

---

## 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 continus 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.....	13
8.3.2 Opérandes EXCENTREMENT / EXCENTREMENT_FO.....	14
8.3.3 Opérandes MODI_METRIQUE / COEF_RIGI_DRZ / INER_ROTA.....	14
8.3.4 Opérande ANGL_REP / VECTEUR.....	14
8.3.5 Opérande COQUE_NCOU.....	16
8.3.6 Opérande A_CIS.....	16
9 Mot clé POUTRE.....	17
9.1 Caractéristiques affectables.....	17
9.2 Syntaxe.....	17
9.3 Règles d'utilisation.....	18
9.4 Opérandes.....	19
9.4.1 Opérande VARI_SECT.....	19

9.4.2 Opérande MODI_METRIQUE .....	19
9.4.3 Opérande SECTION = 'GENERALE' .....	20
9.4.4 Opérande SECTION = 'RECTANGLE' .....	23
9.4.5 Opérande SECTION = 'CERCLE' .....	24
9.5 Opérande ' FCX ' .....	25
9.6 Opérandes TUYAU_NSEC / TUYAU_NCOU .....	25
10 Mot clé ORIENTATION .....	26
10.1 Caractéristiques affectables .....	26
10.2 Syntaxe .....	26
10.3 Règles d'utilisation .....	27
10.4 Opérandes CARA = 'ANGL_NAUT' .....	27
10.5 Opérandes CARA = 'VECT_X_Y' .....	29
10.6 Opérande CARA = 'ANGL_VRIL' .....	29
10.7 Opérande CARA = 'VECT_Y' .....	29
10.8 Opérande CARA = 'GENE_TUYAU' .....	30
11 Mot clé DEFI_ARC .....	31
11.1 Caractéristiques affectables .....	31
11.2 Remarque .....	31
11.3 Syntaxe .....	31
11.4 Opérandes POIN_TANG / NOEUD_POIN_TANG / GROUP_NO_POIN_TG .....	31
11.5 Opérandes CENTRE / NOEUD_CENTRE / GROUP_NO_CENTRE .....	32
11.6 Opérandes PRECISION / CRITERE .....	32
11.7 Opérandes RAYON / ORIE_ARC .....	32
11.8 Opérande COEF_FLEX , COEF_FLEX_XZ , COEF_FLEX_XY : coefficients de flexibilité .....	33
11.9 Opérandes INDI_SIGM / INDI_SIGM_XZ / INDI_SIGM_XY : Intensification des contraintes .....	34
11.10 Remarque .....	34
11.11 Exemple d'utilisation .....	34
12 Mots clés GEOM_FIBRE / MULTIFIBRE .....	36
12.1 Syntaxe .....	36
12.2 But .....	36
12.3 Mot clé MULTIFIBRE .....	36
12.3.1 Opérandes MAILLE et GROUP_MA .....	36
12.3.2 Opérande GROUP_FIBRE .....	37
12.4 Mot clé GEOM_FIBRE .....	37
12.5 Opérandes PREC_AIRE / PREC_INERTIE .....	37
13 Mot clé DISCRET et DISCRET_2D .....	39
13.1 Caractéristiques affectables .....	39
13.2 Syntaxe .....	39
13.3 Opérandes .....	40
13.3.1 Règles d'utilisation .....	40
13.3.2 Opérandes VALE .....	40

13.3.3 Opérandes K_ (matrices de rigidité) ou A_ (matrices d'amortissement) .....	41
13.3.4 Opérandes M_ Matrices de masse .....	45
13.3.5 Opérande AMOR_HYST .....	49
13.3.6 Opérande REPERE .....	50
14 Mot clé MASSIF .....	51
14.1 Caractéristiques affectables.....	51
14.2 Syntaxe.....	51
14.3 Opérande ANGL_REP .....	51
14.4 Opérande ANGL_EULER.....	52
14.5 Opérandes ANGL_AXE / ORIG_AXE.....	52
15 Mot clé POUTRE_FLUI .....	53
15.1 Syntaxe.....	53
15.2 Caractéristiques affectables.....	53
15.3 Opérande GROUP_MA / MAILLE.....	53
15.4 Opérandes A_FLUI / A_CELL / COEF_ECHELLE.....	53
15.5 Opérandes B_T / B_N / B_TN.....	53
16 Mot clé GRILLE .....	54
16.1 Syntaxe .....	54
16.2 Caractéristiques affectables.....	54
16.3 Description des opérandes.....	54
17 Mot clé MEMBRANE .....	56
17.1 Syntaxe .....	56
17.2 Caractéristiques affectables.....	56
17.3 Description des opérandes.....	56
18 Mot clé RIGI_PARASOL .....	57
18.1 Syntaxe.....	57
18.2 Caractéristiques affectables.....	57
18.3 Description des opérandes.....	57
18.4 Principe de détermination des caractéristiques des éléments discrets.....	58
18.5 Exemple d'utilisation.....	59
19 Mot clé RIGI_MISS_3D .....	61
19.1 Syntaxe .....	61
19.2 Caractéristiques affectables.....	61
19.3 Description des opérandes.....	61
20 Mot clé MASS_AJOU .....	62
20.1 Syntaxe.....	62
20.2 Caractéristiques affectables.....	62
20.3 Description des opérandes.....	62

## 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          [$12.3]
      ◇ GEOM_FIBRE   = voir mot clé GEOM_FIBRE          [$12.4]

    | 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]

    | MEMBRANE       = voir mot clé MEMBRANE             [$ 17]

    | RIGI_PARASOL   = voir mot clé RIGI_PARASOL        [$18]

    | RIGI_MISS_3D   = voir mot clé RIGI_MISS_3D        [$19]

    | MASS_AJOU      = voir mot clé MASS_AJOU           [$20]

)

```

## 3 Opérandes généraux MODELE et VERIF

### 3.1 Opérande MODELE

♦ MODELE = mo

Concept du type `modele`, produit par l'opérateur `AFFE_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 <b>nodale</b> supportent un type d'élément compatible avec cette caractéristique. Dans le cas contraire, arrêt avec message d'erreur.

### 3.3 Opérande INFO

♦ INFO = / 1 N'imprime rien  
/ 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).

## 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 GAINÉ
CABLE	CABLE, CABLE POULIE
COQUE	COQUE_AXIS, COQUE_C_PLAN, COQUE_D_PLAN, DKT, DST, DKQ, DSQ, Q4G, COQUE_3D, DKTG, Q4GG
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_T_GD, FLUI_STRU, TUYAU_3M, TUYAU_6M, POU_D_EM, POU_D_TGM
MASSIF	3D, AXIS, AXIS FOURIER, C_PLAN, D_PLAN, TUYAU_3M, TUYAU_6M
GRILLE	GRILLE_EXCENTRE, GRILLE_MEMBRANE
MEMBRANE	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-clés : 'MAILLE', 'NOEUD', 'GROUP\_MA', 'GROUP\_NO', suivant les cas.

- Si `VERIF` n'est pas présent : dans un groupe ou une liste de mailles (ou de nœuds), on affecte effectivement les caractéristiques aux seuls éléments pour lesquels elles ont un sens. Pour les autres éléments, les caractéristiques ne sont pas affectées.
- Si `VERIF` est présent : on vérifie de plus que tous les éléments du groupe ou de la liste sont du bon type, sinon un message d'erreur est émis.

### 4.1 Opérandes MAILLE / GROUP\_MA / NOEUD / GROUP\_NO

Opérandes	Signification
GROUP_MA = <code>lgma</code>	Affectation à tous les éléments des groupes de mailles spécifiés.
MAILLE = <code>lma</code>	Affectation à tous les éléments des mailles spécifiées.
GROUP_NO = <code>lgn0</code>	Affectation à tous les nœuds des groupes de nœuds spécifiés (DISCRET seulement)
NOEUD = <code>lno</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

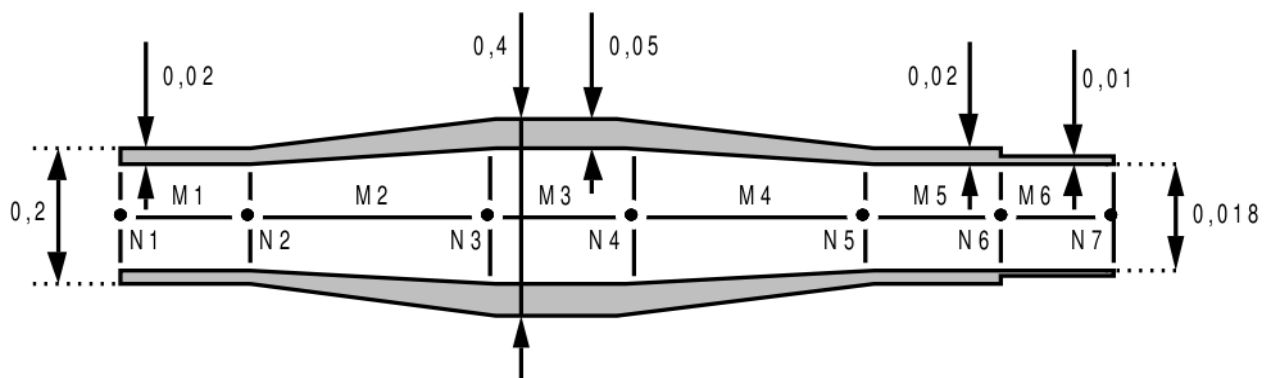
Deux méthodes sont utilisables pour affecter des valeurs de caractéristiques :

- 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 pour illustrer 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 = AFFE_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 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)),
    )
  )
```

Si le maillage SECTION contient un groupe de maille surfacique nommé 'CARRE', il est possible d'utiliser directement la table issue de MACR\_CARA\_POUTRE de la façon suivante :

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

carelem=AFFE_CARA_ELEM( MODELE=mod,
  POUTRE = (
    _F(GROUP_MA=('POUT1','POUT2'), SECTION='GENERALE',
      TABLE_CARA=SECTION, NOM_SEC='CARRE',
    )
  )
)
```

## 6 Mot clé BARRE

### 6.1 Caractéristiques affectables

Permet d'affecter les caractéristiques des sections transversales d'éléments de type `BARRE` ou `CABLE_GAINE`. On peut traiter trois types de sections transversales définies par l'opérande `SECTION`. À 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 également possible de donner les caractéristiques par l'intermédiaire d'une table dans le cas de la section générale, voir la documentation de la commande `MACR_CARA_POUTRE`.

### 6.2 Syntaxe

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

  # section constante générale
  ♦ / SECTION         = 'GENERALE',
  ♦ / TABLE_CARA    = tb_cara,             [sd_table]
    NOM_SEC          = nom_sec,             [K8]
    / CARA            = 'A',
    VALE              = va,                 [l_réel]

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

  # section constante cercle
  / SECTION           = 'CERCLE',
  ♦ 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'. Elle peut être lue dans une table (mots-clés `TABLE_CARA` et `NOM_SEC`, voir §9.4.3.1).

#### 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)

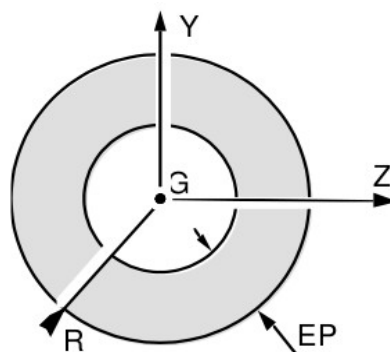


Figure 6.3.2-1

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

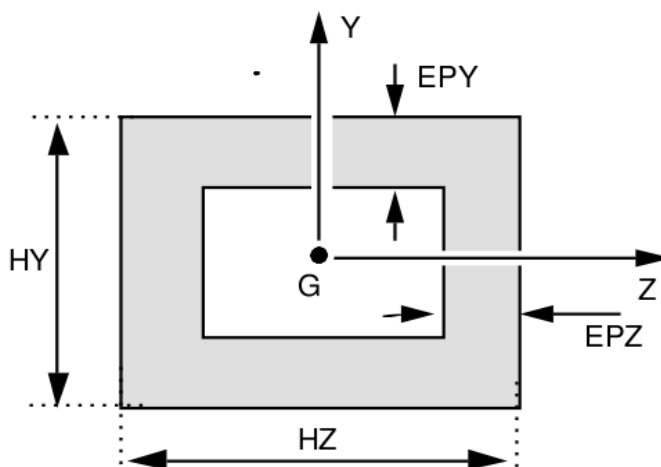


Figure 6.3.3-1 : Section de type RECTANGLE.

**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,             [défaut]  
) ,
```

### 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

Définir 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 tous les éléments de ce type, le nombre de couches utilisées pour l'intégration dans l'épaisseur,
- pour tous les éléments de ce type, l'orientation du repère local propre à chaque maille,
- pour certains modèles de coque, des caractéristiques particulières : coefficient de cisaillement, métrique, excentrement, etc.

