

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.4- : Modélisation
Document : U4.42.01

Opérateur *AFFE_CARA_ELEM*

1 But

Affecter à des éléments de structure des caractéristiques géométriques et matérielles. Les données géométriques affectées sont complémentaires aux données de maillage.

Parmi les caractéristiques traitées citons :

- pour les éléments de type coque : l'épaisseur, une direction de référence dans le plan tangent,
- pour les éléments de type poutre : les caractéristiques de la section transversale et l'orientation des axes principaux d'inertie autour de la fibre neutre, la courbure des éléments courbes,
- pour les éléments de type discret (ressort, masse/inertie, amortisseur) : les valeurs des matrices de rigidité, de masse ou d'amortissement à affecter directement ou après orientation,
- pour les éléments de type barre ou de type câble : l'aire de la section transversale,
- pour les éléments de milieux continu 3D et 2D : des axes locaux par rapport auxquels l'utilisateur pourra définir des directions d'anisotropie.

Cet opérateur produit une structure de type `cara_elem`.

2 Syntaxe générale

```
cara [cara_elem] = AFFE_CARA_ELEM
```

```
(
  ♦  MODELE =  mo ,                               [modele]
  ◇  INFO   =  /  1,                               [DEFAULT]
                /  2,
  ◇  VERIF  =  |  'MAILLE',
                |  'NOEUD' ,

  ♦  |  BARRE :                                (voir mot clé BARRE      [$6])
      |  CABLE :                               (voir mot clé CABLE      [$7])
      |  COQUE :                               (voir mot clé COQUE      [$8])
      |  POUTRE :                             (voir mot clé POUTRE      [$9])
        ◇  ORIENTATION :                     (voir mot clé ORIENTATION [$10])
        ◇  DEFI_ARC :                         (voir mot clé DEFI_ARC    [$11])
      |  AFFE_SECT :                           (voir mot clé AFFE_SECT    [$12])
      |  AFFE_FIBRE :                           (voir mot clé AFFE_FIBRE    [$12])
      |  DISCRET :                             (voir mot clé DISCRET      [$13])
        ◇  ORIENTATION :                     (voir mot clé ORIENTATION [$10])
      |  MASSIF :                               (voir mot clé MASSIF      [$14])
      |  ASSE_GRIL :                             (voir mot clé ASSE_GRIL    [$15])
      |  POUTRE_FLUI :                           (voir mot clé POUTRE_FLUI    [$16])
      |  GRILLE :                               (voir mot clé GRILLE      [$17])
      |  RIGI_PARASOL :                         (voir mot clé RIGI_PARASOL  [$18])
```

3 Opérandes généraux MODELE et VERIF

3.1 Opérande MODELE

♦ MODELE = mo

Concept du type `modele`, produit par l'opérateur `AFPE_MODELE` [U4.41.01] sur lequel sont affectées les caractéristiques des éléments. Notons que le modèle doit contenir explicitement au moins un des éléments de structure, sur lequel va porter l'affectation (sinon le calcul s'arrête).

3.2 Opérande VERIF

◇ VERIF = / 'MAILLE'
/ 'NOEUD'

Argument	Signification
'MAILLE'	Vérifie que le type d'élément supporté par les mailles, auxquelles on veut affecter une caractéristique, est compatible avec cette caractéristique (y compris les orientations). Dans le cas contraire, arrêt avec message d'erreur.
'NOEUD' (uniquement avec DISCRET)	Vérifie que les nœuds auxquels on veut affecter une caractéristique nodale supportent un type d'élément compatible avec cette caractéristique. Dans le cas contraire, arrêt avec message d'erreur.

3.3 Opérande INFO

◇ INFO = / 2 Imprime sur le fichier "MESSAGE", pour tous les éléments, la liste de valeurs affectées aux éléments :

- angles d'orientation en degrés (poutres et discrets),
- caractéristiques des sections transversales de poutres et de barres,
- impressions des matrices élémentaires (discrets).

/ 1 n'imprime rien

4 Définition du domaine d'affectation

Le choix des éléments du modèle `mo` sur lesquels porte l'affectation se fait en deux étapes :

- 1) le choix du type d'élément concernés par l'affectation (`POUTRE`, `DISCRET`, ...),
 - 2) les mailles (du type d'élément défini) à affecter.
- le choix du mot clé facteur définissant le type d'éléments (`POUTRE`, `DISCRET`, ...) implique qu'il existe dans le modèle les types d'éléments adaptés (vérification effectuée systématiquement).

Les types d'éléments concernés dépendent de la modélisation :

- phénomène `MECANIQUE`

Mot clé	Modélisation
BARRE	BARRE
CABLE	CABLE, CABLE_POULIE
COQUE	COQUE_AXIS, COQUE_C_PLAN, COQUE_D_PLAN, DKT, DST, DKQ, DSQ, Q4G, COQUE_3D
DISCRET	DIS_T, DIS_TR, 2D_DIS_T, 2D_DIS_TR
POUTRE	POU_D_E, POU_D_T, POU_C_T, POU_D_TG, POU_D_TGD, FLUI_STRU, TUYAU_3M, TUYAU_6M
MASSIF	3D, AXIS, AXIS_FOURIER, C_PLAN, D_PLAN, AXIS, TUYAU_3M, TUYAU_6M
GRILLE	GRILLE
ASSE_GRIL	ASSE_GRIL
POUTRE_FLUI	3D_FAISCEAU
AFFE_SECT	POU_D_EM, POU_D_TGM
AFFE_FIBRE	POU_D_EM, POU_D_TGM
RIGI_PARASOL	DIS_TR

- phénomène `THERMIQUE`

Mot clé	Modélisation
COQUE	COQUE_AXIS, COQUE_PLAN, COQUE
MASSIF	3D, AXIS, PLAN

- L'affectation des caractéristiques aux éléments finis se fait à l'aide des mots clé : 'MAILLE', 'NOEUD', 'GROUP_MA', 'GROUP_NO', suivant les cas.
 - Si `VERIF` n'est pas présent :
Dans un groupe ou une liste de mailles (ou de nœuds), on affecte effectivement les caractéristiques aux seuls éléments pour lesquels elles ont un sens. Pour les autres éléments, les caractéristiques ne sont pas affectées.
 - Si `VERIF` est présent :
On vérifie de plus que tous les éléments du groupe ou de la liste sont du bon type, sinon un message d'erreur est émis.

4.1 Opérandes MAILLE / GROUP_MA / NOEUD / GROUP_NO

Opérandes	Signification
GROUP_MA: l _{gma}	Affectation à tous les éléments des groupes de mailles spécifiés.
MAILLE: l _{ma}	Affectation à tous les éléments des mailles spécifiées.
GROUP_NO: l _{gno}	Affectation à tous les nœuds des groupes de nœuds spécifiés (DISCRET seulement)
NOEUD: l _{no}	Affectation à tous les nœuds spécifiés (DISCRET seulement)

Comme dans les autres commandes, la règle de surcharge s'applique [U1.03.00].

5 Affectation de valeurs

Deux méthodes sont utilisables pour affecter des valeurs de caractéristiques :

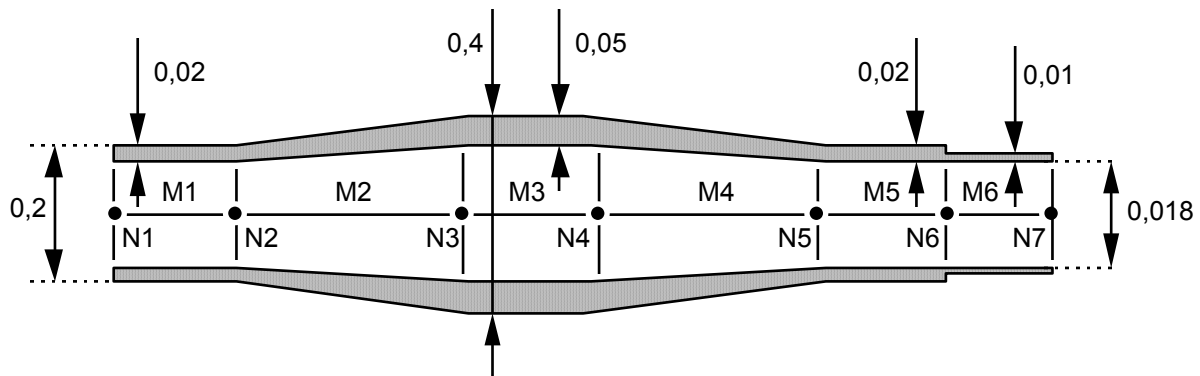
- la méthode classique : opérande dont le nom évoque la caractéristique traitée suivi d'une valeur ou d'une liste de valeurs. Exemples :

```
COQUE = _F (EPAIS = 1.E-2, GROUP_MA = 'G1'),  
COQUE = _F (ANGL_REP = (0., 90.), GROUP_MA = 'G2'),
```

- pour les affectations concernant BARRE, POUTRE et DISCRET, ainsi que ORIENTATION pour les éléments de poutre et les éléments discrets, le grand nombre de caractéristiques affectables a conduit à une syntaxe mieux adaptée :

```
CARA = _F ( ) # liste de noms de caractéristiques  
VALE = _F ( ) # liste des valeurs correspondant aux caractéristiques
```

On donne ci-dessous un exemple illustratif de ce cas.



Description des mailles :

```
SEG2  
M1 N1 N2  
M2 N2 N3  
M3 N3 N4  
M4 N5 N4  
M5 N5 N6  
M6 N6 N7  
FINSF
```

Fichier de commandes :

```
.....  
... = CARA_ELEM( .....  
  
POUTRE=( _F(SECTION='CERCLE',CARA=('R','EP'),VALE=(0.1,0.02),MAILLE=('M1','M5')),  
_F(SECTION='CERCLE',CARA=('R','EP'),VALE=(0.2,0.05),MAILLE='M3'),  
_F(SECTION='CERCLE',CARA=('R','EP'),VALE=(0.09,0.01),MAILLE='M6'),  
_F(SECTION='CERCLE',CARA=('R1','R2'),VALE=(0.1,0.2),MAILLE=('M2','M4')),  
_F(SECTION='CERCLE',CARA=('EP1','EP2'),VALE=(0.02,0.05),MAILLE=('M2','M4')) )
```

6 Mot clé **BARRE**

6.1 Caractéristiques affectables

Permet d'affecter les caractéristiques des sections transversales d'éléments de type **BARRE**. On peut traiter trois types de sections transversales définies par l'opérande **SECTION**.

A chaque type de section, il est possible d'affecter différentes caractéristiques identifiées par un ou plusieurs noms (opérande **CARA**) auxquels on associe autant de valeurs (opérande **VALE**).

6.2 Syntaxe

```

BARRE=(_F (♦ / MAILLE = lma, [l_maille]
           / GROUP_MA = lgma, [l_gr_maille]
           ♦ / SECTION = 'GENERALE',
             # section constante
             ♦ CARA = 'A',
             ♦ VALE = va, [l_R]
           / SECTION = 'RECTANGLE',
             # section constante
             ♦ CARA= / ( | 'H', | 'EP', ),
                       / ( | 'HY', | 'HZ', | 'EPY', | 'EPZ', ),
             ♦ VALE = va, [l_R]
           / SECTION = 'CERCLE',
             # section constante
             ♦ CARA= ( | 'R', | 'EP' ),
             ♦ VALE= va, [l_R]
           ♦ FCX = fv, [FONCTION]
           ),)

```

Règle d'utilisation :

- on ne peut pas surcharger un type de section (**CERCLE**, **RECTANGLE**, **GENERALE**) par un autre.

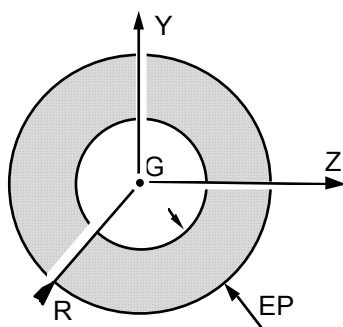
6.3 Opérandes

6.3.1 Opérande SECTION = 'GENERALE'

La seule caractéristique à fournir dans ce cas est l'aire de la section transversale de la barre 'A'.

6.3.2 Opérande SECTION = 'CERCLE'

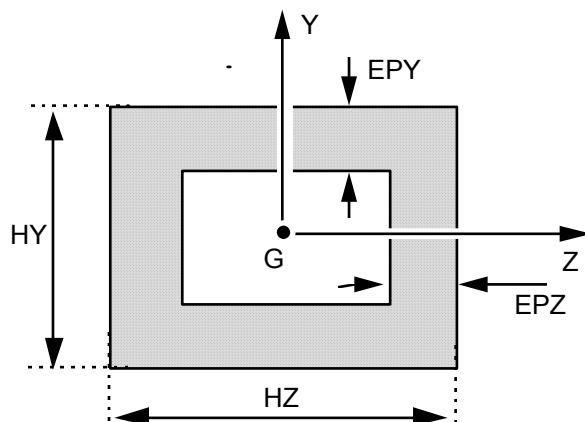
CARA	Signification	Valeur par défaut
R	Rayon extérieur du tube	Obligatoire
EP	Epaisseur dans le cas d'un tube creux	Tube plein (EP=R)



Ces valeurs sont utilisées pour calculer l'aire 'A' de la section.

6.3.3 Opérande SECTION = 'RECTANGLE'

CARA	Signification	Valeur par défaut
/ HY	Dimension du rectangle suivant G_y	Obligatoire
HZ	Dimension du rectangle suivant G_z	Obligatoire
/ H	Longueur de l'arête (si le rectangle est carré)	Obligatoire
/ EPY	Epaisseur suivant G_y dans le cas d'un tube creux	HY / 2
EPZ	Epaisseur suivant G_z dans le case d'un tube creux	HZ / 2
/ EP	Epaisseur suivant les deux axes dans le cas d'un tube creux	Tube plein



Règles d'utilisation : pour une maille donnée

- 'H' est incompatible avec 'HZ' et 'HY'
- 'EP' est incompatible avec 'EPY' et 'EPZ'.

6.4 Opérande 'FCX'

◇ FCX = fv

Affectation d'une fonction décrivant la dépendance de la force répartie vis-a-vis de la vitesse de vent relative (voir par exemple [V6.02.118]).

7 Mot clé CABLE

7.1 Caractéristiques affectables

Permet d'affecter une section constante aux éléments de type câble ou câble-poulie.

7.2 Syntaxe

```
CABLE = (  
  _F (  ♦ / MAILLE = lma , [l_maille]  
        / GROUP_MA = lgma, [l_gr_maille]  
        ♦ SECTION = aire, [R]  
  ◇ FCX = fv, [FONCTION]  
        ♦ N_INIT = / no, [R]  
                  / 5000, [DEFAULT]  
  ), )
```

7.3 Opérande 'SECTION'

♦ SECTION : aire

Permet de définir l'aire de la section transversale du câble.

