

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.2- : Maillage**  
**Document U4.23.04**

## Opérateur MODI\_MAILLAGE

---

### 1 But

---

Effectuer des modifications sur un maillage existant. Les possibilités de modifications sont :

- réorienter des mailles de bord servant à appliquer une pression,
- réorienter les mailles `HEXA8` de la modélisation `SHB8`,
- vérifier l'orientation des normales sur les éléments de coque,
- réorienter les mailles d'une mono-couche d'éléments de joint,
- réactualiser le maillage à partir d'une déformée calculée précédemment,
- transformer un maillage de plaque en maillage de tube, puis éventuellement de coude, (macro commande `MACR_ASCOUF_MAIL`),
- transformer un maillage d'équerre en maillage de piquage (`MACR_ASPIC_MAIL`),
- dans un maillage avec fond de fissure, déplacer les nœuds milieux des arêtes touchant le fond de fissure au quart de ces arêtes,
- translater un maillage,
- imposer une ou plusieurs rotations d'axes quelconques à un maillage,
- générer un maillage symétrique par rapport à un plan en 3D ou une droite en 2D.

Produit une structure de données de type `maillage` ou modifie la structure de données (opérateur réentrant).

## 2    Syntaxe

```

mailla [maillage] = MODI_MAILLAGE

(
  ♦ reuse = mailla,
  ♦ MAILLAGE = ma, [maillage]
  ♦ MODELE = mo, [modele]
  ♦ ORIE_FISSURE = _F ( ♦ GROUP_MA = l_gm [l_gr_ma]
                        ),
  ♦ ORIE_SHB8 = _F ( ♦ GROUP_MA = l_gm [l_gr_ma]
                    ),
  ♦ DEFORME= _F ( ♦ / OPTION = 'TRAN' ,
                  / OPTION = 'TRAN_APPUI',
                  ♦ GROUP_NO_APPUI = l_gno, [l_gr_no]
                  ♦ GROUP_NO_STRU = l_gno, [l_gr_no]
                  ♦ DEPL = depl, [cham_no_sdaster]
                ),
  ♦ ORIE_PEAU_2D = _F( ♦ GROUP_MA = lgrma) [l_gr_ma]
  ♦ ORIE_PEAU_3D = _F( ♦ GROUP_MA = lgrma) [l_gr_ma]
  ♦ ORIE_NORM_COQUE= _F( ♦ GROUP_MA = lgrma, [l_gr_ma]
                        ♦ VECT_NORM = (n1,n2,[n3]), [l_R]
                        ♦ / NOEUD = no, [noeud]
                        / GROUP_NO= grno, [gr_no]
                      ),
  ♦ MODI_MAILLE = _F( ♦ OPTION = 'NOEUD_QUART',
                     ♦ / | GROUP_MA_FOND= lgma_fo, [l_gr_ma]
                       | MAILLE_FOND = lma_fo, [l_maille]
                     / | GROUP_NO_FOND= l_gno_fo, [l_gr_no]
                       | NOEUD_FOND = lno_fo, [l_noeud]
                     ),
  ♦ / EQUÉ_PQUA = _F( ♦ GROUP_NO = equerre, [gr_no]
                     ♦ E_BASE = epaisseur, [R]
                     ♦ DEXT_BASE = diametre , [R]
                     ♦ L_BASE = longueur, [R]
                     ♦ L_CHANF = longueur, [R]
                     ♦ H_SOUD = hauteur, [R]
                     ♦ ANGL_SOUD = angle, [R]
                     ♦ JEU_SOUD = jeu , [R]
                     ♦ E_CORP = epaisseur, [R]
                     ♦ DEXT_CORP = diameter, [R]
                     ♦ AZIMUT = angle, [R]
                     ♦ X_MAX = longueur, [R]
                     ♦ RAFF_MAIL = raff, [Txm]
                     ♦ TYPE = /'TYPE_1' , [Txm]
                               /'TYPE_2' ,
                  ),