### 8.2 Syntaxe

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

  ♦ / EPAIS           = ep,                                 [réel]
    / EPAIS_FO        = epfct                               [fonction]

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

  ◇ MODI_METRIQUE     = / 'NON',                             [défaut]
                      / 'OUI',

  ◇ COEF_RIGI_DRZ     = / KRZ,                               [réel]
                      / 1.E-5,                               [défaut]

  ◇ EXCENTREMENT      = e,                                   [réel]
                      0.0,                                   [défaut]
    EXCENTREMENT_FO   = efct                                 [fonction]

  ◇ INER_ROTA         = 'OUI',
  ◇ A_CIS              = / kappa,                           [réel]
                      / 0.8333333,                           [défaut]
  ◇ COQUE_NCOU        = / n,                                 [entier]
                      / 1,                                    [défaut]
)
```

### 8.3 Opérandes

#### 8.3.1 Opérande EPAIS

```
♦ / EPAIS           = ep
  / EPAIS_FO        = epfct
```

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

EPAIS\_FO est une fonction qui donne l'épaisseur de la coque, dans les mêmes unités que les coordonnées des nœuds du maillage. Cette fonction dépend de la géométrie (X,Y,Z) et est évaluée au centre de gravité de la maille.

## 8.3.2 Opérandes EXCENTREMENT / EXCENTREMENT\_FO

◇ EXCENTREMENT = / e,  
/ 0.0  
EXCENTREMENT\_FO = efct

EXCENTREMENT : définir la distance entre la surface maillée et la surface moyenne, dans le sens de la normale (modélisations DKT, DST, GRILLE\_EXCENTRE).

EXCENTREMENT\_FO : Fonction qui donne la distance entre la surface maillée et la surface moyenne, dans le sens de la normale (modélisations DKT, DST, GRILLE\_EXCENTRE). Cette fonction dépend de la géométrie (X,Y,Z) et est évaluée au centre de gravité de la maille.

La prise en compte de l'excentrement influe sur le comportement de flexion et éventuellement sur le comportement de membrane en présence de couplage (il n'y a pas d'effet sur le cisaillement).

## 8.3.3 Opérandes MODI\_METRIQUE / COEF\_RIGI\_DRZ / 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]).

◇ 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 ( $10^{-5}$ ) 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).

## 8.3.4 Opérande ANGL\_REP / VECTEUR

Les mots clés ANGL\_REP ou VECTEUR permettent de renseigner le repère « utilisateur » en chaque élément de coque. C'est dans ce repère que sont exprimées par exemple les contraintes dans la coque ou les efforts généralisés [U2.01.05].

L'utilisateur fournit à l'aide de ces mots clés un vecteur  $V$  qui permettra de définir entièrement le repère. La construction de ce repère « utilisateur » à partir de  $V$  est effectuée en tout point  $P$  de la façon suivante (cf. Figure 8.3.4-1) :

- la projection de  $V$  sur le plan tangent fournit l'axe  $x_i$ ,
- le vecteur  $z_i$  est colinéaire à la normale  $n$  au plan de la coque qui est connue pour chaque élément (son orientation peut être changée par MODI\_MAILLAGE/ORIE\_NORM\_COQUE [U4.23.04]),
- le vecteur  $y_i$  est construit de manière à avoir un repère orthonormé.

Le repère « utilisateur » est donc :  $(P, x_l, y_l, z_l)$  avec :  $z_l = n$  et  $y_l = z_l \wedge x_l$

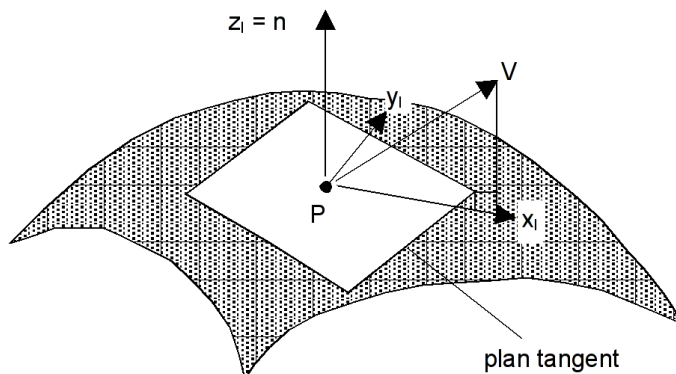


Figure 8.3.4-1: Définition du repère utilisateur d'une coque

Les mots clés ANGL\_REP et VECTEUR sont exclusifs, le vecteur  $V$  est défini à l'aide de l'un ou de l'autre.

◇ ANGL\_REP = (  $\alpha$  ,  $\beta$  )

Le mot-clé ANGL\_REP définit le vecteur  $V$  dans le repère global  $(O, X, Y, Z)$  à partir de deux angles nautiques  $\alpha$  et  $\beta$  comme expliqué Figure 8.3.4-2 et Figure 8.3.4-3.

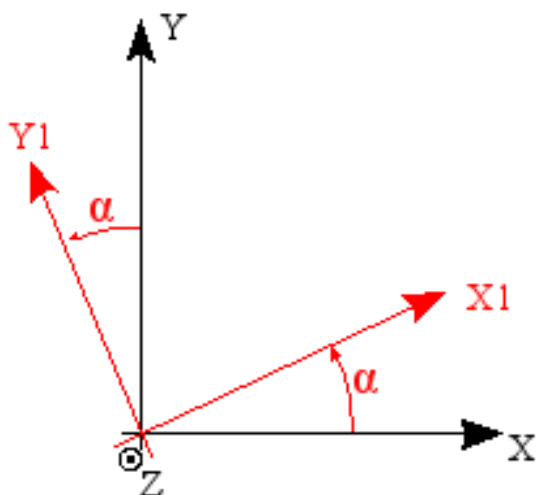


Figure 8.3.4-2 : Représentation de l'angle  $\alpha$

La rotation  $\alpha$  autour de  $OZ$  transforme  $(OXYZ)$  en  $(OX_1Y_1Z)$  avec  $Z_1 \equiv Z$ .

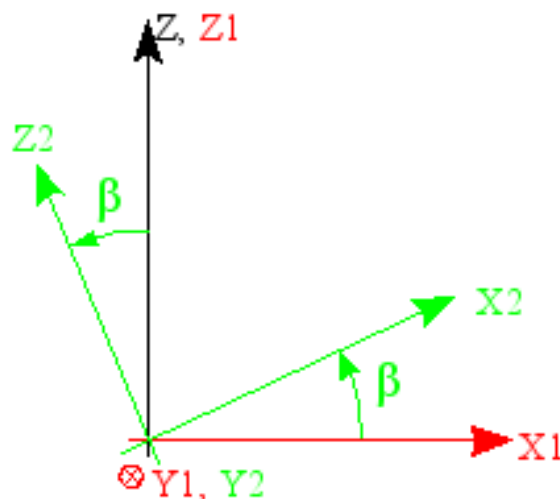


Figure 8.3.4-3 : Représentation de l'angle  $\beta$

La rotation  $\beta$  autour de  $OY_1$  transforme  $OX_1$  en  $OX_2$ . Remarque : sur la figure l'angle  $\beta$  est négatif.

En représentation tridimensionnelle, le vecteur est obtenu comme suit [Figure 8.3.4-4].

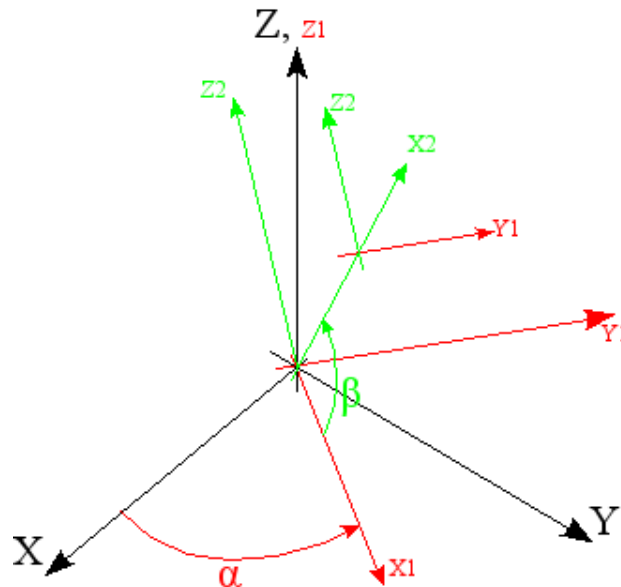


Figure 8.3.4-4 : Représentation 3D du vecteur  $V$  défini par `ANGL_REP`

◇ `VECTEUR` = ( $v_x, v_y, v_z$ )

Le vecteur  $V$  est défini par ses coordonnées dans le repère global  $(O, X, Y, Z)$ .

**Remarques :**

- Si aucun des mots clés ci-dessus n'est renseigné, c'est donc l'axe global  $X$  qui détermine, par projection sur le plan tangent de la coque, le repère « utilisateur » de chaque maille.
- Le repère « utilisateur » sert également à la définition de l'orientation des fibres dans les coques composites (`DEFI_COMPOSITE`, [U4.42.03]).

### 8.3.5 Opérande `COQUE_NCOU`

◇ `COQUE_NCOU` = /  $n$ , [entier]  
/ 1, [défaut]

Il s'agit du nombre de couches utilisées pour l'intégration dans l'épaisseur de la coque. Le nombre de couches détermine également le nombre de sous-points du champ de contraintes :  $2n+1$ .

En non-linéaire, il est nécessaire d'utiliser plus d'une couche pour intégrer correctement les contraintes dans l'épaisseur (cf. [U2.02.01]).

### 8.3.6 Opérande `A_CIS`

◇ `A_CIS` = /  $\kappa$ , [réel]  
/ 0.8333333, [défaut]

Ce paramètre est à utiliser si on souhaite, pour une coque épaisse se situer dans le cadre du modèle Love-Kirchhoff. Il n'est applicable que pour les modélisations `COQUE_C_PLAN`, `COQUE_D_PLAN`, `COQUE_AXIS` et `COQUE_3D`. Pour plus de détail l'utilisateur se reportera à la notice [U2.02.01].



## 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\_T\_GD, TUYAU\_3M, TUYAU\_6M). On peut traiter trois types de sections transversales définies par l'opérande SECTION.

À 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 également possible de donner les caractéristiques par l'intermédiaire d'une table dans le cas de la section générale, voir la documentation de la commande MACR\_CARA\_POUTRE.

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 générale
  ♦ / SECTION         = 'GENERALE',
  ◇ VARI_SECT        = / 'CONSTANT'                       [DEFAULT]
                    / 'HOMOTHETIQUE'
  # section générale constante
  / ♦ TABLE_CARA     = tb_cara,                           [sd_table]
  ♦ NOM_SEC          = nom_sec,                             [K8]
  / ♦ 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
  / SECTION          = 'RECTANGLE',
  ◇ VARI_SECT        = / 'CONSTANT',                       [défaut]
                    / '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
/ SECTION        = 'CERCLE' ,
  ◊ VARI_SECT    = / 'CONSTANT'                       [défaut]
                  / 'HOMOTHETIQUE' ,
# section cercle constante
/ ♦ CARA          = | 'R' | 'EP' ,
  ♦ VALE          = va,                                [1_réel]
# section cercle homothétique sur MAILLE
/ ♦ CARA          = | 'R1' | 'R2' | 'EP1' | 'EP2' ,
  ♦ VALE          = va,                                [1_réel]
# section cercle homothétique sur GROUP_MA
/ ♦ CARA          = | 'R_DEBUT' | 'R_FIN' | 'EP_DEBUT' | 'EP_FIN' ,
  ♦ VALE          = va,                                [1_réel]
◊ MODI_METRIQUE = / 'OUI' ,
                  / 'NON' ,                          [défaut]
◊ TUYAU_NSEC    = / nsec,                             [entier]
                  / 16,                               [défaut]
◊ TUYAU_NCOU    = / ncou,                             [entier]
                  / 3,                                [défaut]
◊ FCX           = fv,                                  [fonction]
),

```

### 9.3 Règles d'utilisation

#### Remarque :

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

- **Il est possible de fournir via des variables python, les caractéristiques des sections (générale) issues d'un calcul avec `MACR_CARA_POUTRE`. Ceci est mis en œuvre dans le test `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 `EPI` , `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 $y$ )	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 dimensions de la section varient linéairement entre les valeurs données aux deux nœuds. Dans ce cas, l'aire de la section évolue de façon quadratique. Dans le cas des sections creuses circulaires, pour que la section soit considérée comme homothétique, il faut que  $EP1/R1=EP2/R2$ . Dans le cas de non respect de l'homothétie la solution donnée par *Code Aster* est approchée [R3.08.01].