7.4 Opérande 'FCX'

◇ FCX : fv

Affectation d'une fonction décrivant la dépendance de la force répartie vis-a-vis de la vitesse de vent relative (HM-77/01/046) voir par exemple test SDNL102 [V5.02.102].

7.5 Opérande N_INIT

Définit la tension initiale dans le câble. 5000 N par défaut pour des câbles dont les dimensions sont définies en mètres.

8 Mot clé COQUE

8.1 Caractéristiques affectables

Les caractéristiques affectables sur les éléments de plaque ou de coque sont :

- pour tous les éléments de ce type, une **épaisseur constante** sur chaque maille, puisque le maillage ne représente que le feuillet moyen (ou d'épure pour les ex entrées),
- pour certains modèles de coque, des caractéristiques particulières : coefficient de cisaillement, métrique, excentrement, ...
- pour l'analyse des efforts généralisés, de l'état de contrainte ou des déformations, une direction de référence pour des groupes de mailles.

8.2 Syntaxe

```

COQUE:      (  ♦  /  MAILLE=      lma ,      [l_maille]
                /  GROUP_MA=     lgma ,      [l_gr_maille]

                ♦  EPAIS=         ep ,      [R]

                ◇  MODI_METRIQUE = /  'NON'   [DEFAULT]
                                /  'OUI'

                ◇  ANGL_REP  =    /  (0. 0.)   [DEFAULT]
                                /  (α, β )     [l_R]

                ◇  COEF_RIGI_DRZ = /  KRZ
                                /  1.E-5      [DEFAULT]

                ◇  EXCENTREMENT = e
                                0.            [DEFAULT]

                ◇  INNER_ROTA =  'OUI'

                ◇  COQUE_NCOU   = /  n1,
                                /  1          [DEFAULT]
                )

```

8.3 Opérandes

8.3.1 Opérande EPAIS

- ♦ EPAIS = ep

Remarque :

L'épaisseur doit être exprimée avec les mêmes unités que les coordonnées des nœuds du maillage.

8.3.2 Opérandes MODI_METRIQUE / COEF_RIGI_DRZ / EXCENTREMENT / INNER_ROTA

/ ◇ MODI_METRIQUE = 'NON',

Fait l'hypothèse que l'épaisseur de l'élément est faible. Il n'y a pas d'intégration dans l'épaisseur mais seulement selon la surface du feuillet moyen (option par défaut pour toutes les coques).

/ MODI_METRIQUE = 'OUI',

Pour les modélisations de coques épaisses : COQUE_AXIS, COQUE_C_PLAN, COQUE_D_PLAN, COQUE_3D, les intégrations se font en prenant en compte les variations en fonction de l'épaisseur.

◇ EXCENTREMENT = / e,
/ 0.

Définit la distance entre la surface maillée et la surface moyenne, dans le sens de la normale (modélisations DKT, DST, GRILLE).

◇ INER_ROTA = 'OUI'

Prise en compte de l'inertie de rotation pour la modélisation DKT, DST et Q4G. Elle est obligatoire en cas d'excentrement. On peut omettre ce mot clé pour des coques minces, où les termes d'inertie de rotation sont négligeables par rapport aux autres dans la matrice de masse [R3.07.03].

◇ COEF_RIGI_DRZ = KRZ,

KRZ est un coefficient de rigidité fictive (nécessairement petit) sur le degré de liberté de rotation autour de la normale à la coque. Il est nécessaire pour empêcher que la matrice de rigidité soit singulière, mais doit être choisi le plus petit possible. La valeur par défaut (1.E-5) convient pour la plupart des situations (c'est une valeur relative : la rigidité autour de la normale est égale à KRZ fois le plus petit terme diagonal de la matrice de rigidité de l'élément).

8.3.3 Opérande ANGL_REP

◇ ANGL_REP = (α , β),

Ce mot clé sert à la définition d'un repère local dans le plan tangent en tout point d'une coque.

La construction du repère local se fait à l'aide des deux angles "nautiques" α et β (fournis en degrés) qui définissent un vecteur \mathbf{v} dont la projection sur le plan tangent à la coque fixe la direction x_1 .

Le vecteur \mathbf{V} est défini dans le repère global (O, X, Y, Z) par les deux rotations α et β :

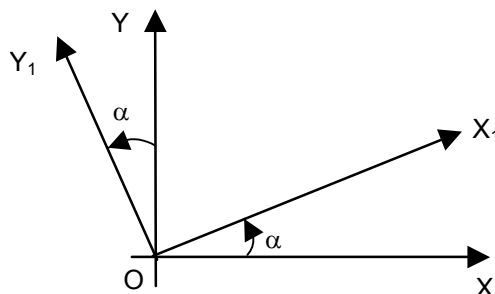


Figure 8.3.3-a

La rotation α autour de OZ transforme (OXYZ) en (OX₁ Y₁ Z) [Figure 8.3.3-a].

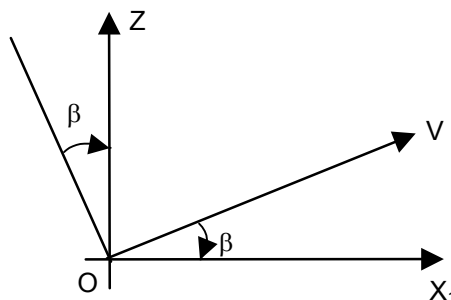


Figure 8.3.3-b

La rotation $-\beta$ autour de OY₁ transforme OX₁ en V [Figure 8.3.3-b].

En représentation tridimensionnelle [Figure 8.3.3-c].

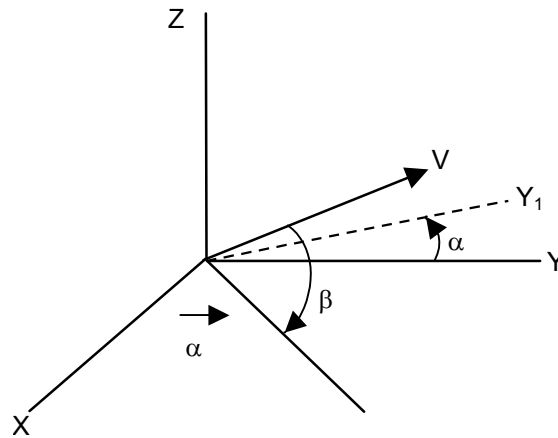


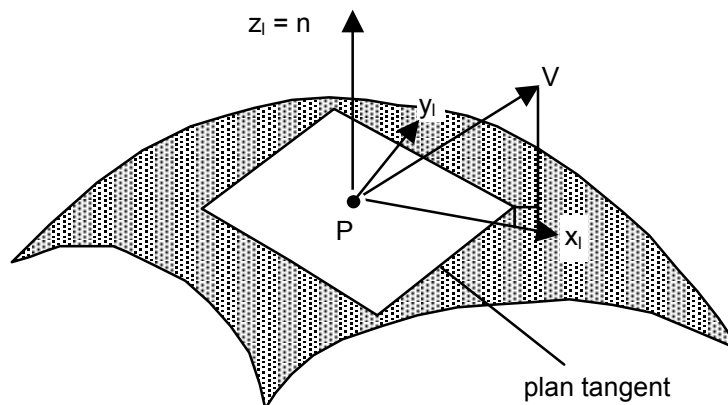
Figure 8.3.3-c

On peut définir un unique vecteur V pour toute la structure, ou bien un par zone (mots clés GROUP_MA / MAILLE).

La construction du repère local en un point d'un élément de coque est effectuée à partir de V de la façon suivante :

- la projection de V sur le plan tangent fournit l'axe x_i ,
- la normale au plan tangent n est connue pour chaque élément.

Le repère local est donc : (P, x_i, y_i, z_i) avec : $x_i = X_R$, $z_i = n$ et y_i complète le trièdre.



Remarque importante :

La définition de cet axe de référence sert :

- au niveau du post-traitement, pour définir le trièdre local dans lequel sont exprimés les efforts généralisés ou les contraintes. L'utilisateur devra veiller à ce que l'axe de référence choisi ne se retrouve pas parallèle à la normale de certaines mailles du maillage : (Exemple : Dans le cas ANGL_REP : (0. 0.) par défaut pour une plaque parallèle en plan (Y,Z) du repère GLOBAL un message d'erreur est émis lors du calcul de l'option 'EFGE_ELNO_DEPL' de CALC_ELEM [U4.81.01]). La possibilité de définir a posteriori un groupe de mailles dont la normale est dans un angle solide donné est possible par la commande DEFI_GROUP [U4.22.01],
- pour définir l'orientation des fibres d'une coque multicouche (Cf. opérateur DEFI_COQU_MULT [U4.42.03]).

8.3.4 Opérande COQUE_NCOU

Nombre de couches utilisées pour l'intégration dans l'épaisseur de la coque, dans les opérateurs STAT_NON_LINE et DYNA_NON_LINE (modélisations DKT, COQUE_3D, COQUE_AXIS, COQUE_C_PLAN, COQUE_D_PLAN).

9 Mot clé POUTRE

9.1 Caractéristiques affectables

Ce mot clé permet d'affecter les caractéristiques des sections transversales d'éléments de type **poutre** (modélisations POU_D_E, POU_D_T, POU_C_T, POU_D_TG, POU_D_TGM, POU_D_TGD, TUYAU_3M, TUYAU_6M). On peut traiter trois types de sections transversales définies par l'opérande SECTION.

A chaque type de section, il est possible d'affecter différentes caractéristiques identifiées par un ou plusieurs noms (opérande CARA) auxquels on associe autant de valeurs (opérande VALE).

Il est possible de traiter des poutres de section constante (nom de caractéristique sans suffixe) ou de section variable (nom de caractéristique avec suffixe 1 ou 2). Le mode de variation de la section est défini par le mot-clé VARI_SECT (cf. [§9.4.1]). On donne alors les caractéristiques de la section au nœud initial (nom avec suffixe 1) et au nœud final (nom avec suffixe 2) ("initial" et "final" relativement à la numérotation de la maille support). On doit également utiliser ce mot clé pour définir la constante de torsion pour la modélisation (POU_D_EM).

9.2 Syntaxe

```
POUTRE: (    ♦    / MAILLE =            lma,                            [l_maille]
                                         / GROUP_MA =            lgma,                            [l_gr_maille]
         ♦    / SECTION = 'GENERALE',
              /    # section constante
              ♦ CARA=    | 'A',
                         | 'IY' | 'IZ',
                         | 'AY' | 'AZ',
                         | 'EY' | 'EZ',
                         | 'JX',
                         | 'RY'    'RZ' | 'RZ' | 'JG' | 'IYR2' | 'IZR2' |,
                         | 'IYR2' | 'IZR2',
              /    # section variable
              ♦ CARA=    | 'A1' | 'A2',
                         | 'IY1' | 'IY2' | 'IZ1' | 'IZ2',
                         | 'AY1' | 'AY2' | 'AZ1' | 'AZ2',
                         | 'EY1' | 'EY2' | 'EZ1' | 'EZ2',
                         | 'JX1' | 'JX2',
                         | 'RY1' | 'RY2' | 'RZ1' | 'RZ2' | 'RT1' | 'RT2',
                         | 'IYR21' | 'IZR21' | 'IYR22' | 'IZR22',
              ♦ VALE = va,                                            [l_R]
              ◊ VARI_SECT = 'HOMOTHETIQUE',
              / SECTION = 'RECTANGLE',
              /    # section constante
              ♦ CARA=    /    | 'H'        | 'EP',
                                         /    | 'HY'        | 'HZ'        | 'EPY'    | 'EPZ',
              /    # section variable
              ♦ CARA=    /    | 'H1'        | 'H2'        | 'EP1'    | 'EP2',
                                         /    | 'HY1'        | 'HZ1'        | 'HY2'    | 'HZ2',
                                         | 'EPY1' | 'EPY2' | 'EPZ1' | 'EPZ2',
              ♦ VALE =    va,                                            [l_R]
              ◊ VARI_SECT =    /    'HOMOTHETIQUE',                    [DEFAULT]
                                         /    'AFFINE',
              / SECTION = 'CERCLE',
              /    # section constante
              ♦ CARA=        | 'R' | 'EP',
              /    # section variable
```

Titre : Opérateur AFPE_CARA_ELEM
Auteur(s) : J.M. PROIX, L. VIVAN

Date : 08/12/03
Clé : U4.42.01-H1 Page : 14/52

```

    ♦ CARA=      | 'R1' | 'R2' | 'EP1' | 'EP2' ,
    ♦ VALE =      va ,                                [ l_R ]
    ◇ VARI_SECT = 'HOMOTHETIQUE' ,
    ◇ MODI_METRIQUE = / 'OUI' ,
                                   / 'NON' ,            [ DEFAULT ]
    ◇ FCX =      fv ,                                [ FONCTION ]
    ◇ TUYAU_NSEC =      / nsec ,
                                   / 16 ,               [ DEFAULT ]

    ◇ TUYAU_NCOU =      ncou ,
                                   / 3 ,                [ DEFAULT ]

)
```

9.3 Règles d'utilisation

Remarque :

L'orientation des éléments de poutres se fait par le mot clé ORIENTATION [§10]. L'angle de vrille (qui permet d'orienter la section transversale de la poutre autour de sa fibre neutre) est toujours donné pour orienter les axes principaux de la section ce qui est peu pratique car ces axes sont en général inconnus avant le calcul des caractéristiques géométriques de la section (cf. MACR_CARA_POUTRE [U4.42.02]).

- **Il est possible à partir de la version 6 de fournir (via des variables python) directement les caractéristiques des sections (générale) issues d'un calcul avec MACR_CARA_POUTRE. Ceci est mis en œuvre dans le test SLL107F.**
- Les différents noms de caractéristiques arguments de l'opérande CARA sont décrits plus loin pour chaque argument de l'opérande SECTION.
- Pour une maille donnée :
 - On ne peut pas surcharger un type de variation de section (constante ou variable) par un autre.
 - On ne peut pas surcharger un type de section (CERCLE, RECTANGLE, GENERALE) par un autre.
 - Pour les poutres de section variable, les noms avec suffixe 1 ou 2 sont incompatibles avec les noms sans suffixe.
Exemple : A est incompatible avec A1 et A2.
 - 'H' est incompatible avec 'HZ' et 'HY' (ainsi que H1, H2, ...)
 - 'EP' est incompatible avec 'EPY' et 'EPZ' (ainsi que EP1, EP2, ...).
 - 'RY', 'RZ' et 'RT' n'interviennent que pour le calcul des contraintes.

