

## ZZZZ297 – Validation du mot clef LIAISON\_PROJ de la commande AFFE\_CHAR\_MECA

---

### Résumé :

L'objectif est de tester et de valider les possibilités du mot clef `LIAISON_PROJ` de la commande `AFFE_CHAR_MECA`. `LIAISON_PROJ` permet de définir des relations linéaires entre les nœuds d'un même modèle. Les coefficients des relations linéaires sont déterminés à l'aide de la commande `PROJ_CHAMP` qui retourne un concept qui correspond à la matrice des coefficients d'influence déterminée à partir des fonctions de forme des éléments.

Les cas tests valident plusieurs configurations :

- relations entre des groupes de mailles volumiques : mailles maîtres volumiques, mailles esclaves volumiques : modélisation A ;
- relations entre des groupes de mailles volumiques et mailles surfaciques : mailles maîtres volumiques, mailles esclaves surfaciques : modélisation B ;
- relations entre des groupes de mailles volumiques et mailles linéiques : mailles maîtres volumiques, mailles esclaves linéiques : modélisation C ;
- relations entre des groupes de mailles surfaciques : mailles maîtres surfaciques, mailles esclaves surfaciques avec et sans excentrement : modélisations D et E ;
- relations entre des groupes de mailles surfaciques et linéiques : mailles maîtres surfaciques, mailles esclaves linéiques avec excentrement : modélisation F.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométries utilisées pour les modélisations A, B, C

Plusieurs géométries sont utilisées pour tester les différentes combinaisons.

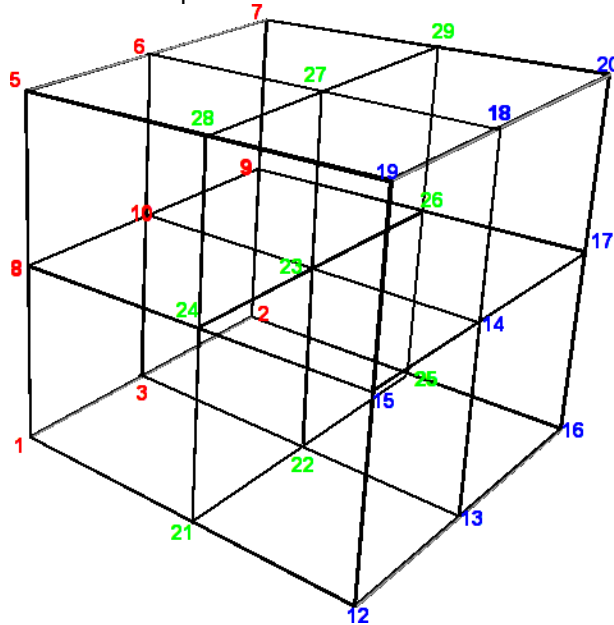


Figure 1.1-a : Géométrie avec 8 mailles volumiques de type HEXA8.

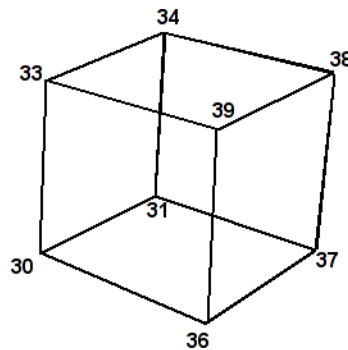


Figure 1.1-b : Géométrie avec 1 maille volumique de type HEXA8.

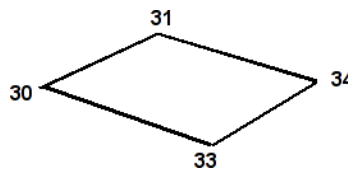


Figure 1.1-c : Géométrie avec 1 maille surfacique de type QUAD4.

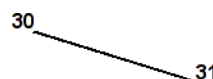


Figure 1.1-d : Géométrie avec 1 maille linéique de type SEG2.

#### Dimensions :

- Les mailles volumiques ont des arêtes de longueur  $1.0\ m$ .
- Les mailles surfaciques ont des arêtes de longueur  $1.0\ m$ .
- La maille linéique a une longueur de  $1.0\ m$ .