### 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	Excentrement du centre de torsion (composante de $CG$ suivant $GY$ )	0.
EZ	Excentrement 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

Dans ce cas précis, les caractéristiques de section peuvent être données par les mots clés TABLE\_CARA et NOM\_SEC au lieu de CARA et VALE. On peut également donner à TABLE\_CARA une table issue de la macro-commande MACR\_CARA\_POUTRE en renseignant dans le mot-clé NOM\_SEC :

- le nom du maillage donné à MACR\_CARA\_POUTRE, si la section correspond à tout le maillage.
- le nom du groupe de mailles auquel correspond la section.

On peut également lui donner une table issue de l'opérateur LIRE\_TABLE. Pour cela la table doit être définie de la façon suivante :

NOM_SEC	A	IY	IZ	AY	AZ
SEC_1	a1	iy1	iz1	ay1	az1
SEC_2	a2	iy2	iz2	ay2	az1

Les noms des colonnes sont les noms des caractéristiques de la section. Si une colonne contient des valeurs non réelles (excepté dans la colonne NOM\_SEC), elle sera ignorée. Si le nom d'une colonne n'est pas dans la liste des caractéristiques possibles elle sera ignorée.

Dans ce cas NOM\_SEC peut prendre la valeur  $sec_1$  ou  $sec_2$ .

### 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

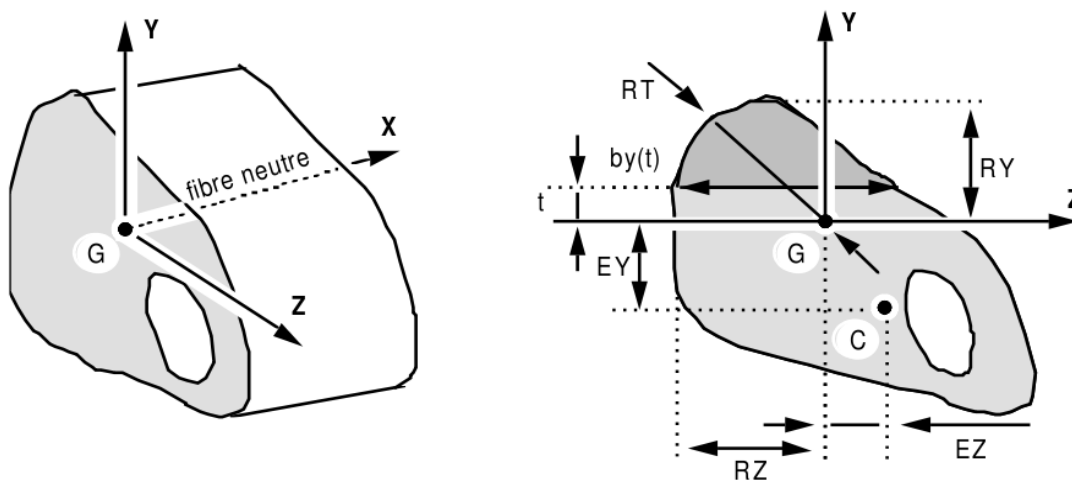


Figure 9.4.3.2-1 : Section GÉNÉRALE.

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  $m_y(y) = \int_y^{R_y} t \cdot b_y(t) dt$

$m_z(z) = \int_z^{R_z} t \cdot b_z(t) dt$

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

$b_z(t)$  épaisseur suivant  $y$ , en  $y=t$

Avec :

$A'_y, A'_z$  : aires réduites cisillées.

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

- les coefficients de cisaillement  $A'_y, A'_z$  sont utilisés par les éléments POU\_D\_T, POU\_C\_T et POU\_D\_TG, 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  $RY, RZ, RT$  servent au calcul des contraintes de flexion et de torsion [R3.08.01] pour les options 'SIGM\_ELNO' ou 'SIPO\_ELNO' de CALC\_CHAMP [U4.81.04].

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 par défaut
<b>Section constante</b>		
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
<b>Section homothétique</b>		
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

Dans le cas des sections creuses rectangulaires, l'homothétique ne peut être que dans la direction  $y$  [R3.08.01].

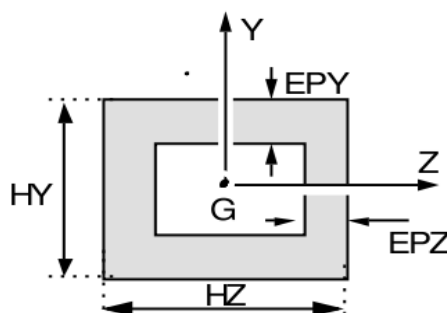


Figure 9.4.4-1 : Section RECTANGLE.

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 :

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

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

- Si le tube est plein, on pose :

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

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

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

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

- Coefficients de cisaillement  $A_y$  et  $A_z$   
 on pose  $\alpha_y = \frac{HY - 2EPY}{HY}$   $\alpha_z = \frac{HZ - 2EPZ}{HZ}$

Les valeurs de  $A_Y$  et  $A_Z$  sont données par le tableau ci-dessous : Tab(colonne, ligne)

$$A_Y = Tab(\alpha_y, \alpha_z) \quad A_Z = Tab(\alpha_z, \alpha_y)$$

Tab	0.00	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95
0.00	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
0.05	1.200	1.209	1.212	1.217	1.220	1.221	1.220	1.217	1.212	1.207	1.202	1.201
0.10	1.200	1.229	1.236	1.247	1.252	1.253	1.249	1.241	1.230	1.217	1.206	1.202
0.20	1.200	1.300	1.317	1.339	1.348	1.345	1.332	1.309	1.280	1.247	1.217	1.206
0.30	1.200	1.413	1.442	1.477	1.489	1.479	1.451	1.408	1.354	1.295	1.238	1.214
0.40	1.200	1.577	1.621	1.671	1.683	1.662	1.614	1.545	1.460	1.366	1.272	1.230
0.50	1.200	1.803	1.866	1.936	1.949	1.913	1.838	1.733	1.608	1.469	1.325	1.256
0.60	1.200	2.115	2.207	2.309	2.324	2.267	2.154	2.000	1.818	1.619	1.409	1.301
0.70	1.200	2.561	2.704	2.866	2.894	2.810	2.640	2.409	2.140	1.848	1.541	1.378
0.80	1.200	3.265	3.520	3.830	3.907	3.790	3.524	3.154	2.720	2.252	1.771	1.517
0.90	1.200	4.715	5.358	6.216	6.536	6.401	5.916	5.186	4.300	3.331	2.338	1.841
0.95	1.200	6.689	8.194	10.294	11.236	11.189	10.375	9.014	7.296	5.372	3.367	2.371

**Remarques :**

- Les valeurs du tableau sont déterminées à l'aide d'une étude paramétrique réalisée avec la commande `MACR_CARA_POUTRE`.
- Les interpolations sur les valeurs du tableau sont linéaires.
- Pour des valeurs de  $\alpha > 0.95$ , l'utilisateur doit calculer lui-même les valeurs des coefficients de cisaillement.
- Les valeurs calculées peuvent être imprimées avec le mot clé `INFO = 2`.

## 9.4.5 Opérande SECTION = 'CERCLE'

CARA	Signification	Valeur par défaut
<b>Section constante</b>		
R	Rayon extérieur du tube	Obligatoire
EP	Épaisseur dans le cas d'un tube creux	Tube plein (EP=R)
<b>Section variable affectée sur une maille</b>		
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
<b>Section variable affectée sur un groupe de mailles</b>		
R_DEBUT, R_FIN	Rayons extérieurs aux deux extrémités de la poutre définie par le groupe de mailles	AUCUNE
EP_DEBUT, EP_FIN	Épaisseurs aux deux extrémités de la poutre définie par le groupe de mailles	AUCUNE



Dans le cas d'une section variable affectée sur un groupe de mailles, les caractéristiques sont calculées automatiquement à partir des valeurs aux extrémités. Pour cela les mailles doivent être correctement orientées et contiguës dans le groupe.

Dans le cas des sections creuses circulaires, pour que la section soit **homothétique** il faut que  $EP1/R1=EP2/R2$ . Dans le cas de non respect de cette condition la solution donnée par Code\_Aster est approchée [R3.08.01], un message d'alarme est émis pour prévenir l'utilisateur.

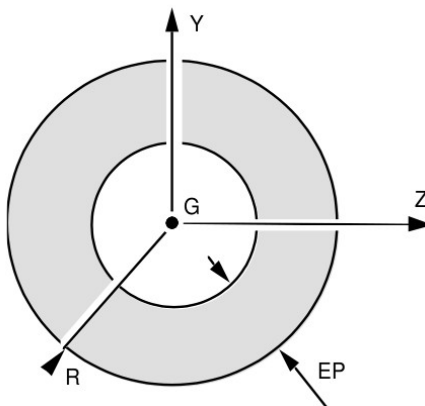


Figure 9.4.5-1 : Section CERCLE.

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

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

$$RT = RY = RZ = R$$

- Coefficients de cisaillement  $Ay = Az$  . On pose  $\alpha = \frac{R - EP}{R}$

$\alpha$	0.00	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$Ay=Az$	1.167	1.174	1.199	1.289	1.419	1.563	1.700	1.815	1.902	1.960	1.991	2.000

**Remarques :**

- Les valeurs du tableau sont déterminées à l'aide d'une étude paramétrique réalisée avec la commande MACR\_CARA\_POUTRE .
- Les interpolations sont linéaires.
- Les valeurs calculées peuvent être imprimées avec le mot clé INFO = 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 [défaut]  
/ 16

◇ TUYAU\_NCOU = / ncou, [défaut]  
/ 3

Nombre de couches dans l'épaisseur (ncou par défaut = 3) et de secteurs (nsec par défaut = 16) sur la circonférence utilisée pour les intégrations dans les éléments TUYAU [R3.08.06]. Les valeurs par défaut (3 couches et 16 secteurs) correspondent à un minimum requis pour avoir une précision correcte.

## 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).
- de la position de la génératrice pour les éléments **tuyaux**.

L'orientation des **poutres courbes** est définie par le mot clef facteur DEFI\_ARC.