```

Titre :           Opérateur MODI\_MALLAGE  
Auteur(s) :    X.DESROCHES

Date :        28/09/06  
Clé :    U4.23.04-F1 Page :   3/14

```

/      | PLAQ_TUBE   = _F(  ♦ DEXT           = De,           [R]
                           ♦ EPAIS          = e,             [R]
                           ◇ AZIMUT         = / q,           [R]
                                           / 90.,           [DEFAULT]
                           ♦ L_TUBE_P1      = l_tube_p1, [R]
                           ◇ COUTURE        = / 'OUI', [DEFAULT]
                                           / 'NON',
                           ),
      | TUBE_COUDE   = _F(  ♦ ANGLE          = α,             [R]
                           ♦ R_CINTR        = Rc,            [R]
                           ♦ L_TUBE_P1      = l_tube_p1, [R]
                           ),

◇ TRANSLATION      = (n1,n2,[n3]), [1_R]

◇ ROTATION   =_F(  ♦ POIN_1 = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  ♦ / POIN_2 = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  / DIR      = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  ♦ ANGL     = / a,         [R]
                                           / 0.,         [DEFAULT]
                  ),

◇ ECHELLE        = n1, [R]

◇ MODI_BASE =_F(  ♦ VECT_X = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  ◇ VECT_Y = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  ),

◇ SYMETRIE   =_F(  ♦ POINT  = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  ♦ / AXE_1  = (n1,n2,[n3]), [1_R]
                  ◇ / AXE_2  = (n1,n2,n3), [1_R]
                  ),

◇ INFO = / 1, [DEFAULT]
        / 2,
)

```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande MAILLAGE

- ♦ MAILLAGE = ma ,  
Maillage de type [maillage] sur lequel vont porter les modifications et/ou vérifications.

### 3.2 Opérande MODELE

- ◇ MODELE = mo ,  
Concept produit par AFFE\_MODELE [U4.41.09] où sont définis les types d'éléments finis affectés sur le maillage. Cet opérande est obligatoire pour les mots clés ORIE\_XXXX\_XXXX.

### 3.3 Opérande INFO

- ◇ INFO =  
Indique le niveau d'impression des résultats de l'opérateur,
  - 1 = aucune impression,
  - 2 = impression des mailles dont la connectivité a été modifiée, y compris l'impression des anciennes et nouvelles connectivités.

Les impressions se font dans le fichier 'MESSAGE'.

### 3.4 Mot-clé ORIE\_FISSURE

- ◇ ORIE\_FISSURE =  
Ce mot clé sert à réorienter (si nécessaire) les mailles d'un groupe formant une "monocouche" d'éléments. Il fonctionne en 2D et en 3D [Figure 3.4-a].

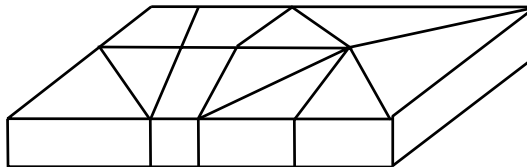


Figure 3.4-a

Actuellement, ce mot clé ne sert qu'en 2D pour réorienter les éléments de joint (modélisations AXIS\_FISSURE et PLAN\_FISSURE).

L'utilisateur précise (avec le mot clé GROUP\_MA) quelles sont les mailles candidates à la réorientation (la "monocouche").

Ces mailles doivent être des "prismes" (QUAD en 2D, HEXA et PENTA en 3D).

La direction "transverse" à la couche est déterminée de façon topologique (et non selon un critère d'aplatissement) : les facettes connectant les éléments de la couche sont déclarées "transverses". Cet algorithme impose que la couche soit formée de **plusieurs** mailles contiguës.

#### Remarque :

La "réorientation" dont on parle ici consiste en réalité à modifier la définition de la connectivité des mailles. Par exemple, en 2D, la convention est que les côtés 2 et 4 des quadrangles sont transverses à la couche.

- ♦ GROUP\_MA= l\_gm ,  
Liste des groupes de mailles dont on souhaite la vérification (et éventuellement modification) de l'orientation.

### 3.5 Mot-clé ORIE\_SHB8

◇ ORIE\_SHB8 =

Ce mot-clé facteur a pour but de réorienter correctement les mailles HEXA8 des éléments finis SHB8 .

La connectivité des mailles est donc éventuellement modifiée par cet opérateur.

◆ GROUP\_MA= l\_gm,

Liste des groupes de mailles dont on souhaite la modification de l'orientation.