## 1.2 Géométries utilisées pour les modélisations D, E, F

Plusieurs géométries sont utilisées pour tester les différentes combinaisons.

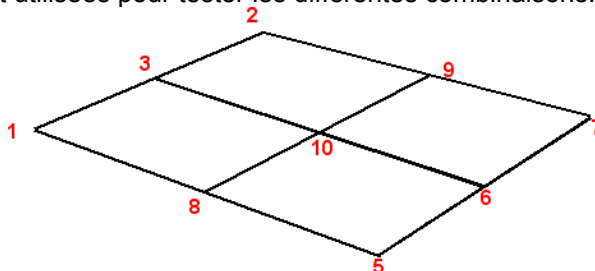


Figure 1.2-a : Géométrie avec 4 mailles surfaciques de type QUAD4.

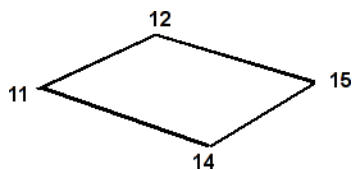


Figure 1.2-b : Géométrie avec 1 maille surfacique de type QUAD4.

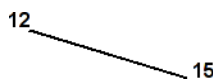


Figure 1.2-c : Géométrie avec 1 maille linéique de type SEG2.

### Dimensions :

- Les mailles surfaciques ont des arêtes de longueur 1.0 m .
- La maille linéique a une longueur de 1.0 m .

## 1.3 Propriétés des matériaux

Sans objet.

## 1.4 Conditions aux limites et chargements

Pour les modélisations A, B, C les nœuds 1, 3, 2, 8, 10, 9, 5, 6, 7 sont bloqués en translation dans les directions  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Un déplacement non nul est imposé aux nœuds 12, 13, 16, 15, 14, 17, 19, 18, 20 dans les directions  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Pour les modélisations d, e, f les nœuds 1, 3, 2 sont bloqués en translation et en rotation dans les directions  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Un déplacement non nul est imposé aux nœuds 5, 6, 7.

## 1.5 Conditions initiales

Sans objet pour une analyse statique.

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul

La solution de référence est obtenue par un calcul réalisé avec *Code\_Aster* en donnant explicitement les relations entre les degrés de libertés avec le mot clef `LIAISON_DDL` de la commande `AFFE_CHAR_MECA`.

Les relations sont de la forme suivante :

- Pour les degrés de libertés des nœuds esclaves donnés sous le mot clef simple `DDL`.

$$DDL(N_{escl}) = \sum_i Coeff_i * DDL(N_{maître}^i)$$

avec  $i$  : nœud de la maille maître contenant le nœud esclave.

- Dans le cas où `TYPE = EXCENTREMENT`, la relation sur les degrés de libertés de translation des nœuds esclaves devient :

$$DDL(N_{escl}) = \sum_i Coeff_i * \left( DDL(N_{maître}^i) + \omega(N_{maître}^i) \wedge \overrightarrow{N_{maître}^i N_{escl}} \right)$$

La commande `PROJ_CHAMP` donne la matrice des coefficients :

```
matcoeff = PROJ_CHAMP (  
  PROJECTION = 'NON', METHODE = 'COLLOCATION',  
  MAILLAGE_1 = mail, MAILLAGE_2 = mail,  
  VIS_A_VIS = _F(GROUP_MA_2 = 'MILCUB', GROUP_MA_1 = 'LESCUBES',),  
)
```

Cette matrice est ensuite utilisée dans la commande `AFFE_CHAR_MECA` mot clef `LIAISON_PROJ` de la façon suivante :

```
CLPROJ = AFFE_CHAR_MECA (  
  ...,  
  LIAISON_PROJ = _F(MATR_PROJECTION = matcoeff, DDL=('DX', 'DY', 'DZ'),),  
)
```

### 2.2 Grandeurs et résultats de référence

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage.
- Toutes les composantes des contraintes `SIEF_ELGA` à tous les points de Gauss et à tous les sous-points du modèle.