9.4 Opérandes

9.4.1 Opérande VARI_SECT

Permet de définir le type de variation de section entre les deux nœuds extrémités de l'élément de poutre (éléments POU_D_E et POU_D_T [R3.08.01]). Les possibilités sont :

Section	Affine	Homothétique
cercle	non	oui
rectangle	oui (suivant z)	oui
générale	non	oui

- "Affine" signifie que l'aire de la section varie de façon linéaire entre les deux nœuds (les dimensions dans la direction y sont constantes (HY, EPY) et celle dans la direction z varient linéairement (HZ1, HZ2, EPZ1, EPZ2))
- "Homothétique" signifie que les 2 dimensions de la section varient linéairement entre les valeurs données aux deux nœuds, l'aire de la section évolue donc de façon quadratique.

9.4.2 Opérande MODI_METRIQUE

Permet de définir pour les éléments TUYAU le type d'intégration dans l'épaisseur (modélisations TUYAU_3M, TUYAU_6M) :

- MODI_METRIQUE = 'NON' conduit à assimiler dans les intégrations le rayon au rayon moyen. Ceci est donc valable pour les tuyaux de faible épaisseur (relativement au rayon),
- MODI_METRIQUE = 'OUI' implique une intégration complète, plus précise pour des tuyauteries épaisses, mais pouvant dans certains cas conduire à des oscillations de la solution.

9.4.3 Opérande SECTION = 'GENERALE'

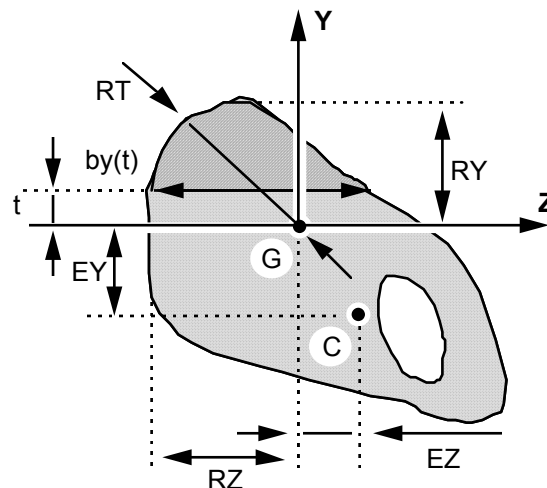
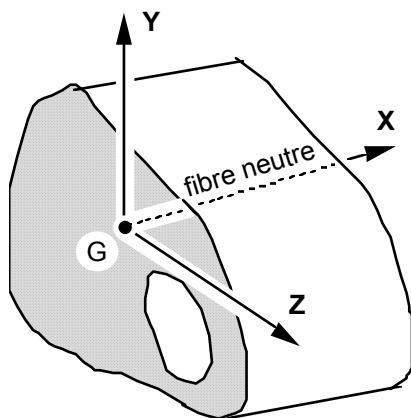
9.4.3.1 Section constante

CARA	Signification	Valeur par défaut
A	Aire de la section	Obligatoire
IZ	Moment d'inertie géométrique principal par rapport à Gz	Obligatoire
IY	Moment d'inertie géométrique principal par rapport à Gy	Obligatoire
AY	Coefficient de cisaillement dans la direction Gy	Obligatoire si POU_D_T, POU_C_T, POU_D_TG 0. si POU_D_E
AZ	Coefficient de cisaillement dans la direction Gz	idem
EY	Excentricité du centre de torsion (composante de CG suivant GY)	0.
EZ	Excentricité du centre de torsion (composante de CG suivant GZ)	0.
JX	Constante de torsion	Obligatoire
RY	Distance d'une fibre externe mesurée suivant y	1.
RZ	Distance d'une fibre externe mesurée suivant z	1.
RT	Rayon de torsion efficace	1.
JG	Constante de gauchissement (POU_D_TG)	
IYR2	Nécessaire au calcul de la rigidité géométrique (POU_D_TG et POU_D_TGM)	
IZR2	Nécessaire au calcul de la rigidité géométrique (POU_D_TG et POU_D_TGM)	

9.4.3.2 Section variable

On définit les caractéristiques pour chaque maille, aux deux nœuds.

CARA	Signification	Valeur par défaut
A1, A2	Aire de la section	Obligatoire
IZ1, IZ2	Moment d'inertie géométrique principal par rapport à Gz	Obligatoire
IY1, IY2	Moment d'inertie géométrique principal par rapport à Gy	Obligatoire
AY1, AY2	Coefficient de cisaillement dans la direction Gy	Obligatoire si POU_D_T, POU_C_T, POU_D_TG 0. si POU_D_E
AZ1, AZ2	Coefficient de cisaillement dans la direction Gz	idem
EY1, EY2	Excentricité du centre de torsion (composante de CG suivant GY)	0.
EZ1, EZ2	Excentricité du centre de torsion (composante de CG suivant GZ)	0.
JX1, JX2	Constante de torsion	Obligatoire
RY1, RY2	Distance d'une fibre externe mesurée suivant y	1.
RZ1, RZ2	Distance d'une fibre externe mesurée suivant z	1.
RT1, RT2	Rayon de torsion efficace	1.
JG1, JG2	Constante de gauchissement (POU_D_TG)	
IYR21, IYR22	Nécessaire au calcul de la rigidité géométrique (POU_D_TG et POU_D_TGM)	
IZR21, IZR22	Nécessaire au calcul de la rigidité géométrique (POU_D_TG et POU_D_TGM)	



Définition des caractéristiques :

$$IZ = \int_s y^2 ds \quad IY = \int_s z^2 ds$$

$$AY = \frac{A}{A'_Y} = \frac{A}{IZ^2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{m_y^2(y)}{b_y(y)} dy \quad AZ = \frac{A}{A'_Z} = \frac{A}{IY^2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{m_z^2(z)}{b_z(z)} dz \quad \text{avec : } m_y(y) = \int_y^{RY} t b_y(t) dt$$

$b_y(t)$ épaisseur suivant z
en $y = t$

avec :

A'_Y, A'_Z : aires réduites cisailées

$$A'_Y = \frac{A}{AY} \text{ avec } AY \geq 1. \text{ ou encore } A'_Y = k_y A \text{ avec } k_y = \frac{1}{AY} \leq 1.$$

- les coefficients de cisaillement A_Y, A_Z sont utilisés par les éléments POU_D_T, POU_C_T et POU_D_TG, pour le calcul des matrices de rigidité et de masse et pour le calcul des contraintes [R3.08.01]. En particulier, les contraintes de cisaillement transverse s'expriment

$$\text{par : } \tau_{xz} = \frac{V_Z}{k_z A} = V_Z \frac{A_Z}{A}, \quad \tau_{xy} = V_Y \frac{A_Y}{A},$$

- dans le cas des poutres d'Euler (POU_D_E) qui ne tiennent pas compte du cisaillement transverse, on néglige les termes correspondants dans le calcul de la rigidité et de la masse en prenant $A_Y = A_Z = 0$. Par contre, les contraintes [R3.08.01] de cisaillement sont

$$\text{calculées par : } \tau_{xz} = \frac{V_Z}{A}, \quad \tau_{xy} = \frac{V_Y}{A}.$$

Les caractéristiques RY, RZ, RT servent au calcul des contraintes de flexion et de torsion [R3.08.01] pour les options 'SIGM_ELNO_DEPL' ou 'SIPO_ELNO_DEPL' de CALC_ELEM [U4.81.01].

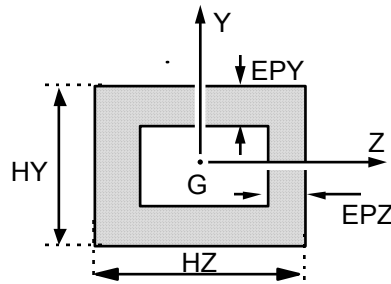
$$\text{En flexion, on a : } \sigma_{xx} = \frac{M_y}{I_y} \cdot RZ$$

$$\text{ou } \frac{M_z}{I_z} \cdot RY$$

$$\text{En torsion, } \tau_{xz} = \tau_{xy} = \frac{MT}{JX} \cdot RT$$

9.4.4 Opérande SECTION = 'RECTANGLE'

CARA	Signification	Valeurs par défaut
Section constante		
HY	Dimension du rectangle suivant Gy	Obligatoire
HZ	Dimension du rectangle suivant Gz	Obligatoire
H	Dimension du carré (si le rectangle est carré)	Obligatoire
EPY	Epaisseur suivant Gy dans le cas d'un tube creux	HY/2
EPZ	Epaisseur suivant Gz dans le cas d'un tube creux	HZ/2
EP	Epaisseur suivant les deux axes dans le cas d'un tube creux	Tube plein
Section variable		
H1, H2	Dimension du carré à chaque extrémité pour une section variable	H1=H2=H
HY1, HY2	Dimension du rectangle suivant Gy à chaque extrémité pour une section variable	HY1=HY2=HY
HZ1, HZ2	Dimension du rectangle suivant Gz à chaque extrémité pour une section variable	HZ1=HZ2=HZ
EP1, EP2	Epaisseur suivant les deux axes dans le cas d'un tube creux, à chaque extrémité dans le cas d'une section variable	EP1=EP2=EP
EPY1, EPY2	Epaisseur suivant Gy dans le cas d'un tube creux, à chaque extrémité dans le cas d'une section variable	EPY1=EPY2=EPY
EPZ1, EPZ2	Epaisseur suivant Gz dans le cas d'un tube creux, à chaque extrémité dans le cas d'une section variable	EPZ1=EPZ2=EPZ



Les caractéristiques calculées par Aster sont [R3.08.03] :

$$I_y = \frac{HY \cdot HZ^3}{12} - \frac{(HY - 2EPY) \cdot (HZ - 2EPZ)^3}{12}$$

$$I_z = \frac{HZ \cdot HY^3}{12} - \frac{(HZ - 2EPZ) \cdot (HY - 2EPY)^3}{12}$$

$$RY = \frac{HY}{2} \quad RZ = \frac{HZ}{2}$$

- Si le tube est creux :
 $AY = AZ = 1.5$

$$JX = \frac{2 EPY \cdot EPZ (HY - EPY)^2 (HZ - EPZ)^2}{HY \cdot EPY + HZ \cdot EPZ - EPY^2 - EPZ^2}$$

$$RT = \frac{JX}{2 EPZ (HY - EPY) (HZ - EPZ)}$$

- Si le tube est plein :

$$\text{on pose } a = \frac{HY}{2}, \quad b = \frac{HZ}{2} \quad \text{si } HY > HZ$$

$$a = \frac{HZ}{2}, \quad b = \frac{HY}{2} \quad \text{si } HZ > HY$$

$$\text{- coefficients de cisaillement } AY = AZ = \frac{6}{5}$$

$$\text{- } J = ab^3 \left(\frac{16}{3} - 3.36 \frac{b}{a} + 0.28 \frac{b^5}{a^5} \right)$$

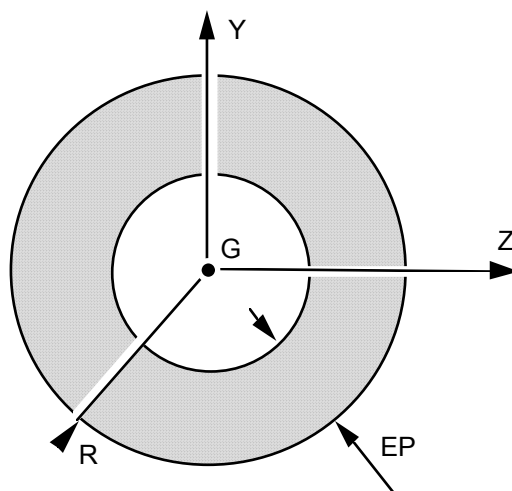
$$\text{- } RT = \frac{J(3a + 1.8b)}{8a^2 b^2}$$

Remarque :

|Les valeurs calculées peuvent être imprimées avec le mot clé INFO = 2.

9.4.5 Opérande SECTION = 'CERCLE'

CARA	Signification	Valeur par défaut
Section constante		
R	Rayon extérieur du tube	Obligatoire
EP	Epaisseur dans le cas d'un tube creux	Tube plein (EP=R)
Section variable		
R1, R2	Rayons extérieurs aux deux extrémités pour une section variable	R1=R2=R
EP1, EP2	Epaisseurs aux deux extrémités dans le cas d'une section variable	EP1=EP2=EP



Les valeurs calculées par Aster sont [R3.08.03] :

$$I_y = I_z = \frac{JX}{2} = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{\pi (R - EP)^4}{4}$$

$$RT = RY = RZ = R$$

- tube plein : $AY = AZ = 10/9$
- tube creux épais :

$$\text{si } \frac{R - EP}{R} < 0.9 \text{ soit } EP > 0.1R$$

$$\text{soit } \alpha = \frac{R - EP}{R} \quad AY = AZ = -0.905 \alpha^3 + 1.156 \alpha^2 + 0.634 \alpha + 1.093$$

- sinon (tube mince) $AY = AZ = 2$.

9.5 Opérande 'FCX'

◇ FCX : fv

Affectation d'une fonction décrivant la dépendance de la force répartie vis-a-vis de la vitesse de vent relative (voir test SSNL118 [V6.02.118]). Le chargement de type vent est applicable sur les éléments de barre de câble et de poutre (modélisations POU_D_E, POU_D_T, POU_D_T, POU_D_TG, POU_D_TGD).

9.6 Opérandes TUYAU_NSEC / TUYAU_NCOU

Nombre de couches dans l'épaisseur et de secteurs sur la circonférence utilisés pour les intégrations dans les éléments TUYAU [R3.08.06].

10 Mot clé ORIENTATION

10.1 Caractéristiques affectables

Ce mot clé permet d'affecter les **orientations** :

- des **axes principaux** des sections transversales des éléments de type **poutre**,
- des **éléments discrets** affectés à des nœuds ou des mailles de type POI1 (éléments discrets nodaux) ou à des mailles de type SEG2 (éléments discrets de liaison).

Remarque :

Il existe toujours un repère local par défaut attaché aux éléments de type POUTRE ou DISCRET même si l'on n'utilise pas l'opérande ORIENTATION : il correspond à ANGL_VRIL = 0 pour les éléments attachés à une maille SEG2 (poutres ou discret) et ANGL_NAUT = (0., 0., 0.) pour les éléments discrets nodaux,

Pour les éléments de type TUYAU, le mot clé ORIENTATION permet de définir une ligne génératrice continue définissant pour chaque section l'origine angulaire.

