

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.

La commande doit être exhaustive pour tous les éléments de structure du modèle.

Cet opérateur produit une structure de type `cara_elem`.

Table des matières

1 But.....	1
2 Syntaxe générale.....	5
3 Opérandes généraux MODELE et VERIF.....	6
3.1 Opérande MODELE.....	6
3.2 Opérande VERIF.....	6
3.3 Opérande INFO.....	6
4 Définition du domaine d'affectation.....	7
4.1 Opérandes MAILLE / GROUP_MA / NOEUD / GROUP_NO.....	7
5 Affectation de valeurs.....	8
6 Mot clé BARRE.....	10
6.1 Caractéristiques affectables.....	10
6.2 Syntaxe.....	10
6.3 Opérandes.....	10
6.3.1 Opérande SECTION = 'GENERALE'.....	10
6.3.2 Opérande SECTION = 'CERCLE'.....	10
6.3.3 Opérande SECTION = 'RECTANGLE'.....	11
6.4 Opérande 'FCX'.....	11
7 Mot clé CABLE.....	12
7.1 Caractéristiques affectables.....	12
7.2 Syntaxe.....	12
7.3 Opérande 'SECTION'.....	12
7.4 Opérande 'FCX'.....	12
7.5 Opérande N_INIT.....	12
8 Mot clé COQUE.....	13
8.1 Caractéristiques affectables.....	13
8.2 Syntaxe.....	13
8.3 Opérandes.....	13
8.3.1 Opérande EPAIS EPAIS_F.....	13
8.3.2 Opérandes MODI_METRIQUE / COEF_RIGI_DRZ / EXCENTREMENT / INER_ROTA.....	13
8.3.3 Opérande ANGL_REP / VECTEUR.....	14
8.3.4 Opérande COQUE_NCOU.....	15
9 Mot clé POUTRE.....	16
9.1 Caractéristiques affectables.....	16
9.2 Syntaxe.....	16
9.3 Règles d'utilisation.....	17
9.4 Opérandes.....	18
9.4.1 Opérande VARI_SECT.....	18
9.4.2 Opérande MODI_METRIQUE.....	18
9.4.3 Opérande SECTION = 'GENERALE'.....	18

9.4.4 Opérande SECTION = 'RECTANGLE'	21
9.4.5 Opérande SECTION = 'CERCLE'	22
9.5 Opérande 'FCX'	23
9.6 Opérandes TUYAU_NSEC / TUYAU_NCOU	23
9.7 Opérandes PREC_AIRE / PREC_INERTIE	23
10 Mot clé ORIENTATION	25
10.1 Caractéristiques affectables.....	25
10.2 Syntaxe.....	25
10.3 Règles d'utilisation	25
10.4 Opérandes VECT_X_Y / ANGL_NAUT	26
10.5 Opérande ANGL_VRIL / VECT_Y	28
10.6 Opérande 'GENE TUYAU'	28
10.7 Opérandes PRECISION / CRITERE	28
11 Mot clé DEFI_ARC	29
11.1 Caractéristiques affectables.....	29
11.2 Remarque.....	29
11.3 Syntaxe.....	29
11.4 Opérandes POIN_TANG / NOEUD_POIN_TANG / GROUP_NO_POIN_TG	30
11.5 Opérandes CENTRE / NOEUD_CENTRE / GROUP_NO_CENTRE	30
11.6 Opérandes PRECISION / CRITERE	30
11.7 Opérandes RAYON / ORIE_ARC	30
11.8 Opérande COEF_FLEX , COEF_FLEX_XZ , COEF_FLEX_XY : coefficients de flexibilité ...	32
11.9 Opérandes INDI_SIGM / INDI_SIGM_XZ / INDI_SIGM_XY : Indice d'intensification des contraintes	32
11.10 Remarque.....	33
11.11 Exemple d'utilisation.....	33
12 Mots clés GEOM_FIBRE / MULTIFIBRE	35
12.1 Syntaxe.....	35
12.2 But.....	35
12.3 Mot clé MULTIFIBRE.....	35
12.3.1 Opérandes MAILLE et GROUP_MA.....	35
12.3.2 Opérande GROUP_FIBRE.....	36
12.4 Mot clé GEOM_FIBRE.....	36
13 Mot clé DISCRET et DISCRET_2D	37
13.1 Caractéristiques affectables.....	37
13.2 Syntaxe.....	37
13.3 Opérandes.....	38
13.3.1 Règles d'utilisation	38
13.3.2 Opérandes VALE ou VALE_F	38
13.3.3 Opérandes K_ (matrices de rigidité) ou A_ (matrices d'amortissement)	39
13.3.4 Opérandes M_ Matrices de masse	43
13.3.5 Opérande AMOR_HYST	46

13.3.6 Opérande REPERE	47
14 Mot clé MASSIF	48
14.1 Caractéristiques affectables.....	48
14.2 Syntaxe.....	48
14.3 Opérande ANGL_REP	48
14.4 Opérande ANGL_EULER	48
14.5 Opérandes ANGL_AXE / ORIG_AXE	49
15 Mot clé POUTRE_FLUI	50
15.1 Syntaxe.....	50
15.2 Caractéristiques affectables.....	50
15.3 Opérande GROUP_MA / MAILLE	50
15.4 Opérandes A_FLUI / A_CELL / COEF_ECHELLE	50
15.5 Opérandes B_T / B_N / B_TN	50
16 Mot clé GRILLE	51
16.1 Syntaxe.....	51
16.2 Caractéristiques affectables.....	51
16.3 Description des opérandes.....	51
17 Mot clé RIGI_PARASOL	53
17.1 Syntaxe.....	53
17.2 Caractéristiques affectables.....	53
17.3 Description des opérandes.....	53
17.4 Principe de détermination des caractéristiques des éléments discrets [R4.05.01].....	54
17.5 Exemple d'utilisation.....	55
18 Mot clé RIGI_MISS_3D	56
18.1 Syntaxe.....	56
18.2 Caractéristiques affectables.....	56
18.3 Description des opérandes.....	56

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]

        | MULTIFIBRE  =                               voir mot clé MULTI_FIBRE    [$12]
        ◇   GEOM_FIBRE = voir mot clé GEOM_FIBRE        [$12]

        | DISCRET     =                               voir mot clé DISCRET        [$13]
        ◇   ORIENTATION = voir mot clé ORIENTATION      [$10]

        | DISCRET_2D  =                               voir mot clé DISCRET_2D    [$13]
        ◇   ORIENTATION = voir mot clé ORIENTATION      [$10]

        | MASSIF      =                               voir mot clé MASSIF          [$14]
        | POUTRE_FLUI =                               voir mot clé POUTRE_FLUI    [$15]
        | GRILLE      =                               voir mot clé GRILLE          [$16]
        | RIGI_PARASOL =                             voir mot clé RIGI_PARASOL    [$17]
        | RIGI_MISS_3D =                             voir mot clé RIGI_MISS_3D    [$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).

Si le mot clef `RIGI_PARASOL` est utilisé, les valeurs calculées pour le tapis de ressorts sont écrites dans le fichier `RESULTAT` au format des commandes de *Code_Aster*.

`/ 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 :

- le choix du type d'élément concerné par l'affectation (POUTRE, DISCRET, ...),
- 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, POU_D_TGM, POU_D_EM
MASSIF	3D, AXIS, AXIS_FOURIER, C_PLAN, D_PLAN, TUYAU_3M, TUYAU_6M
GRILLE	GRILLE, GRILLE_MEMBRANE
POUTRE_FLUI	3D_FAISCEAU
MULTI_FIBRE	POU_D_EM, POU_D_TGM
RIGI_PARASOL	DIS_TR
RIGI_MISS_3D	DIS_T

- 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
<code>GROUP_MA = l_{gma}</code>	Affectation à tous les éléments des groupes de mailles spécifiés.
<code>MAILLE = l_{ma}</code>	Affectation à tous les éléments des mailles spécifiées.
<code>GROUP_NO = l_{gno}</code>	Affectation à tous les nœuds des groupes de nœuds spécifiés (DISCRET seulement)
<code>NOEUD = l_{no}</code>	Affectation à tous les nœuds spécifiés (DISCRET seulement)

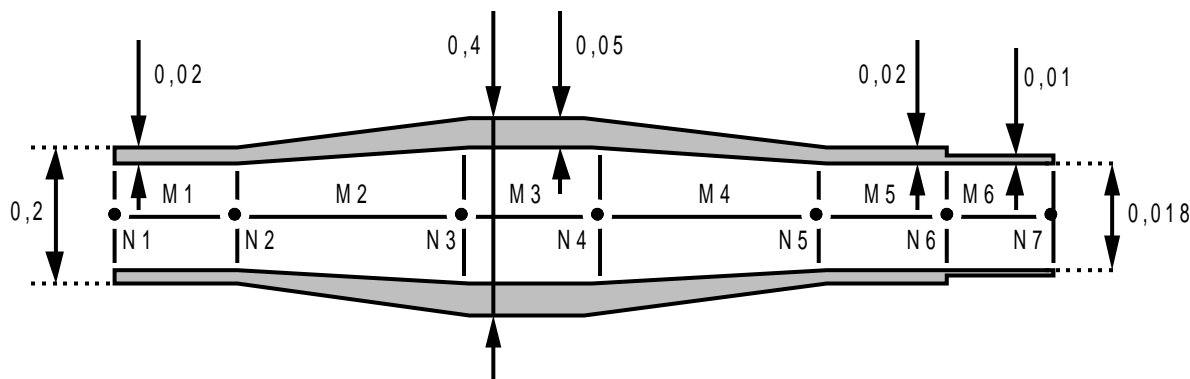
Comme dans les autres commandes, la règle de surcharge s'applique [U1.03.00].

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 pouvant être affectés a conduit à une syntaxe mieux adaptée :
`CARA = (...) # liste de noms de caractéristiques`
`VALE = (...) # 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 = AFPE_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')),
  ),
)
```


Il est également possible d'utiliser les fonctionnalités du langage python. L'exemple ci-dessous récupère des grandeurs calculées par la commande MACR_CARA_POUTRE, pour ensuite les affecter. L'utilisation de python nécessite de mettre PAR_LOT='NON' dans la commande DEBUT.

