SSND114 – Loi de comportement pour des jonctions élastoplastiques endommageables en flexion avec des éléments discrets

Résumé :

On teste la réponse du modèle de comportement qui permet de modéliser une jonction en flexion entre un voile et un plancher ou un radier, accessible par le mot-clé JONC_ENDO_PLAS, cf. [R5.03.17], formulé sur des éléments discrets sur des mailles SEG2.

On teste tout d'abord le comportement avec l'opérateur STAT_NON_LINE. Les valeurs de référence sont numériques et obtenues par une méthode indépendante : on teste la réponse sur des cycles rotation-moment.

Puis, on teste…

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

1 Problème de référence

1.1 Description

Le modèle rhéologique non linéaire de jonction JONC_ENDO_PLAS est évalué par la réponse qu'il fournit en termes de courbe rotation—moment, dans le repère local : 'MZ' obtenus en fonction des rotations 'DRZ', ce indépendamment de l'orientation du repère local et des autres directions qui restent élastiques linéaires.

1.2 Modélisations

Les modélisations testées sont toutes avec des éléments DIS_TR sur des mailles SEG2. Les caractéristiques de raideur des éléments discrets, qui servent pour la prédiction de l'algorithme non linéaire, sont donc du type : K_TR_D_L.

Remarque : Les unités des paramètres doivent être en accord avec l'unité des efforts et moments, l'unité des longueurs et l'unité de temps du problème [R5.03.17]. Pour toutes les modélisations les unités sont homogènes à des [N], [m], [s].

1.2.1 Modélisation A

Cette modélisation permet de tester le comportement cyclique statique non linéaire de la relation de comportement JONC_ENDO_PLAS.
Les éléments 1 à 8 sont identifiés chacun par un groupe de mailles (L1 à L8) et les nœuds 1 à 16 par des groupes de nœuds (P1 à P16).

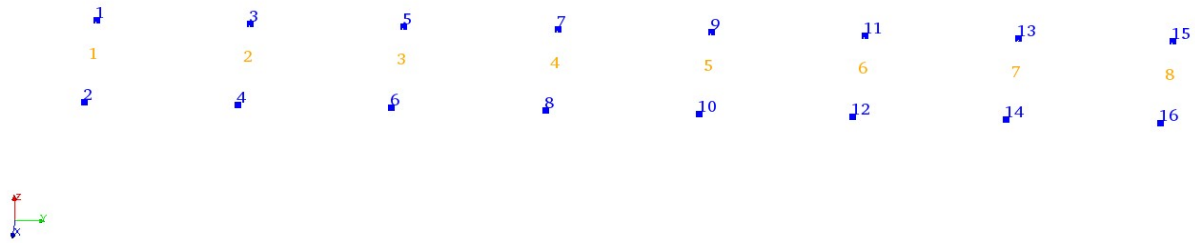


Figure 1.2.1-a : Maillage

L'orientation des repères locaux des éléments est alignée sur le repère local pour les éléments 1, 2, 5 et 6. Ce repère est tourné d'un angle de 30° autour de l'axe X pour les éléments 3, 4, 7 et 8.

