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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométries utilisées pour les modélisations A, B, C

Plusieurs géométries sont utilisées pour tester les différentes combinaisons.

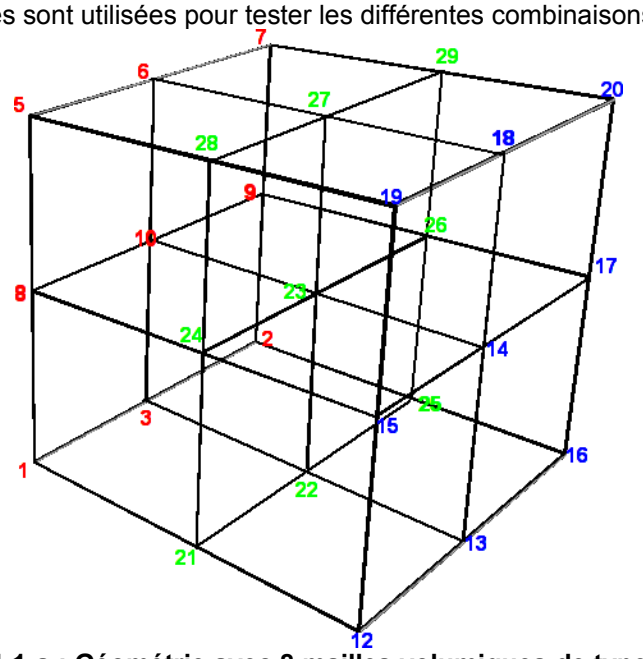


Figure 1.1-a : Géométrie avec 8 mailles volumiques de type HEXA8.

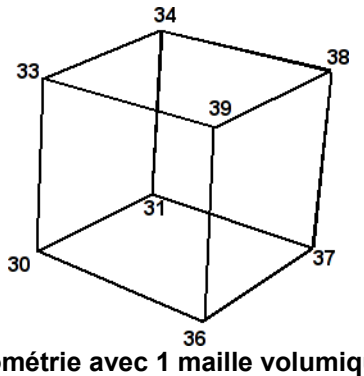


Figure 1.1-b : Géométrie avec 1 maille volumique de type HEXA8.

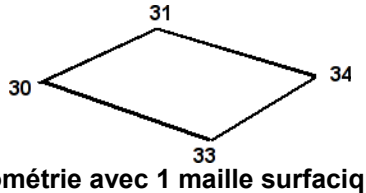


Figure 1.1-c : Géométrie avec 1 maille surfacique de type QUAD4.

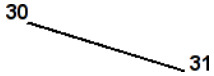


Figure 1.1-d : Géométrie avec 1 maille linéique de type SEG2.

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 $1.0\,m$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.2 Géométries utilisées pour les modélisations D, E, F

Plusieurs géométries sont utilisées pour tester les différentes combinaisons.

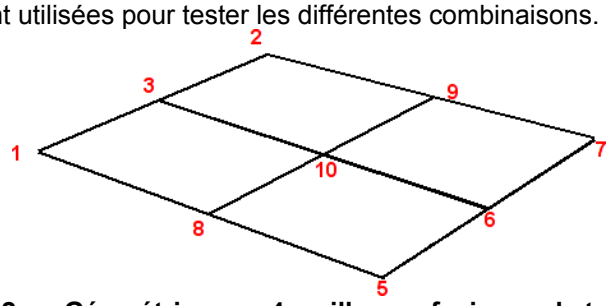


Figure 1.2-a : Géométrie avec 4 mailles surfaciques de type QUAD4.

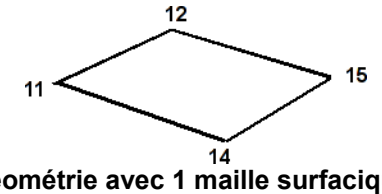


Figure 1.2-b : Géométrie avec 1 maille surfacique de type QUAD4.

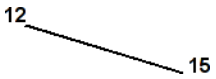


Figure 1.2-c : Géométrie avec 1 maille linéique de type SEG2.

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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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.

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

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 :

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

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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $1.0\,m$. 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 $1\mathrm{MPa}$.

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $1.0\,m$. La maille QUA4 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 $1\mathrm{MPa}$.

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $1.0\,m$, la maille linéique est de longueur $1.0\,m$. 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 $1\mathrm{MPa}$.

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $1.0\,m$. La maille QUA4 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 QUA4, 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 $1\mathrm{MPa}$.

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $1.0\,m$. La maille QUA4 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 QUA4, figure 1.2-a. Les nœuds 11, 12, 14, 15 sont décalés de $0.05\,m$ 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 $1\mathrm{MPa}$.

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $1.0\,m$, la maille SEG2 à une longueur de $1.0\,m$. 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 $0.05\,m$ 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 $1\mathrm{MPa}$.

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)