```
PRE_GIBI ()
SECTION = MACR_CARA_POUTRE( NOEUD= 'N1', GROUP_MA_BORD= 'BORD' )

ii = 2
alpha0 = SECTION[ 'ALPHA' , ii ]
cdgx0 = SECTION[ 'CDG_X' , ii ]
cdgy0 = SECTION[ 'CDG_Y' , ii ]
AIRE0 = SECTION[ 'AIRE' , ii ]
IY0 = SECTION[ 'IY_PRIN_G', ii ]
IZ0 = SECTION[ 'IZ_PRIN_G', ii ]
EY0 = SECTION[ 'EY' , ii ]
EZ0 = SECTION[ 'EZ' , ii ]
JX0 = SECTION[ 'CT' , ii ]
JG0 = SECTION[ 'JG' ,ii ]
AY0 = SECTION[ 'AY' , ii ]
AZ0 = SECTION[ 'AZ' , ii ]
IYR20 = SECTION[ 'IYR2_PRIN_G' , ii ]
IZR20 = SECTION[ 'IZR2_PRIN_G', ii ]

carelem=AFFE_CARA_ELEM( MODELE=mod,
    POUTRE = (
        _F(GROUP_MA=('POUT1','POUT2'), SECTION='GENERALE',
            CARA= ( 'A', 'IY','IZ','AY','AZ','EY','EZ','JX','JG','IYR2','IZR2'),
            VALE= ( AIRE0,IY0, IZ0, AY0, AZ0, EY0, EZ0, JX0, JG0, IYR20, IZR20)),
        )
    )
```

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_réel]

  / SECTION = 'RECTANGLE',
    # section constante
    ♦ CARA = / ( 'H' | 'EP' ),
    / ( 'HY' | 'HZ' | 'EPY' | 'EPZ' ),
    ♦ VALE = va, [l_réel]

  / SECTION = 'CERCLE',
    # section constante
    ♦ CARA = ( 'R' | 'EP' ),
    ♦ VALE = va, [l_réel]
  ♦ FCX = fv, [FONCTION]
),
)
```

Règle d'utilisation :

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

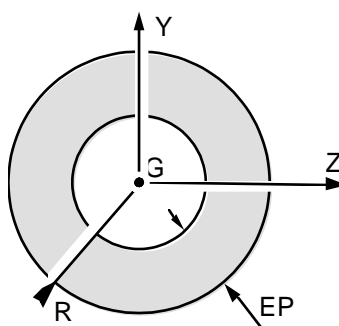
6.3 Opérandes

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'

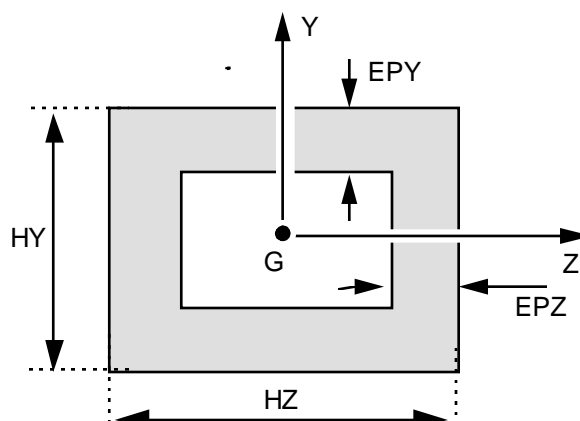
CARA	Signification	Valeur par défaut
R	Rayon extérieur du tube	Obligatoire
EP	Épaisseur dans le cas d'un tube creux	Tube plein (EP=R)



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 GY	Obligatoire
/ HZ	Dimension du rectangle suivant GZ	Obligatoire
/ H	Longueur de l'arête (si le rectangle est carré)	Obligatoire
/ EPY	Épaisseur suivant GY dans le cas d'un tube creux	HY/2
/ EPZ	Épaisseur suivant GZ dans le cas d'un tube creux	HZ/2
/ EP	Épaisseur 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-à-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,                               [réel]  
        ♦ FCX              =   fv,                                [FONCTION]  
        ♦ N_INIT           =   / ninit,                            [réel]  
                                   / 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-à-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 que l'on peut affecter 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 excentrées),
- pour certains modèles de coque, des caractéristiques particulières : coefficient de cisaillement, métrique, excentrement, ...
- pour définir l'orientation d'un matériau orthotrope, une direction de référence pour des groupes de mailles.

8.2 Syntaxe

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

      ♦ / EPAIS          = ep,                  [réel]
      / EPAIS_F          = fep,                [para_sensi]

      ♦ / ANGL_REP       = / (0., 0.),          [DEFAULT]
                        / (  $\alpha$  ,  $\beta$  ),      [l_réel]
      / VECTEUR          = ( vx , vy , vz ),     [l_réel]

      ♦ MODI_METRIQUE    = / 'NON',             [DEFAULT]
                        / 'OUI',
      ♦ COEF_RIGI_DRZ    = / KRZ,                [réel]
                        / 1.E-5,                 [DEFAULT]
      ♦ EXCENTREMENT     = e,                    [réel]
                        0.0,                     [DEFAULT]
      ♦ INER_ROTA        = 'OUI',
      ♦ COQUE_NCOU       = / n1,                 [entier]
                        / 1,                     [DEFAULT]
  ),
)
```

8.3 Opérandes

8.3.1 Opérande EPAIS EPAIS_F

```
♦ / EPAIS = ep
   EPAIS_F = fep
```

EPAIS représente l'épaisseur de la coque qui doit être exprimée dans les mêmes unités que les coordonnées des noeuds du maillage

On utilise le mot clé EPAIS_F si on veut effectuer un calcul de sensibilité [U4.50.02]. L'argument de ce mot clé est du type para_sensi.

8.3.2 Opérandes MODI_METRIQUE / COEF_RIGI_DRZ / EXCENTREMENT / INER_ROTA

