

**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 `SHB`,
- 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,
- tradater 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_MALLAGE

( ♦ reuse      = mailla,
  ♦ MALLAGE    = ma,                                     [maillage]

  ◇ ORIE_FISSURE = _F ( ♦ GROUP_MA = l_gm             [l_gr_ma]
                        ),

  ◇ ORIE_SHB     = _F ( ♦ GROUP_MA = l_gm             [l_gr_ma]
                        ),
  ◇ DEFORME      = _F ( ♦ / OPTION      = 'TRAN' ,
                        / OPTION      = 'TRAN_APPUI',
                        ♦ GROUP_NO_APPUI = lgno, [l_gr_no]
                        ♦ GROUP_NO_STRU  = lgno, [l_gr_no]
                        ♦ DEPL           = depl, [cham_no]
                        ),

  ◇ ORIE_PEAU_2D = _F ( ♦ GROUP_MA      = lgrma,       [l_gr_ma]
                        ◇ GROUP_MA_SURF= l_gms),       [l_gr_ma]

  ◇ ORIE_PEAU_3D = _F ( ♦ GROUP_MA      = lgrma,       [l_gr_ma]
                        ◇ GROUP_MA_VOLU= l_gmv),       [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]
                        ),

  ◇ ORIE_LIGNE=_F( ♦ GROUP_MA      = lgrma,       [l_gr_ma]
                   ◇ VECT_TANG    = (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= lgno_fo, [l_gr_no]
                       | NOEUD_FOND   = lno_fo, [l_noeud]
                       ),
```

```

    ◇ / EQUE_PIQUA = _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]
        ◇ EXT_CORP = diameter, [R]
        ◇ AZIMUT = angle, [R]
        ◇ X_MAX = longueur, [R]
        ◇ RAFF_MAIL = raff, [Txm]
        ◇ TYPE = //TYPE_1', [Txm]
        //TYPE_2',
    ),
    / | 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 =  $\alpha$  [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 MALLAGE

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

3.2 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'.

3.3 Mot-clé ORIE_FISSURE

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

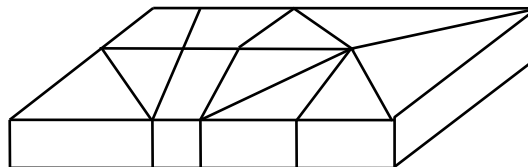


Figure 3.4-a

Actuellement, ce mot clé sert à réorienter les éléments de joint (modélisations `AXIS_JOINT`, `PLAN_JOIN` et `3D_JOINT`).

L'utilisateur précise (avec le mot clé `GROUP_MA`) quelles sont les mailles candidates à la réorientation (la "mono couche").

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.

3.4 Mot-clé ORIE_SHB

◇ ORIE_SHB =

Ce mot-clé facteur a pour but de réorienter correctement les mailles volumiques des éléments finis SHB. Il faut modifier la numérotation locale des nœuds des mailles pour pouvoir reconnaître la direction de la normale à la coque.

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.

3.5 Mot-clé DEFORMEE

◇ DEFORME

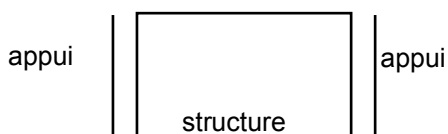
/ OPTION = 'TRAN'

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'

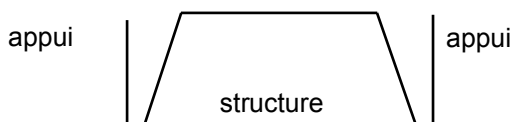
Option permettant en plus de 'TRAN' de réactualiser la position des appuis en tenant compte de la déformée de la structure. Plus précisément :

Maillage initial :



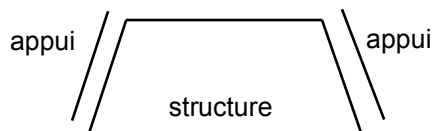
Les appuis sont bloqués pour le calcul mécanique, seule la structure se déforme :

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

3.6 Mots-clés ORIE_PEAU_2D / ORIE_PEAU_3D

- ◇ ORIE_PEAU_2D =
- ◇ ORIE_PEAU_3D =

Ces mots-clés servent à réorienter des mailles de bord de façon à ce que leurs normales soient cohérentes (vers l'extérieur de la matière). C'est un préalable indispensable si, par exemple, on veut appliquer un chargement de pression sur cette « peau ».

