_P			
0.000003	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-07	3.33E-08	2.65E-23	3.33E-08	2.08E-07			
GR1	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08	-9.79E-23	1.67E-08	1.04E-07			
GR2	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-07	1.67E-08	3.31E-24	1.67E-08	1.04E-07			

LIEU	Y_MAX	Z_MAX	Y_MIN	Z_MIN	R_MAX					
0.000003	2.50E-02	1.00E-02	-2.50E-02	-1.00E-02	2.69E-02					
GR1	2.50E-02	2.25E-02	-2.50E-02	2.50E-03	3.36E-02					
GR2	2.50E-02	-2.50E-03	-2.50E-02	-2.25E-02	3.36E-02					

LIEU	CT	AY	AZ	EY	EZ	PCTX	PCTY	G	RT
0.000003	-	-	-	-	-	-	-	-	1.93871E-2
GR1	3.43E-08	1.20E+00	1.20E+00	9.00E-17	-3.97E-18	2.60E-17	-1.25E-02	-	1.56391E-2
GR2	3.43E-08	1.20E+00	1.20E+00	-4.03E-17	1.19E-16	-1.27E-16	1.25E-02	-	1.56391E-2