#### 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      = lgamma,                [1_gr_maille]
  / MAILLE        = lma,                    [1_maille]
  / GROUP_NO      = lgn,                    [1_gr_noeud]
  / NOEUD         = lno,                    [1_noeud]
  ♦ CARA          = / 'VECT_Y',
                  / 'ANGL_VRIL',
                  / 'VECT_X_Y',
                  / 'ANGL_NAUT',
                  / 'GENE_TUYAU',

  # si CARA = 'VECT_Y'
  ♦ VALE          = vecteur,                [3 réels]
  ◇ PRECISION     = / eps,                  [réel]

  # si CARA = 'ANGL_VRIL'
  ♦ VALE          = angle,                  [1 réel]
  ◇ PRECISION     = / eps,                  [réel]

  # si CARA = 'VECT_X_Y'
  ♦ VALE          = 2 vecteurs,             [6 réels]
  ◇ PRECISION     = / eps,                  [réel]

  # si CARA = 'ANGL_NAUT'
  ♦ VALE          = angles,                 [3 réels]
  ◇ PRECISION     = / eps,                  [réel]

  # si CARA = 'GENE_TUYAU'
  ♦ VALE          = vecteur,                [3 réels]
  ◇ CRITERE       = / 'RELATIF',            [DEFAULT]
                  / 'ABSOLU',
  ◇ PRECISION     = / eps,                  [réel]
                  / 1.E-4,                  [DEFAULT]
)
```

## 10.3 Règles d'utilisation

La règle de surcharge est appliquée. L'orientation finalement prise est la dernière affectée.

Exemple :

```
ORIENTATION=(
  _F(CARA = 'ANGL_NAUT', VALE = (1.0, 1.0, 1.0), MAILLE = 'P1'),
  _F(CARA = 'ANGL_VRIL', VALE = 45.0, MAILLE = 'M1'),
  _F(CARA = 'ANGL_VRIL', VALE = 90.0, 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 CARA = 'ANGL\_NAUT'

♦ VALE = (  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  )

Les angles nautiques  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  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  $(P, x_3, y_3, z_3)$ . Celui-ci est obtenu par 3 rotations :

- une rotation d'angle  $\alpha$  autour de  $Z$ , transformant  $(x, y, z)$  en  $(x_1, y_1, z_1)$  avec  $z_1 \equiv z$  [Figure 10.4-1]
- une rotation d'angle  $\beta$  autour de  $y_1$ , transformant  $(x_1, y_1, z_1)$  en  $(x_2, y_2, z_2)$  avec  $y_2 \equiv y_1$  [Figure 10.4-2]
- une rotation d'angle  $\gamma$  autour de  $x_2$ , transformant  $(x_2, y_2, z_2)$  en  $(x_3, y_3, z_3)$  avec  $x_3 \equiv x_2$  [Figure 10.4-3]

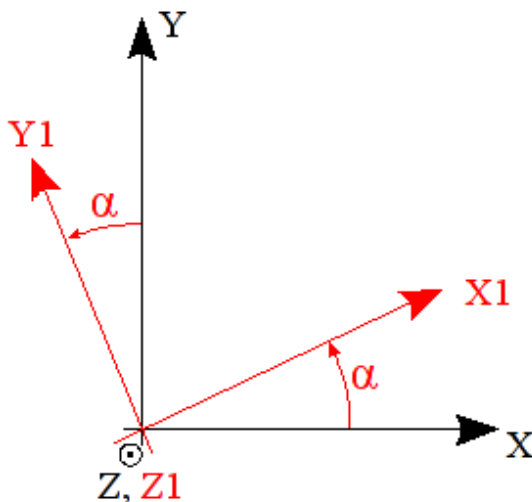


Figure 10.4-1 : angle  $\alpha$ .

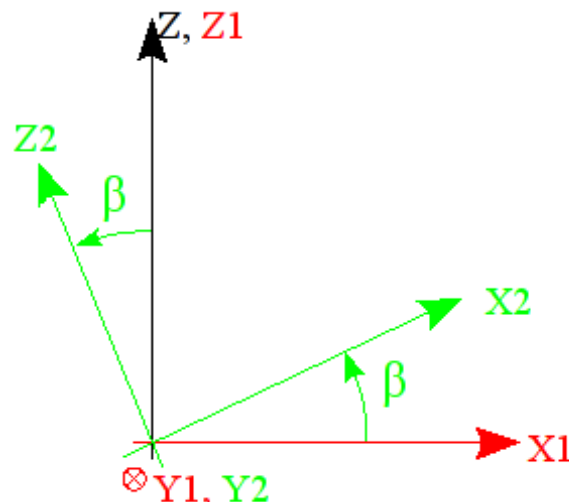


Figure 10.4-2 : angle  $\beta$ .

Remarque : pour la figure 10.4-2, l'angle de rotation  $\beta$  est négatif.

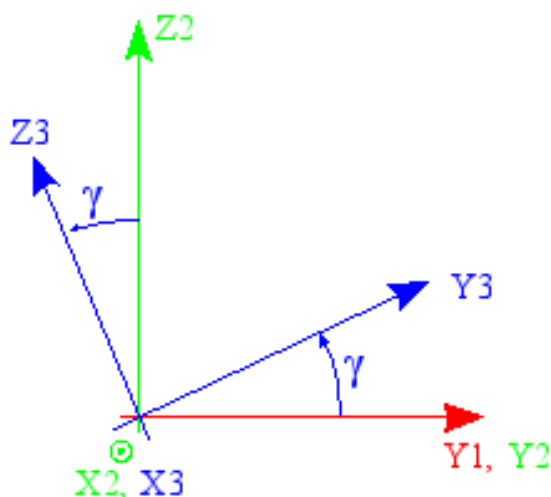


Figure 10.4-3 : angle  $\gamma$  .

Le repère local est :  $(X_3 Y_3 Z_3)$

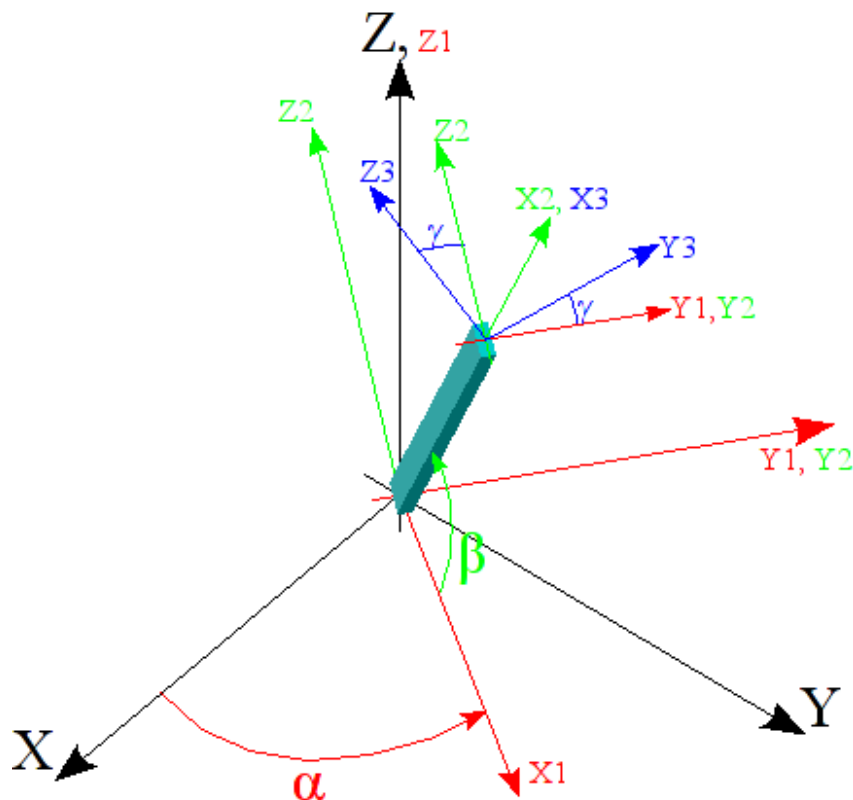


Figure 10.4-4 : Représentation des repères global et local.

◇ PRECISION = / eps

ANGL\_NAUT permet de définir le repère local associé à une maille de type POI1 ou un nœud (pour un élément discret). Il est également possible de définir l'orientation d'un segment, mais dans ce cas, le segment doit être de longueur nulle, car sinon les 2 premiers angles sont déterminés (cf ANGL\_VRIL).

PRECISION permet de définir la longueur en dessous de laquelle la maille est considérée comme de taille nulle. Ce mot clef est facultatif et est quelquefois nécessaire, dû à la précision des coordonnées des nœuds, dans le fichier de maillage.

## 10.5 Opérandes CARA = 'VECT\_X\_Y'

$$\diamond \text{VALE} = (x_1^l, x_2^l, x_3^l, y_1^d, y_2^d, y_3^d)$$

$x_1^l, x_2^l, x_3^l$  sont les 3 composantes, dans le repère global, d'un vecteur définissant l'axe local  $X_3$ .

$y_1^d, y_2^d, y_3^d$  sont les 3 composantes, dans le repère global, d'un vecteur  $Y^d$ , dont la projection sur le plan orthogonal à  $X_3$  fournira l'axe local  $Y_3$ . L'axe local  $Z_3$  complète alors le repère pour que le trièdre  $(P, X_3, Y_3, Z_3)$  soit direct [Figure 10.5-1].

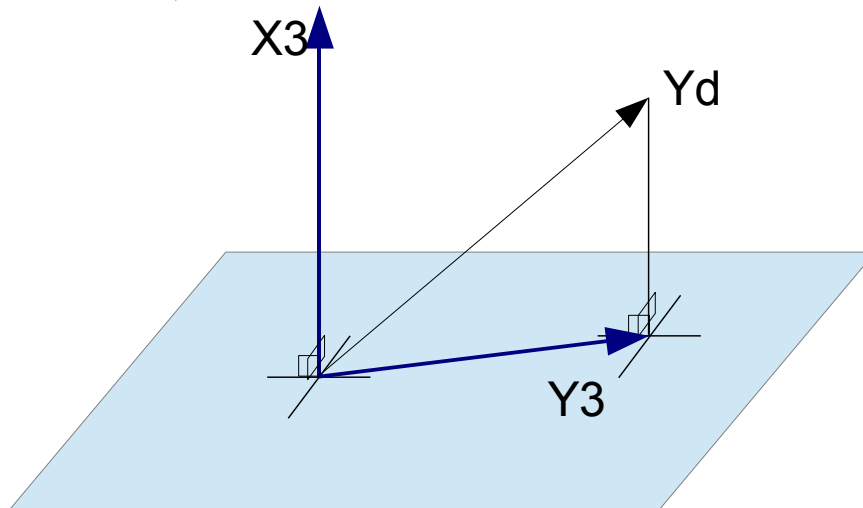


Figure 10.5-1 : Définition de VECT\_X\_Y.

$$\diamond \text{PRECISION} = / \text{eps}$$

VECT\_X\_Y permet de définir le repère local associé à une maille de type POI1 ou un nœud (pour un élément discret). Il est également possible de définir l'orientation d'un segment, mais dans ce cas, le segment doit être de longueur nulle, car sinon les 2 premiers angles sont déterminés (cf ANGL\_VRIL).

PRECISION permet de définir la longueur en dessous de laquelle la maille est considérée comme de taille nulle. Ce mot clef est facultatif et est quelquefois nécessaire, dû à la précision des coordonnées des nœuds, dans le fichier de maillage.

## 10.6 Opérande CARA = 'ANGL\_VRIL'

$$\diamond \text{VALE} = \gamma$$

Dans le cas des mailles SEG2, l'axe  $x_3$  est déjà porté par la maille (le sens de  $x_3$  est défini par la numérotation de deux nœuds de la maille, il peut être changé par MODI\_MAILLAGE/ORIE\_LIGNE, [U4.23.04]). Il est donc possible de définir  $y_3$  et  $z_3$  par rotation autour de  $x_3$ .

$\gamma$  est l'angle (en degrés) de rotation autour de  $x_3$ , transformant  $(P, x_3, x_2, x_2)$  en  $(P, x_3, y_3, z_3)$  [Figure 10.4-3].

$$\diamond \text{PRECISION} = / \text{eps}$$

ANGL\_VRIL permet de définir le repère local autour de l'axe défini par une maille SEG2 (poutre ou discret). Les 2 angles  $\alpha$  et  $\beta$  sont définis par l'orientation du segment qui doit donc être de longueur non nulle.

PRECISION permet de définir la longueur en dessous de laquelle la maille est considérée comme de taille nulle. Ce mot clef est facultatif et est quelquefois nécessaire, dû à la précision des coordonnées des nœuds, dans le fichier de maillage.

## 10.7 Opérande CARA = 'VECT\_Y'

$$\diamond \text{VALE} = y_1^d, y_2^d, y_3^d$$

Dans le cas des mailles SEG2, l'axe  $x_3$  est déjà porté par la maille (le sens de  $x_3$  est défini par la

numérotation de deux nœuds de la maille, il peut être changé par MODI\_MAILLAGE/ORIE\_LIGNE, [U4.23.04]. Il est donc possible de définir  $y_3$  et  $z_3$  en définissant un vecteur.