10.2 Syntaxe

```
ORIENTATION = ( _F(      /  GROUP_MA  =  lgma,      [l_gr_maille]
                        /  MAILLE      =  lma ,      [l_maille]
                        /  GROUP_NO    =  lgno,      [l_gr_noeud]
                        /  NOEUD       =  lno ,      [l_noeud]
                        ♦  VALE = langl,      [l_R]
                        ◇  CARA =      /  'VECT_Y',
                                /  'ANGL_VRIL',
                                /  'VECT_X_Y',
                                /  'ANGL_NAUT',
                                /  'GENE_TUYAU',
                        ◇  PRECISION =  /  'RELATIF',      [DEFAULT]
                                /  'ABSOLU',
                        ◇  CRITERE   =  /  eps,
                                /  1.E-4,      [DEFAULT]
                        ), )
```

10.3 Règles d'utilisation

On peut affecter successivement à une même maille ou à un même nœud **plusieurs** valeurs d'orientation : *l'orientation finalement prise est la composition des orientations.*

Exemple :

```
ORIENTATION=( _F( CARA = 'ANGL_NAUT', VALE=(1.,1.,1.), MAILLE = 'P1' ),
              _F( CARA = 'ANGL_VRIL', VALE = 45. , MAILLE = 'M1' ),
              _F( CARA = 'ANGL_VRIL', VALE = 90. , MAILLE = 'M2' ), )
```

- pour définir le repère local associé à une maille de type POI1 ou un nœud (élément discret), il faut utiliser soit ANGL_NAUT, soit VECT_X_Y,
- pour définir le repère local autour de l'axe défini par une maille SEG2 (poutre ou discret), il faut utiliser soit ANGL_VRIL, soit VECT_Y,
- pour définir une ligne génératrice sur les éléments tuyau, il faut utiliser GENE_TUYAU.

10.4 Opérandes **VECT_X_Y** / **ANGL_NAUT**

/ CARA = 'ANGL_NAUT', VALE = (α , β , γ) [V5.01.100]

Les angles nautiques α , β , γ , fournis en degrés, sont les angles permettant de passer du repère global de définition des coordonnées des nœuds (P, X, Y, Z) au repère local (P, x_2 , y_2 , z_2). Celui-ci est obtenu par 3 rotations :

- une rotation d'angle α autour de Z, transformant (P, X, Y, Z) en (P, x_1 , y_1 , Z) : [Figure 10.4-a],
- une rotation d'angle $-\beta$ autour de y_1 , transformant (P, x_1 , y_1 , Z) en (P, x_2 , y_1 , z_1) : [Figure 10.4-b],
- une rotation d'angle γ autour de x_2 , transformant (P, x_2 , y_1 , z_1) en (P, x_2 , y_2 , z_2) : [Figure 10.4-c].

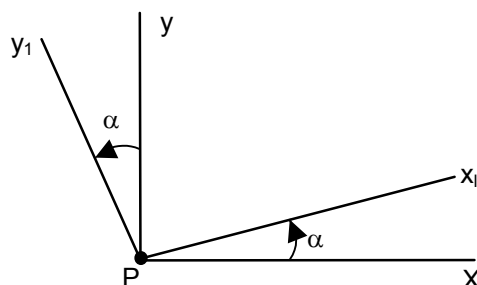


Figure 10.4-a

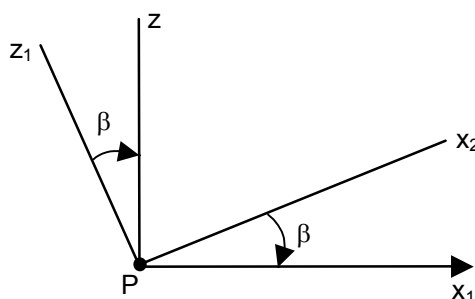


Figure 10.4-b

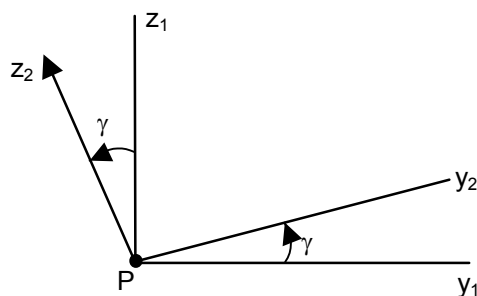
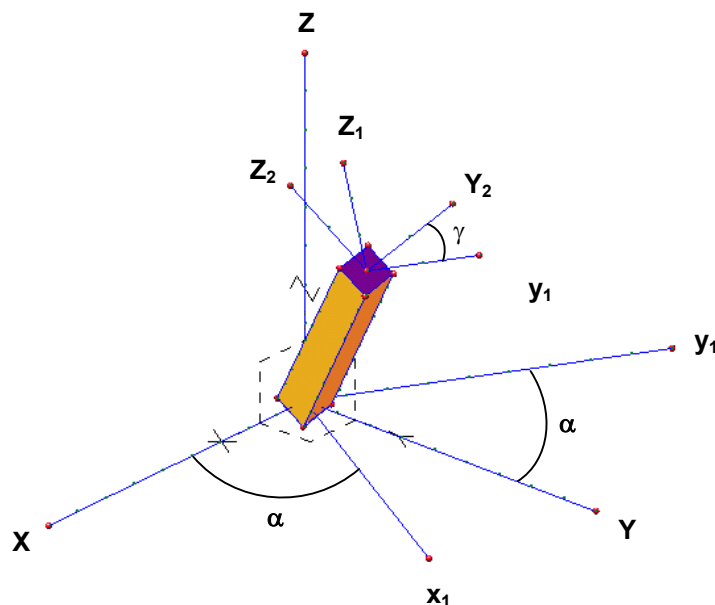


Figure 10.4-c

le repère local est : (P, x_2, y_2, z_2)



/ CARA = 'VECT_X_Y', VALE = $(x_1^l, x_2^l, x_3^l, y_1^d, y_2^d, y_3^d)$

x_1^l, x_2^l, x_3^l sont les 3 composantes, dans le repère global, d'un vecteur définissant l'axe local x_2 .

y_1^d, y_2^d, y_3^d sont les 3 composantes, dans le repère global, d'un vecteur y^d , dont la projection sur le plan orthogonal à x_2 fournira l'axe local y_2 . L'axe local z_2 complète alors le repère pour que le trièdre (P, x_2, y_2, z_2) soit direct [Figure 10.4-d].

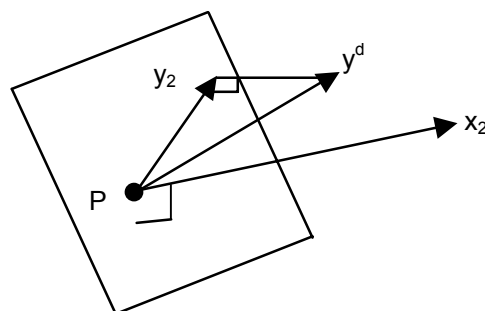


Figure 10.4-d

10.5 Opérande ANGL_VRIL / VECT_Y

Dans le cas des mailles SEG2, l'axe x_2 est déjà porté par la maille (le sens de x_2 est défini par la numérotation de deux nœuds de la maille). Il suffit donc de définir y_2 et z_2 , soit par rotation autour de x_2 (mot clé ANGL_VRIL) soit en définissant un vecteur (mot clé VECT_Y).

/ CARA = 'ANGL_VRIL', VALE = γ

γ est l'angle (en degrés) de rotation autour de x_2 , transformant (P, x_2, y_1, z_1) en (P, x_2, y_2, z_2) .

/ CARA = 'VECT_Y', VALE = y_1^d, y_2^d, y_3^d

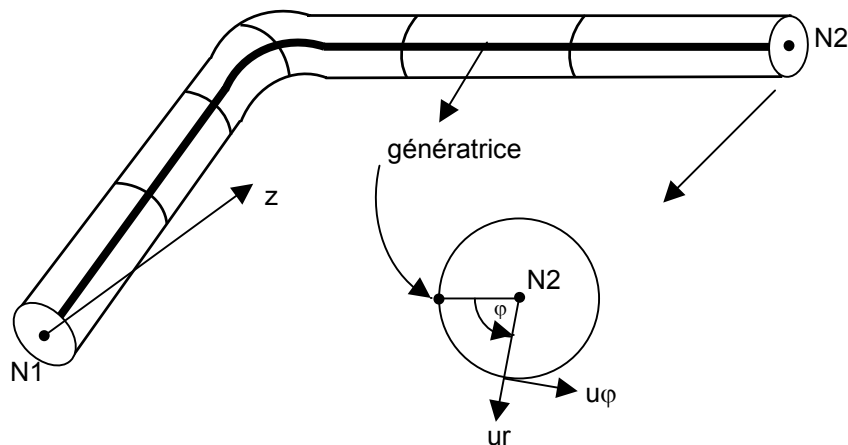
y_1^d, y_2^d, y_3^d sont les 3 composantes d'un vecteur y^d dont la projection sur le plan orthogonal à x_2 fournira l'axe local y_2 [Figure 10.4-d]. L'axe z_2 est tel que (P, x_2, y_2, z_2) soit direct.

10.6 Opérande 'GENE TUYAU'

Ne concerne que les éléments TUYAU (modélisations TUYAU_3M ou TUYAU_6M).

VALE = (Z_1, Z_2, Z_3) contient alors les 3 composantes d'un vecteur z orientant la génératrice du tuyau (ligne continue tracée sur le tuyau, définissant pour chaque élément l'origine de l'angle φ utilisé pour exprimer l'ovalisation et le gauchissement).

Ce vecteur doit être défini en un nœud ou un group_no extrémité du tuyau. La géométrie est alors construite automatiquement pour tous les éléments connexes de TUYAU.



10.7 Opérandes PRECISION / CRITERE

Cette précision est utilisée pour la construction de la génératrice ainsi que pour définir la limite entre un élément de tuyau droit et un élément courbe (distinction basée sur l'alignement des 3 ou 4 nœuds de l'élément).

11 Mot clé DEFI_ARC

11.1 Caractéristiques affectables

Permet d'affecter à des poutres courbes (POU_C_T) (éléments à 2 nœuds) des caractéristiques liées à la courbure de l'élément (rayon de courbure et orientation du plan de l'arc). Celles-ci peuvent être définies au choix par les mots clé : POIN_TANG, CENTRE ou (ORIE_ARC et RAYON).

11.2 Remarque

Les mots clés de DEFI_ARC servent à définir les caractéristiques géométriques (rayon de courbure et plan du coude) de l'élément de poutre courbe. Le repère principal d'inertie n'est pas défini ici, et doit être donné comme pour les poutres droites par le mot clé ORIENTATION (ANGL_VRIL / VECT_Y), en supposant que l'élément est droit (segment $N_i N_j$).

11.3 Syntaxe

```

DEFI_ARC = ( _F
(
  ♦ / MAILLE = lma , [l_maille]
    / GROUP_MA = lgma , [l_gr_maille]

  ♦ / POIN_TANG = (xt , yt , zt) , [l_R]
    / CENTRE = (xc , yc , zc) , [l_R]
    / NOEUD_CENTRE = no , [noeud] ,
    / GROUP_NO_CENTRE = gno , [gr_noeud]
    / NOEUD_POIN_TANG = no , [noeud]
    / GROUP_NO_POIN_TG = gno , [gr_noeud]

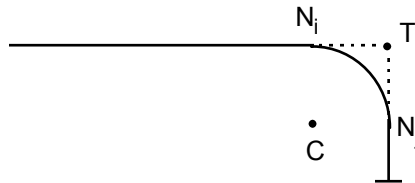
    / ♦ ORIE_ARC = γarc , [R]
      ♦ RAYON = r , [R]
  ◇ / COEF_FLEX = cflex , [R]
    / ♦ COEF_FLEX_XY = cflex_xy , [R]
      ♦ COEF_FLEX_XZ = cflex_xz , [R]
  ◇ / INDI_SIGM = isigm , [R]
    / ♦ INDI_SIGM_XY = isigm_xy , [R]
      ♦ INDI_SIGM_XZ = isigm_xz , [R]
  ◇ PRECISION = eps , [R]
  ◇ CRITERE = / 'ABSOLU' ,
                'RELATIF' ,
), )

```

11.4 Opérandes POIN_TANG / NOEUD_POIN_TANG / GROUP_NO_POIN_TG

```
/ POIN_TANG = (xt , yt , zt)  
/ CENTRE : (xc , yc , zc)  
/ NOEUD_POIN_TANG = NO1  
/ GROUP_NO_POIN_TG = grouo1
```

Définit le point d'intersection T des tangentes à l'arc en ses deux extrémités (intersection des lignes d'épure), soit par ses coordonnées (xt, yt, zt) dans le repère global soit par le nom du nœud situé en ce point, soit par le nom d'un groupe de nœuds contenant un seul nœud correspondant à ce point.



11.5 Opérandes CENTRE / NOEUD_CENTRE / GROUP_NO_CENTRE

Définit le centre de courbure C de l'élément.

L'angle (C, Nj, Ni) doit être strictement inférieur à 2π .

Le point C est défini soit par ses coordonnées (xc, yc, zc), dans le repère global soit par le nœud situé en C, donné par son nom ('NT') ou par le nom d'un groupe ('GNT') ne contenant que ce nœud.

11.6 Opérandes PRECISION / CRITERE

Définit la précision pour la vérification que C est bien le centre de l'arc de cercle $N_i N_j$:

$$CN_i - CN_j < \text{eps} \quad (\text{CRITERE: 'ABSOLU'})$$

$$CN_i - CN_j < \text{eps} \quad CN_i \quad (\text{CRITERE: 'RELATIF'})$$

11.7 Opérandes RAYON / ORIE_ARC

- ◆ RAYON : Rcourb

Rayon de courbure de l'élément.

- ◆ ORIE_ARC : γ_{arc}

Angle d'orientation de l'arc de l'élément (en degrés).

L'angle γ_{arc} définit la rotation autour de l'axe local x_i (déterminé par les deux extrémités de l'arc N_i et N_j) permettant de passer de (M, x_i, y_i, z_i) à (M, x_i, y_i, z_i) [Figure 11.7-a]. Le rayon de courbure R_{courb} permet de calculer le centre C de l'arc [Figure 11.7-b].

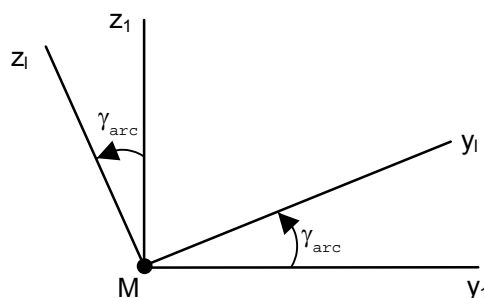


Figure 11.7-a

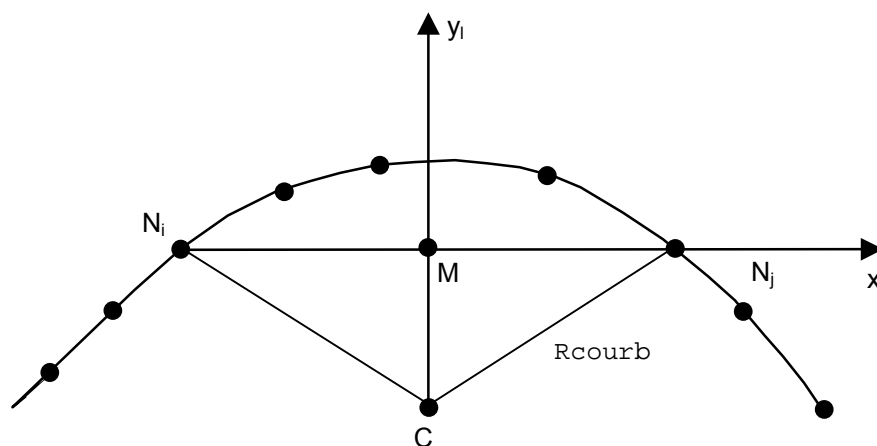


Figure 11.7-b

Remarques :

- le repère (M, x_i, y_i, z_i) est calculé automatiquement à partir de N_i, N_j , extrémités des mailles appartenant à lma ou $lgma$, suivant le même principe que pour le mot clé ORIENTATION [Figure 10.4-a] et [Figure 10.4-b],
- l'axe local y_i est orienté de C vers M.