```
/ ♦ MODI_METRIQUE = 'NON',
```

Fait l'hypothèse que l'épaisseur de l'élément est faible. Lors des intégrations dans l'épaisseur on ne tient pas compte de la variation du rayon de courbure (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 du rayon de courbure en fonction de l'épaisseur (voir par exemple [R3.07.02], [R3.07.04]).

◇ 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).

Remarque :

Attention, dans STAT/DYNA_NON_LINE, ce coefficient peut entraîner des itérations de Newton supplémentaires (plus d'une itération pour un problème linéaire par exemple).

8.3.3 Opérande ANGL_REP / VECTEUR

◇ 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 . Si le mot clé VECTEUR est présent, c'est VECTEUR qui définit le repère local.

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

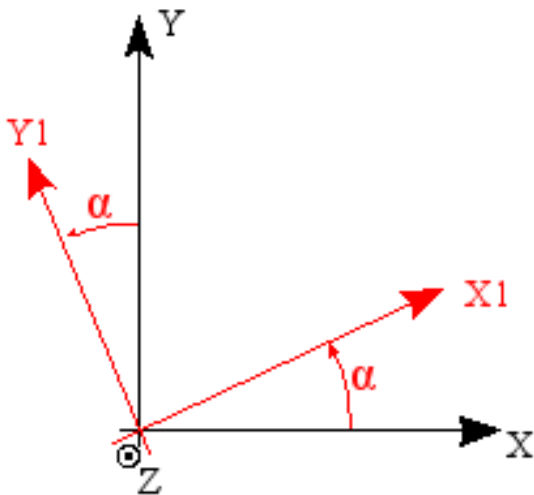


Figure 8.3.3-a

La rotation α autour de OZ transforme (OXYZ) en (OX₁Y₁Z) avec Z₁ \equiv Z

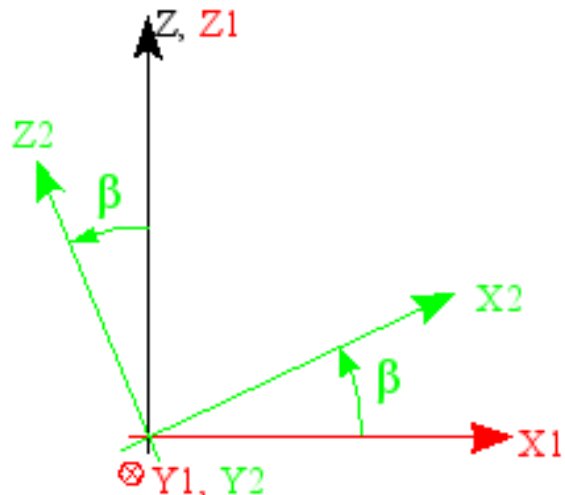


Figure 8.3.3-b

La rotation β autour de OY₁ transforme OX₁ en OX₂. Rem : sur la figure l'angle β est négatif.

En représentation tridimensionnelle [Figure 8.3.3-c].

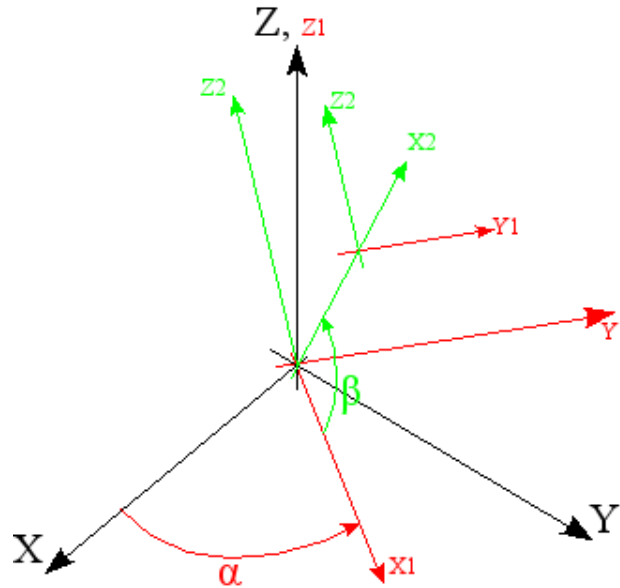


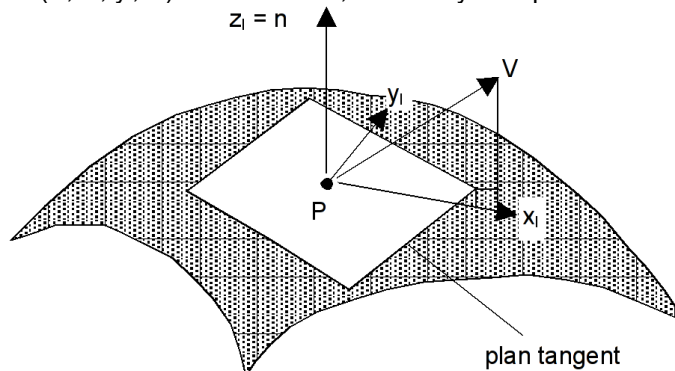
Figure 8.3.3-c

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 est utile uniquement pour définir l'orientation des fibres d'une coque multicouche ou orthotrope (Cf. opérateur `DEFI_COQU_MULT [U4.42.03]`).

◇ `VECTEUR = (vx , vy , vz .,`

Ce mot clé sert à la définition d'un repère local en tout point d'une coque. Les composantes du vecteur sont données dans le repère **global**.

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

      ♦ / SECTION        = 'GENERALE',
        ◊ VARI_SECT      = / 'CONSTANT'                [DEFAULT]
                        / 'HOMOTHETIQUE'

      # section générale constante
      / ♦ CARA           = | 'A' | 'IY' | 'IZ' | 'AY' | 'AZ' | 'EY' | 'EZ',
                          | 'JX' | 'AI' | 'RY' | 'RZ' | 'RT',
                          | 'JG' | 'IYR2' | 'IZR2',
                          ♦ VALE = va,                      [l_réel]

      # section générale homothétique
      / ♦ CARA           = | 'A1' | 'A2' | 'IY1' | 'IY2' | 'IZ1' | 'IZ2' | 'JX1' | 'JX2',
                          | 'AY1' | 'AY2' | 'AZ1' | 'AZ2' | 'JG1' | 'JG2' | 'EY1' | 'EY2',
                          | 'EZ1' | 'EZ2' | 'AI1' | 'AI2' | 'RY1' | 'RY2' | 'RZ1' | 'RZ2',
                          | 'RT1' | 'RT2' | 'IYR21' | 'IZR21' | 'IYR22' | 'IZR22',
                          ♦ VALE = va,                      [l_réel]

      / SECTION          = 'RECTANGLE',
        ◊ VARI_SECT      = / 'CONSTANT',                [DEFAULT]
                        / 'HOMOTHETIQUE',
                        / 'AFFINE',

      # section rectangle constante
      / ♦ CARA           = / | 'H' | 'EP',
                          / | 'HY' | 'HZ' | 'EPY' | 'EPZ',
                          ♦ VALE = va,                      [l_réel]

      # section rectangle homothétique
      / ♦ CARA           = / | 'H1' | 'H2' | 'EP1' | 'EP2',
                          / | 'HY1' | 'HZ1' | 'HY2' | 'HZ2',
                          | 'EPY1' | 'EPY2' | 'EPZ1' | 'EPZ2',
                          ♦ VALE = va,                      [l_réel]
```



```

# section rectangle affine
/ ♦ CARA      = |'HY'|'EPY'|'HZ1',
                |'EPZ1'|'HZ2'|'EPZ2',
  ♦ VALE      = va,                                     [1_réel]

/ SECTION     = 'CERCLE',
  ♦ VARI_SECT = / 'CONSTANT'                             [DEFAULT]
                / 'HOMOTHETIQUE',

# section cercle constante
/ ♦ CARA      = |'R'|'EP',
  ♦ VALE      = va,                                     [1_réel]

# section cercle homothétique
/ ♦ CARA      = |'R1'|'R2'|'EP1'|'EP2',
  ♦ VALE      = va,                                     [1_réel]
  ♦ MODI_METRIQUE = / 'OUI',                             [DEFAULT]
                    / 'NON',                             [DEFAULT]
  ♦ TUYAU_NSEC   = / nsec,                               [entier]
                    / 16,                                 [DEFAULT]
  ♦ TUYAU_NCOU   = / ncou,                               [entier]
                    / 3,                                 [DEFAULT]
  ♦ FCX          = fv,                                   [FONCTION]

  ♦ PREC_AIRE    = / precis,                             [réel]
                    / 0.01,                             [DEFAULT]

  ♦ PREC_INERTIE = / precis,                             [réel]
                    / 0.1,                               [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 transverse 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'

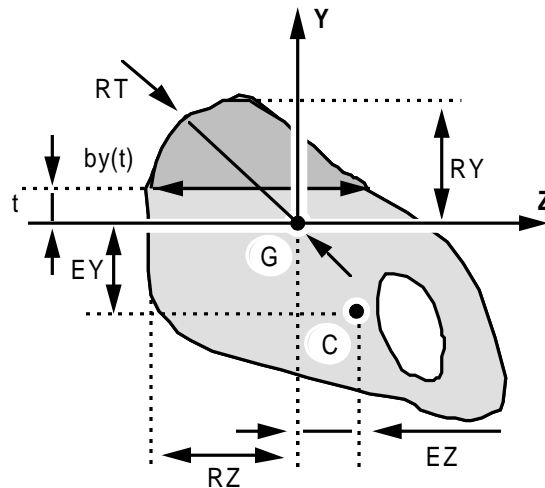
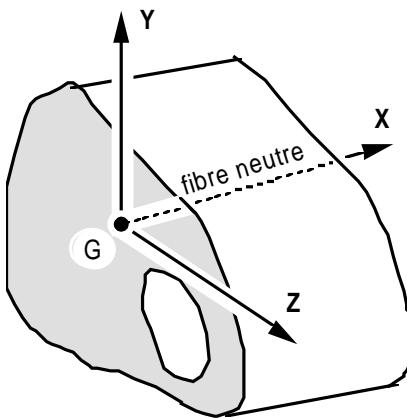
9.4.3.1 Section constante

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, POU_D_TGM)	
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)	
AI	Aire de la section de passage du fluide à l'intérieur de la poutre.	obligatoire pour une modélisation FLUI_STRU

9.4.3.2 Section homothétique

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	Excentrement du centre de torsion (composante de CG suivant GY)	0.
EZ1, EZ2	Excentrement 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)	
AI1, AI2	Aires de la section de passage du fluide à l'intérieur de la poutre.	obligatoires pour une modélisation FLUI_STRU



Définition des caractéristiques :

$$IZ = \int_s y^2 ds$$

$$IY = \int_s z^2 ds$$

$$AY = \frac{A}{A_y} = \frac{A}{IZ^2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{m_y^2(y)}{b_y(y)} dy$$

$$AZ = \frac{A}{A_z} = \frac{A}{IY^2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{m_z^2(z)}{b_z(z)} dz$$

avec $m_y(y) = \int_y^{R_y} t \cdot b_y(t) dt$
 $b_y(t)$ épaisseur suivant z, en $z=t$

$m_z(z) = \int_z^{R_z} t \cdot b_z(t) dt$
 $b_z(t)$ épaisseur suivant y, en $y=t$

Avec :

A'_y , A'_z : aires réduites cisailées

$A'_y = \frac{A}{AY}$ avec $AY \geq 1$ ou encore $A'_y = k_y A$ 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`, `POU_D_TGM`, 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 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 calculées par : $\tau_{xz} = \frac{V_z}{A} \quad \tau_{xy} = \frac{V_y}{A}$.

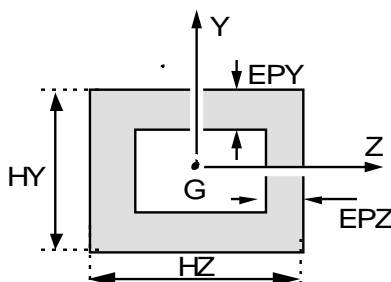
Les caractéristiques R_Y , R_Z , R_T servent au calcul des contraintes de flexion et de torsion [R3.08.01] pour les options '`SIGM_ELNO_DEPL`' ou '`SIPO_ELNO_DEPL`' de `CALC_ELEM` [U4.81.01].

En flexion $\sigma_{xx} = \frac{M_y}{I_y} \cdot RZ - \frac{M_z}{I_z} \cdot RY$

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

9.4.4 Opérande SECTION = 'RECTANGLE'

CARA	Signification	Valeurs défaut	par
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	Épaisseur suivant GY dans le cas d'un tube creux	HY/2	
EPZ	Épaisseur suivant GZ dans le cas d'un tube creux	HZ/2	
EP	Épaisseur suivant les deux axes dans le cas d'un tube creux	Tube plein	
Section homothétique			
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	Épaisseur 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	Épaisseur suivant GY dans le cas d'un tube creux, à chaque extrémité dans le cas d'une section variable	EPY1 = EPY2 = EPY	
EPZ1, EPZ2	Épaisseur 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 Code_Aster sont [R3.08.03] :

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

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

$$R_Y = \frac{HY}{2} \quad R_Z = \frac{HZ}{2}$$

• Si le tube est creux : AY = AZ = 1.5

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

$$R_T = \frac{J_X}{2 \cdot EPZ (HY - EPY) (HZ - EPZ)}$$

• Si le tube est plein, on pose :

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

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

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

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

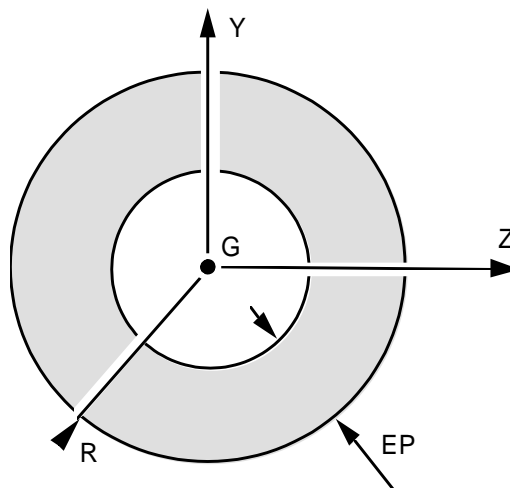
$$RT = \frac{J(3a + 1.8b)}{8a^2 b^2}$$

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	Épaisseur 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	Épaisseurs 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 :

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

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

•sinon (tube mince) $AY = AZ = 2$

9.5 Opérande 'FCX'

◇ FCX = fv

Affectation d'une fonction décrivant la dépendance de la force répartie vis-à-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, POU_D_TGM).

9.6 Opérandes TUYAU_NSEC / TUYAU_NCOU

◇ TUYAU_NSEC = / nsec,

◇ TUYAU_NCOU = / ncou,

Nombre de couches dans l'épaisseur (ncou par défaut = 3) et de secteurs (nsec par défaut = 16) sur la circonférence utilisés pour les intégrations dans les éléments TUYAU [R3.08.06].

9.7 Opérandes PREC_AIRE / PREC_INERTIE

◇ PREC_AIRE = / precis,

◇ PREC_INERTIE = / precis,

L'utilisation des poutres multi-fibres (POU_D_EM ou POU_D_TGM) nécessite de fournir des informations supplémentaires, par rapport aux mots clés VALE et CARA, à l'aide du mot clef MULTIFIBRE [§12].

L'objectif est de vérifier la cohérence des informations (AIRE et INERTIE) fournies d'une part par le mot clé POUTRE et d'autre part par le mot clef MULTIFIBRE. Le critère d'erreur est basé sur l'erreur relative et est comparé soit à la valeur par défaut soit à celle donnée par l'utilisateur via les mots clés PREC_AIRE et PREC_INERTIE.

Si le critère n'est pas satisfait une erreur fatale est générée. L'erreur relative est calculée de la manière suivante :

$$\frac{\text{AIRE}(\text{POUTRE}) - (\text{AIRE}(\text{SECTION}) + \text{AIRE}(\text{FIBRE}))}{\text{AIRE}(\text{POUTRE})} \leq \text{PREC_AIRE}$$
$$\frac{\text{INERTIE}(\text{POUTRE}) - (\text{INERTIE}(\text{SECTION}) + \text{INERTIE}(\text{FIBRE}))}{\text{INERTIE}(\text{POUTRE})} \leq \text{PREC_INERTIE}$$

Remarques :

- *AIRE(FIBRE)*, *AIRE(SECTION)*, *INERTIE(SECTION)*, *INERTIE(FIBRE)* sont calculés à partir de la structure de données décrivant les fibres et définie sous le mot clef *GEOM_FIBRE*. Cette structure de données est créée par la commande *DEFI_GEOM_FIBRE* [U4.26.01].
- *AIRE(FIBRE)* est calculée en faisant la somme des aires des fibres, pour tous les groupes de fibres définis par le mot clé *GROUP_FIBRE* de l'opérande *FIBRE* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*.
- *AIRE(SECTION)* est calculée en faisant la somme des aires des fibres définies par le mot clef *GROUP_FIBRE* de l'opérande *SECTION* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*.
- *INERTIE(FIBRE)* est calculée en faisant la somme des $s.d^2$ des fibres définies dans l'ensemble des groupes de fibres définis par le mot clef *GROUP_FIBRE* de l'opérande *FIBRE* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*. s : représente la surface d'une fibre et d la distance entre la fibre et l'axe défini par le mot clé *CARA_AXE_POUTRE* de l'opérande *FIBRE* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*.
- *INERTIE(SECTION)* est calculée en faisant la somme des $s.d^2$ des éléments définis par le mot clef *GROUP_FIBRE* de l'opérande *SECTION* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*. s : représente la surface d'un élément et d la distance entre le centre de gravité de l'élément et l'axe défini par le mot clé *CARA_AXE_POUTRE* de l'opérande *SECTION* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*.

Remarques :

Lorsque la section est définie par un maillage (mot clé *MAILLAGE_SECT* sous l'opérande *SECTION* de la commande *DEFI_GEOM_FIBRE*) le calcul de l'inertie globale de l'ensemble des éléments surfaciques ne tient pas compte de l'inertie propre à chacun des éléments. Il faut donc définir un nombre suffisant de fibres pour que cette erreur soit faible et reste inférieure à *PREC_INERTIE*.

Par exemple une section rectangulaire découpée uniformément dans la hauteur en "n" éléments conduit aux erreurs suivantes, sur les valeurs des inerties :

Découpage	2	3	4	5	6
Erreur Inertie	25%	11.11%	6.25%	4.00%	2.77%

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, 0.0, 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_réel]
      ◇ CARA          = / 'VECT_Y',
                        / 'ANGL_VRIL',
                        / 'VECT_X_Y',
                        / 'ANGL_NAUT',
                        / 'GENE TUYAU',
      ◇ CRITERE       = / 'RELATIF',          [DEFAULT]
                        / 'ABSOLU',
      ◇ PRECISION     = / eps,                [réel]
                        / 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 (XY Z) en ($X_1Y_1 Z_1$) avec $Z_1 \equiv Z$ [Figure 10.4-a]
- une rotation d'angle β autour de Y_1 , transformant ($X_1Y_1Z_1$) en ($X_2Y_2Z_2$) avec $Y_2 \equiv Y_1$ [Figure 10.4-b]
- une rotation d'angle γ autour de X_2 , transformant ($X_2Y_2Z_2$) en ($X_3Y_3Z_3$) avec $X_3 \equiv X_2$ [Figure 10.4-c]

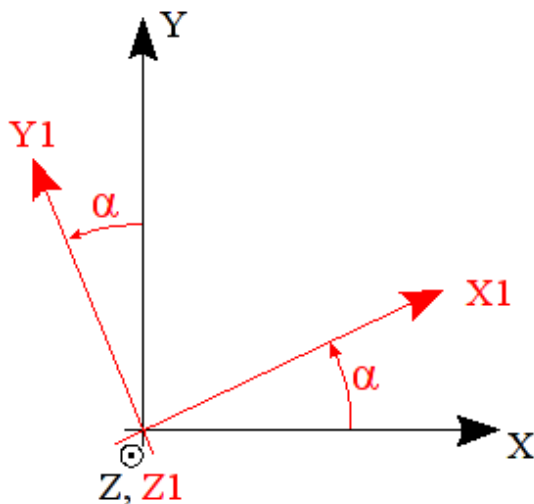


Figure 10.4-a

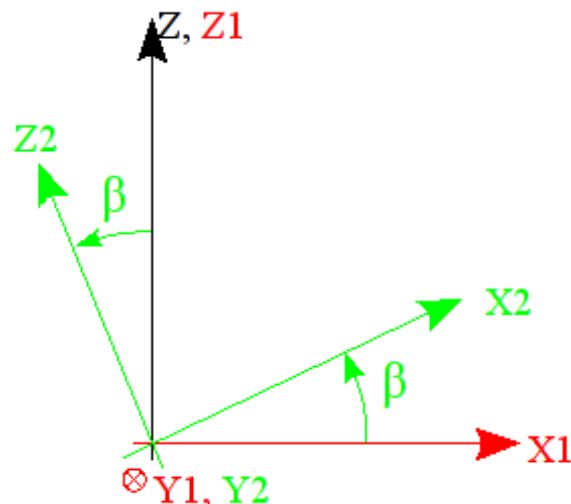


Figure 10.4-b

Remarque : pour la figure 10.4-b, l'angle de rotation β est négatif.

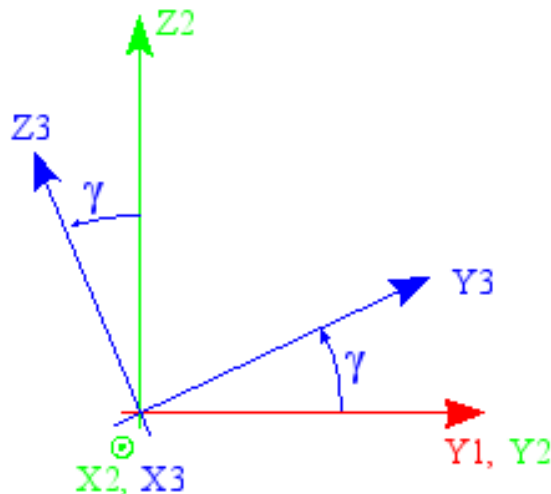


Figure 10.4-c

le repère local est : $(X_3 Y_3 Z_3)$

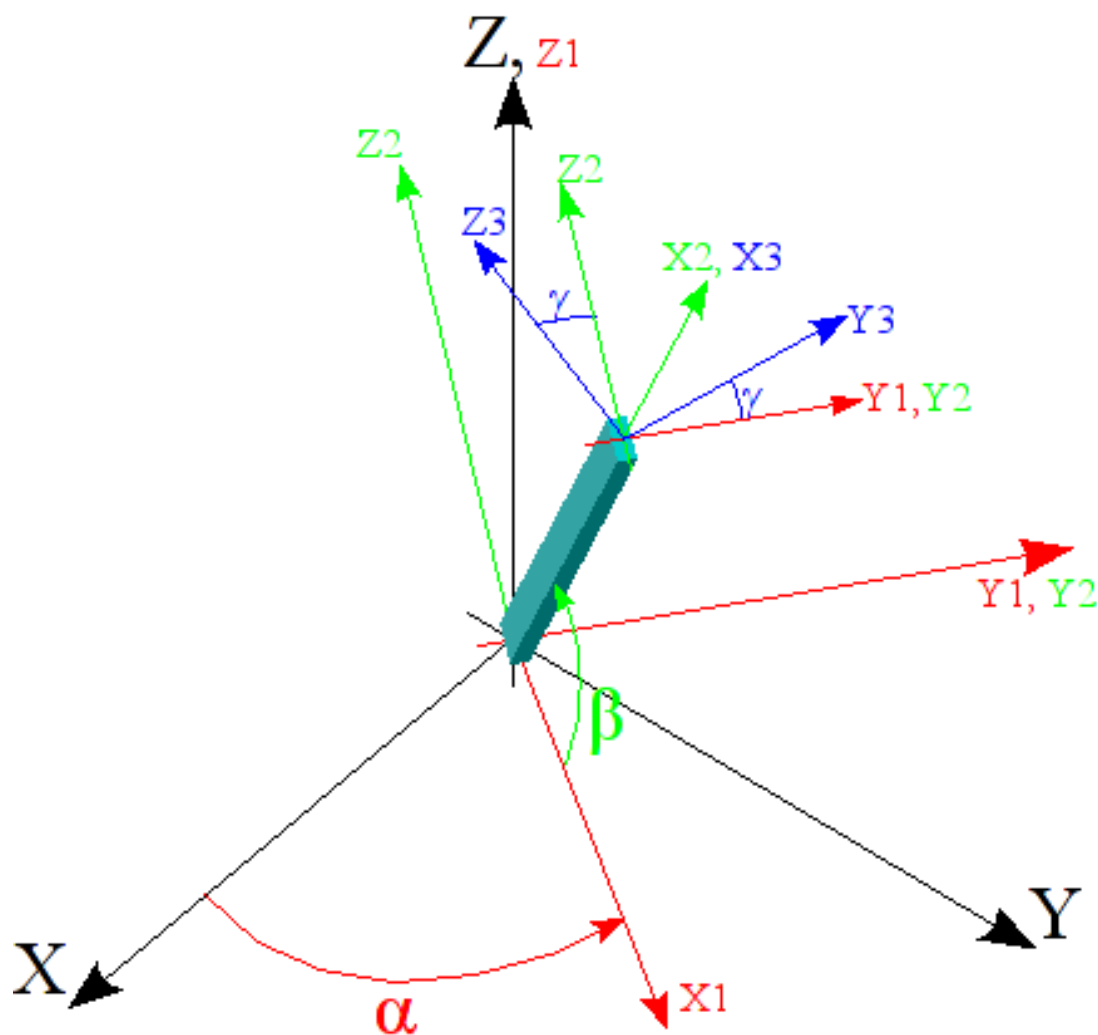


Figure 10.4-d

/ CARA = 'VECT_X_Y' , VALE = $(x_1^l, x_2^l, x_3^l, x_1^d, x_2^d, x_3^d)$
 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 .
 x_1^d, x_2^d, x_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-e].

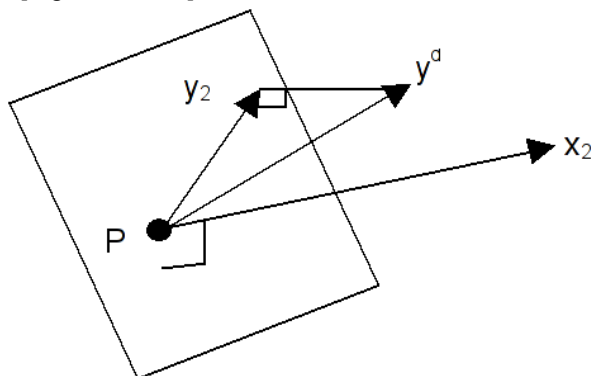


Figure 10.4-e

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

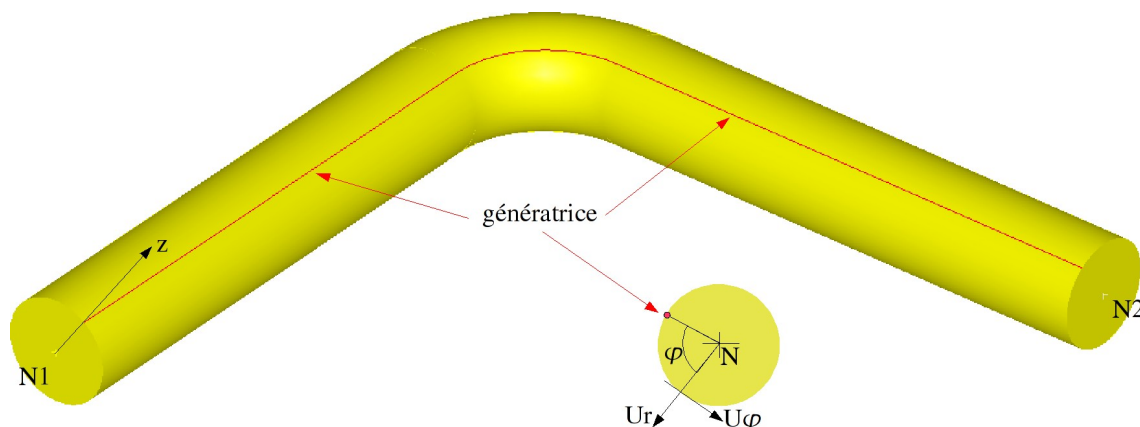
y_1^d, y_2^d, y_3^d sont les 3 composantes d'un vecteur y^d dont la projection sur le plan orthogonal à x_2 fournira l'axe local y_2 [Figure 10.4-e]. L'axe z_2 est tel que (P, x_2, y_2, z_2) soit direct.

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 clés : 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_iN_j).

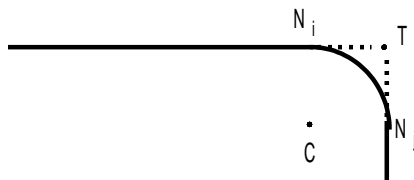
11.3 Syntaxe