### 2.3 Incertitudes sur la solution

Aucunes. C'est une comparaison entre deux façons de donner les relations cinématiques entre les mêmes degrés de libertés des nœuds esclaves et maîtres.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques du maillage

Type de mailles :

- mailles maîtres volumiques : 8 mailles `HEXA8` ;
- maille esclave volumique : 1 maille `HEXA8`.

Les maillages sont présentés aux figures 1.1-a et 1.1-b. Les mailles volumiques ont des arêtes de longueur  $1.0\text{ m}$ . La maille `HEXA8` figure 1.1-b est placée de telle façon que les nœuds 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 39 soient au centre de gravité d'une maille maître `HEXA8`, figure 1.1-a.

### 3.2 Relations entre les nœuds esclaves et mailles maîtres

Le coefficient entre les nœuds esclaves et maître est de  $1/8$ .

Il y a huit relations par degré de liberté qui concernent les nœuds suivants :

- nœud esclave 33 est en relation avec les nœuds 5, 6, 8, 10, 24, 23, 28, 27 de la maille maître.
- nœud esclave 34 est en relation avec les nœuds 6, 7, 10, 9, 27, 29, 23, 26 de la maille maître.
- nœud esclave 30 est en relation avec les nœuds 8, 10, 1, 3, 24, 23, 21, 22 de la maille maître.
- nœud esclave 31 est en relation avec les nœuds 3, 2, 10, 9, 22, 25, 23, 26 de la maille maître.
- nœud esclave 36 est en relation avec les nœuds 21, 22, 24, 23, 12, 13, 15, 14 de la maille maître.
- nœud esclave 37 est en relation avec les nœuds 22, 25, 23, 26, 13, 16, 14, 17 de la maille maître.
- nœud esclave 38 est en relation avec les nœuds 14, 17, 18, 20, 27, 29, 23, 26 de la maille maître.
- nœud esclave 39 est en relation avec les nœuds 19, 18, 15, 14, 24, 23, 28, 27 de la maille maître.

La première relation est de la forme, il y en a sept autres à définir :

```
_F( NOEUD      = ('N33', 'N5', 'N6', 'N8', 'N10', 'N24', 'N23', 'N28', 'N27', ),  
    DDL        = ('DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', ),  
    COEF_MULT = (-1.0, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, ),  
    COEF_IMPO = 0.0,  
)
```

### 3.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage ;
- Toutes les composantes des contraintes `SIEF_ELGA` à tous les points de Gauss du modèle.

Deux calculs sont réalisés :

- avec le mot clef `LIAISON_PROJ` de la commande `AFFE_CHAR_MECA` ;
- avec le mot clef `LIAISON_DDL` de la commande `AFFE_CHAR_MECA`.

Pour chaque calcul et pour chaque champ une table est créée puis combinée de façon à faire la différence entre les deux solutions obtenues. Ces solutions doivent être rigoureusement identiques, la valeur à tester est donc 0.

Les champs des déplacements sont normés par rapport au déplacement imposé, les champs de contraintes sont normés par rapport à  $1\text{ MPa}$ .

La tolérance pour tous les champs, à tous les nœuds et pour toutes les composantes est de  $1.0\text{E}-06$ .

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques du maillage

Type de mailles :

- mailles maîtres volumiques : 8 mailles HEXA8 ;
- maille esclave surfacique : 1 maille QUAD4.

Les maillages sont présentés aux figures 1.1-a et 1.1-c. Les mailles volumiques et surfacique ont des arêtes de longueur  $1.0\text{ m}$ . La maille QUAD4 figure 1.1-c est placée de telle façon que les nœuds 30, 31, 33, 34 soient au centre de gravité d'une maille maître HEXA8, figure 1.1-a.

### 4.2 Relations entre les nœuds esclaves et mailles maîtres

Le coefficient entre les nœuds esclaves et maître est de  $1/8$ .

Il y a quatre relations par degré de liberté qui concernent les nœuds suivants :

- nœud esclave 30 est en relation avec les nœuds 5, 6, 8, 10, 24, 23, 28, 27 de la maille maître.
- nœud esclave 31 est en relation avec les nœuds 6, 7, 10, 9, 27, 29, 23, 26 de la maille maître.
- nœud esclave 33 est en relation avec les nœuds 19, 18, 15, 14, 24, 23, 28, 27 de la maille maître.
- nœud esclave 34 est en relation avec les nœuds 14, 17, 18, 20, 27, 29, 23, 26 de la maille maître.