11.8 Opérande COEF_FLEX, COEF_FLEX_XZ, COEF_FLEX_XY : coefficients de flexibilité

- ◇ COEF_FLEX : cflex
- ◇ COEF_FLEX_XZ : cflex_xz
- ◇ COEF_FLEX_XY : cflex_xy

Pour la modélisation des coudes de tuyauteries la représentation par éléments de poutre circulaire est insuffisante pour représenter la flexibilité d'une coque mince. Le coefficient de flexibilité corrige les données géométriques (moments d'inertie géométriques) conformément aux règles de construction. Par exemple, les règles RCC_M conduisent, à faire le calcul de rigidité de flexion avec un moment d'inertie géométrique :

$$I_{y,z} = \frac{I_{y,z}(tube)}{cflex} \text{ avec } cflex > 1.$$

Une valeur classique de *cflex*, pour une tuyauterie d'épaisseur *e* et de rayon moyen *R_{moy}*, est

$$\text{donné par : } cflex = \frac{1.65}{\lambda} \text{ avec } \lambda = \frac{e R_{courb}}{R_{moy}^2}.$$

Cette valeur peut être calculée directement dans le fichier de commandes (voir test FORMA01A par exemple).

$$I_y = \frac{I_y(tube)}{cflex_xz}$$

Dans le cas où 2 coefficients sont donnés, on obtient :

$$I_z = \frac{I_z(tube)}{cflex_xy}$$

Par défaut, *cflex* = *cflex_xz* = *cflex_xy* = 1

(pas de modification des inerties géométriques).

11.9 Opérandes INDI_SIGM / INDI_SIGM_XZ / INDI_SIGM_XY : Indice d'intensification des contraintes

- ◇ INDI_SIGM : isigm
- ◇ INDI_SIGM_XZ : isigm_xz
- ◇ INDI_SIGM_XY : isigm_xy

Pour le calcul des contraintes de flexion dans les éléments de poutres courbes de section tubulaire, on peut tenir compte d'un coefficient d'intensification dû à l'ovalisation.

Les contraintes s'écrivent alors :

$$\sigma_{xx} = \frac{My.R}{I_y} * isigm \text{ ou } \frac{Mz.R}{I_z} * isigm$$

avec *isigm* ≥ 1.

Dans le cas où 2 indices sont donnés, on a :

$$\sigma_{xx} = \frac{My.R}{I_y} . isigm_{xz}$$

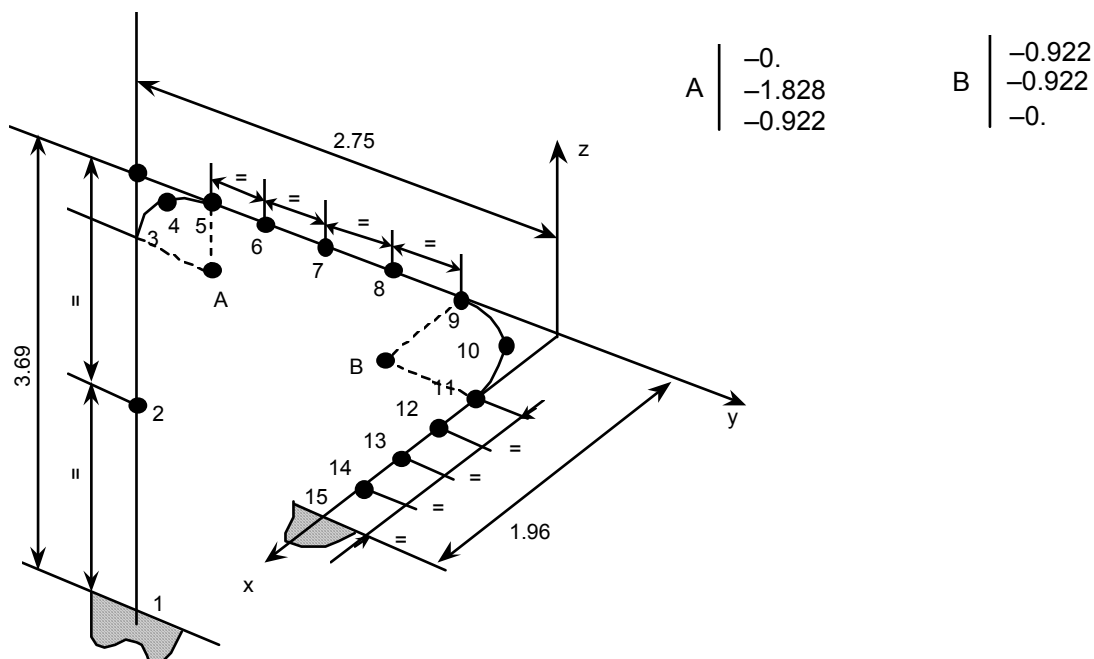
ou $\sigma_{xx} = \frac{Mz.R}{I_z} . isigm_{xy}$

11.10 Remarque

Il est possible de vérifier les caractéristiques des éléments de poutres courbes (angle, rayon de courbure) dans le fichier "messages" en donnant INFO = 2.

11.11 Exemple d'utilisation

Tuyauterie comportant deux coudes (problème de Hoovgaard issu du test SSLL101B).



- diamètre extérieur du tuyau : 0.185 m
- épaisseur du tuyau : 6.12 m
- rayon de courbure des coudes : 0.922 m

Les 2 coudes sont formés des éléments :

- E3 (nœuds 3 et 4) E4 (nœuds 4 et 5)
- E9 (nœuds 9 et 10) E10 (nœuds 10 et 11)

Titre : Opérateur AFPE_CARA_ELEM
Auteur(s) : J.M. PROIX, L. VIVAN

Date : 08/12/03
Clé : U4.42.01-H1 Page : 30/52

Les valeurs de (α , β) sont :

NOM	TYPE	ALPHA	BETA
E1	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	-.900000E+02
E2	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	-.900000E+02
E5	MECA_POU_D_T	0.900000E+02	0.000000E+00
E6	MECA_POU_D_T	0.900000E+02	0.000000E+00
E7	MECA_POU_D_T	0.900000E+02	0.000000E+00
E8	MECA_POU_D_T	0.900000E+02	0.000000E+00
E11	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	0.000000E+00
E12	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	0.000000E+00
E13	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	0.000000E+00
E14	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	0.000000E+00
E3	MECA_POU_C_T	0.900000E+02	-.675050E+02
E4	MECA_POU_C_T	0.900000E+02	-.224950E+02
E9	MECA_POU_C_T	0.675050E+02	0.000000E+00
E10	MECA_POU_C_T	0.224950E+02	0.000000E+00

```

CARA_ELE = AFPE_CARA_ELEM (
    MODELE      = modele,
    INFO        = 2,
    POUTRE      = (
        _F (
            GROUP_MA    = 'SEC_1',
            SECTION     = 'GENERALE',
            # tuyau droit
            CARA         = ('A','IZ','IY','AY','AZ','JX','EZ','EY',
                           'RY','RZ','RT' ),
            VALE         = (3.4390E-3, 2*1.3770E-5,
                           2*2., 2.7540E-5, 2*0., 3*1.),
        ),
        _F (
            GROUP_MA    = 'SEC_2',
            # coudes
            VALE         = (3.4390E-3, 2*5.8870E-6,
                           2*2., 2.7540E-5, 2*0., 3*1.),
        ),
    ),
    DEFI_ARC    = (
        _F (
            MAILLE      = ('E9' , 'E10' ),
            POIN_TANG    = (0., 0., 0.),
            PRECISION    = 1.E-3,
            CRITERE      = 'RELATIF'
        ),
        _F (
            MAILLE      = ('E3' , 'E4' ),
            CENTRE       = (0., -1.8280, -0.9220),
            PRECISION    = 1.E-3,
            CRITERE      = 'RELATIF'
        ),
    ),
)

```

Les valeurs calculées par AFPE_CARA_ELEM sont :

```

MOT CLE FACTEUR "DEFI_ARC" (mailles E9 E10)
MOT CLE "MAILLE",   RCOURB: 0.9219999999999899
MOT CLE "MAILLE",   ORIE_ARC: 0.
MOT CLE "MAILLE",   ANGLE_ARC: 90.
MOT CLE "MAILLE",   CENTRE: 0.9219999999999864, -0.9219999999999864, 0.
MOT CLE FACTEUR "DEFI_ARC" (mailles E3 E4)
MOT CLE "MAILLE",   RCOURB: 0.9219999999999828
MOT CLE "MAILLE",   ORIE_ARC: 90.
MOT CLE "MAILLE",   ANGLE_ARC: 90.000000000000091
MOT CLE "MAILLE",   CENTRE: 0., -1.827999999999996, -0.921999999999997

```

12 Mots clés *AFFE_SECT* / *AFFE_FIBRE*

12.1 Syntaxe

```

AFFE_SECT = _F( ◇ NOM = nomsect [TXM]
                ◆ | GROUP_MA = ('GMA1', 'GMA2', ...),
                  | MAILLE = ('MA1', 'MA2', ...),
                ◆ MAILLAGE_SECT = MASEC1 ,
                ◆ COOR_AXE_POUTRE = (yg, zg, )
                ◇ / TOUT_SECT = 'OUI' ,
                  / | GROUP_MA_SECT = ('g1', 'g2', ...)
                    | MAILLE_SECT = ('m1', 'm2', ...)
                ),
AFFE_FIBRE = _F( ◆ | GROUP_MA = ('GMA1', 'GMA2', ...)
                  | MAILLE = ('MA1', 'MA2', ...)
                ◆ COOR_AXE_POUTRE = (xg, yg, )
                ◇ CARA = / 'SURFACE' , [DEFAULT]
                        / 'DIAMETRE' ,
                ◆ VALE = ( x1 , y1 , a1 ,
                          x2 , y2 , a2 ,
                          ...
                          xn , yn , an , )
                ◇ NOM = nomsect [TXM]
                ),

```

Mots clés utilisés pour définir la section des poutres multi-fibres, (modélisations *POU_D_EM* ou *POU_D_TGM*) soit à l'aide d'un maillage (*AFFE_SECT*) soit fibre par fibre (*AFFE_FIBRE*).

12.2 But

Dans le cadre d'une modélisation de type multifibres, il y a deux "niveaux" de modélisation. Il y a la modélisation dite "longitudinale" qui sera représentée par une poutre (de support géométrique *SEG2*) et une modélisation plane de la section (perpendiculairement au *SEG2*). Le mot-clé **AFFE_SECT** permet d'associer un maillage plan de section (préalablement lu par l'opérateur *LIRE_MALLAGE*) à un élément poutre. **AFFE_FIBRE** permet de décrire la section sous forme de surfaces ponctuelles.

Remarque :

Il se peut que dans la modélisation plane de la section, plusieurs matériaux cohabitent. Par exemple, dans une section béton armée, il y a à la fois du béton et des armatures. Dans ce cas-là, l'opérateur **CREA_MALLAGE** permet de dupliquer le support *SEG2* afin qu'il n'y ait qu'un seul matériau par support. (voir par exemple le test *SSNL119* [V6.02.119]).

Attention :

Avec les informations données dans *AFFE_SECT* ou *AFFE_FIBRE*, il est possible de calculer la majorité des caractéristiques intégrées des sections droites (aire, moments statiques et quadratiques). Toutefois, il n'est pas possible à l'heure actuelle de calculer l'inertie de torsion. Celle-ci doit être donnée avec l'opérateur *AFFE_CARA_ELEM* (opérande *JX*). Cet opérateur est également utile pour donner les orientations (angle de vrille). Toutefois, dans son état actuel, l'opérateur *AFFE_CARA_ELEM* n'est pas prévu pour ne donner qu'une caractéristique de torsion à un élément poutre, les opérands *A*, *IY* et *IZ* sont obligatoires, il faut donc leur donner une valeur non nulle (qui ne sera pas prise en compte dans les calculs) pour éviter un arrêt du programme par erreur fatale.

12.3 Mots clés AFPE_SECT et AFPE_FIBRE

- ♦ / AFPE_SECT
- ♦ / AFPE_FIBRE

Définissent les entités du maillage de poutres concernées et les sections qui leur sont affectées. Le mot clé AFPE_SECT permet d'affecter une section définie par un maillage plan (les éléments de ce maillage sont les sections des fibres) et le mot clé AFPE_FIBRE permet d'affecter une section où les fibres sont définie par des points.

La règle de surcharge s'applique entre plusieurs occurrences des mots clés facteurs AFPE_SECT ou AFPE_FIBRE [U1.03.00].

12.3.1 Opérandes communs à AFPE_SECT et AFPE_FIBRE

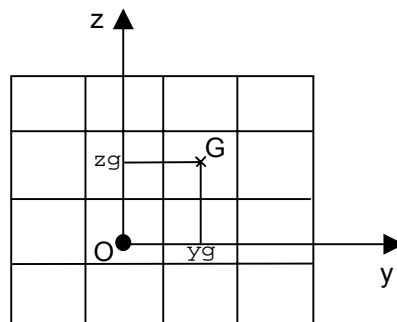
- ♦ / MAILLE
- ♦ / GROUP_MA

Ces opérandes permettent de définir les entités du maillage de poutres (éléments SEG2) qui sont concernées par l'occurrence du mot clé facteur :

Opérandes	Contenu / Signification
MAILLE	Affectation à une liste de mailles
GROUP_MA	Affectation à une liste de groupes de mailles

- ♦ COOR_AXE_POUTRE = (yg, zg)

Cet opérande permet de définir les coordonnées de l'axe neutre de la poutre dans le repère de la section droite : les intégrations (moments statiques ou d'inerties) seront faites par rapport à cet axe. La position (0. 0.) correspond à l'origine des coordonnées utilisées pour le maillage surfacique dans le cas de AFPE_SECT ou bien à l'origine choisie pour définir les coordonnées données à l'aide de l'opérande VALE dans le cas de AFPE_FIBRE.