```
DEFI_ARC = (
  _F( ♦ / MAILLE = lma, [l_maille]
      / GROUP_MA = lgma, [l_gr_maille]
      ♦ / POIN_TANG = (xt , yt , zt), [l_réel]
      / NOEUD_POIN_TANG = no, [noeud]
      / GROUP_NO_POIN_TG = gno, [gr_noeud]
      / CENTRE = (xc , yc , zc), [l_réel]
      / NOEUD_CENTRE = no, [noeud]
      / GROUP_NO_CENTRE = gno, [gr_noeud]
      / ♦ ORIE_ARC = g_arc, [réel]
      / ♦ RAYON = r, [réel]
      ◇ / COEF_FLEX = cflex, [réel]
      / ♦ COEF_FLEX_XY = cflex_xy, [réel]
      / ♦ COEF_FLEX_XZ = cflex_xz, [réel]
      ◇ / INDI_SIGM = isigm, [réel]
      / ♦ INDI_SIGM_XY = isigm_xy, [réel]
      / ♦ INDI_SIGM_XZ = isigm_xz, [réel]
      ◇ PRECISION = / eps, [réel]
      / 1.0E-03, [DEFAULT]
      ◇ CRITERE = / 'ABSOLU',
      / 'RELATIF', [DEFAULT]
  ),
)
```

11.4 Opérandes POIN_TANG / NOEUD_POIN_TANG / GROUP_NO_POIN_TG