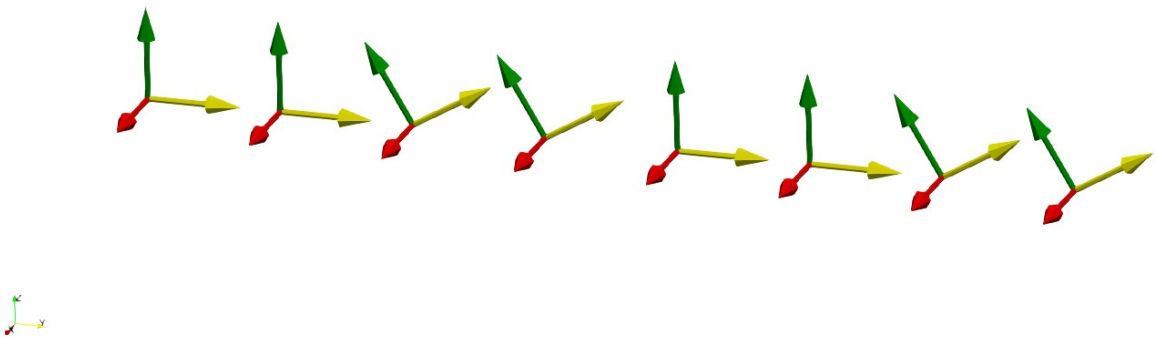


Figure 1.2.1-b : Orientation des repères locaux

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

1.3 Propriétés du matériau et caractéristiques des éléments

1.3.1 Modélisation A

Les paramètres du modèle de comportement en flexion hors plan JONC_ENDO_PLAS, sont obtenus à partir de l'analyse de la section de béton armé : géométrie et caractéristiques des matériaux, cf. [R5.03.17], et ils sont renseignés via la commande DEFI_MATERIAU [U4.43.01].

Tableau 1.3.1-a : paramètres du modèle JONC_ENDO_PLAS, modélisation A.

paramètre	K E	K P	K D P	K DM	R D P	R DM	M YP	M YM
	Raideur élastique	Pente plastique	Raideur tangente	Raideur tangente	Seuil d'endommagement	Seuil d'endommagement	Seuil plastique	Seuil plastique
valeur	1.E6	5.E4	2.E5	1.E5	1.E-3	-1.5E-3	2.E3	-2.5E3

Ces valeurs de paramètres ont été choisies pour faciliter le calcul analytique et la vérification du modèle, et ne correspondent pas à une section de béton armée réelle.
Les caractéristiques de raideur élastique 'K_TR_D_L', de l'élément DIS_TR sont dans le repère local de chaque élément :

1.E8, 2.E8, 5.E8, 10.E8, 20.E8, 1.E6

1.4 Conditions aux limites et chargements

L'élément discret étant un SEG2, l'un des nœuds est bloqué, sur l'autre une condition de déplacement généralisé est imposée. Les nœuds 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 et 15 sont encastrés (déplacement et rotation nulle imposés). Des chargements en rotation ou en rotation et en déplacement sont imposés sur les nœuds 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 et 16

Ces chargements sont définis en fonction du temps, sur l'intervalle de temps $t \in [0\,s, 24\,s]$. Quatre fonctions de chargement sont définies, les fonctions A, B, C et D.

Tableau 1.4-a : fonctions de chargement en fonction du temps : fonction A.

instant	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
valeur	0.	0.001	0.	-0.001	0.	0.003	0.	-0.003	0.	0.005	0.	-0.005	0.
instant		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
valeur		0.011	0.	-0.011	0.	0.015	0.	-0.015	0.	0.020	0.	-0.020	0.

Tableau 1.4-b : fonctions de chargement en fonction du temp s : fonction B .

instant	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
valeur	0.	-0.001	0.	0.001	0.	-0.003	0.	0.003	0.	-0.005	0.	0.005	0.
instant		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
valeur		-0.011	0.	0.011	0.	-0.015	0.	0.015	0.	-0.020	0.	0.020	0.

Tableau 1.4-c : fonctions de chargement en fonction du temps : fonction C.

instant	0	12	24
valeur	0.	0.0 2	0.

Tableau 1.4-d : fonctions de chargement en fonction du temps : fonction D.

instant	0	12	24
valeur	0.	0.0 1	0.

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

Ces chargements sont imposés de la façon suivante :

- Un chargement correspondant à la fonction A est imposé en rotation autour de l'axe Z global (DRZ) pour les éléments 1 et 3.
- Un chargement correspondant à la fonction B est imposé en rotation autour de l'axe Z global (DRZ) pour les éléments 2 et 4 .
- Un chargement correspondant à la fonction C est imposé en rotation autour de l'axe Z global (DRZ) pour les éléments 5 et 7.
- Un chargement correspondant à la fonction C est imposé en rotation autour de l'axe Z global (DRZ), accompagné d'un chargement correspondant à la fonction D en translation (directions X, Y et Z) et en rotation autour des axes X et Y globaux (DRX et DRY) pour les éléments 6 et 8.