La première relation est de la forme, il y en a trois autres à définir :

```
_F(NOEUD      = ('N30', 'N5', 'N6', 'N8', 'N10', 'N24', 'N23', 'N28', 'N27', ),  
    DDL        = ('DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', ),  
    COEF_MULT  = (-1.0, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, ),  
    COEF_IMPO  = 0.0,  
    )
```

### 4.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage ;
- Toutes les composantes des contraintes SIEF\_ELGA à tous les points de Gauss du modèle.

Deux calculs sont réalisés :

- avec le mot clef LIAISON\_PROJ de la commande AFFE\_CHAR\_MECA ;
- avec le mot clef LIAISON\_DDL de la commande AFFE\_CHAR\_MECA.

Pour chaque calcul et pour chaque champ une table est créée puis combinée de façon à faire la différence entre les deux solutions obtenues. Ces solutions doivent être rigoureusement identiques, la valeur à tester est donc 0.

Les champs des déplacements sont normés par rapport au déplacement imposé, les champs de contraintes sont normés par rapport à  $1\text{ MPa}$ .

La tolérance pour tous les champs, à tous les nœuds et pour toutes les composantes est de  $1.0\text{E}-06$ .

## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques du maillage

Type de mailles :

- mailles maîtres volumiques : 8 mailles `HEXA8` ;
- maille esclave linéique : 1 maille `SEG2`.

Les maillages sont présentés aux figures 1.1-a et 1.1-d. Les mailles volumiques ont des arêtes de longueur  $1.0\text{ m}$ , la maille linéique est de longueur  $1.0\text{ m}$ . La maille `SEG2` figure 1.1-d est placée de telle façon que les nœuds 30, 31 soient au centre de gravité d'une maille maître `HEXA8`, figure 1.1-a.

### 5.2 Relations entre les nœuds esclaves et mailles maîtres

Le coefficient entre les nœuds esclaves et maître est de  $1/8$ .

Il y a deux relations par degré de liberté qui concernent les nœuds suivants :

- nœud esclave 30 est en relation avec les nœuds 6, 7, 10, 9, 27, 29, 23, 26 de la maille maître ;
- nœud esclave 31 est en relation avec les nœuds 14, 17, 18, 20, 27, 29, 23, 26 de la maille maître.

La première relation est de la forme, il y en a une autre à définir :

```
_F(NOEUD      = ('N30','N6','N7','N10','N9','N27','N29','N23','N26'),  
DDL          = ('DX','DX','DX','DX','DX','DX','DX','DX','DX'),  
COEF_MULT   = (-1.0,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125),  
COEF_IMPO   = 0.0,  
)
```

### 5.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage ;
- Toutes les composantes des contraintes `SIEF_ELGA` à tous les points de Gauss du modèle.

Deux calculs sont réalisés :

- avec le mot clef `LIAISON_PROJ` de la commande `AFFE_CHAR_MECA` ;
- avec le mot clef `LIAISON_DDL` de la commande `AFFE_CHAR_MECA`.

Pour chaque calcul et pour chaque champ une table est créée puis combinée de façon à faire la différence entre les deux solutions obtenues. Ces solutions doivent être rigoureusement identiques, la valeur à tester est donc 0.

Les champs des déplacements sont normés par rapport au déplacement imposé, les champs de contraintes sont normés par rapport à  $1\text{ MPa}$ .

La tolérance pour tous les champs, à tous les nœuds et pour toutes les composantes est de  $1.0\text{E}-06$ .

## 6 Modélisation D

### 6.1 Caractéristiques du maillage

Type de mailles :

- mailles maîtres surfaciques : 4 mailles QUAD4 ;
- maille esclave surfacique : 1 maille QUAD4.

Les maillages sont présentés aux figures 1.2-a et 1.2-b. Les mailles surfaciques ont des arêtes de longueur  $1.0\text{ m}$ . La maille QUAD4 figure 1.2-b est placée de telle façon que les nœuds 11, 12, 14, 15 soient au centre de gravité d'une maille maître QUAD4, figure 1.2-a.