```
/ POIN_TANG      = (xt , yt , zt)
/ NOEUD_POIN_TANG = 'NT'
/ GROUP_NO_POIN_TG = 'GNT'
```

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 ('NT'), soit par le nom d'un groupe de nœuds ('GNT') contenant un seul nœud correspondant à ce point.



11.5 Opérandes CENTRE / NOEUD_CENTRE / GROUP_NO_CENTRE

```
/ CENTRE          = (xc , yc , zc)
/ NOEUD_CENTRE    = 'NC'
/ GROUP_NO_CENTRE = 'GNC'
```

Définit le centre de courbure C de l'élément. L'angle (C, Ni, Nj) 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 ('NC') ou par le nom d'un groupe ('GNC') 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 NiNj:

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

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

11.7 Opérandes RAYON / ORIE_ARC

♦ $\text{ORIE_ARC} = \gamma_{arc}$

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 Ni et Nj) permettant de passer de (M, xi, yi, zi) à (M, xi, yi, zi) [Figure 11.7-a].

♦ RAYON = Rcourb

Rayon de courbure de l'élément. Il permet de calculer le centre C de l'arc [Figure 11.7-b].

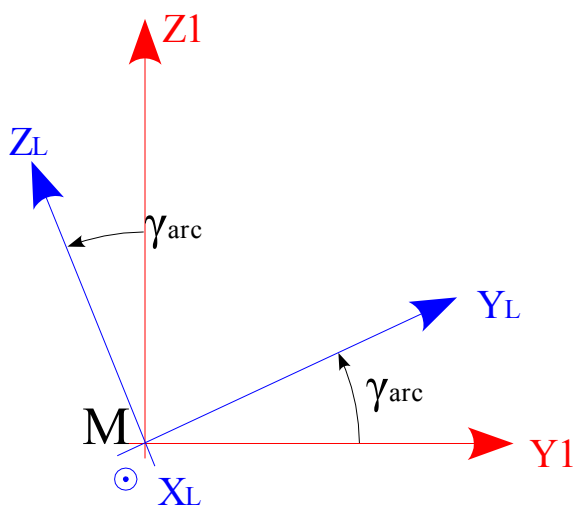


Figure 11.7-a

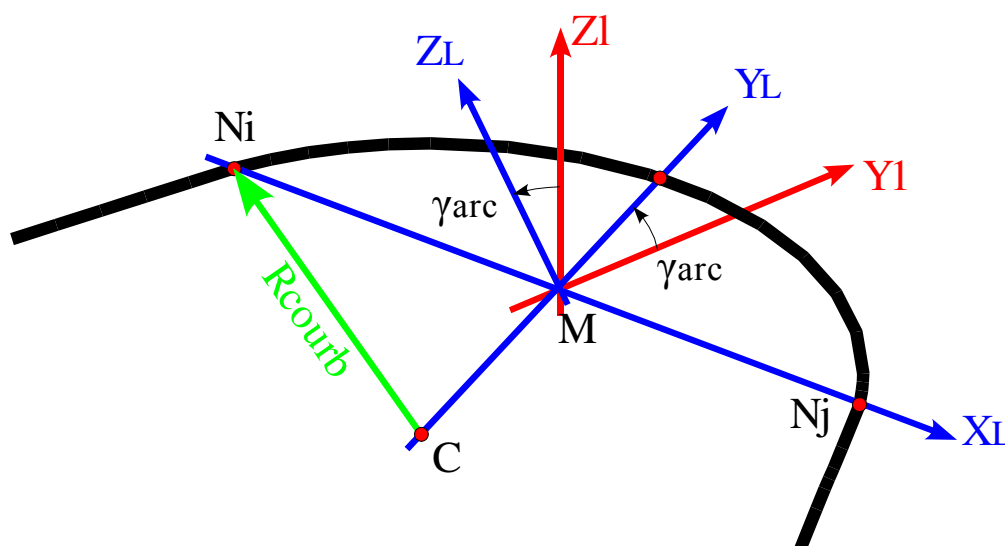


Figure 11.7-b

Remarques :

- le repère (M, x_1, y_1, z_1) 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_1 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 d'une 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 :

$$I_{y,z} = \frac{I_{y,z}(tube)}{cflex} \quad \text{avec } cflex > 1.0$$

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

$$cflex = \frac{1.65}{\lambda} \quad \text{avec } \lambda = \frac{e R_{courb}}{R_{moy}^2}$$

Cette valeur peut être calculée directement dans le fichier de commandes (voir par exemple le test FORMA01A [V7.15.100]).

Dans le cas où 2 coefficients sont donnés, on obtient : $I_y = \frac{I_y(tube)}{cflex_{xz}}, I_z = \frac{I_z(tube)}{cflex_{xy}}$

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 :

$$\sigma_{xx} = \frac{M_y \cdot R}{I_y} * isigm \quad \text{ou} \quad \sigma_{xx} = \frac{M_z \cdot R}{I_z} * isigm \quad \text{avec } isigm \geq 1$$

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

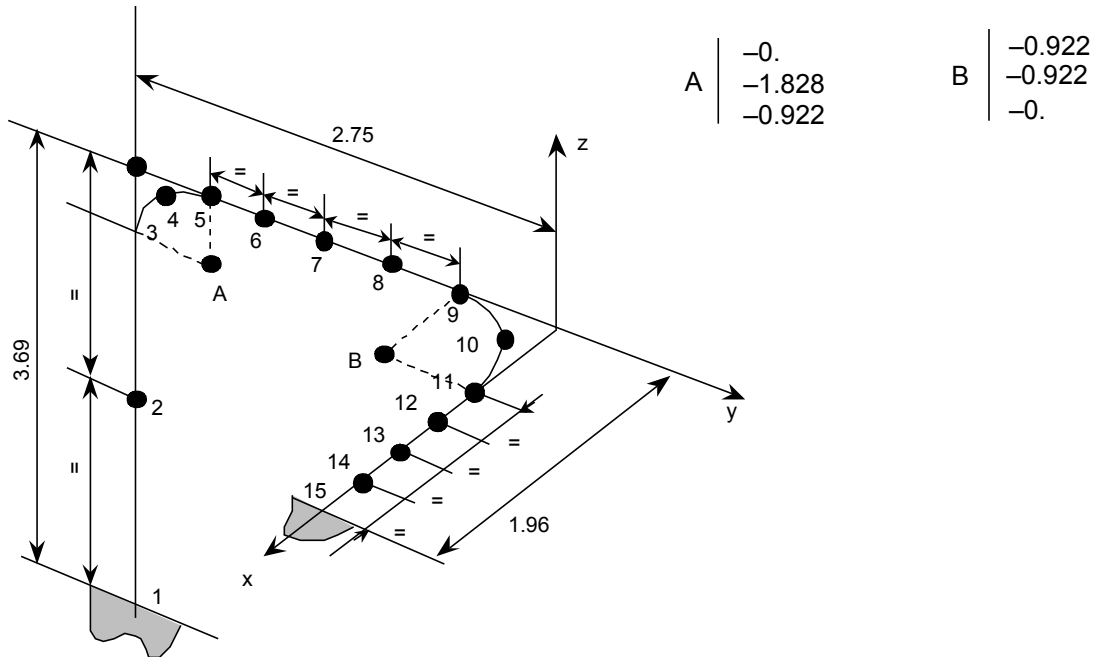
$$\sigma_{xx} = \frac{M_y \cdot R}{I_y} * isigm_{xz} \quad \text{ou} \quad \sigma_{xx} = \frac{M_z \cdot R}{I_z} * isigm_{xy}$$

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 SSL101B).



- diamètre extérieur du tuyau : 0.185 m
- épaisseur du tuyau : 6.12 mm
- 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)

Les valeurs de (α , β) sont :

NOM	TYPE	ALPHA	BETA
E1	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	-0.900000E+02
E2	MECA_POU_D_T	0.000000E+00	-0.900000E+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	-0.675050E+02
E4	MECA_POU_C_T	0.900000E+02	-0.224950E+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*2.0, 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, 0.0, 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 , 0.0
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:     90.00000000000091
MOT CLE "MAILLE",          CENTRE:      0.0 , -1.82799999999996 , -0.92199999999997

```

12 Mots clés GEOM_FIBRE / MULTIFIBRE

12.1 Syntaxe

```

GEOM_FIBRE = gfibre [geom_fibre]

MULTIFIBRE = (
  _F( ♦ / GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
      / MAILLE = lma [l_maille]
      ♦ GROUP_FIBRE = gfbr, [l_gr_fibre]
  ),
)

```

Mots clés utilisés pour définir la section des poutres multi-fibres, (modélisations POU_D_EM ou POU_D_TGM) en affectant à l'élément poutre (maille SEG2) des groupes de fibres définis à l'aide de l'opérateur DEFI_GEOM_FIBRE (U4-26.01).

12.2 But

Dans le cadre d'une modélisation de type multi-fibres, 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 MULTIFIBRE permet d'associer des groupes de fibres (préalablement définis par l'opérateur DEFI_GEOM_FIBRE) à un élément poutre. GEOM_FIBRE permet de donner le nom du concept créé par DEFI_GEOM_FIBRE contenant la description de tous les groupes de fibres.

Remarque :

Pour les éléments POU_D_EM, il est nécessaire d'affecter tous les groupes de fibres définissant la section droite sur un seul élément poutre (voir R3.08.08). En revanche pour les éléments POU_D_TGM, on ne peut affecter actuellement qu'un seul groupe de fibre par élément poutre. Si l'on veut traiter des cas de section hétérogène avec des éléments POU_D_TGM, l'opérateur CREA_MALLAGE permet de dupliquer le support SEG2 afin qu'il n'y ait qu'un seul matériau par support.

Attention :

Les informations contenues dans les groupes de fibres permettent de calculer certaines des caractéristiques intégrées des sections droites (aire, moments statiques et quadratiques). Malgré cela, pour les éléments POU_D_TGM, il est nécessaire de donner des valeurs cohérentes pour les opérandes A, IY, IZ sous le mot clé POUTRE. Une vérification est réalisée sur la cohérence de ces grandeurs. Si l'erreur relative est trop importante (Cf. mots clés PREC_AIRE, PREC_INERTIE) une erreur fatale est émise.

12.3 Mot clé MULTIFIBRE

♦ MULTIFIBRE

Définit les entités du maillage de poutres concernées et les sections qui leur sont affectées.

12.3.1 Opérandes MAILLE et GROUP_MA

♦ / 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

12.3.2 Opérande GROUP_FIBRE

♦ GROUP_FIBRE

Ces opérandes permettent de définir les groupes de fibres (parmi tous ceux définis dans le concept géométrie des fibres donné par le mot clé `GEOM_FIBRE`) qui sont affectés aux éléments poutres de cette occurrence de

12.4 Mot clé GEOM_FIBRE

♦ GEOM_FIBRE

Définit le concept créé par `DEFI_GEOM_FIBRE` [U4.26.01], contenant la description de l'ensemble des groupes de fibres de l'étude.