### 3.6 Mot-clé DEFORMEE

◇ DEFORME

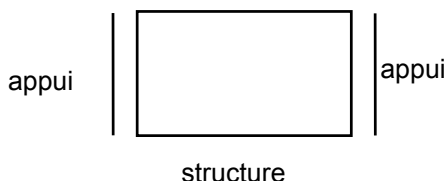
/ OPTION = 'TRAN'

Option permettant d'ajouter à la géométrie initiale du maillage *ma* les valeurs de TRANslation (dx, dy (+ dz en 3D)) du champ de déplacement *depl* donné par le mot-clé DEPL.

/ OPTION = 'TRAN\_APPUI'

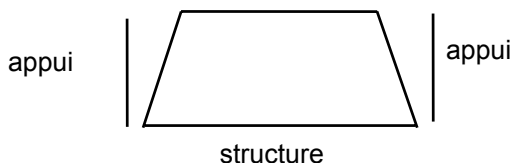
Option permettant en plus de 'TRAN' de réactualiser la position des appuis en tenant compte de la déformée de la structure. Plus précisément :

Maillage initial :



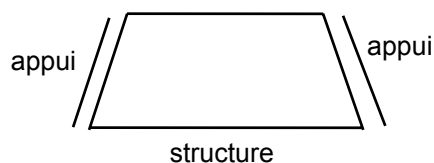
Les appuis sont bloqués pour le calcul mécanique, seule la structure se déforme :

Déformée



On réactualise les appuis en ajoutant à leurs coordonnées le déplacement des nœuds de la structure qui leur sont en vis-à-vis. Ceci donne alors :

Réactualisation



Le maillage en sortie de `MODI_MALLAGE` prend en compte la déformée de la structure et la réactualisation des appuis comme expliqué ci-dessus

- ◆ `GROUP_NO_STRU = lgrno ,`
- ◆ `GROUP_NO_APPUI = lgrno ,`

Ces mots-clés obligatoires permettent de renseigner les groupes de nœuds structure et appui dont les nœuds doivent être en vis-à-vis (pour le contact).

- ◆ `DEPL = depl ,`

Champ de déplacement servant à réactualiser la géométrie

### 3.7 Mots-clés `ORIE_PEAU_2D` / `ORIE_PEAU_3D`

- ◇ `ORIE_PEAU_2D =`
- ◇ `ORIE_PEAU_3D =`

Ces mots-clés servent à réorienter des mailles de bord servant à appliquer une pression en 2D et 3D.

- ◆ `GROUP_MA = lgrma, [l_gr_ma]`

Groupes de mailles à réorienter.

Les mailles sont orientées de telle façon que la normale soit sortante. Pour chaque maille de bord (arête ou face), on cherche la maille volumique qui lui correspond. On l'oriente de telle façon que sa normale soit de sens opposé au vecteur reliant son premier nœud au barycentre de la maille.

Le mot-clé `MODELE` est obligatoire avec ces mots-clés.

### 3.8 Mot-clé `ORIE_NORM_COQUE`

- ◇ `ORIE_NORM_COQUE =`

Ce mot-clé sert à vérifier que dans un groupe de mailles surfaciques (coques), les normales sont de même sens (du moins pour les composantes convexes). Dans le cas contraire, les mailles sont réorientées suivant le sens de la première trouvée.

- ◆ `GROUP_MA = lgrma, [l_gr_ma]`

Groupes de mailles surfaciques à réorienter.

On peut imposer un sens à l'aide du mot-clé :

- ◇ `VECT_NORM = (n1, n2, [n3]), [l_R]`

$n_i$  : 2 ou 3 composantes (selon la dimension) du vecteur normal. Il faut également préciser le nœud support de cette normale :

- ◆ `/ NOEUD = noeud, [noeud]`  
`/ GROUP_NO = grno, [gr_no]`

Le mot-clé `MODELE` est obligatoire avec `ORIE_NORM_COQUE`.

## 3.9 Mot-clé MODI\_MAILLE

♦   OPTION = 'NOEUD\_QUART' ,

Active le déplacement des nœuds milieux des arêtes touchant le fond de fissure au quart de ces arêtes (vers le fond de fissure).

```

♦   /   |   GROUP_MA_FOND = lgr_ma ,   [l_gr_ma]
      |   MAILLE_FOND   = lma_fo ,   [l_maille]
      /   |   GROUP_NO_FOND = lgr_no ,   [l_gr_no]
      |   NOEUD_FOND    = lno_fo ,   [l_noeud]
  
```

En 2D, on rentre le nœud du fond de fissure (par NOEUD\_FOND ou GROUP\_NO\_FOND).