- ◇ NOM

Cet opérande permet de définir un nom pour la section droite (8 caractères). Ce nom est rappelé dans les messages concernant cette section droite (voir opérande INFO).

Si NOM n'est pas utilisé sous AFPE_SECT, le nom de la section (attribué automatiquement) est "SECT_i " où i est la ième occurrence de AFPE_SECT dans le jeu de données. De même si NOM n'est pas utilisé sous AFPE_FIBRE, le nom de la section automatique est "PONCT_j " où j est la jème occurrence de AFPE_FIBRE dans le jeu de données.

12.3.2 Opérandes spécifiques à AFPE_SECT

♦ MAILLAGE_SECT

Nom du "maillage" plan qui contient la "description de la section".

Par "maillage", on entend un ensemble de mailles triangulaires à 3 nœuds et/ou quadrilatères à 4 nœuds.

Par "description de la section", on entend une partie de ce "maillage" précisée par l'un des opérandes TOUT_SECT, MAILLE_SECT ou GROUP_MA_SECT. Chaque maille représente la section d'une fibre.

- ♦ / TOUT_SECT
- ♦ / MAILLE_SECT
- ♦ / GROUP_MA_SECT

Opérandes	Contenu / Signification
TOUT_SECT	La section est définie par la totalité des mailles du maillage défini sous MAILLAGE_SECT
MAILLE_SECT	La section est définie par une liste de mailles
GROUP_MA_SECT	La section est définie par une liste de groupes de mailles

Remarques :

- *Puisqu'il ne sert pas de support à des éléments finis, le "maillage" ne doit pas obligatoirement avoir une connectivité, il peut être composé d'un ensemble de mailles juxtaposées qui se touchent ou ne se touchent pas.*
- *Toutes les mailles définies dans la "description de la section" auront un même comportement, celui de l'élément fini de poutre auquel elles sont affectées (voir remarque dans §1).*
- *Les coordonnées y et z du maillage plan de la section (y horizontal, z vertical) sont définies dans un plan perpendiculaire à l'axe de la poutre. Cet axe se définit à l'aide de l'opérande COOR_AXE_POUTRE. Pour définir l'angle de vrille, c'est-à-dire l'angle entre l'axe y du maillage plan de la section et l'axe Y de l'élément poutre, il faut utiliser le mot clé ORIENTATION de l'opérateur AFPE_CARA_ELEM (voir exemple).*

12.3.3 Opérandes spécifiques à AFPE_FIBRE

La section droite de l'élément poutre est définie par un ensemble de fibres "ponctuelles".

♦ CARA

Permet de préciser si la troisième valeur donnée pour chaque fibre est la surface (par défaut) ou le diamètre (voir VALE).

♦ VALE

Chaque fibre est décrite par un triplet de valeurs : y, z et val. Il est nécessaire de donner les valeurs selon cette séquence, autant de triplet que de fibre.

y et z sont les coordonnées du centre de la fibre dans un plan perpendiculaire à l'axe de la poutre. La position de l'axe de la poutre peut être modifiée grâce à l'opérande COOR_AXE_POUTRE. Pour donner un angle de vrille, il faut utiliser l'opérateur AFPE_CARA_ELEM.

val est soit l'aire d'une fibre quelconque, soit le diamètre d'une fibre cylindrique.

13 Mot clé DISCRET

13.1 Caractéristiques affectables

Ce mot clé permet d'affecter directement à des entités (mailles ou nœuds), qui supportent des éléments de type DISCRET (DIS_T, DIS_TR ou 2D_DIS_T, 2D_DIS_TR), des **matrices de rigidité**, de **masse** ou d'**amortissement**.

Sur toutes les entités on peut affecter des matrices correspondant aux degrés de liberté de translation (T) seulement ou aux degrés de liberté de translation et rotation (TR). Les matrices peuvent être diagonales (D) ou pleines. Dans ce cas, elles sont obligatoirement symétriques et on ne fournira que la triangulaire supérieure, avec une convention de numérotation des termes imposée (voir exemples).

Les matrices peuvent être affectées :

- à des nœuds ou à des mailles de types POIL; elles sont alors dites matrices nodales (N),
- à des mailles de type SEG2; elles sont alors dites matrices de liaison (L).

En cas d'affectation de matrices à des mailles ou à des nœuds, le type d'élément DISCRET doit être affecté, au préalable, à ces mailles ou à ces nœuds par l'opérateur AFPE_MODELE [U4.41.01].

13.2 Syntaxe

```
DISCRET = (_F(
  ♦ / MAILLE= lma, [l_maille]
    / GROUP_MA= lgma, [l_gr_maille]
    / NOEUD= lno, [l_noeud]
    / GROUP_NO: lgno, [l_gr_noeud]

  ♦ / # matrices de rigidité
    ◇ CARA = | 'K_T_D_N' | 'K_TR_D_N' | 'K_T_D_L' | 'K_TR_D_L',
              | 'K_T_N' | 'K_TR_N' | 'K_T_L' | 'K_TR_L',

    / # matrices de masse
    ◇ CARA = | 'M_T_D_N' | 'M_TR_D_N',
              | 'M_T_N' | 'M_TR_N' | 'M_T_L' | 'M_TR_L',

    / # matrices d' amortissement
    ◇ CARA = | 'A_T_D_N' | 'A_TR_D_N' | 'A_T_D_L' | 'A_TR_D_L',
              | 'A_T_N' | 'A_TR_N' | 'A_T_L' | 'A_TR_L',

  ♦ VALE = lva, [l_R]

  ◇ REPERE = / 'LOCAL',
              / 'GLOBAL', [DEFAULT]

  ◇ AMOR_HYST = / 0, [DEFAULT]
                / amnh, [R]

),)
```

13.3 Opérandes

13.3.1 Règles d'utilisation

- RIGIDITE OU AMORTISSEMENT

CARA	CARA	ENTITE	DIS_* VALE	2D_DIS_* VALE
'K_T_D_N'	'A_T_D_N'	nœud ou POI1	3 termes	2 termes
'K_T_D_L'	'A_T_D_L'	SEG2	3 termes	2 termes
'K_TR_D_N'	'A_TR_D_N'	nœud ou POI1	6 termes	3 termes
'K_TR_D_L'	'A_TR_D_L'	SEG2	6 termes	3 termes
'K_T_N'	'A_T_N'	nœud ou POI1	6 termes	3 termes
'K_T_L'	'A_T_L'	SEG2	21 termes	10 termes
'K_TR_N'	'A_TR_N'	nœud ou POI1	21 termes	6 termes
'K_TR_L'	'A_TR_L'	SEG2	78 termes	21 termes

- MASSE

CARA	ENTITE	DIS_* VALE	2D_DIS_* VALE
'M_T_D_N'	nœud ou POI1	1 (masse)	1 (masse)
'M_TR_D_N'	nœud ou POI1	10 (masse/inertie)	non disponible
'M_T_N'	nœud ou POI1	6 (masse/inertie)	3 (masse/inertie)
'M_T_L'	SEG2	21 (masse/inertie)	10 (masse/inertie)
'M_TR_N'	nœud ou POI1	21 (masse/inertie)	6 (masse/inertie)
'M_TR_L'	SEG2	78 (masse/inertie)	21 (masse/inertie)

13.3.2 Opérandes $\kappa_{\text{ }}$ (matrices de rigidité) ou $A_{\text{ }}$ (matrices d'amortissement)

$K_{\text{T_D_N}}$ / $A_{\text{T_D_N}}$

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 3 valeurs K_x , K_y , K_z en DIS_T et 2 valeurs K_x , K_y en 2D_DIS_T telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ K_x & 0 \\ 0 & K_y \end{bmatrix}$$

$K_{\text{T_D_L}}$ / $A_{\text{T_D_L}}$

pour une maille de type SEG2, K étant la matrice précédemment définie :

Nœud1 Nœud2

$$\begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix}$$

il suffit donc de fournir les 3 valeurs K_x , K_y et K_z .

K_TR_D_N / A_TR_D_N

pour une maille de type POI1 ou nœud, on trouve en correspondance dans VALE 6 valeurs K_x , K_y , K_z , KR_x , KR_y , KR_z en DIS_TR ou 3 valeurs K_x , K_y , KR_z en 2D_DIS_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ K_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & KR_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & KR_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KR_z \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & KR_z \end{bmatrix}$$

K_TR_D_L / A_TR_D_L

pour une maille de type SEG2, K étant la matrice précédemment définie :

$$\begin{matrix} \text{Nœud1} & \text{Nœud2} \\ \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \end{matrix}$$

il suffit de donner les 6 valeurs ci-dessus.

K_T_N / A_T_N

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 6 valeurs K_1 , K_2 , ..., K_6 en DIS_T ou 3 valeurs K_1 , K_2 , K_3 en 2D_DIS_T telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ K_1 & K_2 & K_4 \\ & K_3 & K_5 \\ & & K_6 \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ K_1 & K_2 \\ & K_3 \end{bmatrix}$$

K_T_L / A_T_L

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 21 valeurs K_1 , K_2 , ..., K_{21} en DIS_T ou 10 valeurs K_1 , K_2 , ..., K_{10} en 2D_DIS_T et la matrice de rigidité suivante sera affectée :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ K_1 & K_2 & K_4 & K_7 & K_{11} & K_{16} \\ & K_3 & K_5 & K_8 & K_{12} & K_{17} \\ & & K_6 & K_9 & K_{13} & K_{18} \\ & & & K_{10} & K_{14} & K_{19} \\ & & & & K_{15} & K_{20} \\ & & & & & K_{21} \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z2} & U_{y2} \\ K_1 & K_2 & K_4 & K_7 \\ & K_3 & K_5 & K_8 \\ & & K_6 & K_9 \\ & & & K_{10} \end{bmatrix}$$

K_TR_N / A_TR_N

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 21 valeurs K_1, K_2, \dots, K_{21} en DIS_TR ou 6 valeurs K_1, K_2, \dots, K_6 en 2D_DIS_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ K_1 & K_2 & K_4 & K_7 & K_{11} & K_{16} \\ & K_3 & K_5 & K_8 & K_{12} & K_{17} \\ & & K_6 & K_9 & K_{13} & K_{18} \\ & & & K_{10} & K_{14} & K_{19} \\ & & & & K_{15} & K_{20} \\ & & & & & K_{21} \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ K_1 & K_2 & K_4 \\ & K_3 & K_5 \\ & & K_6 \end{bmatrix}$$

K_TR_L / A_TR_L

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 78 valeurs K_1, K_2, \dots, K_{78} en DIS_TR.

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & R_{x1} & R_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\ K_1 & K_2 & K_4 & K_7 & K_{11} & K_{16} & K_{22} & K_{29} & K_{37} & K_{46} & K_{56} & K_{67} \\ & K_3 & K_5 & K_8 & K_{12} & K_{17} & K_{23} & K_{30} & K_{38} & K_{47} & K_{57} & K_{68} \\ & & K_6 & K_9 & K_{13} & K_{18} & K_{24} & K_{31} & K_{39} & K_{48} & K_{58} & K_{69} \\ & & & K_{10} & K_{14} & K_{19} & K_{25} & K_{32} & K_{40} & K_{49} & K_{59} & K_{70} \\ & & & & K_{15} & K_{20} & K_{26} & K_{33} & K_{41} & K_{50} & K_{60} & K_{71} \\ & & & & & K_{21} & K_{27} & K_{34} & K_{42} & K_{51} & K_{61} & K_{72} \\ & & & & & & K_{28} & K_{35} & K_{43} & K_{52} & K_{62} & K_{73} \\ & & & & & & & K_{36} & K_{44} & K_{53} & K_{63} & K_{74} \\ & & & & & & & & K_{45} & K_{54} & K_{64} & K_{75} \\ & & & & & & & & & K_{55} & K_{65} & K_{76} \\ & & & & & & & & & & K_{66} & K_{77} \\ & & & & & & & & & & & K_{78} \end{bmatrix}$$

ou 21 valeurs K_1, K_2, \dots, K_{21} en 2D_DIS_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & R_{z2} \\ K_1 & K_2 & K_4 & K_7 & K_{11} & K_{16} \\ & K_3 & K_5 & K_8 & K_{12} & K_{17} \\ & & K_6 & K_9 & K_{13} & K_{18} \\ & & & K_{10} & K_{14} & K_{19} \\ & & & & K_{15} & K_{20} \\ & & & & & K_{21} \end{bmatrix}$$

13.3.3 Opérandes m_ Matrices de masse

M_T_D_N

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE une valeur m . La matrice de masse suivante sera affectée :

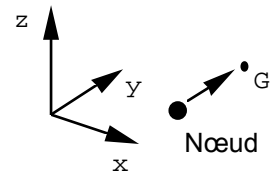
$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix}$$

M_TR_D_N (non disponible en 2D_DIS_TR)

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE une valeur de masse m , 6 valeurs du tenseur d'inertie (massique) : I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} , I_{xy} , I_{yz} , I_{xz} , et 3 composantes du vecteur d'excentricité de la masse par rapport à son nœud : e_x , e_y , e_z . La matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & U_z \\ m & 0 & 0 & 0 & -me_z & me_y \\ & m & 0 & me_z & 0 & -me_x \\ & & m & -me_y & me_x & 0 \\ & & & V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ & & & & V_{yy} & V_{yz} \\ & & & & & V_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} V_{xx} &= I_{xx} + m(e_z^2 + e_y^2) \\ V_{yy} &= I_{yy} + m(e_x^2 + e_z^2) \\ V_{zz} &= I_{zz} + m(e_y^2 + e_x^2) \\ V_{xy} &= I_{xy} - m e_x e_y \\ V_{yz} &= I_{yz} - m e_y e_z \\ V_{xz} &= I_{xz} - m e_x e_z \end{aligned}$$



Attention :

L'excentricité doit être exprimée dans le repère global : coordonnées du vecteur NG (excentricité) dirigé du nœud vers la masse.

M_T_N

pour une maille de type POI1 ou nœud, on trouve en correspondance dans VALE 6 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_6 en DIS_T ou 3 valeurs M_1 , M_2 , M_3 en 2D_DIS_T et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ M_1 & M_2 & M_4 \\ & M_3 & M_5 \\ & & M_6 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ M_1 & M_2 \\ & M_3 \end{bmatrix}$$

Voir par exemple le test SDLD27 [V2.01.027].