13 Mot clé DISCRET et DISCRET_2D

13.1 Caractéristiques affectables

Ces mots clés permettent d'affecter directement à des entités (mailles ou nœuds), qui supportent des éléments de type DIS_T, DIS_TR (DISCRET) ou 2D_DIS_T, 2D_DIS_TR (DISCRET_2D), 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 (symétriques ou non symétriques). Dans le cas de matrices symétriques, 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 POI1; 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 et DISCRET_2D = (
  _F( ♦ / MAILLE = lma, [l_maille]
      / GROUP_MA = lgma, [l_gr_maille]
      / NOEUD = lno, [l_noeud]
      / GROUP_NO = lgno, [l_gr_noeud]
      ◇ SYME = / 'OUI',
              / 'NON' [défaut]

  # 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',
                  |'K_T_N_NS'|'K_TR_N_NS'|'K_T_L_NS'|'K_TR_L_NS'

  # matrices de masse
      / CARA = |'M_T_D_N'|'M_TR_D_N',
                |'M_T_N'|'M_TR_N'|'M_T_L'|'M_TR_L',
                |'M_T_N_NS'|'M_TR_N_NS'|'M_T_L_NS'|'M_TR_L_NS',

  # 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',
                |'A_T_N_NS'|'A_TR_N_NS'|'A_T_L_NS'|'A_TR_L_NS',

      ♦ VALE = lva, [l_réel]
        VALE_F = lps, [l_para_sensi]

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

      ◇ AMOR_HYST = / 0.0, [DEFAULT]
                    / amnh, [réel]

  ),
)
```

13.3 Opérandes

13.3.1 Règles d'utilisation

•RIGIDITE ou AMORTISSEMENT

CARA	CARA	ENTITE	DIS_* VALE ou VALE_F	2D_DIS_* VALE ou VALE_F
'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
'K_T_N_NS'	'A_T_N_NS'	nœud ou POI1	9 termes	4 termes
'K_T_L_NS'	'A_T_L_NS'	SEG2	36 termes	16 termes
'K_TR_N_NS'	'A_TR_N_NS'	nœud ou POI1	36 termes	9 termes
'K_TR_L_NS'	'A_TR_L_NS'	SEG2	144 termes	36 termes

•MASSE

CARA	ENTITE	DIS_* VALE ou VALE_F	2D_DIS_* VALE ou VALE_F
'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)
'M_T_N_NS'	nœud ou POI1	9 (masse/inertie)	4 (masse/inertie)
'M_T_L_NS'	SEG2	36 (masse/inertie)	16 (masse/inertie)
'M_TR_N_NS'	nœud ou POI1	36 (masse/inertie)	9 (masse/inertie)
'M_TR_L_NS'	SEG2	144 (masse/inertie)	36 (masse/inertie)

13.3.2 Opérandes VALE ou VALE_F

♦ / VALE = lva,
/ VALE_F = lps

On trouve dans VALE ou VALE_F la liste des valeurs permettant de définir la matrice élémentaire de l'élément discret. La taille de cette liste dépend du type d'élément.

On utilise le mot clé VALE si on veut effectuer un calcul standard. Les arguments de ce mot clé sont des réels.

On utilise le mot clé VALE_F si on veut effectuer un calcul de sensibilité [U4.50.02] et si les paramètres de la matrice élémentaire ont été choisis comme étant des paramètres sensibles. Les arguments de ce mot clé sont des para_sensi.

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

$K_T_D_N / A_T_D_N$

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 :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix}$$

$K_T_D_L / A_T_D_L$

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

$$\begin{bmatrix} \text{Noeud1} & \text{Noeud2} \\ K & -K \\ -K & K \end{bmatrix}$$

il suffit donc de fournir les 3 valeurs k_x, k_y, 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 $k_x, k_y, k_z, k_{rx}, k_{ry}, k_{rz}$ en DIS_TR ou 3 valeurs k_x, k_y, k_{rz} en 2D_DIS_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ k_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{rx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{ry} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{rz} \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_{rz} \end{bmatrix}$$

$K_TR_D_L / A_TR_D_L$

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

$$\begin{bmatrix} \text{Noeud1} & \text{Noeud2} \\ K & -K \\ -K & K \end{bmatrix}$$

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 $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ 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_N_NS / A_T_N_NS

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 9 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_9$ en DIS_T ou 4 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_4$ en 2D_DIS_T telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ k_1 & k_4 & k_7 \\ k_2 & k_5 & k_8 \\ k_3 & k_6 & k_9 \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ k_1 & k_3 \\ k_2 & k_4 \end{bmatrix}$$

K_T_L / A_T_L

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 21 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_{21}$ en DIS_T ou 10 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_{10}$ en 2D_DIS_T et la matrice de rigidité suivante sera affectée :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{xl} & U_{yl} & U_{zl} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ k_1 & k_2 & k_4 & k_7 & k_{11} & k_{16} \\ & k_3 & k_5 & k_8 & k_{12} & k_{17} \\ & & k_6 & k_9 & k_{13} & k_{18} \\ & & & k_{10} & k_{14} & k_{19} \\ & & & & k_{15} & k_{20} \\ & & & & & k_{21} \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{xl} & U_{yl} & U_{x2} & U_{y2} \\ k_1 & k_2 & k_4 & k_7 \\ & k_3 & k_5 & k_8 \\ & & k_6 & k_9 \\ & & & k_{10} \end{bmatrix}$$

K_T_L_NS / A_T_L_NS

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 36 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_{36}$ en DIS_T ou 16 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_{16}$ en 2D_DIS_T et la matrice de rigidité suivante sera affectée :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{xl} & U_{yl} & U_{zl} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ K_1 & K_7 & K_{13} & K_{19} & K_{25} & K_{31} \\ K_2 & K_8 & K_{14} & K_{20} & K_{26} & K_{32} \\ K_3 & K_9 & K_{15} & K_{21} & K_{27} & K_{33} \\ K_4 & K_{10} & K_{16} & K_{22} & K_{28} & K_{34} \\ K_5 & K_{11} & K_{17} & K_{23} & K_{29} & K_{35} \\ K_6 & K_{12} & K_{18} & K_{24} & K_{30} & K_{36} \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{xl} & U_{yl} & U_{x2} & U_{y2} \\ k_1 & k_5 & k_9 & k_{13} \\ k_2 & k_6 & k_{10} & k_{14} \\ k_3 & k_7 & k_{11} & k_{15} \\ k_4 & k_8 & k_{12} & k_{16} \end{bmatrix}$$

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_N_NS / A_TR_N_NS

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 36 valeurs k_1 , $k_2 \dots k_{36}$ en DIS_TR ou 9 valeurs $k_1, k_2 \dots k_9$ en 2D_DIS_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ k_1 & k_7 & k_{13} & k_{19} & k_{25} & k_{31} \\ k_2 & k_8 & k_{14} & k_{20} & k_{26} & k_{32} \\ k_3 & k_9 & k_{15} & k_{21} & k_{27} & k_{33} \\ k_4 & k_{10} & k_{16} & k_{22} & k_{28} & k_{34} \\ k_5 & k_{11} & k_{17} & k_{23} & k_{29} & k_{35} \\ k_6 & k_{12} & k_{18} & k_{24} & k_{30} & k_{36} \end{bmatrix} \quad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ k_1 & k_4 & k_7 \\ k_2 & k_5 & k_8 \\ k_3 & k_6 & k_9 \end{bmatrix}$$

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 :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & R_{z2} \\ k_1 & k_2 & k_4 & k_7 & k_{11} & k_{16} \\ & k_3 & k_5 & k_8 & k_{12} & k_{17} \\ & & k_6 & k_9 & k_{13} & k_{18} \\ & & & k_{10} & k_{14} & k_{19} \\ & & & & k_{15} & k_{20} \\ & & & & & k_{21} \end{bmatrix}$$

K_TR_L_NS / A_TR_L_NS

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 144 valeurs k_1 , k_2 ...
 k_{144} en DIS_TR.

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{xl} & U_{yl} & U_{zl} & R_{xl} & R_{yl} & R_{zl} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\ k_1 & k_{13} & k_{25} & k_{37} & k_{49} & k_{61} & k_{73} & k_{85} & k_{97} & k_{109} & k_{121} & k_{133} \\ k_2 & k_{14} & k_{26} & k_{38} & k_{50} & k_{62} & k_{74} & k_{86} & k_{98} & k_{110} & k_{122} & k_{134} \\ k_3 & k_{15} & k_{27} & k_{39} & k_{51} & k_{63} & k_{75} & k_{87} & k_{99} & k_{111} & k_{123} & k_{135} \\ k_4 & k_{16} & k_{28} & k_{40} & k_{52} & k_{64} & k_{76} & k_{88} & k_{100} & k_{112} & k_{124} & k_{136} \\ k_5 & k_{17} & k_{29} & k_{41} & k_{53} & k_{65} & k_{77} & k_{89} & k_{101} & k_{113} & k_{125} & k_{137} \\ k_6 & k_{18} & k_{30} & k_{42} & k_{54} & k_{66} & k_{78} & k_{90} & k_{102} & k_{114} & k_{126} & k_{138} \\ k_7 & k_{19} & k_{31} & k_{43} & k_{55} & k_{67} & k_{79} & k_{91} & k_{103} & k_{115} & k_{127} & k_{139} \\ k_8 & k_{20} & k_{32} & k_{44} & k_{56} & k_{68} & k_{80} & k_{92} & k_{104} & k_{116} & k_{128} & k_{140} \\ k_9 & k_{21} & k_{33} & k_{45} & k_{57} & k_{69} & k_{81} & k_{93} & k_{105} & k_{117} & k_{129} & k_{141} \\ k_{10} & k_{22} & k_{34} & k_{46} & k_{58} & k_{70} & k_{82} & k_{94} & k_{106} & k_{118} & k_{130} & k_{142} \\ k_{11} & k_{23} & k_{35} & k_{47} & k_{59} & k_{71} & k_{83} & k_{95} & k_{107} & k_{119} & k_{131} & k_{143} \\ k_{12} & k_{24} & k_{36} & k_{48} & k_{60} & k_{72} & k_{84} & k_{96} & k_{108} & k_{120} & k_{132} & k_{144} \end{bmatrix}$$

ou 36 valeurs k_1 , k_2 ... k_{36} en 2D_DIS_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{xl} & U_{yl} & R_{zl} & U_{x2} & U_{y2} & R_{z2} \\ k_1 & k_7 & k_{13} & k_{19} & k_{25} & k_{31} \\ k_2 & k_8 & k_{14} & k_{20} & k_{26} & k_{32} \\ k_3 & k_9 & k_{15} & k_{21} & k_{27} & k_{33} \\ k_4 & k_{10} & k_{16} & k_{22} & k_{28} & k_{34} \\ k_5 & k_{11} & k_{17} & k_{23} & k_{29} & k_{35} \\ k_6 & k_{12} & k_{18} & k_{24} & k_{30} & k_{36} \end{bmatrix}$$

13.3.4 Opérandes **m_** Matrices de masse

M_T_D_N

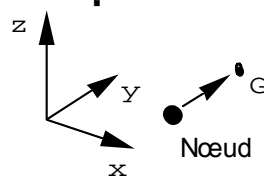
pour une maille de type **POI1** ou un nœud, on trouve en correspondance dans **VALE** une valeur m . La matrice de masse suivante sera affectée :

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

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'excentrement de la masse par rapport à son nœud : e_x, e_y, e_z . La matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ m & 0 & 0 & 0 & -m.e_z & -m.e_y \\ & m & 0 & m.e_z & 0 & -m.e_x \\ & & m & -m.e_y & m.e_x & 0 \\ & & & V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ & & & & V_{yy} & V_{yz} \\ & & & & & v_{zz} \end{bmatrix}$$

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


Attention :

L'excentrement doit être exprimée dans le repère global : coordonnées du vecteur **NG** (excentrement) 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, \dots, 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 :

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

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ M_1 & M_2 \\ & M_3 \end{bmatrix}$$

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

M_T_N_NS

pour une maille de type POI1 ou nœud, on trouve en correspondance dans VALE 9 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_9 en DIS_T ou 4 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_4 en 2D_DIS_T et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ M_1 & M_4 & M_7 \\ M_2 & M_5 & M_8 \\ M_3 & M_6 & M_9 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} U_x & U_y \\ M_1 & M_3 \\ M_2 & M_4 \end{bmatrix}$$

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_TR_N_NS

pour une maille de type POI1 ou nœud, on trouve en correspondance dans VALE 36 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_{36} en DIS_TR ou 9 valeurs M_1 , M_2 , ..., M_9 en 2D_DIS_TR et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ M_1 & M_7 & M_{13} & M_{19} & M_{25} & M_{31} \\ M_2 & M_8 & M_{14} & M_{20} & M_{26} & M_{32} \\ M_3 & M_9 & M_{15} & M_{21} & M_{27} & M_{33} \\ M_4 & M_{10} & M_{16} & M_{22} & M_{28} & M_{34} \\ M_5 & M_{11} & M_{17} & M_{23} & M_{29} & M_{35} \\ M_6 & M_{12} & M_{18} & M_{24} & M_{30} & M_{36} \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ M_1 & M_4 & M_7 \\ M_2 & M_5 & M_8 \\ M_3 & M_6 & M_9 \end{bmatrix}$$

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_T_L_NS

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 36 valeurs M_1, M_2, \dots, M_{36} en DIS_T ou 16 valeurs M_1, M_2, \dots, M_{16} en 2D_DIS_T et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ M_1 & M_7 & M_{13} & M_{19} & M_{25} & M_{31} \\ M_2 & M_8 & M_{14} & M_{20} & M_{26} & M_{32} \\ M_3 & M_9 & M_{15} & M_{21} & M_{27} & M_{33} \\ M_4 & M_{10} & M_{16} & M_{22} & M_{28} & M_{34} \\ M_5 & M_{11} & M_{17} & M_{23} & M_{29} & M_{35} \\ M_6 & M_{12} & M_{18} & M_{24} & M_{30} & M_{36} \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{x2} & U_{y2} \\ M_1 & M_5 & M_9 & M_{13} \\ M_2 & M_6 & M_{10} & M_{14} \\ M_3 & M_7 & M_{11} & M_{15} \\ M_4 & M_8 & M_{12} & M_{16} \end{bmatrix}$$

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

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

M_TR_L_NS

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 144 valeurs M_1, M_2, \dots
 M_{144} en DIS_TR et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & R_{x1} & R_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\ M_1 & M_{13} & M_{25} & M_{37} & M_{49} & M_{61} & M_{73} & M_{85} & M_{97} & M_{109} & M_{121} & M_{133} \\ M_2 & M_{14} & M_{26} & M_{38} & M_{50} & M_{62} & M_{74} & M_{86} & M_{98} & M_{110} & M_{122} & M_{134} \\ M_3 & M_{15} & M_{27} & M_{39} & M_{51} & M_{63} & M_{75} & M_{87} & M_{99} & M_{111} & M_{123} & M_{135} \\ M_4 & M_{16} & M_{28} & M_{40} & M_{52} & M_{64} & M_{76} & M_{88} & M_{100} & M_{112} & M_{124} & M_{136} \\ M_5 & M_{17} & M_{29} & M_{41} & M_{53} & M_{65} & M_{77} & M_{89} & M_{101} & M_{113} & M_{125} & M_{137} \\ M_6 & M_{18} & M_{30} & M_{42} & M_{54} & M_{66} & M_{78} & M_{90} & M_{102} & M_{114} & M_{126} & M_{138} \\ M_7 & M_{19} & M_{31} & M_{43} & M_{55} & M_{67} & M_{79} & M_{91} & M_{103} & M_{115} & M_{127} & M_{139} \\ M_8 & M_{20} & M_{32} & M_{44} & M_{56} & M_{68} & M_{80} & M_{92} & M_{104} & M_{116} & M_{128} & M_{140} \\ M_9 & M_{21} & M_{33} & M_{45} & M_{57} & M_{69} & M_{81} & M_{93} & M_{105} & M_{117} & M_{129} & M_{141} \\ M_{10} & M_{22} & M_{34} & M_{46} & M_{58} & M_{70} & M_{82} & M_{94} & M_{106} & M_{118} & M_{130} & M_{142} \\ M_{11} & M_{23} & M_{35} & M_{47} & M_{59} & M_{71} & M_{83} & M_{95} & M_{107} & M_{119} & M_{131} & M_{143} \\ M_{12} & M_{24} & M_{36} & M_{48} & M_{60} & M_{72} & M_{84} & M_{96} & M_{108} & M_{120} & M_{132} & M_{144} \end{bmatrix}$$

ou 36 valeurs M_1, M_2, \dots, M_{36} en 2D_DIS_TR

$$M = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & R_{z2} \\ M_1 & M_7 & M_{13} & M_{19} & M_{25} & M_{31} \\ M_2 & M_8 & M_{14} & M_{20} & M_{26} & M_{32} \\ M_3 & M_9 & M_{15} & M_{21} & M_{27} & M_{33} \\ M_4 & M_{10} & M_{16} & M_{22} & M_{28} & M_{34} \\ M_5 & M_{11} & M_{17} & M_{23} & M_{29} & M_{35} \\ M_6 & M_{12} & M_{18} & M_{24} & M_{30} & M_{36} \end{bmatrix}$$

Remarque :

Les options M_T_L, M_TR_L, M_T_L_NS, M_TR_L_NS 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.

13.3.5 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 :

$$(1 + j.amor_h).K$$

où K est la matrice 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].

13.3.6 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], DEFI_COMPOR [U4.43.06])). Ces axes locaux sont définis par les mots clés :

- ANGL_REP (3 angles nautiques) ou (ANGL_AXE et ORIG_AXE) ou ANGL_EULER (3 angles) 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_réel]
        / ANGL_EULER = ( Ψ , θ , φ ), [l_réel]
        / ♦ ANGL_AXE = ( α , β ), [l_réel]
          ♦ ORIG_AXE = (x1, x2, x3), [l_réel]
      ),
)
```