- ◆ 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 » qu'elle « borde ». On l'oriente de telle façon que sa normale soit de sens opposé au vecteur reliant son premier nœud au barycentre de la maille volumique.

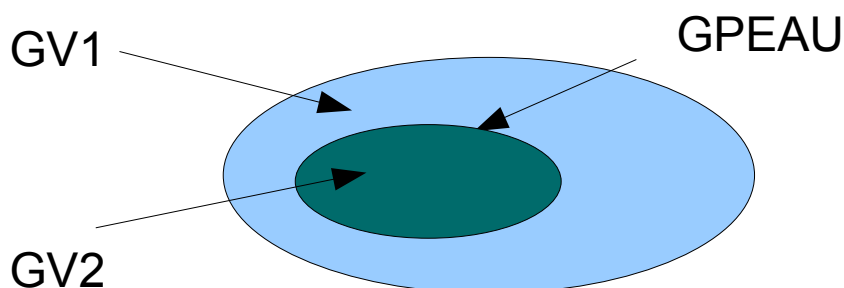
Il arrive parfois que la « peau » que l'on souhaite orienter soit insérée dans la matière (par exemple, quand on fait un calcul pour lequel, des mailles sont progressivement ajoutées ou retirées du modèle : modélisation d'une excavation, ou d'une construction par couches). L'algorithme d'orientation décrit ci-dessus échoue alors car on trouve en général 2 mailles volumiques de part et d'autre de la maille de peau. On ne sait pas alors laquelle utiliser pour orienter la maille de peau.

Pour cela, on a introduit le mots clé facultatif GROUP_MA_VOLU (ou GROUP_MA_SURF dans le cas 2D). Ces mots clés permettent à l'utilisateur de préciser quelles sont les mailles « volumiques » à utiliser pour orienter les mailles de peau.

Exemple :

Soit 1 groupe de maille de peau (GPEAU) que l'on veut orienter avec une normale dirigée vers l'extérieur. Il faut indiquer qu'il est la peau du groupe de mailles "volumiques" GV2.
On écrira :

```
ORIE_PEAU_2D=_F(GROUP_MA='GPEAU', GROUP_MA_SURF='GV2'),
```



3.7 Mot-clé ORIE_NORM_COQUE

◇ `ORIE_NORM_COQUE = _F(`

Ce mot-clé sert à vérifier que dans une liste de mailles surfaciques (coques), les normales sont cohérentes entre elles. Dans le cas contraire, certaines mailles sont réorientées.

◆ `GROUP_MA = lgrma, [l_gr_ma]`

Groupes de mailles surfaciques à réorienter. Les mailles de `lgrma` doivent former un groupe "connexe" pour que l'on puisse les réorienter par continuité.

On peut imposer le sens de l'orientation à l'aide des mots-clé `NOEUD/GROUP_NO/VECT_NORM`. Si on ne le fait pas, l'orientation retenue sera celle de la 1ère maille de `lgrma`, mais ce n'est pas forcément la 1ère maille du 1er `GROUP_MA` ! Il est donc conseillé de toujours utiliser le mot clé `VECT_NORM`.

◇ `VECT_NORM = (n1, n2, [n3]), [l_R]`

`ni` : 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]`

`grno` doit être une `GROUP_NO` ne contenant qu'un seul nœud.

La normale choisie sera celle qui fait un angle aigu avec le vecteur donné par `VECT_NORM`.

3.8 Mot-clé ORIE_LIGNE

◇ `ORIE_LIGNE = _F(`

Ce mot-clé sert à vérifier que dans une liste de mailles linéiques (poutres), les tangentes sont cohérentes entre elles. Dans le cas contraire, certaines mailles sont réorientées.