M_TR_N

pour une maille de type POI1 ou nœud, on trouve en correspondance dans VALE 21 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_{21} en DIS_TR ou 6 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_6 en 2D_DIS_TR et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ M_1 & M_2 & M_4 & M_7 & M_{11} & M_{16} \\ & M_3 & M_5 & M_8 & M_{12} & M_{17} \\ & & M_6 & M_9 & M_{13} & M_{18} \\ & & & M_{10} & M_{14} & M_{19} \\ & & & & M_{15} & M_{20} \\ & & & & & M_{21} \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ M_1 & M_2 & M_4 \\ & M_3 & M_5 \\ & & M_6 \end{bmatrix}$$

M_T_L

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 21 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_{21} en DIS_T ou 10 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_{10} en 2D_DIS_T et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ M_1 & M_2 & M_4 & M_7 & M_{11} & M_{16} \\ & M_3 & M_5 & M_8 & M_{12} & M_{17} \\ & & M_6 & M_9 & M_{13} & M_{18} \\ & & & M_{10} & M_{14} & M_{19} \\ & & & & M_{15} & M_{20} \\ & & & & & M_{21} \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{x2} & U_{y2} \\ M_1 & M_2 & M_4 & M_7 \\ & M_3 & M_5 & M_8 \\ & & M_6 & M_9 \\ & & & M_{10} \end{bmatrix}$$

M_TR_L

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 78 valeurs M_1, M_2, \dots, M_{78} en DIS_TR et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & R_{x1} & R_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\ M_1 & M_2 & M_4 & M_7 & M_{11} & M_{16} & M_{22} & M_{29} & M_{37} & M_{46} & M_{56} & M_{67} \\ & M_3 & M_5 & M_8 & M_{12} & M_{17} & M_{23} & M_{30} & M_{38} & M_{47} & M_{57} & M_{68} \\ & & M_6 & M_9 & M_{13} & M_{18} & M_{24} & M_{31} & M_{39} & M_{48} & M_{58} & M_{69} \\ & & & M_{10} & M_{14} & M_{19} & M_{25} & M_{32} & M_{40} & M_{49} & M_{59} & M_{70} \\ & & & & M_{15} & M_{20} & M_{26} & M_{33} & M_{41} & M_{50} & M_{60} & M_{71} \\ & & & & & M_{21} & M_{27} & M_{34} & M_{42} & M_{51} & M_{61} & M_{72} \\ & & & & & & M_{28} & M_{35} & M_{43} & M_{52} & M_{62} & M_{73} \\ & & & & & & & M_{36} & M_{44} & M_{53} & M_{63} & M_{74} \\ & & & & & & & & M_{45} & M_{54} & M_{64} & M_{75} \\ & & & & & & & & & M_{55} & M_{65} & M_{76} \\ & & & & & & & & & & M_{66} & M_{77} \\ & & & & & & & & & & & M_{78} \end{bmatrix}$$

ou 21 valeurs M_1, M_2, \dots, M_{21} en 2D_DIS_TR

$$M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & R_{z2} \\ M_1 & M_2 & M_4 & M_7 & M_{11} & M_{16} \\ & M_3 & M_5 & M_8 & M_{12} & M_{17} \\ & & M_6 & M_9 & M_{13} & M_{18} \\ & & & M_{10} & M_{14} & M_{19} \\ & & & & M_{15} & M_{20} \\ & & & & & M_{21} \end{bmatrix}$$

Remarque :

Les deux options M_T_L et M_TR_L ne correspondent pas en général à une option de modélisation ayant une signification mécanique. Elles ne sont utilisables que pour importer dans Aster des matrices de masses discrétisées sur une maille de type SEG2 par un autre logiciel. En effet, on affecte habituellement des valeurs de masse et d'inertie ponctuelles (maille POI1) par M_T_D_N ou M_TR_D_N.

13.3.4 Opérande AMOR_HYST

◇ AMOR_HYST = amor_h,

Permet d'affecter à un élément discret un coefficient pour construire une matrice de rigidité complexe (modélisation de l'amortissement hystérétique) la matrice construite est :

$$(1 + j \text{ amor_h}) \mathbf{K}$$

où **K** est la matrice \mathbf{K}_* dont les valeurs sont fournies dans la même occurrence du mot clé DISCRET. La matrice de rigidité complexe sera effectivement construite lors d'un appel à CALC_MATR_ELEM [U4.61.01] avec l'option AMOR_HYST (voir test SDLD313) et [R5.05.04].

13.3.5 Opérande REPERE

◇ REPERE = / 'LOCAL',
/ 'GLOBAL',

Par défaut les valeurs des matrices fournies pour les éléments discrets sont utilisées pour exprimer les quantités correspondantes dans le REPERE = 'GLOBAL'.

Si on souhaite définir un repère particulier en un nœud (ou maille de type POI1) on précisera REPERE = 'LOCAL' en définissant ce repère par le mot clé ORIENTATION [§10].

Pour une matrice définie sur une maille de type SEG2 l'opérande REPERE = 'LOCAL' permet de faire référence au repère local attaché à la maille (nœud initial, nœud final) complété si nécessaire d'un angle de vrille défini par le mot clé ORIENTATION [§10].

14 Mot clé MASSIF

14.1 Caractéristiques affectables

Permet d'affecter à des éléments 3D ou 2D des axes locaux (qui peuvent être par exemple utilisés pour définir des directions d'orthotropie (cf. `DEFI_MATERIAU [U4.43.01]`)). Ces axes locaux sont définis par les mots clés :

- `ANGL_REP` (3 angles nautiques) ou (`ANGL_AXE` et `ORIG_AXE`) en 3D,
- `ANGL_REP` (1 seul angle) en 2D.

14.2 Syntaxe

```
MASSIF = ( _F( ♦ / MAILLE = lma , [l_maille]
              / GROUP_MA = lgma, [l_gr_maille]

              ( ♦ / ANGL_REP = (α , β , γ) , [l_R]
                / ♦ ANGL_AXE = (α , β) , [l_R]
                ♦ ORIG_AXE = (x1 , x2 , x3) , [l_R]
              )
            )
```

14.3 Opérande ANGL_REP

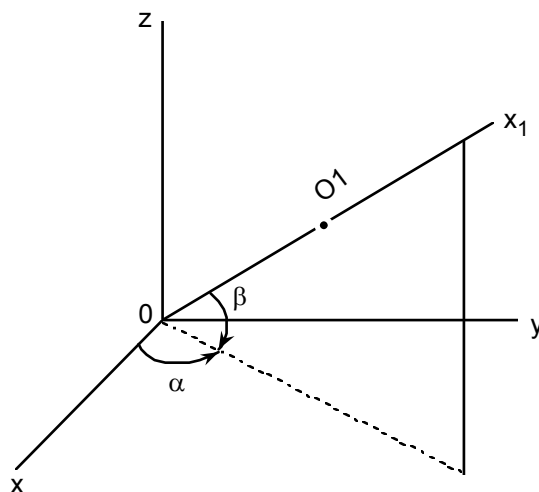
α β γ sont les 3 angles nautiques (comme pour le mot clé `ORIENTATION`, cf [§10]) définissant les axes locaux (x, y, z), qui correspondent au repère d'orthotropie (L, T, N). En 2D, il faut donner seulement α , ce qui définit le repère (LT) dans le plan.

14.4 Opérandes ANGL_AXE / ORIG_AXE

Ces mots clés sont à donner en 3D uniquement pour définir des axes locaux pour lesquels on utilisera une propriété de symétrie de révolution, ou d'isotropie transverse (par exemple : structure à symétrie cylindrique orthotrope).

`ANGL_AXE` = (α , β) définit l'axe de révolution x_1 , (α , β) étant les deux premiers angles nautiques,

`ORIG_AXE` = (x_1 , x_2 , x_3) définit un point O1 de l'axe.



15 Mot clé ASSE_GRIL

15.1 Syntaxe

```

ASSE_GRIL = ( _F(
    ♦ / GROUP_MA = lgma ,
      / MAILLE   = lma ,
    ♦ CARA =      | 'K_TR_D_N' ,
                  | 'K_TR_D_L_T' ,
                  | 'K_TR_D_L_N' ,
    ♦ VALE      = lva ,                                [ lR ]
    ♦ PAS_T     = pt ,                                [ R ]
    ♦ PAS_N     = pn ,                                [ R ]
    ♦ COEF_ECHELLE = ech ,                            [ R ]
    ♦ ANGL_REP   = lang ,                            [ lR ]
      ) , )

```

15.2 Caractéristiques affectables

Ce mot clé facteur permet de définir les caractéristiques de rigidité de l'élément fini (quadrangle à quatre nœuds) associé à la modélisation 'ASSE_GRIL' (cf commande AFPE_MODELE [U4.41.01]). Cette modélisation concerne la représentation des grilles des assemblages de combustible, par une technique d'homogénéisation. Elle doit être associée à la modélisation 'ASSE_GRIL', permettant de modéliser par homogénéisation un réseau périodique de poutres baigné par un fluide incompressible (cf [R4.07.05], cf. mot clés facteur POUTRE_FLUI).

15.3 Opérande GROUP_MA / MAILLE

Lieu d'affectation des caractéristiques élémentaires :

- liste les mailles (mot clé MAILLE),
- liste de groupes de mailles (mot clé GROUP_MA).

15.4 Opérande ANGL_REP

ANGL_REP = (α , β)

Un repère (L, T, N) est associé à chaque maille. La direction L est la direction perpendiculaire au plan moyen de la maille.

Les angles en degré (α , β) permettent de définir par rapport au repère de référence le vecteur à projeter sur le plan moyen de la maille et qui indiquera la direction T (comme pour le mot clé COQUE, opérande ANGL_REP [Figure 8.3.3-c]).

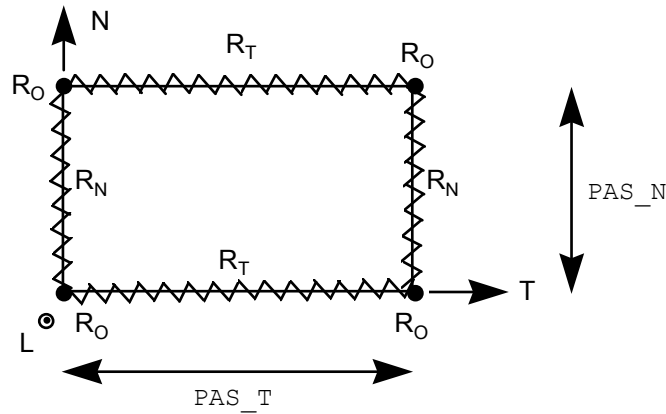
15.5 Opérande PAS_T / PAS_N / COEF_ECHELLE

Ces opérands définissent les caractéristiques géométriques de la cellule périodique caractéristique de la grille. COEF_ECHELLE définit le coefficient d'homothétie permettant de transformer la cellule périodique réelle en la cellule périodique de base avec laquelle les coefficients homogénéisés sont calculés.

PAS_T et PAS_N définissent les dimensions de la cellule de base rectangulaire suivant les axes T, N du repère local.

15.6 Opérands CARA / VALE

Ces opérands permettent de définir toutes les rigidités des ressorts associés à cette modélisation (HI-75/96/074/0).



CARA = 'K_TR_D_L_T'

VALE = $(k_d^{TL}, k_d^{TT}, k_d^{TN}, C_d^{TL}, C_d^{TT}, C_d^{TN})$

Rigidités différentielles (3 en translation, 3 en rotation) communes aux ressorts R_T , relatives aux directions L, T, N.

CARA = 'K_TR_D_L_N'

VALE = $(k_d^{NL}, k_d^{NT}, k_d^{NN}, C_d^{NL}, C_d^{NT}, C_d^{NN})$

Rigidités différentielles (3 en translation, 3 en rotation) communes aux ressorts R_N , relatives aux directions L, T, N.

CARA = 'K_TR_D_N'

VALE = $(*, *, *, C_l^L, C_l^T, C_l^N)$

Rigidités locales (3 en rotation) communes aux ressorts R_O . Les 3 rigidités en translation sont ignorées.

16 Mot clé POUTRE_FLUI

16.1 Syntaxe

```
POUTRE_FLUI = (_F(
    ♦ / GROUP_MA = lgma,
    / MAILLE = lma,
    ♦ B_T = bt, [R]
    ♦ B_N = bn, [R]
    ♦ B_TN = btn, [R]
    ♦ A_FLUI = aflui, [R]
    ♦ A_CELL = acell, [R]
    ♦ COEF_ECHELLE = ech, [R]
    ), )
```

16.2 Caractéristiques affectables

Ce mot clé facteur permet de définir les caractéristiques des éléments finis (hexaèdre à 8 ou 20 nœuds) associés à la modélisation '3D_FAISCEAU' (cf commande AFPE_MODELE [U4.41.01]). Cette modélisation concerne la représentation d'un réseau périodique de tubes baigné par un fluide incompressible (cf [R4.07.05]). Un exemple est donné dans le test SDLV111 [V2.04.111].

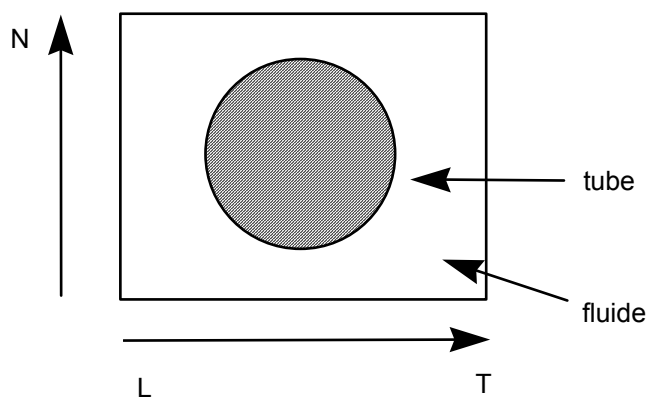
16.3 Opérande GROUP_MA / MAILLE

Lieu d'affectation des caractéristiques élémentaires :

- liste les mailles (mot clé MAILLE),
- liste de groupes de mailles (mot clé GROUP_MA).

16.4 Opérandes A_FLUI / A_CELL / COEF_ECHELLE

La cellule périodique du milieu à homogénéiser est bidimensionnelle. La cellule périodique de base qui sert à calculer les coefficients homogénéisés est obtenue par homothétie à partir de la cellule périodique réelle du milieu.



A_FLUI : aire de la partie occupée par le fluide dans la cellule périodique de base
A_CELL : aire de la cellule périodique de base
COEF_ECHELLE : coefficient d'homothétie permettant de transformer la cellule périodique réelle en la cellule périodique de base

16.5 Opérandes B_T / B_N / B_TN

Coefficients homogénéisés du problème fluide-structure calculés dans le repère (T, N) [R4.07.05].

L'orientation de ce repère est fixée par le mot clé facteur ORIENTATION. La direction L est forcément parallèle à l'axe du faisceau de tubes.