14.3 Opérande ANGL_REP

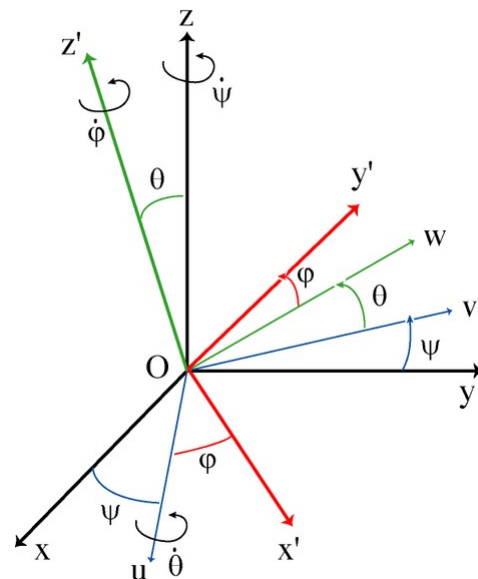
α , β , γ sont les 3 angles nautiques (comme pour le mot clé ORIENTATION, cf [§10]) définissant les axes locaux (x, y, z), qui correspondent au repère d'orthotropie (L, T, N). En 2D, il faut donner seulement α ce qui définit le repère (LT) dans le plan.

14.4 Opérande ANGL_EULER

Définit les 3 angles d'Euler qui permettent d'orienter le repère local à l'élément. Les angles d'Euler sont définis de la façon suivante :

on passe du référentiel fixe Oxyz au référentiel lié au solide Ox'y'z' par trois rotations successives.

- La précession Ψ , autour de l'axe Oz, fait passer de Oxyz au référentiel Ouvz.
- La nutation θ , autour de l'axe Ou, fait passer de Ouvz à Ouwx'.
- La rotation propre φ , autour de l'axe Oz', fait passer de Ouwx' au référentiel lié au solide Ox'y'z'.

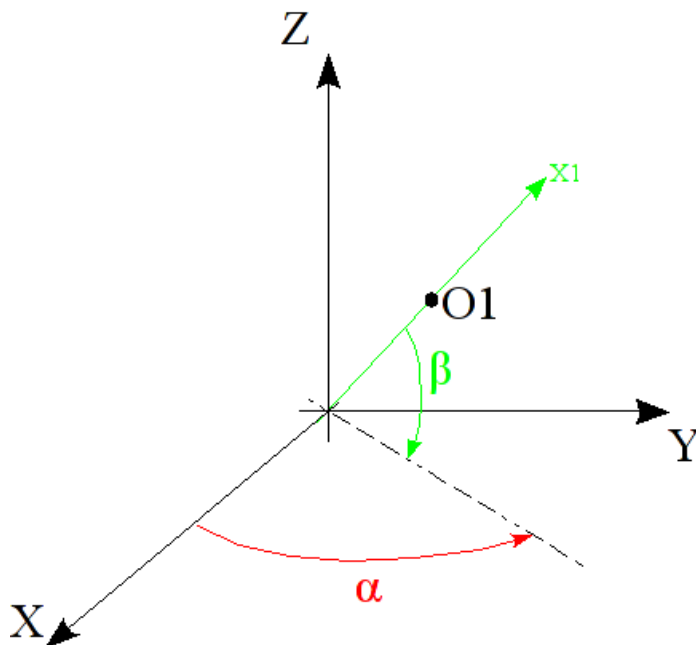


14.5 Opérandes ANGL_AXE / ORIG_AXE

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 x1, (α , β) étant les deux premiers angles nautiques,

ORIG_AXE = (x1 , x2 , x3) définit un point O1 de l'axe.



15 Mot clé POUTRE_FLUI

15.1 Syntaxe

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

15.2 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].

15.3 Opérande GROUP_MA / MAILLE

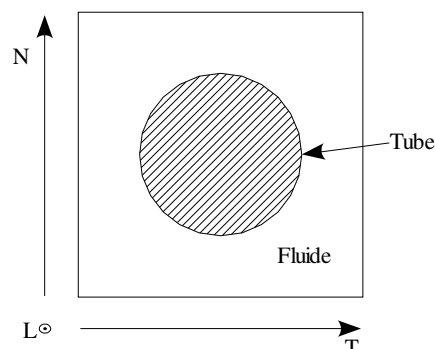
Lieu d'affectation des caractéristiques élémentaires :

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

15.4 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

15.5 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.

16 Mot clé GRILLE

16.1 Syntaxe

```

GRILLE = (
  _F( ♦ / MAILLE           = lma,                [l_maille]
        / GROUP_MA        = lgma,                [l_gr_maille]
        ♦ SECTION          = S1,                  [R]
        ♦ / ANGL_REP        = (□, □)              [1_R]
        / ♦ ORIG_AXE        = (xr, yr, zr)         [1_R]
        ♦ AXE               = (vx, vy, vz)         [1_R]
        ♦ EXCENTREMENT      = ez,                  [R]
        ♦ GRILLE_NCOU        = / ncou,              [I]
        / 1                  [DEFAULT]
        ♦ COEF_RIGI_DRZ      = / kz,                [R]
        / 1.E-10,            [DEFAULT]
  ),
)

```

16.2 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]), affecté aux modélisations GRILLE ou GRILLE_MEMBRANE.