$y_1^d, y_2^d, y_3^d$  sont les 3 composantes d'un vecteur  $\gamma^d$  dont la projection sur le plan orthogonal à  $x_3$  fournira l'axe local  $y_3$  [Figure 10.5-1]. L'axe  $z_3$  est tel que  $(P, x_3, y_3, z_3)$  soit direct.

◇ PRECISION = / eps

VECT\_Y permet de définir le repère local autour de l'axe défini par une maille SEG2 (poutre ou discret). Les 2 angles  $\alpha$  et  $\beta$  sont définis par l'orientation du segment qui doit donc être de longueur non nulle.

PRECISION permet de définir la longueur en dessous de laquelle la maille est considérée comme de taille nulle. Ce mot clef est facultatif et est quelquefois nécessaire, dû à la précision des coordonnées des nœuds, dans le fichier de maillage.

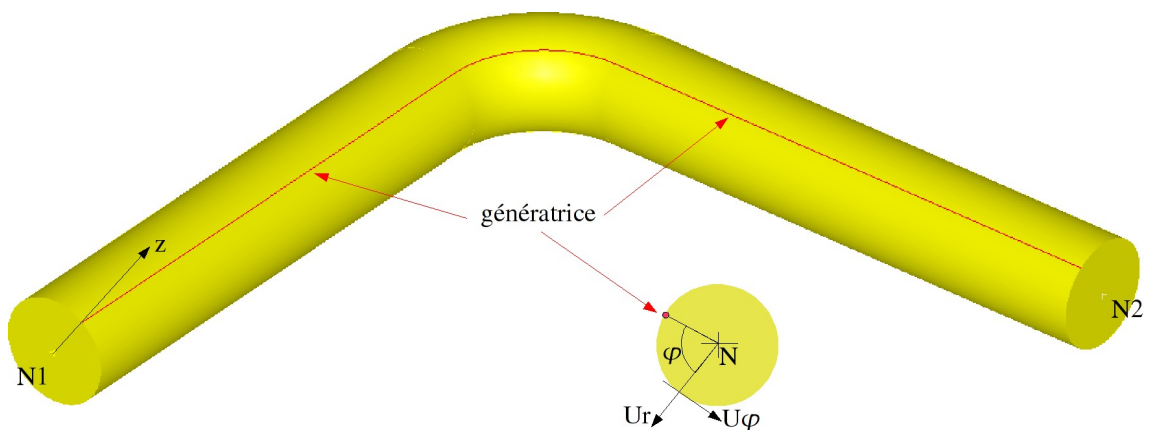
## 10.8 Opérande CARA = 'GENE\_TUYAU'

◆ VALE =  $(z_1, z_2, z_3)$

Cela ne concerne que les éléments TUYAU (modélisations TUYAU\_3M ou TUYAU\_6M).

Il convient de donner 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  $\varphi$  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.



◇ PRECISION = / eps

◇ CRITERE = / 'RELATIF',  
 / 'ABSOLU',

[DEFAULT]

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 local est orienté comme indiqué à la figure 11.7-2.

### 11.3 Syntaxe

```

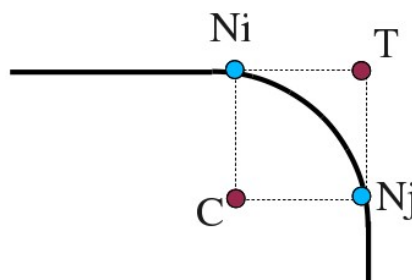
DEFI_ARC = _F(
    ♦ / MAILLE                = LMA,                [l_maille]
      / GROUP_MA              = LGMA,                [l_gr_maille]
    ♦ / POIN_TANG             = (XT , YT , ZT),        [l_réel]
      / NOEUD_POIN_TANG      = NO,                [noeud]
      / GROUP_NO_POIN_TG     = GNO,                [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,        [défaut]
    ◇ CRITERE                = / 'ABSOLU',           [défaut]
                                  / 'RELATIF',        [défaut]
)
    
```

### 11.4 Opérandes POIN\_TANG / NOEUD\_POIN\_TANG / GROU\_P\_NO\_POIN\_TG

```

/ POIN_TANG                = (xt, yt, zt)
/ NOEUD_POIN_TANG         = 'NT'
/ GROU_P_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  $(C, N_j, N_i)$  doit être strictement inférieur à 2. 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  $N_i N_j$ :

$C N_i - C N_j < eps$  (CRITERE : 'ABSOLU')

$C N_i - C N_j < eps C N_i$  (CRITERE : 'RELATIF')

## 11.7 Opérandes RAYON / ORIE\_ARC

♦ ORIE\_ARC =  $\gamma_{arc}$

Angle d'orientation de l'arc de l'élément (en degrés). L'angle  $\gamma_{arc}$  définit la rotation autour de l'axe local  $x_l$  (déterminé par les deux extrémités de l'arc  $N_i$  et  $N_j$ ) permettant de passer de  $(M, x_l, y_l, z_l)$  à  $(M, x_l, y_l, z_l)$  [Figure 11.7-1].

♦ RAYON = rcourb

Rayon de courbure de l'élément. Il permet de calculer le centre  $C$  de l'arc [Figure 11.7-2].

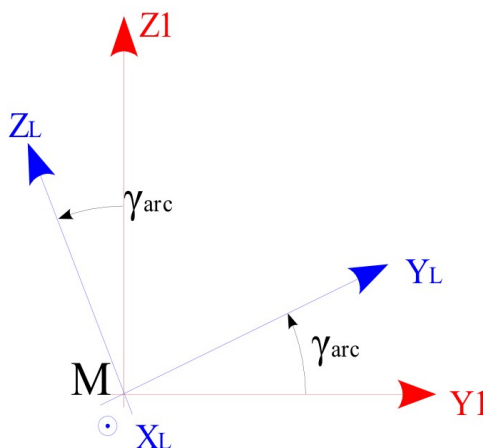


Figure 11.7-1 : Rayon de courbure dans le repère local de l'élément.

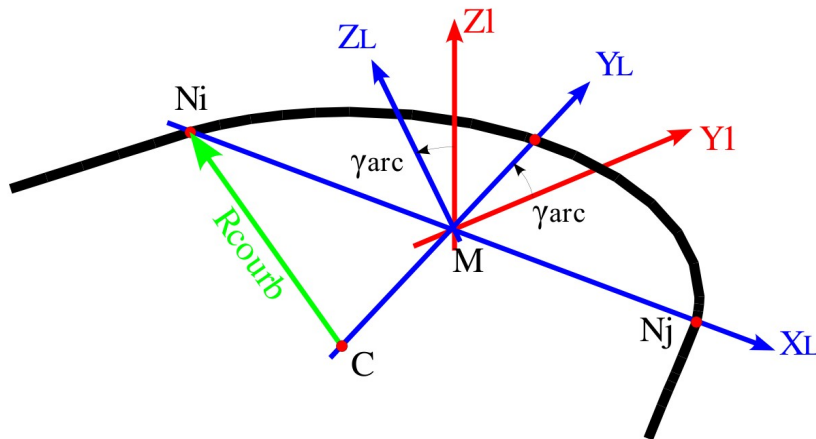


Figure 11.7-2 : Rayon de courbure dans le repère global.

**Remarques :**

- le repère  $(M, x_l, y_l, z_l)$  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 10.4-1] et [Figure 10.4-2],
- l'axe local  $y_l$  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 :

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

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

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

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 : 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 :

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

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

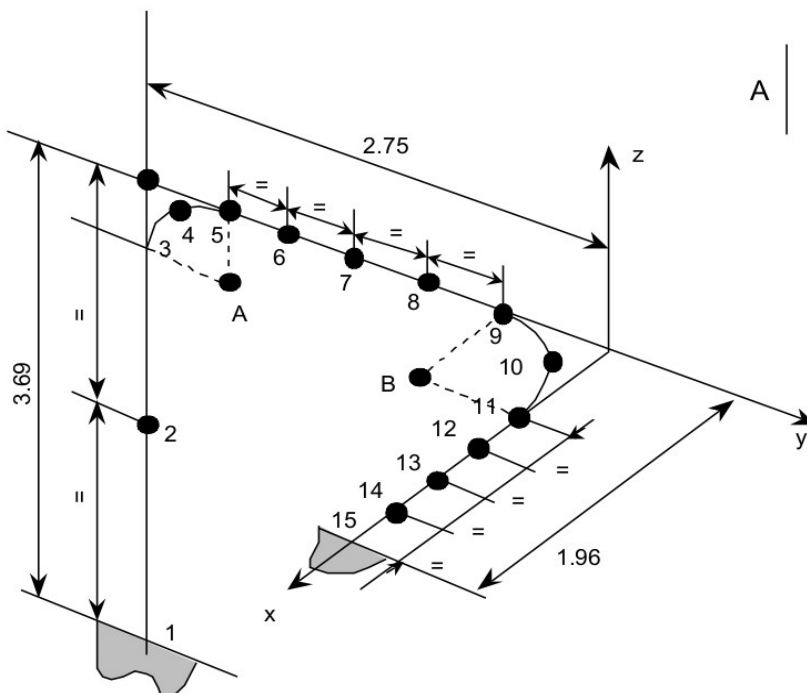
$$\sigma_{xx} = \frac{M_y \cdot R}{I_y} \times isigm_{xz} \text{ ou } \sigma_{xx} = \frac{M_z \cdot R}{I_z} \times isigm_{xy}$$

### 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 SSSL101B).



$$A \begin{vmatrix} -0. \\ -1.828 \\ -0.922 \end{vmatrix}$$

$$B \begin{vmatrix} -0.922 \\ -0.922 \\ -0. \end{vmatrix}$$

- 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  $(\alpha, \beta)$  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*0.0, 3*1.0),
    ),
    _F(GROUP_MA = 'SEC 2',
      # coudes
      VALE = (3.4390E-3, 2*5.8870E-6,
        2*2., 2.7540E-5, 2*0.0, 3*1.0),
    ),
  ),
  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: 90.000000000000091
MOT CLE	"MAILLE", CENTRE: 0.0, -1.827999999999996, -0.921999999999997

## 12 Mots clés GEOM\_FIBRE / MULTIFIBRE

### 12.1 Syntaxe

```
GEOM_FIBRE = g fibre [geom_fibre]

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

  ◇ PREC_AIRE = / precis, [réel]
  / 0.01, [défaut]
  ◇ PREC_INERTIE = / precis, [réel]
  / 0.1, [défaut]
```

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 opérantes `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 (Confer mots clés `PREC_AIRE`, `PREC_INERTIE`) une erreur fatale est émise.*

### 12.3 Mot clé MULTIFIBRE

#### ♦ MULTIFIBRE

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

#### 12.3.1 Opérantes MAILLE et GROUP\_MA

#### ♦ / MAILLE / GROUP\_MA

Ces opérantes 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

Concept créé par DEFI\_GEOM\_FIBRE [U4.26.01], contenant la description de l'ensemble des groupes de fibres de l'étude.

## 12.5 Opérandes PREC\_AIRE / PREC\_INERTIE

◇ PREC\_AIRE = / precis,

◇ PREC\_INERTIE = / precis,

L'utilisation des poutres multifibres (POU\_D\_EM ou POU\_D\_TGM) nécessite de fournir des informations supplémentaires, par rapport aux mots clés VALE et CARA, sous POUTRE.

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 :

$$\frac{AIRE_{POUTRE} - (AIRE_{SECTION} + AIRE_{FIBRE})}{AIRE_{POUTRE}} \leq PREC\_AIRE$$

$$\frac{INERTIE_{POUTRE} - (INERTIE_{SECTION} + INERTIE_{FIBRE})}{INERTIE_{POUTRE}} \leq PREC\_INERTIE$$

### 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%

## 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 tous les cas (matrices symétriques, diagonales, complètes) **la convention de numérotation des termes est imposée** :

- pour des matrices symétriques, on ne fournira que la triangulaire supérieure, **avec une convention imposée pour la numérotation des termes** (voir exemples).
- pour des matrices diagonales, on ne fournira que les termes de la diagonale, **avec une convention imposée pour la numérotation des termes** (voir exemples).
- pour des matrices non-symétrique, on fournira tous les termes, **avec une convention imposée pour la numérotation des termes** (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 AFFE\_MODELE [U4.41.01].

### 13.2 Syntaxe