◆ `GROUP_MA = lgrma, [l_gr_ma]`

Groupes de mailles linéiques à réorienter. Les mailles de `lgrma` doivent former un groupe "connexe" pour que l'on puisse les réorienter par continuité.

On peut imposer le sens de l'orientation à l'aide des mots-clé `NOEUD/GROUP_NO/VECT_TANG`. Si on ne le fait pas, l'orientation retenue sera celle de la 1ère maille de `lgrma`, mais ce n'est pas forcément la 1ère maille du 1er `GROUP_MA` ! Il est donc conseillé de toujours utiliser le mot clé `VECT_TANG`.

◇ `VECT_TANG = (n1, n2, [n3]), [l_R]`

`ni` : 2 ou 3 composantes (selon la dimension) du vecteur tangent. Il faut également préciser le nœud support de cette normale :

◇ `/ NOEUD = noeud, [noeud]`
◇ `/ GROUP_NO = grno, [gr_no]`

`grno` doit être une `GROUP_NO` ne contenant qu'un seul nœud.

La tangente choisie sera celle qui fait un angle aigu avec le vecteur donné par `VECT_TANG`.

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).

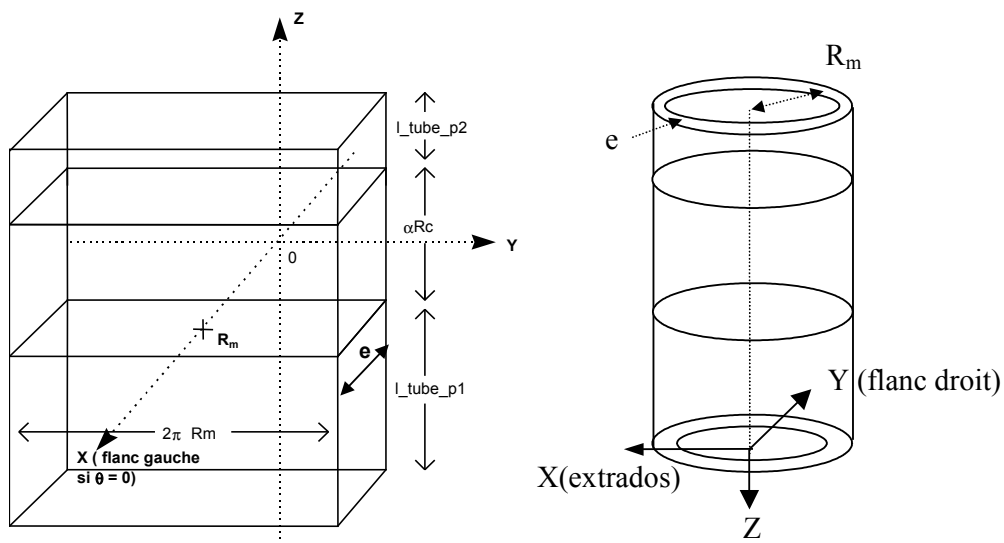
3.10 Mot-clé PLAQ_TUBE

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 α donné autour de l'axe (Z) et changement de repère :



- ◆ DEXT = e ,
Diamètre extérieur du tube $(2 R_m + e)$.

- ◆ EPAIS = e ,
Épaisseur 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 $\alpha = 90^\circ$ correspond à une fissure située au centre de la plaque et par conséquent sur le flanc gauche du tube.

- ◆ L_TUBE_P1 = $l_{\text{tube_p1}}$,
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 $L_{\text{amor}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_m^3}{e}}$.

- ◇ 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.