En 3D, on rentre soit les nœuds du fond de fissure, soit les mailles SEG3 du fond de fissure (et non pas les mailles des lèvres de la fissure ou des mailles de matière adossées au fond).

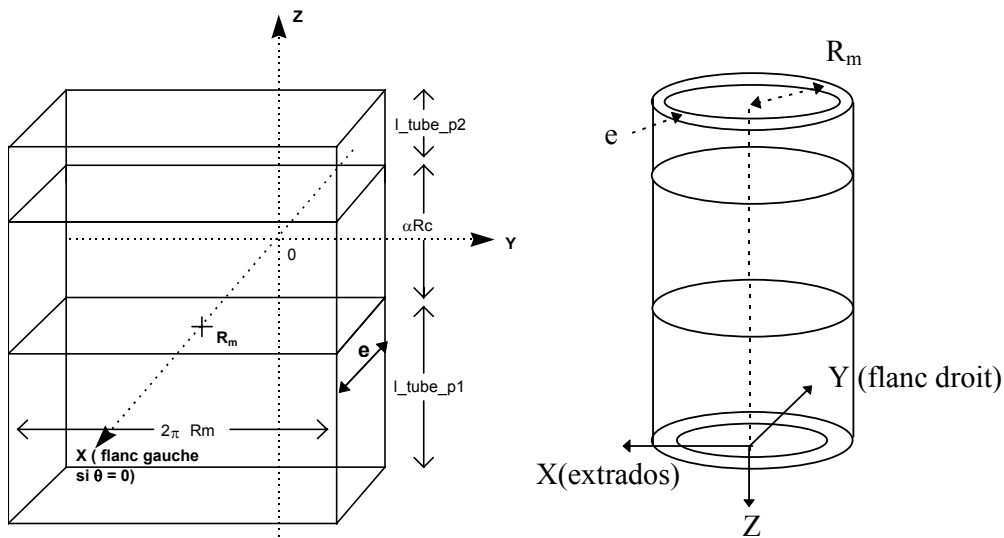
## 3.10 Mot-clé PLAQ\_TUBE

### Attention

| Cette fonctionnalité est appelée par la macro-commande MACR\_ASCOUF\_MAIL.

/   | PLAQ\_TUBE =

Mot clé facteur pour la transformation du maillage d'une plaque d'épaisseur  $e$  et de largeur  $2\pi R_m$  en un maillage de tube par enroulement autour de l'axe (Z), rotation d'un angle  $\theta$  donné autour de l'axe (Z) et changement de repère :



♦   DEXT = De ,

Diamètre extérieur du tube  $(2R_m + e)$ .

♦   EPAIS = e ,

Epaisseur du tube ou de la plaque.

♦   AZIMUT = α ,

Angle de rotation en degrés (compté positivement à partir de l'extrados jusqu'à l'intrados en passant par le flanc gauche) appliqué au tube à partir de l'enroulement initial (utile au positionnement d'une fissure définie sur la plaque). L'angle  $\theta = 90^\circ$  correspond à une fissure située au centre de la plaque et par conséquent sur le flanc gauche du tube.

♦  $L\_TUBE\_P1 = l\_tube\_p1,$

Longueur de l'embout inférieur (intervient dans le changement de repère). Il est recommandé de prendre un embout de longueur supérieure à la longueur d'amortissement de l'onde de

flexion se propageant depuis la partie coude et valant  $L_{amor} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_m^3}{e}}.$

◇ COUTURE = / 'OUI', [DEFAULT]  
/ 'NON',

Dans le cas d'un maillage d'un quart de structure (mot-clé SYME de MACR\_ASCOUF\_MAIL pour un maillage avec une seule sous-épaisseur), ce mot-clé COUTURE sert à empêcher le recollement ('NON') lors de la transformation en tube.