### 6.2 Relations entre les nœuds esclaves et mailles maîtres

Le coefficient entre les nœuds esclaves et maître est de  $1/4$ .

Il y a quatre relations par degré de liberté qui concernent les nœuds suivants :

- nœud esclave 11 est en relation avec les nœuds 1, 3, 8, 10 de la maille maître.
- nœud esclave 12 est en relation avec les nœuds 3, 2, 10, 9 de la maille maître.
- nœud esclave 14 est en relation avec les nœuds 8, 10, 5, 6 de la maille maître.
- nœud esclave 15 est en relation avec les nœuds 10, 9, 6, 7 de la maille maître.

La première relation est de la forme, il y en a trois autres à définir :

```
_F(NOEUD      = ('N11', 'N1', 'N3', 'N8', 'N10'),  
    DDL        = ('DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX', ),  
    COEF_MULT  = (-1.0, 0.25, 0.25, 0.25, 0.25, ),  
    COEF_IMPO  = 0.0,  
    )
```

### 6.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage ;
- Toutes les composantes des contraintes SIEF\_ELGA à tous les points de Gauss et à tous les sous-points du modèle.

Quatre calculs sont réalisés avec des relations sur les degrés de translation puis de translation et rotation :

- avec le mot clef LIAISON\_PROJ de la commande AFFE\_CHAR\_MECA ;
- avec le mot clef LIAISON\_DDL de la commande AFFE\_CHAR\_MECA.

Pour chaque calcul et pour chaque champ une table est créée puis combinée de façon à faire la différence entre les deux solutions obtenues. Ces solutions doivent être rigoureusement identiques, la valeur à tester est donc 0.

Les champs des déplacements sont normés par rapport au déplacement imposé, les champs de contraintes sont normés par rapport à  $1\text{ MPa}$ .

La tolérance pour tous les champs, à tous les nœuds et pour toutes les composantes est de  $1.0\text{E}-06$ .



## 7 Modélisation E

### 7.1 Caractéristiques du maillage

Type de mailles :

- mailles maîtres surfaciques : 4 mailles QUAD4 ;
- maille esclave surfacique : 1 maille QUAD4.

Les maillages sont présentés aux figures 1.2-a et 1.2-b. Les mailles surfaciques ont des arêtes de longueur  $1.0\text{ m}$ . La maille QUAD4 figure 1.2-b est placée de telle façon que la projection des nœuds 11, 12, 14, 15 soient au centre de gravité d'une maille maître QUAD4, figure 1.2-a. Les nœuds 11, 12, 14, 15 sont décalés de  $0.05\text{ m}$  par rapport aux mailles maîtres, l'objectif est de vérifier le bon fonctionnement de `TYPE = EXCENTREMENT`.

### 7.2 Relations entre les nœuds esclaves et mailles maîtres

Le coefficient entre les nœuds esclaves et maître est de  $1/4$ .

Il y a quatre relations par degré de liberté qui concernent les nœuds suivants :

- nœud esclave 11 est en relation avec les nœuds 1, 3, 8, 10 de la maille maître.
- nœud esclave 12 est en relation avec les nœuds 3, 2, 10, 9 de la maille maître.
- nœud esclave 14 est en relation avec les nœuds 8, 10, 5, 6 de la maille maître.
- nœud esclave 15 est en relation avec les nœuds 10, 9, 6, 7 de la maille maître.

La première relation est de la forme, il y en a trois autres à définir :

```
      _F(NOEUD      = ('N11', 'N1', 'N3', 'N8', 'N10'),  
        DDL        = ('DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX'),  
        COEF_MULT  = (-1.0, 0.25, 0.25, 0.25, 0.25),  
        COEF_IMPO  = 0.0,  
      )
```

### 7.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage ;
- Toutes les composantes des contraintes SIEF\_ELGA à tous les points de Gauss et à tous les sous-points du modèle.

Six calculs sont réalisés avec des relations sur les degrés de translation, de translation et rotation, de translation avec l'option `TYPE = EXCENTREMENT` :

- avec le mot clef LIAISON\_PROJ de la commande AFFE\_CHAR\_MECA ;
- avec le mot clef LIAISON\_DDL de la commande AFFE\_CHAR\_MECA.