```
DISCRET et DISCRET_2D = _F(
  ♦ / MAILLE           = lma,                [1_maille]
    / GROUP_MA        = lgma,                [1_gr_maille]
    / NOEUD           = lno,                [1_noeud]
    / GROUP_NO        = lgno,                [1_gr_noeud]
  ◇ SYME              = / 'OUI',           [défaut]
                    / 'NON'
  # matrices de rigidité
  ♦ / CARA            = |'K_T_D_N'|'K_TR_D_N'|'K_T_D_L'|'K_TR_D_L',
                    |'K_T_N'|'K_TR_N'|'K_T_L'|'K_TR_L',
  # matrices de masse
  / CARA              = |'M_T_D_N'|'M_TR_D_N'|'M_T_D_L'|'M_TR_D_L'
                    |'M_T_N'|'M_TR_N'|'M_T_L'|'M_TR_L',
  # matrices d'amortissement
  / CARA              = |'A_T_D_N'|'A_TR_D_N'|'A_T_D_L'|'A_TR_D_L',
                    |'A_T_N'|'A_TR_N'|'A_T_L'|'A_TR_L',
  ♦ / VALE            = lva,                [1_réel]
  ◇ REPERE            = / 'LOCAL',
                    / 'GLOBAL',           [défaut]
  ◇ AMOR_HYST         = / 0.0,             [défaut]
                    / amnh,               [réel]
)
```



## 13.3 Opérandes

### 13.3.1 Règles d'utilisation

- RIGIDITE ou AMORTISSEMENT et SYME=' OUI ' (valeur par défaut)

CARA	CARA	ENTITE	DIS_* VALE	2D_DIS_* VALE
'K T D N'	'A T D N'	nœud ou POI1	3 termes	2 termes
'K T D L'	'A T D L'	SEG2	3 termes	2 termes
'K TR D N'	'A TR D N'	nœud ou POI1	6 termes	3 termes
'K TR D L'	'A TR D L'	SEG2	6 termes	3 termes
'K T N'	'A T N'	nœud ou POI1	6 termes	3 termes
'K T L'	'A T L'	SEG2	21 termes	10 termes
'K TR N'	'A TR N'	nœud ou POI1	21 termes	6 termes
'K TR L'	'A TR L'	SEG2	78 termes	21 termes

- RIGIDITE ou AMORTISSEMENT et SYME=' NON '

CARA	CARA	ENTITE	DIS_* VALE	2D_DIS_* VALE
'K T N'	'A T N'	nœud ou POI1	9 termes	4 termes
'K T L'	'A T L'	SEG2	36 termes	16 termes
'K TR N'	'A TR N'	nœud ou POI1	36 termes	9 termes
'K TR L'	'A TR L'	SEG2	144 termes	36 termes

- MASSE et SYME=' OUI ' (valeur par défaut)

CARA	ENTITE	DIS_* VALE	2D_DIS_* VALE
'M T D N'	nœud ou POI1	1 (masse)	1 (masse)
'M TR D N'	nœud ou POI1	10 (masse/inertie)	non disponible
'M T N'	nœud ou POI1	6 (masse/inertie)	3 (masse/inertie)
'M T L'	SEG2	21 (masse/inertie)	10 (masse/inertie)
'M T D L'	SEG2	1 (masse/inertie)	1 (masse/inertie)
'M TR N'	nœud ou POI1	21 (masse/inertie)	6 (masse/inertie)
'M TR D L'	SEG2	4 (masse/inertie)	4 (masse/inertie)
'M TR L'	SEG2	78 (masse/inertie)	21 (masse/inertie)

- MASSE et SYME=' NON '

CARA	ENTITE	DIS_* VALE	2D_DIS_* VALE
'M T N'	nœud ou POI1	9 (masse/inertie)	4 (masse/inertie)
'M T L'	SEG2	36 (masse/inertie)	16 (masse/inertie)
'M TR N'	nœud ou POI1	36 (masse/inertie)	9 (masse/inertie)
'M TR L'	SEG2	144 (masse/inertie)	36 (masse/inertie)

### 13.3.2 Opérandes VALE

♦ / VALE = lva

On trouve dans VALE 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.

### 13.3.3 Opérandes $\kappa\_$ (matrices de rigidité) ou $A\_$ (matrices d'amortissement)

$K\_T\_D\_N / A\_T\_D\_N$  et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

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

$K\_T\_D\_L / A\_T\_D\_L$  et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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

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

il suffit donc de fournir les 3 valeurs  $k_x, k_y, k_z$

$K\_TR\_D\_N / A\_TR\_D\_N$  et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

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

$K\_TR\_D\_L / A\_TR\_D\_L$  et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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

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

il suffit de donner les 6 valeurs ci-dessus.

$K\_T\_N / A\_T\_N$  et SYME='OUI' (valeur par défaut)

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 6 valeurs  $k_1, k_2, \dots, k_6$  en DIS\_T ou 3 valeurs  $k_1, k_2, k_3$  en 2D\_DIS\_T telles que :

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

K\_T\_N/A\_T\_N et SYME='NON'

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 :

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

K\_T\_L/A\_T\_L et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

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

K\_T\_L/A\_T\_L et SYME='NON'

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 :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ K_1 & K_7 & K_{13} & K_{19} & K_{25} & K_{31} \\ K_2 & K_8 & K_{14} & K_{20} & K_{26} & K_{32} \\ K_3 & K_9 & K_{15} & K_{21} & K_{27} & K_{33} \\ K_4 & K_{10} & K_{16} & K_{22} & K_{28} & K_{34} \\ K_5 & K_{11} & K_{17} & K_{23} & K_{29} & K_{35} \\ K_6 & K_{12} & K_{18} & K_{24} & K_{30} & K_{36} \end{bmatrix} \qquad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{x2} & U_{y2} \\ k_1 & k_5 & k_9 & k_{13} \\ k_2 & k_6 & k_{10} & k_{14} \\ k_3 & k_7 & k_{11} & k_{15} \\ k_4 & k_8 & k_{12} & k_{16} \end{bmatrix}$$

K\_TR\_N/A\_TR\_N et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

$$K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z & R_x & R_y & R_z \\ k_1 & k_2 & k_4 & k_7 & k_{11} & k_{16} \\ & k_3 & k_5 & k_8 & k_{12} & k_{17} \\ & & k_6 & k_9 & k_{13} & k_{18} \\ & & & k_{10} & k_{14} & k_{19} \\ & & & & k_{15} & k_{20} \\ & & & & & k_{21} \end{bmatrix} \qquad K \text{ ou } A = \begin{bmatrix} U_x & U_y & R_z \\ k_1 & k_2 & k_4 \\ & k_3 & k_5 \\ & & k_6 \end{bmatrix}$$

K\_TR\_N / A\_TR\_N et SYME='NON'

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 :

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

K\_TR\_L / A\_TR\_L et SYME='OUI' (valeur par défaut)

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 78 valeurs  $k_1, k_2 \dots k_{78}$  en DIS\_TR.

$$K \text{ ou } A = \begin{matrix} & U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & R_{x1} & R_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\ \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_4 & k_7 & k_{11} & k_{16} & k_{22} & k_{29} & k_{37} & k_{46} & k_{56} & k_{67} \\ & k_3 & k_5 & k_8 & k_{12} & k_{17} & k_{23} & k_{30} & k_{38} & k_{47} & k_{57} & k_{68} \\ & & k_6 & k_9 & k_{13} & k_{18} & k_{24} & k_{31} & k_{39} & k_{48} & k_{58} & k_{69} \\ & & & k_{10} & k_{14} & k_{19} & k_{25} & k_{32} & k_{40} & k_{49} & k_{59} & k_{70} \\ & & & & k_{15} & k_{20} & k_{26} & k_{33} & k_{41} & k_{50} & k_{60} & k_{71} \\ & & & & & k_{21} & k_{27} & k_{34} & k_{42} & k_{51} & k_{61} & k_{72} \\ & & & & & & k_{28} & k_{35} & k_{43} & k_{52} & k_{62} & k_{73} \\ & & & & & & & k_{36} & k_{44} & k_{53} & k_{63} & k_{74} \\ & & & & & & & & k_{45} & k_{54} & k_{64} & k_{75} \\ & & & & & & & & & k_{55} & k_{65} & k_{76} \\ & & & & & & & & & & k_{66} & k_{77} \\ & & & & & & & & & & & k_{78} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ou 21 valeurs  $k_1, k_2 \dots k_{21}$  en 2D\_DIS\_TR telles que :

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

K\_TR\_L / A\_TR\_L et SYME='NON'

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 144 valeurs  $k_1, k_2 \dots k_{144}$  en DIS\_TR.

$$K \text{ ou } A = \begin{matrix} & U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & R_{x1} & R_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\ \begin{matrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \\ k_7 \\ k_8 \\ k_9 \\ k_{10} \\ k_{11} \\ k_{12} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{13} \\ k_{14} \\ k_{15} \\ k_{16} \\ k_{17} \\ k_{18} \\ k_{19} \\ k_{20} \\ k_{21} \\ k_{22} \\ k_{23} \\ k_{24} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{25} \\ k_{26} \\ k_{27} \\ k_{28} \\ k_{29} \\ k_{30} \\ k_{31} \\ k_{32} \\ k_{33} \\ k_{34} \\ k_{35} \\ k_{36} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{37} \\ k_{38} \\ k_{39} \\ k_{40} \\ k_{41} \\ k_{42} \\ k_{43} \\ k_{44} \\ k_{45} \\ k_{46} \\ k_{47} \\ k_{48} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{49} \\ k_{50} \\ k_{51} \\ k_{52} \\ k_{53} \\ k_{54} \\ k_{55} \\ k_{56} \\ k_{57} \\ k_{58} \\ k_{59} \\ k_{60} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{61} \\ k_{62} \\ k_{63} \\ k_{64} \\ k_{65} \\ k_{66} \\ k_{67} \\ k_{68} \\ k_{69} \\ k_{70} \\ k_{71} \\ k_{72} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{73} \\ k_{74} \\ k_{75} \\ k_{76} \\ k_{77} \\ k_{78} \\ k_{79} \\ k_{80} \\ k_{81} \\ k_{82} \\ k_{83} \\ k_{84} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{85} \\ k_{86} \\ k_{87} \\ k_{88} \\ k_{89} \\ k_{90} \\ k_{91} \\ k_{92} \\ k_{93} \\ k_{94} \\ k_{95} \\ k_{96} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{97} \\ k_{98} \\ k_{99} \\ k_{100} \\ k_{101} \\ k_{102} \\ k_{103} \\ k_{104} \\ k_{105} \\ k_{106} \\ k_{107} \\ k_{108} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{109} \\ k_{110} \\ k_{111} \\ k_{112} \\ k_{113} \\ k_{114} \\ k_{115} \\ k_{116} \\ k_{117} \\ k_{118} \\ k_{119} \\ k_{120} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{121} \\ k_{122} \\ k_{123} \\ k_{124} \\ k_{125} \\ k_{126} \\ k_{127} \\ k_{128} \\ k_{129} \\ k_{130} \\ k_{131} \\ k_{132} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{133} \\ k_{134} \\ k_{135} \\ k_{136} \\ k_{137} \\ k_{138} \\ k_{139} \\ k_{140} \\ k_{141} \\ k_{142} \\ k_{143} \\ k_{144} \end{matrix} \end{matrix}$$

ou 36 valeurs  $k_1, k_2 \dots k_{36}$  en 2D\_DIS\_TR telles que :

$$K \text{ ou } A = \begin{matrix} & U_{x1} & U_{y1} & R_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & R_{z2} \\ \begin{matrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \end{matrix} & \begin{matrix} k_7 \\ k_8 \\ k_9 \\ k_{10} \\ k_{11} \\ k_{12} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{13} \\ k_{14} \\ k_{15} \\ k_{16} \\ k_{17} \\ k_{18} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{19} \\ k_{20} \\ k_{21} \\ k_{22} \\ k_{23} \\ k_{24} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{25} \\ k_{26} \\ k_{27} \\ k_{28} \\ k_{29} \\ k_{30} \end{matrix} & \begin{matrix} k_{31} \\ k_{32} \\ k_{33} \\ k_{34} \\ k_{35} \\ k_{36} \end{matrix} \end{matrix}$$

## 13.3.4 Opérandes **m\_** Matrices de masse

**M\_T\_D\_N** et SYME='OUI' (valeur par défaut)

pour une maille de type POI1 ou un nœud, on trouve en correspondance dans VALE 1 valeur  $m$ . La matrice de masse suivante sera affectée :

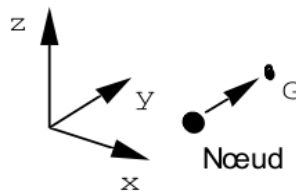
$$M = \begin{bmatrix} U_x & U_y & U_z \\ m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix}$$

**M\_TR\_D\_N** et SYME='OUI' (valeur par défaut, 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** et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

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

Voir par exemple le test SDDL27 [V2.01.027].

M\_T\_N et SYME='NON'

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 :

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

M\_TR\_N et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

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

M\_TR\_N et SYME='NON'

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 :

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

M\_T\_L et SYME='OUI' (valeur par défaut)

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 21 valeurs  $M_1, M_2, \dots$

$M_{21}$  en DIS\_T ou 10 valeurs  $M_1, M_2, \dots, M_{10}$  en 2D\_DIS\_T et la matrice de masse suivante sera affectée :

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

M\_T\_D\_L et SYME='OUI' (valeur par défaut)

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 1 valeur, en DIS\_T et en 2\_DIS\_T, la matrice de masse suivante sera affectée :

$$M = \begin{bmatrix} & \text{Noeud1} & \text{Noeud2} \\ M & & \\ & M & \end{bmatrix} \text{ la matrice } M \text{ a la même définition que celle donné pour les } M\_T\_D\_N.$$

M\_T\_L et SYME='NON'

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 :

$$M = \begin{bmatrix} & U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} \\ M_1 & & & & & & \\ M_2 & & & & & & \\ M_3 & & & & & & \\ M_4 & & & & & & \\ M_5 & & & & & & \\ M_6 & & & & & & \\ & M_7 & & & & & \\ & & M_8 & & & & \\ & & & M_{13} & & & \\ & & & & M_{19} & & \\ & & & & & M_{25} & \\ & & & & & & M_{31} \\ & & & & & & & M_{32} \\ & & & & & & & & M_{33} \\ & & & & & & & & & M_{34} \\ & & & & & & & & & & M_{35} \\ & & & & & & & & & & & M_{36} \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} & U_{x1} & U_{y1} & U_{x2} & U_{y2} \\ M_1 & & & & \\ M_2 & & & & \\ M_3 & & & & \\ M_4 & & & & \\ & M_5 & & & \\ & & M_6 & & \\ & & & M_7 & \\ & & & & M_8 \\ & & & & & M_9 \\ & & & & & & M_{10} \\ & & & & & & & M_{11} \\ & & & & & & & & M_{12} \\ & & & & & & & & & M_{13} \\ & & & & & & & & & & M_{14} \\ & & & & & & & & & & & M_{15} \\ & & & & & & & & & & & & M_{16} \end{bmatrix}$$



M\_TR\_L et SYME='OUI' (valeur par défaut)

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 :

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

ou 21 valeurs  $M_1, M_2, \dots, M_{21}$  en 2D\_DIS\_TR

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

M\_TR\_D\_L et SYME=' OUI ' (valeur par défaut)

pour une maille de type SEG2, on trouve en correspondance dans VALE 4 valeurs  $M1$  ,  $M2$  , ...

$M4$  en DIS\_TR et la matrice de masse suivante sera affectée :

$$\begin{matrix}
 & \bar{U}_{xl} & U_{yl} & U_{zl} & R_{xl} & R_{yl} & R_{zl} & U_{x2} & U_{y2} & U_{z2} & R_{x2} & R_{y2} & R_{z2} \\
 M = & \left[ \begin{array}{cccccccccccc}
 M_1 & & & & & & & & & & & & \\
 & M_1 & & & & & & & & & & & \\
 & & M_1 & & & & & & & & & & \\
 & & & M_2 & & & & & & & & & \\
 & & & & M_3 & & & & & & & & \\
 & & & & & M_4 & & & & & & & \\
 & & & & & & M_1 & & & & & & \\
 & & & & & & & M_1 & & & & & \\
 & & & & & & & & M_1 & & & & \\
 & & & & & & & & & M_2 & & & \\
 & & & & & & & & & & M_3 & & \\
 & & & & & & & & & & & M_4 & \\
 \end{array} \right]
 \end{matrix}$$

ou 2 valeurs  $M1$  ,  $M2$  en 2D\_DIS\_TR

$$\begin{matrix}
 & U_{xl} & U_{yl} & R_{zl} & \bar{U}_{x2} & \bar{U}_{y2} & R_{z2} \\
 M = & \left[ \begin{array}{cccccc}
 M_1 & & & & & \\
 & M_1 & & & & \\
 & & M_2 & & & \\
 & & & M_1 & & \\
 & & & & M_1 & \\
 & & & & & M_2
 \end{array} \right]
 \end{matrix}$$

M\_TR\_L et SYME='NON'

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 :

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

ou 36 valeurs  $M_1, M_2, \dots, M_{36}$  en 2D\_DIS\_TR

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

Remarque :

Les options M\_T\_L, M\_TR\_L, M\_T\_D\_L, M\_TR\_D\_L ne correspondent pas en général à une option de modélisation ayant une signification mécanique. Elles sont disponibles pour importer dans Code\_Aster des matrices de masses discrétisées sur une maille de type SEG2 déterminées 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 = amorh

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 SDDL313) 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         = (  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ),           [l_réel]  
  / ANGL_EULER        = (  $\Psi$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  ),           [l_réel]  
  / ♦ ANGL_AXE        = (  $\alpha$ ,  $\beta$  ),               [l_réel]  
  ♦ ORIG_AXE         = (x1, x2, x3),                       [l_réel]  
)
```