17 Mot clé GRILLE

17.1 Syntaxe

```
GRILLE = ( _F(
    ♦ / MAILLE          = lma ,
      / GROUP_MA        = lgma ,

    ♦ SECTION_L         = S1 ,
    ◇ / ANGL_REP         = (  $\alpha$  ,  $\beta$  )
      / ♦ ORIG_AXE      = (xr, yr, zr)
        ♦ AXE           = (vx, vy, vz)
    ◇ ANGL_L             =  $\theta$  ,
    ◇ POUR_CENT_L        = p1 ,
    ◇ POUR_CENT_T        = p2 ,
    ◇ EXCENTREMENT       = ez ,
    ◇ COEF_RIGI_DRZ       = / kz ,
                          / 1.E-10 ,
                          [DEFAULT]
    )
```

17.2 Caractéristiques affectables

Permet de définir des caractéristiques d'un treillis (modélisation de nappe d'armatures pour les coques en béton armé) (voir par exemple le test SSNS100 [V6.05.100]).

Ces caractéristiques sont utilisées pour définir un élément de plaque orthotrope, utilisable seul, ou plus souvent superposé avec un élément de plaque en béton.

17.3 Description des opérandes

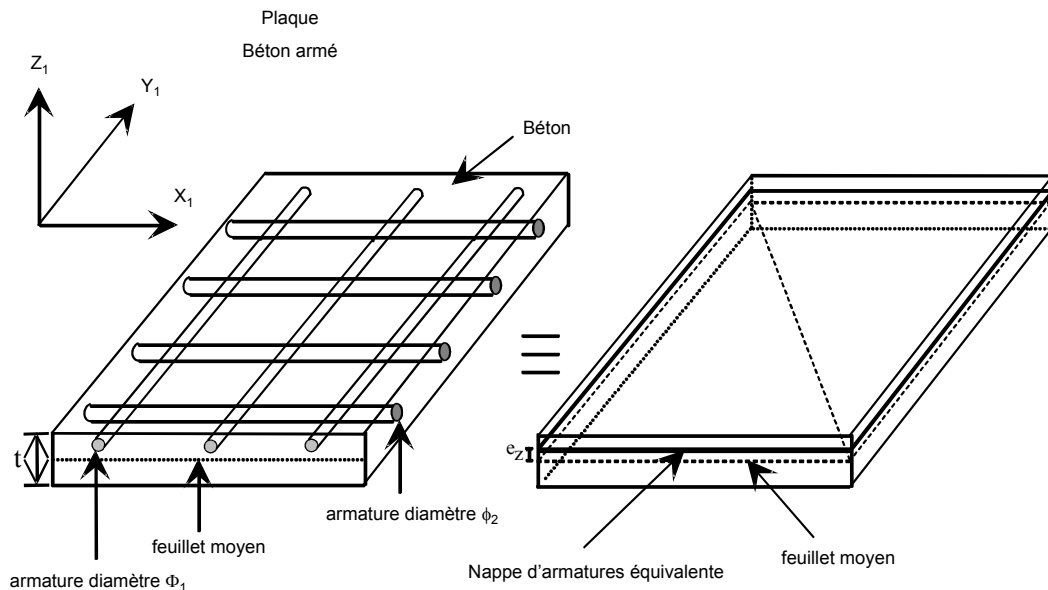


Figure 17.3-a : Représentation des armatures par une nappe équivalente

Les données géométriques suivantes sont nécessaires pour modéliser la nappe d'armatures :

- **EXCENTREMENT** = e_z : l'excentrement e_z (constant pour tous les noeuds de la maille) de la nappe d'armatures par rapport à la maille support (distance mesurée sur la normale de la maille support),
- **ANGL_L** = θ : la direction des armatures par rapport à un axe de référence appartenant au plan tangent. En fait, il est nécessaire de donner seulement l'orientation de la première rangée d'armatures (direction 1), la seconde rangée étant prise automatiquement perpendiculaire à la première,
- **SECTION_L** = S_1 : la somme des sections d'armatures dans la direction 1 par unité de largeur dans la direction 2 : $S_1 = n_1 (\pi \phi_1^2 / 4) / l_2$, n_1 étant le nombre dans la direction 1 par unité de largeur dans la direction 2, non nécessairement entier.
- **POUR_CENT_L** = ρ_1 : les pourcentages d'armatures dans la direction 1 et la direction 2 : ρ_1 et ρ_2 .

POUR_CENT_T = ρ_2 : ρ_1 et ρ_2 sont tels que :

Si S_2 désigne la somme des sections d'armatures dans la direction 2 par unité de largeur dans la direction 1 : $S_2 = n_2 (\pi \phi_2^2 / 4) / l_1$, alors S_2 se calcule à partir de S_1 par la formule :

$$S_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1} S_1.$$

- **ANGL_REP** : voir mot clé COQUE [§8]. Ce mot clé permet de définir l'axe de référence (x_1).
- **COEF_RIGI_DRZ** : voir mot clé COQUE [§8].
- **ORIG_AXE**, **AXE** : dans le cas d'une coque cylindrique, ces mots clés permettent de définir l'angle des armatures, constant dans un repère cylindrique de la façon suivante : si D est la droite passant par le point x_0 (de coordonnées x_r y_r z_r) et d'axe V (v_x v_y v_z) alors en tout point X de la coque, le vecteur $Y_1 = V \wedge X_1$ oriente les armatures en X (avec $X_1 = XX_D$, X_D projection de X sur D).

17.4 Remarques sur la modélisation

Dans la modélisation, on calculera une épaisseur équivalente de coque : h , un module d'Young dans la direction 1 : E_1 et un module d'Young dans la direction 2 par les formules :

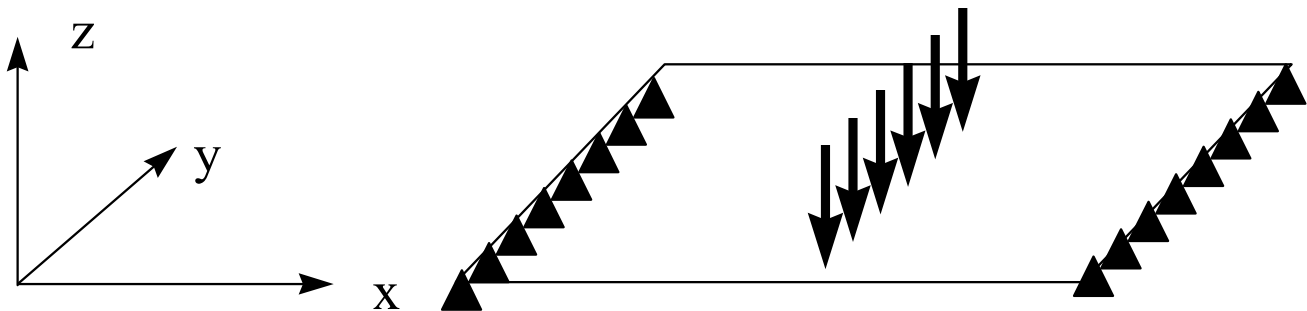
$$h = S_1$$

$$E_1 = E : \text{module du matériau affecté à la maille}$$

$$E_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1} E_1$$

L'épaisseur équivalente étant utilisée pour les propriétés de flexion propre de la grille, l'ordre des directions 1 et 2 n'est pas indifférent :

Considérons le problème de flexion autour de l'axe y de la grille suivante :



Et considérons deux modélisations, a priori équivalentes :

Modélisation 1 :

Direction 1 = Ox

$$\left. \begin{array}{l} S_1 = 1 \\ \rho_1 = 0,1 \\ \rho_2 = 0,01 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} S_x = 1 \\ S_y = 0,1 \end{array}$$

Modélisation 2 :

Direction 1 = Oy

$$\left. \begin{array}{l} S_1 = 0,1 \\ \rho_1 = 0,01 \\ \rho_2 = 0,1 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} S_x = 1 \\ S_y = 0,1 \end{array}$$

Les résultats de ces deux modélisations ne seront pas les mêmes parce que, dans la première modélisation l'épaisseur équivalente de la coque est 1, alors que dans la deuxième, elle est de 0,1.

En pratique, et **dans la mesure où on utilise la modélisation grille pour représenter des nappes d'armatures noyées dans des éléments de béton**, que l'on doit modéliser par ailleurs, les propriétés de flexion propres des nappes d'armature jouent peu, et l'inconvénient signalé ci dessus est mineur.

Par contre, si l'on voulait utiliser les modélisations grilles pour représenter des coques orthotropes dans des cas de flexion, il faudrait être attentif au point mentionné.

18 Mot clé RIGI_PARASOL

18.1 Syntaxe

```
RIGI_PARASOL = (_F(  
# Groupes de mailles qui composent le radier  
    ♦ GROUP_MA = l_gma, [l_group_ma]  
# Fonctions de répartition  
    ◇ / FONC_GROUP = l_fg, [l_FONCTION]  
      / COEF_GROUP = l_cg, [l_R]  
# Raideurs globales à répartir  
    ♦ CARA = / 'K_TR_D_N', [l_TXM]  
             / 'A_TR_D_N',  
    ♦ VALE = l_val, [l_R]  
    ◇ REPERE = / 'LOCAL',  
               / 'GLOBAL', [DEFAULT]  
# Définition du centre de gravite  
    ♦ / GROUP_NO_CENTRE = gno, [group_no]  
      / NOEUD_CENTRE = nd, [noeud]  
      / COOR_CENTRE = l_xyz, [l_R]  
# Définition des mailles ponctuelles correspondant aux noeuds du radier  
    ♦ / GROUP_MA_POI1 = gmapoil, [group_ma]  
    ),)
```

18.2 Caractéristiques affectables

Cette fonctionnalité correspond à un méthodologie utilisée par le SEPTEN pour déterminer les caractéristiques d'éléments discrets (ressorts de translation - rotation) à appliquer aux nœuds d'un radier à partir de résultats obtenus par le code PARASOL.

On doit affecter la modélisation 'DIS_TR' sur le groupe de nœuds qui composent le radier.

Les mailles qui composent le radier (appartenant aux groupes l_gma) portent quand à elles une modélisation de plaque (DKT, DST) cf. test SDLS108 [V2.03.108] ou une modélisation de face de 3D.

18.3 Description des opérandes

- **GROUP_MA** : liste des groupes de mailles qui composent le radier.
- **FONC_GROUP / COEF_GROUP** : liste de fonctions ou de coefficients réels. Il y a autant d'arguments dans cette liste qu'il y a de groupes de mailles qui composent le radier (définis sous le mot-clé **GROUP_MA**). Les fonctions doivent avoir pour abscisse la distance au centre de gravité (mot-clé défini par **GROUP_NO_CENTRE / NOEUD_CENTRE / COOR_CENTRE**).
- Les raideurs globales de sol, issues du code PARASOL sont fournies par l'utilisateur à l'aide des mots-clés **CARA** et **VALE** comme pour les éléments discrets. On peut aussi sélectionner la nature du repère (global ou local) dans lequel on définit les caractéristiques des ressorts (mot-clé **REPERE**).
- Pour définir le centre du radier (calculé par le code PARASOL), on peut soit donner les coordonnées (trois réels donnés derrière le mot-clé **COOR_CENTRE**), soit donner le nom d'un nœud du maillage (pour plus de facilité, on accepte aussi le nom d'un groupe de nœuds mais celui-ci ne doit contenir qu'un seul nœud : mot-clé **GROUP_NO_CENTRE** ou **NOEUD_CENTRE**).
- **GROUP_MA_POI1** permet de spécifier un groupe de mailles ponctuelles contenant les nœuds des groupes de mailles surfaciques (radier) définis sous **GROUP_MA**. Sur ces nœuds de fondation, on pourra affecter divers comportements matériaux en vue de l'utilisation par un opérateur non linéaire.

18.4 Principe de détermination des caractéristiques des éléments discrets [R4.05.01]

On représente le radier par un ensemble d'éléments surfaciques de centre de gravité O. A l'aide du code PARASOL, on obtient 6 grandeurs globales qui caractérisent le couplage sol-radier : trois raideurs de translation K_x, K_y, K_z et trois raideurs de rotations Kr_x, Kr_y, Kr_z .

En chaque nœud du maillage du radier, le *Code_Aster* cherche les caractéristiques en raideur d'un élément discret de type **K_TR_D_N** ($k_x, k_y, k_z, kr_x, kr_y, kr_z$) cf. [R4.05.01].

Pour déterminer les raideurs de translation, on impose qu'elles soient proportionnelles à la surface représentée par le nœud et à une fonction de répartition dépendant de la distance au centre de gravité du radier. Soit $S(P)$ la surface attachée au nœud P et $f(r)$ la fonction de répartition où r est la distance du nœud P au nœud O.

Pour les raideurs de rotation, on répartit le reliquat (ce qui reste après avoir enlevé les contributions dues aux translations) de la même façon que les translations.

Si on calcule les efforts et les moments résultants au point O dus à la répartition des ressorts en chaque nœud du maillage du radier et si on les identifie aux valeurs obtenues par PARASOL, on obtient les formules suivantes :

$$k_x = K_x / \left(\sum_P S(p) f(OP) \right) ; \quad k_x(P) = k_x S(p) f(OP)$$

$$k_y = K_y / \left(\sum_P S(p) f(OP) \right) ; \quad k_y(P) = k_y S(p) f(OP)$$

$$k_z = K_z / \left(\sum_P S(p) f(OP) \right) ; \quad k_z(P) = k_z S(p) f(OP)$$

$$kr_x = \left(Kr_x - \sum_P \left(k_z(P) y_{OP}^2 + k_y(P) z_{OP}^2 \right) \right) / \left(\sum_P S(P) f(OP) \right); kr_x(P) = kr_x S(P) f(OP)$$

$$kr_y = \left(Kr_y - \sum_P \left(k_x(P) z_{OP}^2 + k_z(P) y_{OP}^2 \right) \right) / \left(\sum_P S(P) f(OP) \right); kr_y(P) = kr_y S(P) f(OP)$$

$$kr_z = \left(Kr_z - \sum_P \left(k_x(P) y_{OP}^2 + k_y(P) x_{OP}^2 \right) \right) / \left(\sum_P S(P) f(OP) \right); kr_z(P) = kr_z S(P) f(OP)$$

Remarque 1 :

| Calcul de la surface attachée au point P

Pour chaque maille surfacique du radier, on calcule la surface, on la divise par le nombre de sommets de la maille et on affecte cette contribution à chaque nœud de la maille. On assure alors :

$$S_{radier} = \sum_P S(P)$$

Remarque 2 :

| On considère qu'on peut appliquer les mêmes formules pour effectuer une répartition d'éléments discrets d'amortissement.

18.5 Exemple d'utilisation

```

carac = AFPE_CARA_ELEM ( RIGI_PARASOL = _F ( GROUP_MA = radier,
                                             COEF_GROUP = 2.,
                                             CARA = ( 'K_TR_D_N' , 'A_TR_D_N' ),
                                             VALE = ( (16 réels) , (6 réels)),
                                             NOEUD_CENTRE = 'P1',
                                             )
                                ) ;

```

Page laissée intentionnellement blanche.