Pour chaque calcul et pour chaque champ une table est créée puis combinée de façon à faire la différence entre les deux solutions obtenues. Ces solutions doivent être rigoureusement identiques, la valeur à tester est donc 0.

Les champs des déplacements sont normés par rapport au déplacement imposé, les champs de contraintes sont normés par rapport à  $1\text{ MPa}$ .

La tolérance pour tous les champs, à tous les nœuds et pour toutes les composantes est de  $1.0\text{E}-06$ .

## 8 Modélisation F

### 8.1 Caractéristiques du maillage

Type de mailles :

- mailles maîtres surfaciques : 4 mailles QUAD4 ;
- maille esclave linéique : 1 maille SEG2.

Les maillages sont présentés aux figures 1.2-a et 1.2-c. Les mailles surfaciques ont des arêtes de longueur  $1.0\text{ m}$ , la maille SEG2 à une longueur de  $1.0\text{ m}$ . La maille SEG2 figure 1.2-c est placée de telle façon que la projection des nœuds 12, 15 soient au centre de gravité d'une maille maître QUA4, figure 1.2-a. Les nœuds 12, 15 sont décalés de  $0.05\text{ m}$  par rapport aux mailles maîtres, l'objectif est de vérifier le bon fonctionnement de `TYPE = EXCENTREMENT`.

### 8.2 Relations entre les nœuds esclaves et mailles maîtres

Le coefficient entre les nœuds esclaves et maître est de  $1/4$ .

Il y a deux relations par degré de liberté qui concernent les nœuds suivants :

- nœud esclave 12 est en relation avec les nœuds 3, 2, 10, 9 de la maille maître.
- nœud esclave 15 est en relation avec les nœuds 10, 9, 6, 7 de la maille maître.

La première relation est de la forme, il y en a une autre à définir :

```
_F(NOEUD      = ('N12', 'N3', 'N2', 'N10', 'N9'),  
   DDL        = ('DX', 'DX', 'DX', 'DX', 'DX'),  
   COEF_MULT  = (-1.0, 0.25, 0.25, 0.25, 0.25),  
   COEF_IMPO  = 0.0,  
)
```

### 8.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont :

- Toutes les composantes des déplacements à tous les nœuds du maillage.
- Toutes les composantes des contraintes SIEF\_ELGA à tous les points de Gauss et à tous les sous-points du modèle.

Six calculs sont réalisés avec des relations sur les degrés de translation, de translation et rotation, de translation avec `TYPE = EXCENTREMENT` :

- avec le mot clef LIAISON\_PROJ de la commande AFFE\_CHAR\_MECA ;
- avec le mot clef LIAISON\_DDL de la commande AFFE\_CHAR\_MECA.

Pour chaque calcul et pour chaque champ une table est créée puis combinée de façon à faire la différence entre les deux solutions obtenues. Ces solutions doivent être rigoureusement identiques, la valeur à tester est donc 0.

Les champs des déplacements sont normés par rapport au déplacement imposé, les champs de contraintes sont normés par rapport à  $1\text{ MPa}$ .

La tolérance pour tous les champs, à tous les nœuds et pour toutes les composantes est de  $1.0\text{E}-06$ .

## 9 Synthèse des résultats

---

La comparaison entre les calculs réalisés avec des relations sur les degrés de translation, de translation et rotation, de translation avec `TYPE='EXCENTREMENT'` avec le mot clef facteur `LIAISON_PROJ` de la commande `AFFE_CHAR_MECA` et les calculs réalisés en donnant explicitement les relations entre les degrés de libertés (mot clef facteur `LIAISON_DDL` de la commande `AFFE_CHAR_MECA`) montre le bon fonctionnement de la commande :

- Les comparaisons réalisées sur le champ des déplacements à tous les nœuds et sur toutes les composantes montrent que l'on obtient des résultats identiques ;
- Les comparaisons réalisées sur le champ de contraintes à tous les points de Gauss, à tous les sous-points et pour toutes les composantes montrent que l'on obtient des résultats identiques.