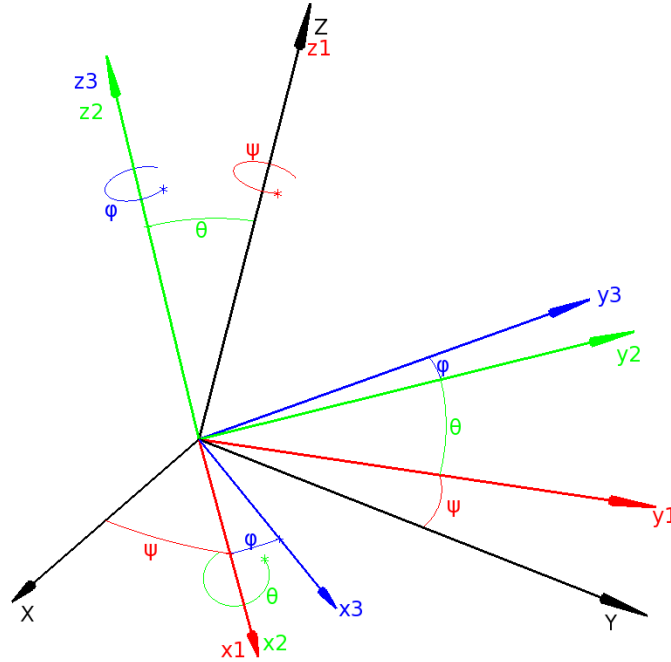
### 14.3 Opérande ANGL\_REP

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  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  $\alpha$  ce qui définit le repère (LT) dans le plan.

## 14.4 Opérande ANGL\_EULER

Définition des 3 angles d'Euler qui permettent d'orienter le repère local à l'élément. Le passage du référentiel fixe  $OXYZ$  au référentiel lié au solide  $Ox_3y_3z_3$  est fait par trois rotations successives :

- La précession  $\Psi$ , autour de l'axe  $OZ$ , fait passer de  $OXYZ$  au référentiel  $Ox_1y_1z_1$ .
- La nutation  $\theta$ , autour de l'axe  $Ox_1$ , fait passer de  $Ox_1y_1z_1$  à  $Ox_2y_2z_2$ .
- La rotation propre  $\phi$ , autour de l'axe  $Oz_2$ , fait passer de  $Ox_2y_2z_2$  au référentiel lié au solide  $Ox_3y_3z_3$ .

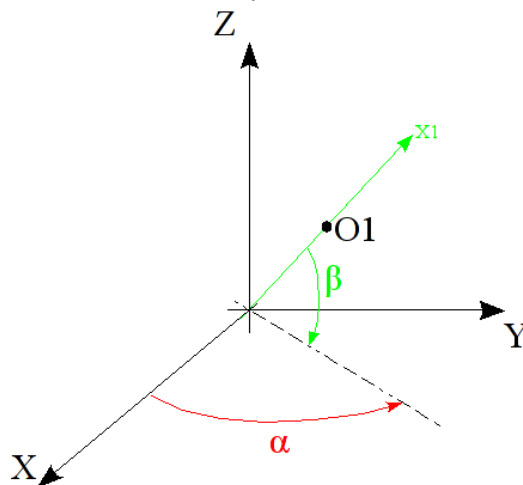


## 14.5 Opérandes ANGL\_AXE / ORIG\_AXE

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 =  $(\alpha, \beta)$  définit l'axe de révolution  $x1$ ,  $(\alpha, \beta)$  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. la commande AFFE\_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

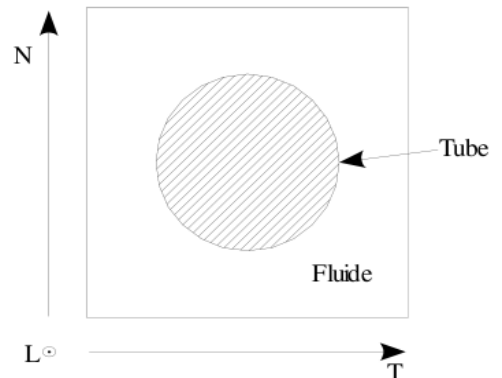
Lieu d'affectation des caractéristiques élémentaires :

- 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]
    SECTION_FO        = S1fct                [fonction]
  ◇ / ANGL_REP        = (  $\alpha$ ,  $\beta$  )      [l_R]
    / AXE              = (vx, vy, vz)        [l_R]
  ◇ EXCENTREMENT      = ez,                  [R]
    EXCENTREMENT_FO   = ezfct                [fonction]

  ◇ COEF_RIGI_DRZ     = / kz,                [R]
                      / 1.E-10,              [défaut]
)

```

### 16.2 Caractéristiques affectables

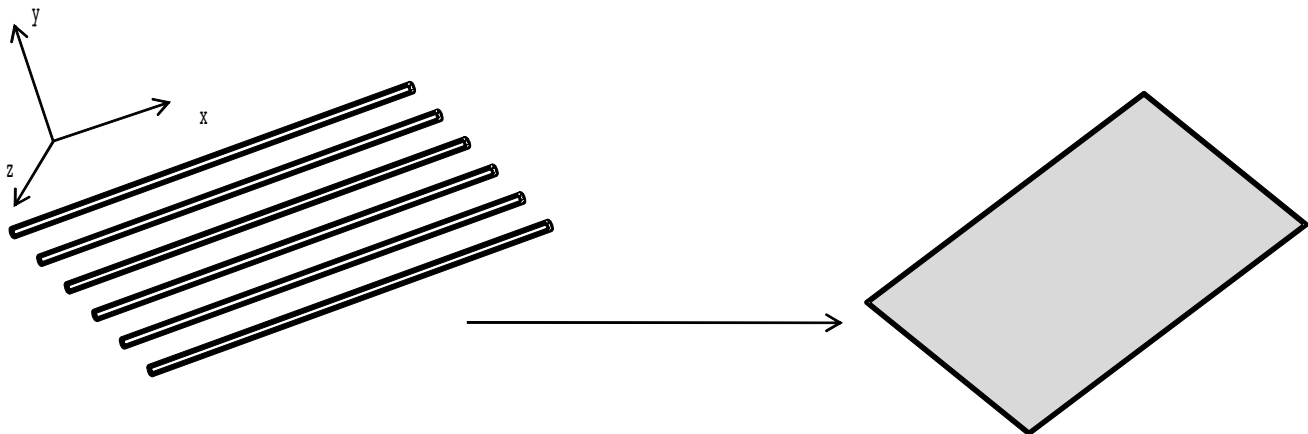


Figure 16.2-1: remplacement des armatures par une nappe équivalente

Permet de définir des caractéristiques d'une nappe caractérisée par une rigidité dans une seule direction, utilisée notamment pour modéliser des nappes d'armatures dans les coques en béton armé, (voir par exemple le test SSNS100 [V6.05.100]), affecté aux modélisations GRILLE\_EXCENTRE ou GRILLE\_MEMBRANE.

Pour décrire un « treillis » d'armatures, il suffit de superposer deux éléments GRILLE\_EXCENTRE ou GRILLE\_MEMBRANE dont les orientations (et donc les rigidités) sont orthogonales (voir exemple au paragraphe suivant).

### 16.3 Description des opérands

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