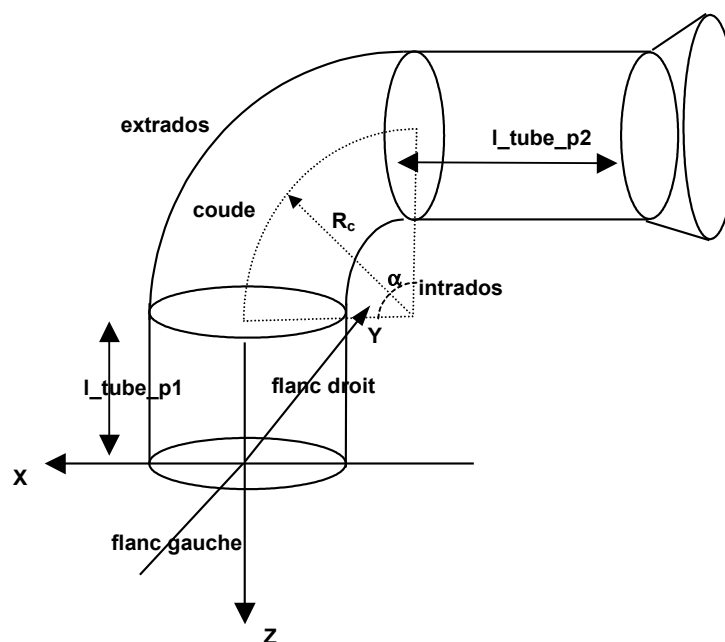
3.11 Mot-clé TUBE_COUDE

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` = □

Angle en degrés du coude.

♦ `R_CINTR` = R_c ,

Valeur du rayon de cintrage du coude.

♦ `L_TUBE_P1` = $l_{\text{tube_p1}}$,

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 millième.

◆ `RAFF_MAIL` = / 'GROS',
/ 'FIN',

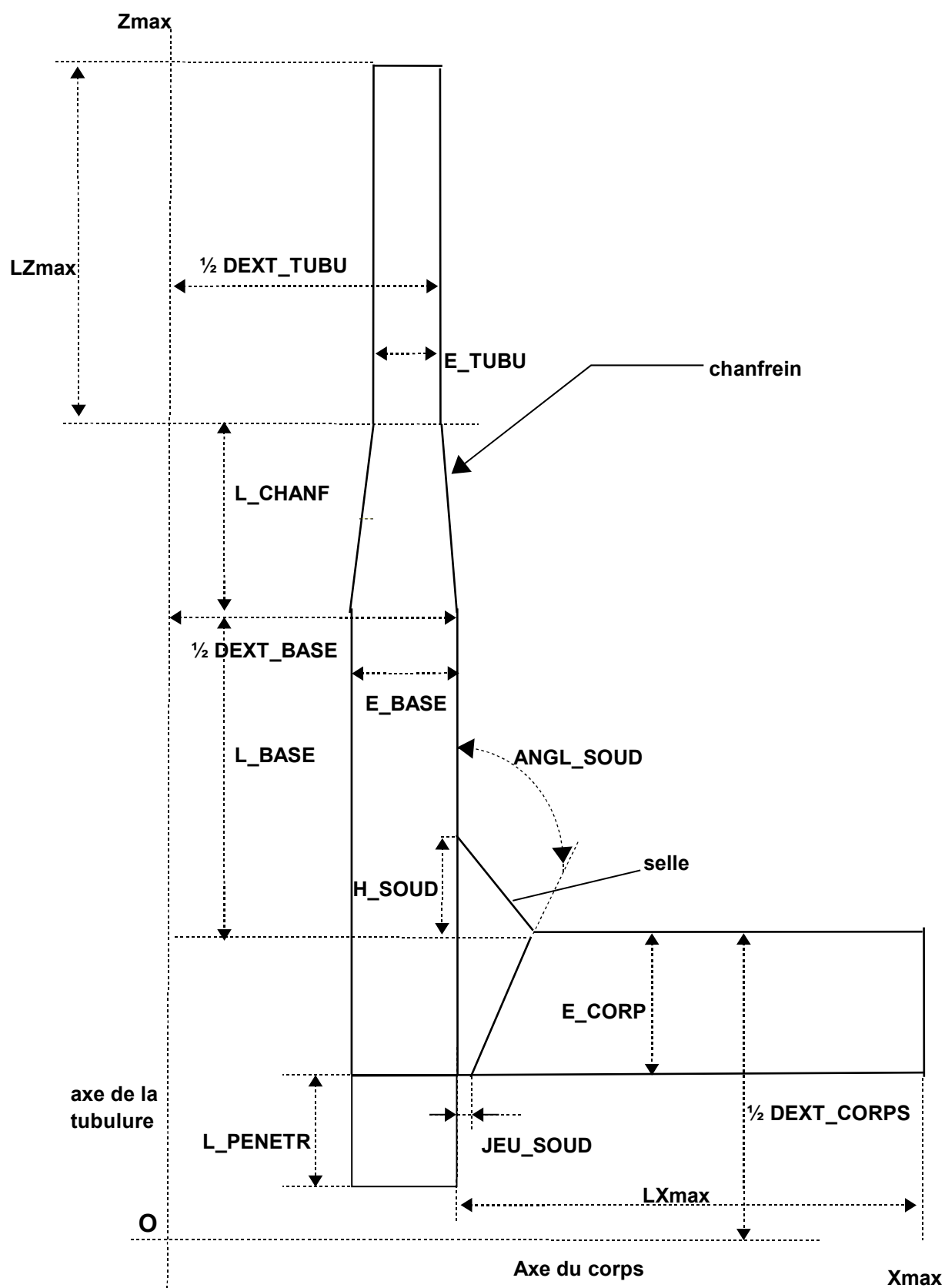
Sert à indiquer si on veut un maillage grossier ou fin autour de la fissure.