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

16.3 Description des opérandes

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

- EXCENTREMENT = e_z : l'excentrement e_z (constant pour tous les nœuds de la maille) de la nappe d'armatures par rapport à la maille support (distance mesurée sur la normale de la maille support), (modélisation GRILLE uniquement).
- SECTION = S_1 : section des armatures dans la direction 1. La section est donnée par mètre linéaire. Elle correspond donc à la section cumulée sur une largeur de 1 mètre. S'il y a une section 's' tous les 20.0cm, la section cumulée est 5*s'.
- ANGL_REP = voir mot clé COQUE [§8]. Ce mot clé permet de définir l'axe de référence (x_1). Il définit aussi le repère dans lequel sont calculés les déformations, contraintes, courbures,...
- 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).

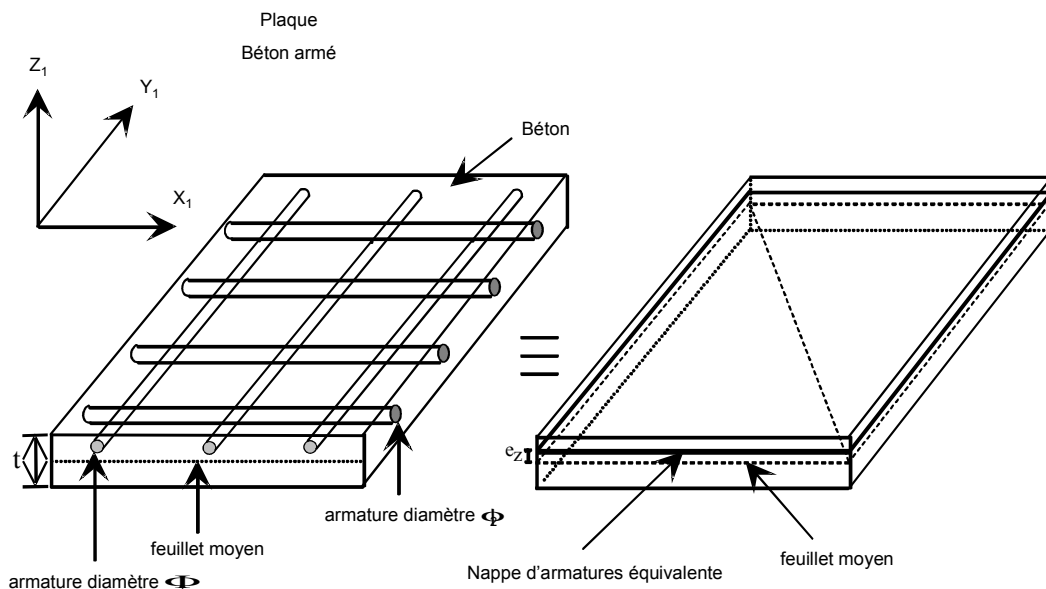


Figure 17.3-a : Représentation des armatures par une nappe équivalente

Pour définir une grille ou la section des armatures dans le sens longitudinal et dans le transversal sont différents, il faut créer 2 couches d'éléments (commande `CREA_MAILLAGE`, mot clé `CREA_GROUP_MA`), une couche d'élément pour la direction longitudinale et une deuxième couche d'éléments pour la direction transversale :

```
GRILLE= (
  _F(GROUP_MA = 'GEOL',
    SECTION = 0.02,
    ANGL_REP = (0.0, 0.0, ),
    EXCENTREMENT = 0.0,
  ),
  _F(GROUP_MA = 'GEOT',
    SECTION = 0.01,
    ANGL_REP = (90.0, 0.0, ),
    EXCENTREMENT = 0.01,
  ),
)
```

17 Mot clé RIGI_PARASOL

17.1 Syntaxe

```

RIGI_PARASOL = (
    _F(
        # Surface servant à répartir les caractéristiques des discrets
        ♦ GROUP_MA = l_gma, [l_group_ma]
        # Mailles de type POI1 correspondant aux discrets
        ◇ / GROUP_MA_POI1 = gmapoil, [group_ma]
        # Mailles de type SEG2 correspondant aux discrets
        GROUP_MA_SEG2 = l_gma, [l_group_ma]
        # Fonctions de répartition
        ♦ / FONC_GROUP = l_fg, [l_fonction]
        / COEF_GROUP = l_cg, [l_réel]
        # Raideurs globales à répartir
        ♦ CARA = / |'K_TR_D_N'|'K_T_D_N'|
                  |'K_TR_D_L'|'K_T_DL'|
                  |'A_TR_D_N'|'A_T_D_N'|
                  |'A_TR_D_L'|'A_T_DL'| [l_TXM]
        ♦ VALE = l_val, [l_réel]
        ◇ REPERE = / 'LOCAL',
                  / 'GLOBAL', [DEFAULT]
        # Centre de gravite
        ♦ ~ GROUP_NO_CENTRE = gno, [group_no]
        / NOEUD_CENTRE = nd, [nœud]
        / COOR_CENTRE = l_xyz, [l_réel]
        # Unité de sortie pour EuroPlexus
        ◇ UNITE_EUROPLEXUS = euro, [entier]
    ),
)

```

17.2 Caractéristiques affectables

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

On doit affecter la modélisation 'DIS_TR' ou 'DIS_T' 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.

Il faut distinguer un groupe de mailles surfaciques pour le radier, à déclarer derrière le mot clé GROUP_MA du mot clé facteur RIGI_PARASOL, et un groupe de mailles à 1 nœud s'appuyant sur les nœuds de ce radier qu'il faut modéliser et déclarer dans AFPE_MODELE, soit sous forme de mailles tardives derrière GROUP_NO, soit sous forme de mailles ponctuelles de type POI1. Si les mailles sont de type POI1, il faut l'indiquer à l'aide du mot clé GROUP_MA_POI1 du mot clé facteur RIGI_PARASOL.

L'utilisation de mailles ponctuelles de type POI1 est nécessaire pour l'affectation de lois de comportement dans les opérateurs de calcul non linéaire.

17.3 Description des opérandes

- GROUP_MA : liste des groupes de mailles qui composent le radier.
- GROUP_MA_POI1 : liste des groupes de points comprenant les nœuds des groupes de mailles surfaciques définis par GROUP_MA. Cela permet de déclarer les nœuds d'une fondation définie par des mailles surfaciques comme mailles ponctuelles POI1 afin de leur affecter les caractéristiques RIGI_PARASOL. Cela permet de leur affecter des matériaux ou des comportements en vue de l'utilisation d'un opérateur non linéaire. S'il n'est pas présent, les nœuds sont considérés comme des mailles tardives pour une étude strictement linéaire par exemple.
- 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). Des raideurs ou des amortissements définis uniquement en translation peuvent également être répartis (K_T_D_N ou A_T_D_N, pas de raideur en rotation), dans ce cas il est seulement nécessaire de donner 3 valeurs derrière VALE = (k_x, k_y, k_z).
- 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).
- UNITE_EUROPLEXUS : si ce mot clef est présent, Code_Aster crée un fichier, correspondant au numéro d'unité, qui contient les raideurs des discrets affectées aux différents nœuds. Pour plus de détail sur le format de sortie voir la documentation associée à Europlexus et le cas test zzzz235a qui met en œuvre cette fonctionnalité.

17.4 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 rotation K_{rx}, K_{ry}, K_{rz}.

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, k_{rx}, k_{ry}, k_{rz}) 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 :

$$\begin{aligned}
 k_x &= K_x I \left(\sum_p S(p) f(op) \right) & ; & \quad k_x(p) = k_x S(p) f(op) \\
 k_y &= K_y I \left(\sum_p S(p) f(op) \right) & ; & \quad k_y(p) = k_y S(p) f(op) \\
 k_z &= K_z I \left(\sum_p S(p) f(op) \right) & ; & \quad k_z(p) = k_z S(p) f(op) \\
 k_{rx} &= \left(K_{rx} - \sum_p \left(k_z(p) y_{op}^2 + k_y(p) z_{op}^2 \right) \right) I \left(\sum_p S(p) f(op) \right) & ; & \quad k_{rx}(p) = k_{rx} S(p) f(op) \\
 k_{ry} &= \left(K_{ry} - \sum_p \left(k_x(p) z_{op}^2 + k_z(p) x_{op}^2 \right) \right) I \left(\sum_p S(p) f(op) \right) & ; & \quad k_{ry}(p) = k_{ry} S(p) f(op) \\
 k_{rz} &= \left(K_{rz} - \sum_p \left(k_x(p) y_{op}^2 + k_y(p) x_{op}^2 \right) \right) I \left(\sum_p S(p) f(op) \right) & ; & \quad k_{rz}(p) = k_{rz} S(p) f(op)
 \end{aligned}$$

Si le mot clef INFO = 2, les valeurs calculées ci-dessus sont écrites dans le fichier RESULTAT au format des commandes de Code_Aster.

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.

17.5 Exemple d'utilisation

Exemple n°1

```
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',  
                    ),  
)
```

Exemple n°2 : INFO = 2

```
carelem=AFPE_CARA_ELEM( INFO =2,  
  MODELE=model,  
  RIGI_PARASOL=_F(GROUP_MA='DALLE',  
                  GROUP_MA_POI1='RESSORT',  
                  COEF_GROUP=1.0,  
                  REPERE='GLOBAL',  
                  CARA='K_T_D_N',  
                  VALE=(10000.0,10000.0,10000.0,)),  
                  GROUP_NO_CENTRE='PCDG',),  
) ;
```

Un extrait de l'affichage dans le fichier RESULTAT.

PAS DE REPARTITION EN ROTATION POUR DES K_T_D_N

```
_F(NOEUD='N1      ', CARA='K_T_D_N',  
  VALE=( 1.56250E+02, 1.56250E+02, 1.56250E+02,)),  
  REPERE='GLOBAL'),  
_F(NOEUD='N2      ', CARA='K_T_D_N',  
  VALE=( 1.56250E+02, 1.56250E+02, 1.56250E+02,)),  
  REPERE='GLOBAL'),  
_F(NOEUD='N3      ', CARA='K_T_D_N',  
  VALE=( 3.12500E+02, 3.12500E+02, 3.12500E+02,)),  
  REPERE='GLOBAL'),
```

18 Mot clé RIGI_MISS_3D

18.1 Syntaxe

```
RIGI_MISS_3D = (  
  _F( ♦ GROUP_MA_POI1 = l_gma, [l_group_ma]  
      ♦ GROUP_MA_SEG2 = l_gma, [l_group_ma]  
      ♦ FREQ_EXTR = freq, [R]  
      ♦ UNITE_RESU_IMPE = / unit, [I]  
                                / 30, [DEFAULT]  
  ),  
)
```

18.2 Caractéristiques affectables

L'utilisation de ce mot-clé est dédié à des problèmes de décollement de fondation afin de prendre mieux en compte le tapis de ressorts de sol que ne le fait RIGI_PARASOL qui répartit 6 raideurs globales sous une fondation proportionnellement aux surfaces des éléments entourant ses nœuds.

Ce mot clé va affecter les termes exacts d'une matrice d'impédance calculée par MISS3D pour tous les ddl d'interface (3*nombre de nœuds) et pour une fréquence d'extraction donnée. L'affectation de ces termes (modélisation 'DIS_T') se fait alors aux mailles ponctuelles POI1 des nœuds de la fondation surfacique et éventuellement aux lignes du réseau de SEG2 superposé à la fondation pour représenter les liaisons transversales entre nœuds.

18.3 Description des opérandes

- GROUP_MA_POI1 : Groupe de mailles ponctuelles des nœuds de la fondation.
- GROUP_MA_SEG2 : Groupe de mailles de SEG2 reliant transversalement les nœuds de la fondation.
- FREQ_EXTR : Fréquence d'extraction de la matrice d'impédance.
- UNITE_RESU_IMPE : Unité logique de la matrice d'impédance calculée par MACRO_MISS_3D option MISS_IMPE.