```

♦ SECTION           =  $S_1$ 
  SECTION_FO        = S1fct

```

SECTION : section des armatures dans la direction 1, par unité de longueur. Elle correspond donc à la section cumulée sur une largeur unité. S'il y a une section  $s$  tous les  $1/5$ ème d'unité, la section cumulée est  $5 \times s$ .

SECTION\_FO : fonction donnant la section des armatures dans la direction 1, par unité de longueur. Elle correspond donc à la section cumulée sur une largeur unité. Cette fonction dépend de la géométrie  $(X, Y, Z)$  et est évaluée au centre de gravité de la maille.



◇ EXCENTREMENT =  $e_z$   
EXCENTREMENT\_F0 = ezfct

EXCENTREMENT : valeur de 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\_EXCENTRE uniquement).

EXCENTREMENT\_F0 : fonction qui donne l'excentrement (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\_EXCENTRE uniquement). Cette fonction dépend de la géométrie (X,Y,Z) et est évaluée au centre de gravité de la maille.

◇ COEF\_RIGI\_DRZ = voir mot clé COQUE [§8].

◇ /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, etc.

/ AXE = (vx, vy, vz)

Tout comme ANGL\_REP, ce mot-clé permet de fixer le repère local de l'élément. La projection du vecteur renseigné via le mot-clé AXE définit le vecteur  $y$  local, alors que ANGL\_REP détermine le vecteur  $x$  local.

Par exemple, dans le cas d'une géométrie cylindrique, il permet de définir les directions des armatures de manière circonférentielle.

Pour définir une grille contenant des armatures dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, il faut créer deux 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 MEMBRANE

### 17.1 Syntaxe

```
MEMBRANE= _F (
  ♦ / MAILLE           = lma,                [l_maille]
    / GROUP_MA        = lgma,                [l_gr_maille]
  ◇ / ANGL_REP        = (  $\alpha$ ,  $\beta$  )      [l_R]
    / AXE              = (vx, vy, vz)        [l_R]
)
```

### 17.2 Caractéristiques affectables

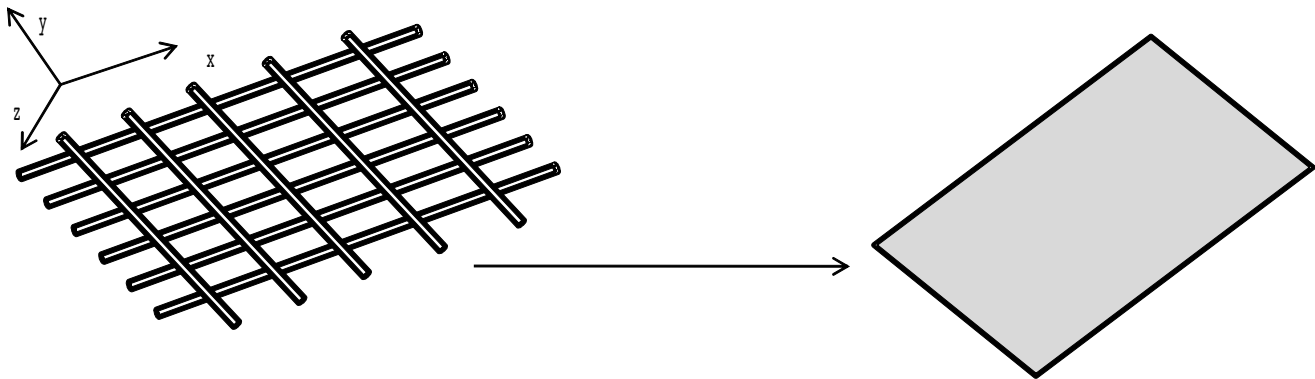


Figure 17.2-1: remplacement des armatures par une membrane

Permet de définir des caractéristiques d'une nappe anisotrope lorsque la modélisation MEMBRANE, est utilisée (voir par exemple le test `SSLS138` [V3.03.138]). Elle peut notamment être utilisée pour modéliser des nappes d'armatures élastiques dans les coques en béton armé. Cette modélisation peut être associée à des éléments d'interface pour modéliser la décohésion de cette nappe. La rigidité de cette membrane est renseignée sous `DEFI_MATERIAU/ELAS_MEMBRANE` (cf. [U4.43.01]).

### 17.3 Description des opérands

◇ / ANGL\_REP = voir mot clé COQUE [§8].

Ce mot clé définit le repère local lié au comportement anisotrope de la membrane, dans lequel sont calculées les déformations et les contraintes.

/ AXE = (vx, vy, vz)

Tout comme ANGL\_REP, ce mot-clé permet de fixer le repère local de l'élément. La projection du vecteur renseigné via le mot-clé AXE définit le vecteur  $y$  local, alors que ANGL\_REP détermine le vecteur  $x$  local.

Par exemple, dans le cas d'une géométrie cylindrique, il permet de définir l'orientation des membranes de manière circonférencielle.

## 18 Mot clé RIGI\_PARASOL

### 18.1 Syntaxe

```

RIGI_PARASOL = _F(
  # Mailles 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_D_L'|
            |'A_TR_D_N'|'A_T_D_N'|
            |'A_TR_D_L'|'A_T_D_L' [l_txm]
  ♦ VALE = l_val, [l_réel]
  ◇ REPERE = / 'LOCAL',
            / 'GLOBAL', [défaut]
  # Centre de gravite
  ♦ / GROUP_NO_CENTRE = gno, [group_no]
  / NOEUD_CENTRE = nd, [nœud]
  / COOR_CENTRE = l_xyz, [l_réel]
  # EuroPlexus
  ◇ EUROPLEXUS = / 'NON', [défaut]
                / 'OUI'
  # Unité de sortie
  ◇ UNITE = unit, [entier]
),

```

### 18.2 Caractéristiques affectables

Cette fonctionnalité correspond à une méthodologie utilisée 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.

Cette option est disponible en 3D et en 2D. Dans le cas 3D le radier sera modélisé par une surface, dans le cas 2D il sera modélisé par une ligne (test SSNL130 [V6.02.130]). Dans le cas 2D les discrets sont des '2D\_DIS\_TR' ou '2D\_DIS\_T'.

On doit affecter la modélisation 'DIS\_TR' ou 'DIS\_T' en 3D, sur le groupe de nœuds qui composent le radier. Les mailles qui composent le radier (appartenant aux groupes l\_gma) portent une modélisation de plaque (DKT, DST) ou une modélisation de face de 3D (test SDLS108 [V2.03.108]).

Il faut distinguer un groupe de mailles 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 AFFE\_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.

## 18.3 Description des opérands

### ◆ 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 définis par GROUP\_MA. Cela permet de déclarer les nœuds d'une fondation définie par des mailles 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.

### ◆ 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).

### ◆ CARA / VALE

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  $VALE = (k_x, k_y, k_z)$ .

◆ / GROUP\_NO\_CENTRE = gno  
/ NOEUD\_CENTRE = nd  
/ COOR\_CENTRE = l\_xyz

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).

### ◇ EUROPLEXUS

Si ce mot clef est OUI, Code\_Aster crée une structure de donnée exploitée par la macro commande CALC\_EUROPLEXUS. Pour plus de détail voir la documentation associée à Europlexus et le cas test PLEXU01A qui met en œuvre cette fonctionnalité.

### ◇ UNITE

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.

## 18.4 Principe de détermination des caractéristiques des éléments discrets

Le document [R4.05.01] " Réponse sismique par analyse transitoire " donne des informations théoriques sur la méthode employée.

En 3D, le radier est représenté 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 entre le sol et le radier : trois raideurs de translation  $K_x, K_y, K_z$  et trois raideurs de rotation  $Kr_x, Kr_y, Kr_z$ .

En chaque nœud du maillage du radier, Code\_Aster cherche les caractéristiques en raideur d'un élément discret de type K\_TR\_D\_N ( $k_x, k_y, k_z, kr_x, kr_y, kr_z$ ) cf. [R4.05.01].

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

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

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

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

Si le mot clef INFO = 2, les valeurs calculées ci-dessus sont écrites dans le fichier MESSAGE 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.

## 18.5 Exemple d'utilisation

### Exemple n°1

```

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

```

```
Exemple n°2 : INFO = 2
carelem=AFFE_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 de sortie :

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'),
```

## 19 Mot clé RIGI\_MISS\_3D

### 19.1 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]  
)
```

### 19.2 Caractéristiques affectables

L'utilisation de ce mot-clé est dédiée 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 degrés de liberté d'interface (3 fois le 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.

### 19.3 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 CALC\_MISS option FICHIER.

## 20 Mot clé MASS\_AJOU

### 20.1 Syntaxe

```
MASS_AJOU = _F (  
  ♦ GROUP_MA           = l_gma,           [l_group_ma]  
  ♦ GROUP_MA_POI1     = l_gma,           [l_group_ma]  
  ♦ FONC_GROUP        = l_fg,            [l_fonction]  
)
```

### 20.2 Caractéristiques affectables

L'objectif de ce mot-clé est de prendre en compte simplement la masse ajoutée de fluide dans les problèmes de barrages sans avoir à modéliser le fluide comme dans `MACRO_MATR_AJOU` et de ne conserver que la structure pour des études dynamiques non linéaires.

L'idée est donc, dans une nouvelle option de `AFPE_CARA_ELEM`, de répartir des caractéristiques de masse ponctuelle aux nœuds de l'interface fluide-structure du parement amont sans ajouter de degrés de liberté en dehors de la structure.

On s'inspire ainsi de la répartition de caractéristiques globales de rigidité ou amortissement par l'option `RIGI_PARASOL` de `AFPE_CARA_ELEM`.

Dans cette nouvelle option `MASS_AJOU`, on répartit aux nœuds de l'interface fluide-structure avec des caractéristiques 'M\_T\_N' des valeurs élémentaires de masse directionnelle obtenues par intégration de la pression normale à chaque élément à partir de fonctions de répartition de cette pression normale dépendant des coordonnées - en particulier de l'altitude - afin d'exprimer des relations de Westergaard par exemple ou plus simplement l'expression de la pression hydrostatique.

L'affectation de ces termes (modélisation 'DIS\_T' à déclarer dans `AFPE_MODELE`) se fait alors aux mailles ponctuelles `POI1` des nœuds de l'interface fluide-structure à l'aide du mot clé `GROUP_MA_POI1` du mot clé facteur `MASS_AJOU`.

Il faut distinguer ces mailles ponctuelles des groupes de mailles surfaciques pour l'interface fluide-structure, à déclarer derrière le mot clé `GROUP_MA`.

### 20.3 Description des opérandes

♦ `GROUP_MA`

Groupes de mailles surfaciques de l'interface fluide-structure.

♦ `GROUP_MA_POI1`

Groupe de mailles ponctuelles des nœuds de l'interface fluide-structure.

♦ `FONC_GROUP`

Liste de fonctions de répartition de cette pression normale dépendant des coordonnées. Il y a autant d'arguments dans cette liste qu'il y a de groupes de mailles qui composent l'interface fluide-structure (définis sous les mots-clés `GROUP_MA` ou `GROUP_MA_POI1`). Les fonctions doivent être homogènes à une densité surfacique de masse, soit une pression divisée par l'accélération de la pesanteur.