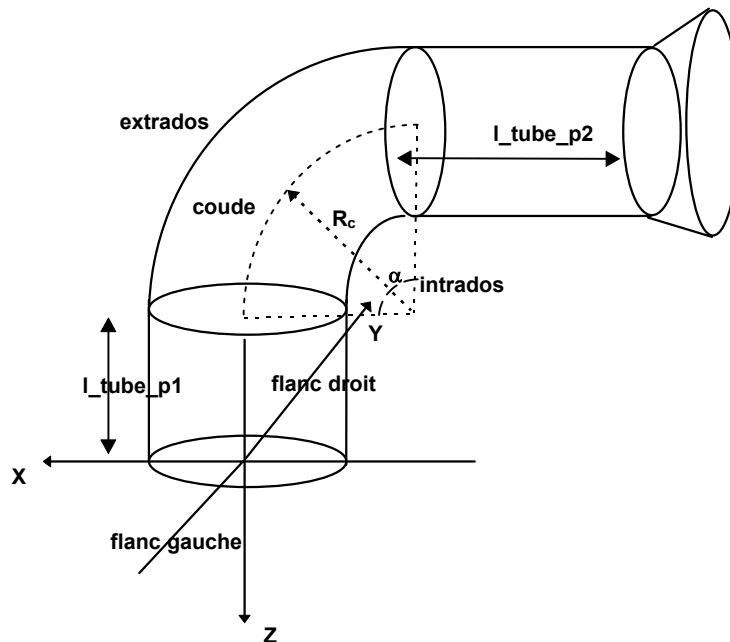
## 3.11 Mot-clé TUBE\_COUDE

### Attention

| Cette fonctionnalité est appelée par la macro-commande MACR\_ASCOUF\_MAIL.

| TUBE\_COUDE =

Mot clé facteur pour la transformation du maillage de tube en un maillage de coude.



♦  $ANGLE = \alpha,$

Angle en degrés du coude.

♦  $R\_CINTR = R_c,$

Valeur du rayon de cintrage du coude.

♦  $L\_TUBE\_P1 = l\_tube\_p1,$

Longueur de l'embout inférieur du tube (intervient dans le changement de repère). Il est recommandé de prendre un embout de longueur supérieure à la longueur d'amortissement de

l'onde de flexion se propageant depuis la partie coude et valant  $L_{amor} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_m^3}{e}}.$



## 3.12 Mot-clé EQUE\_PIQUA

### Attention

| Cette fonctionnalité est appelée par la macro-commande `MACR_ASPIC_MAIL`.

◇ `EQUE_PIQUA` =

Mot clé facteur pour la transformation du maillage d'équerre épaisse en un maillage de piquage.

◆ `GROUP_NO` = `equerre`, [gr\_no]

Groupe de nœuds subissant la transformation.

◆ `E_BASE` = `epaisseur`, [R]

Valeur de l'épaisseur de la tubulure dans la zone de raccord avec le corps.

◆ `DEXT_BASE` = `diametre`, [R]

Valeur du diamètre extérieur de la tubulure dans la zone de raccord avec le corps.

◆ `L_BASE` = `longueur`, [R]

Valeur de la longueur de la base de la tubulure comptée à partir de la surface extérieure du corps.

◆ `L_CHANF` = `longueur`, [R]

Valeur de la longueur du chanfrein.

◆ `H_SOUD` = `hauteur`, [R]

Valeur de la hauteur de la soudure comptée à partir de la surface extérieure du corps.

◆ `ANGL_SOUD` = `angle`, [R]

Valeur de l'angle de la soudure **en degrés**.

◆ `JEU_SOUD` = `jeu`, [R]

Valeur de l'espace situé entre le corps et la tubulure représentant le jeu de la soudure.

◆ `E_CORP` = `epaisseur`, [R]

Valeur de l'épaisseur du corps.

◆ `DEXT_CORP` = `diameter`, [R]

Valeur du diamètre extérieur de la tubulure au dessus du chanfrein.

◆ `AZIMUT` = `angle`, [R]

Position du centre de la fissure, comptée positivement à partir de l'axe X du corps.

◆ `X_MAX` = `longueur`, [R]

Valeur de la longueur du corps de part et d'autre de l'origine du repère précisant la localisation du torseur d'effort. Cette valeur doit correspondre à la valeur calculée avec une précision relative de un millièm.