Les cotes maximales du corps (X_{max}) et de la tubulure (Z_{max}) sont calculées à partir des maximum des deux longueurs d'amortissement $\max\left(\frac{3}{2}\sqrt{\frac{R_m^3}{e}}, 3\sqrt{R_m \cdot e}\right)$ 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 Rm 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 :

$$\begin{aligned} X_{max} &= LX_{max} + 1/2 \text{ DEXT_BASE} \\ Z_{max} &= LZ_{max} + 1/2 \text{ DEXT_CORP} + L_BASE + L_CHANF \end{aligned}$$



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. La translation est toujours exécutée avant la rotation.
On ne peut pas combiner cette fonctionnalité avec SYMETRIE.*

- ◇ TRANSLATION = (n1, n2, [n3]), [l_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. La translation est toujours exécutée avant la rotation.

- ◇ ROTATION =
Mot clé facteur pour la rotation d'axe quelconque d'un maillage.
 - ◆ POIN_1 = (ni, n2, [n3]), [l_R]
Coordonnées du premier point pour définir l'axe de rotation.
 - ◆ / POIN_2 = (ni, n2, [n3]), [l_R]
/ DIR = (ni, n2, [n3]), [l_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 α (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 :

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

3.15 Mot-clé ECHELLE

Attention

*Cette fonctionnalité est utilisable avec TRANSLATION et ROTATION. La mise à l'échelle, quand elle est demandée, est toujours faite après TRANSLATION et ROTATION.
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. Le changement de repère a toujours lieu entre 2 bases orthonormées.

◆ VECT_X = (n1, n2, [n3]), [1_R]

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

◇ VECT_Y = (n1, n2, [n3]), [1_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 :

3.17 Mot-clé SYMETRIE

Attention

On ne peut pas combiner cette fonctionnalité avec *TRANSLATION*, *ROTATION*, *ECHELLE* et *MODI_BASE*.

- ♦ $\text{POINT} = (n1, n2, [n3])$ [1_R]
Coordonnées d'un point appartenant à la droite en 2D ou au plan en 3D.
- ♦ $\text{AXE_1} = (n1, n2, [n3])$ [1_R]
Vecteur directeur de la droite en 2D ou 1^{er} vecteur permettant de décrire le plan.
- ♦ $\text{AXE_2} = (n1, n2, n3)$ [1_R]
2nd 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 2nd vecteur nécessaire à la définition du plan est fixé à $\text{AXE_2} = (0.0, 0.0, -1.0)$.

La distance algébrique δ 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 $\mathbf{V} = \text{AXE_1} \wedge \text{AXE_2} = (a, b, c)$ 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 :

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