◆ `RAFF_MAIL` = / 'GROS',  
/ 'FIN',

Sert à indiquer si on veut un maillage grossier ou fin autour de la fissure.

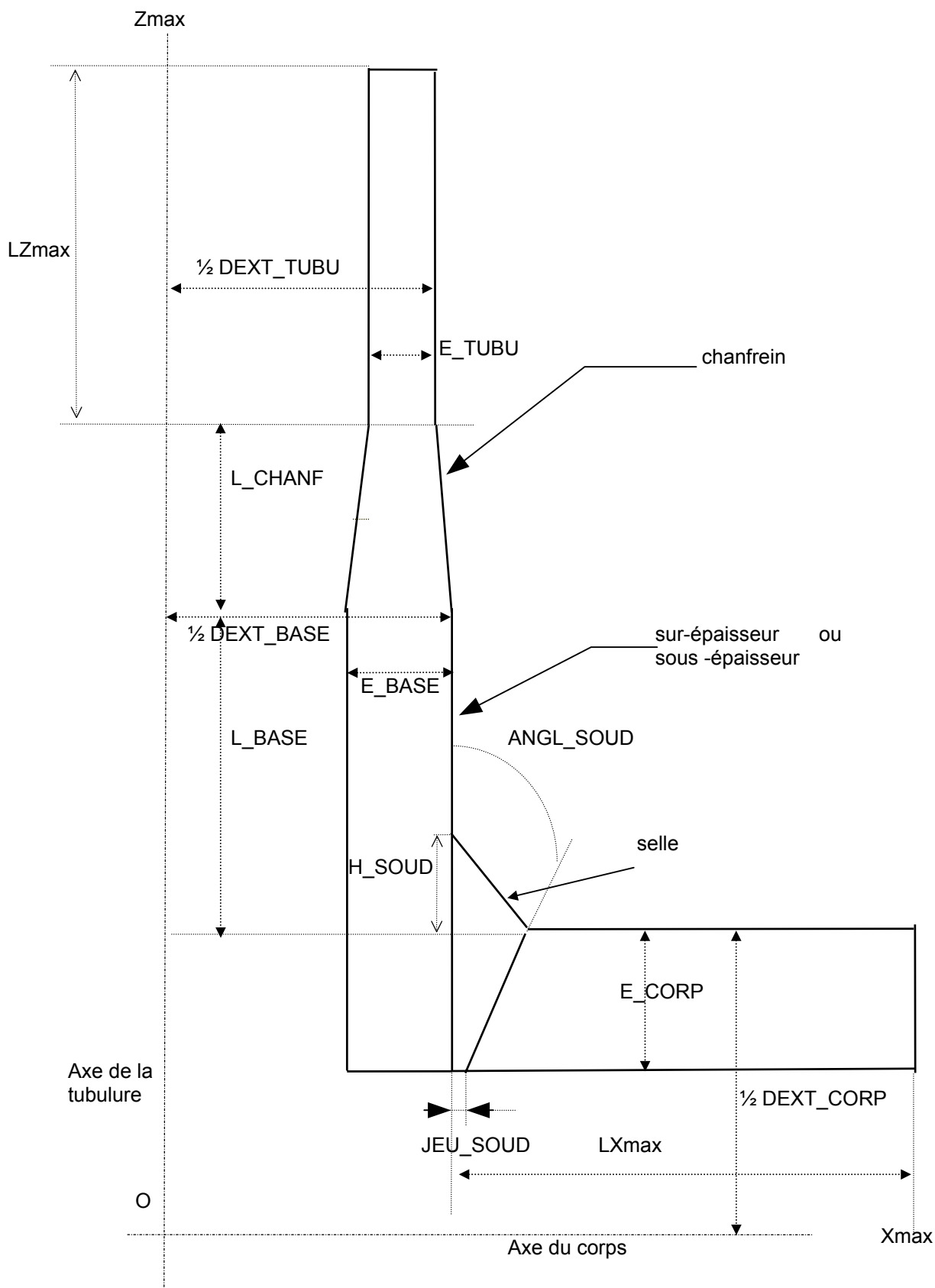
Les cotes maximales du corps ( $X_{\max}$ ) et de la tubulure ( $Z_{\max}$ ) sont calculées à partir des maximum des deux longueurs d'amortissement  $\text{Max}\left(\frac{3}{2}\sqrt{\frac{R_m^3}{e}}, 3\sqrt{R_m \times e}\right)$  notées respectivement  $LX_{\max}$  et  $LZ_{\max}$ . Ces longueurs d'amortissement sont comptées à partir du pied de soudure (suivant  $X$ ) et au dessus du chanfrein (suivant  $Z$ ).

Dans la tubulure, on prendra pour  $LZ_{\max}$  le maximum des maxima calculés avec le  $R_m$  et le  $e$  correspondant respectivement à la base de la tubulure ou à la partie courante de la tubulure, au dessus du chanfrein.

On obtient donc :

$$X_{\max} = LX_{\max} + 1 / 2_{\text{DEXT\_BASE}}$$

$$Z_{\max} = LZ_{\max} + 1 / 2_{\text{DEXT\_CORP}} + L_{\text{BASE}} + L_{\text{CHANF}}$$



Description des différents paramètres géométriques du piquage avec une soudure de type 1

- ◆ TYPE = / 'TYPE\_1' , [Txm]  
         / 'TYPE\_2' ,  
Définit la position de la soudure, cf. [U4.PC.10].  
/ 'TYPE\_1'        le biseau de la soudure est situé dans le corps  
/ 'TYPE\_2'        le biseau de la soudure est situé dans la tubulure

## 3.13 Mot-clé TRANSLATION

### Attention

*On peut combiner cette fonctionnalité avec ROTATION, mais ces opérations ne sont pas commutatives.  
On ne peut pas combiner cette fonctionnalité avec SYMETRIE.*

- ◇ TRANSLATION = (n1, n2, [n3]), [1\_R]  
Mot clé simple pour la translation d'un maillage suivant un vecteur.

## 3.14 Mot-clé ROTATION

### Attention

*On peut combiner cette fonctionnalité avec TRANSLATION, mais ces opérations ne sont pas commutatives. En revanche, il n'est pas autorisé d'utiliser ROTATION, MODI\_BASE et SYMETRIE en même temps.*

- ◇ ROTATION =  
Mot clé facteur pour la rotation d'axe quelconque d'un maillage.
- ◆ POIN\_1 = (ni, n2, [n3]), [1\_R]  
Coordonnées du premier point pour définir l'axe de rotation.
- ◆ / POIN\_2 = (ni, n2, [n3]), [1\_R]  
/ DIR = (ni, n2, [n3]), [1\_R]  
Coordonnées du deuxième point ou direction pour définir complètement l'axe de rotation.
- ◆ ANGL = a, [R]  
Angle de rotation exprimé en degrés.

La rotation se fait dans le sens direct, par rapport à son axe orienté. Cet axe passe par le point POIN\_1 et son orientation est donnée, soit par le vecteur DIR, soit par le vecteur d'origine POIN\_1 et d'extrémité POIN\_2.

La rotation est définie par :

Soit  $\mathbf{M}(x,y,z)$  un point de l'espace, on lui impose une rotation d'angle  $\alpha$  (en radians) dont l'axe passe par  $\mathbf{P}(px,py,pz)$  et a pour direction  $\mathbf{D}(dx,dy,dz)$ . Alors  $\mathbf{M}$  devient  $\mathbf{M}'$  après la rotation :

$$\mathbf{M}' = \mathbf{P} + \cos \alpha \cdot \mathbf{PM} + (1 - \cos \alpha) \cdot (\mathbf{PM} \cdot \mathbf{D}) \cdot \mathbf{D} + \sin \alpha \cdot (\mathbf{D} \wedge \mathbf{PM})$$

### 3.15 Mot-clé ECHELLE

**Attention**

*Cette fonctionnalité est utilisable avec TRANSLATION et ROTATION avec lesquels elle commute.  
On ne peut pas combiner cette fonctionnalité avec SYMETRIE.*

◇ ECHELLE = n1, [R]

Mot clé simple pour la mise à l'échelle d'un maillage suivant un réel.

Soit  $M(x,y,z)$  un point du maillage, il deviendra, par cette transformation de rapport  $n1$  :  $M'(n1.x, n1.y, n1.z)$ .

### 3.16 Mot-clé MODI\_BASE

**Attention**

*Cette fonctionnalité n'est pas autorisée avec ROTATION et SYMETRIE.*

◇ MODI\_BASE =

Mot clé facteur pour le changement de base dans lequel on exprime les coordonnées d'un maillage.

◆ VECT\_X = (n1, n2, [n3]), [l\_R]

Coordonnées du premier vecteur de la nouvelle base, de norme quelconque.

◇ VECT\_Y = (n1, n2, [n3]), [l\_R]

Coordonnées du deuxième vecteur de la nouvelle base (non utilisé en 2D), aussi de norme quelconque.

En 2D, il suffit de donner l'axe VECT\_X, et le *Code\_Aster* construit automatiquement le deuxième vecteur pour définir une base orthogonale directe. Un test vérifie si VECT\_X est de norme non nulle.

En 3D, on vérifie que VECT\_X et VECT\_Y sont de norme non nulle et on vérifie qu'ils sont orthogonaux. Le troisième vecteur qui complète la base est construit comme étant le produit vectoriel de VECT\_X avec VECT\_Y. On s'assure ainsi la construction d'une base orthogonale directe.

Ensuite, dans tous les cas (2D et 3D), les vecteurs de la base sont normés à 1, l'utilisateur n'a donc pas à s'en soucier. On a donc finalement une base orthonormée directe.

En 3D, on attend donc la donnée de VECT\_X et VECT\_Y, les deux premiers vecteurs de la nouvelle base. Ensuite le changement de base se définit comme :

$$\mathbf{VECT\_Z}(x,y,z) = \mathbf{VECT\_X}(x,y,z) \wedge \mathbf{VECT\_Y}(x,y,z)$$

$$\Rightarrow \mathbf{B} = (\mathbf{VECT\_X}, \mathbf{VECT\_Y}, \mathbf{VECT\_Z}) : \text{matrice formée par les vecteurs de base}$$

$$\mathbf{M}(\mathbf{VECT\_X}, \mathbf{VECT\_Y}, \mathbf{VECT\_Z}) = \mathbf{B}^T \mathbf{M}(x,y,z)$$

### 3.17 Mot-clé SYMETRIE

**Attention**

*On ne peut pas combiner cette fonctionnalité avec TRANSLATION, ROTATION, ECHELLE et MODI\_BASE.*

- ♦ POINT = (n1, n2, [n3]) [1\_R]  
Coordonnées d'un point appartenant à la droite en 2D ou au plan en 3D.
- ♦ AXE\_1 = (n1, n2, [n3]) [1\_R]  
Vecteur directeur de la droite en 2D ou 1<sup>er</sup> vecteur permettant de décrire le plan.
- ♦ AXE\_2 = (n1, n2, n3) [1\_R]  
2<sup>nd</sup> vecteur permettant de décrire le plan.

En 2D, la symétrie se fait par rapport à une droite, qui est dans le plan OXY. Pour définir cette droite il faut donner le vecteur directeur de la droite (AXE\_1) et un point (POINT) appartenant à cette droite. En 3D, la symétrie se fait par rapport à un plan. Pour définir ce plan, il faut donner 2 vecteurs du plan (AXE\_1, AXE\_2) et un point (POINT) appartenant à ce plan.

Dans tous les cas (2D ou 3D), la symétrie est réalisée par rapport à un plan. En 2D, le 2<sup>nd</sup> vecteur nécessaire à la définition du plan est fixé à AXE\_2 = (0.0, 0.0, -1.0).

La distance algébrique  $\delta$  entre un point  $\mathbf{M}(x,y,z)$  et un plan passant par le point  $\mathbf{Mo}(x_0,y_0,z_0)$  avec pour vecteur perpendiculaire  $\mathbf{V} = \mathbf{AXE\_1} \wedge \mathbf{AXE\_2} = (a,b,c)$  est :

$$\delta = \frac{a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0)}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

Les coordonnées du point  $\mathbf{M'}$  symétrique du point  $\mathbf{M}$  par rapport au plan sont données par :

$$\mathbf{OM'} = -2\delta \cdot \frac{\mathbf{V}}{\|\mathbf{V}\|} + \mathbf{OM}$$

## 4 Phase de vérification / exécution

Aucune vérification supplémentaire.

On vérifie l'existence des groupes de mailles à réorienter dans le maillage.