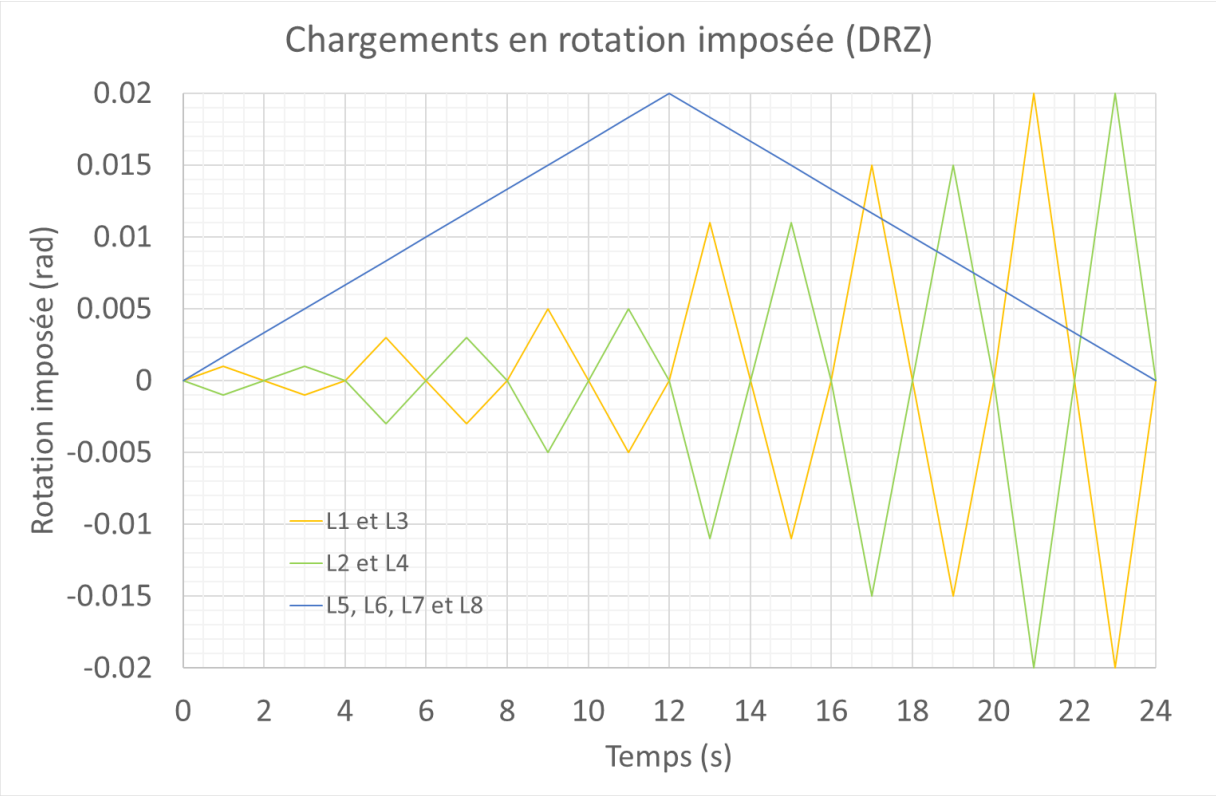


Figure 1.4-a : C hargement en rotation imposée autour de l'axe Z global.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

2.1.1 Modélisation A

Les équations régissant le comportement sont des équations différentielles non linéaires. Pour valider la réponse obtenue avec *Code_Aster* en statique non linéaire les valeurs obtenues sont comparées aux valeurs analytiques.

2.2 Résultats de référence

La comparaison est réalisée sur les moments `('MZ')` obtenus en fonction des rotations `'DRZ'` imposées pour les différents éléments et les chargements appliqués, avec un pas de temps de calcul de $1.0s$. Les instants sont en s et les moments en $N.m$.
Les courbes ci-dessous permettent de vérifier que les passages des seuils et changements de pente sont bien détectés et pris en compte même avec un pas de temps de calcul très grossier.

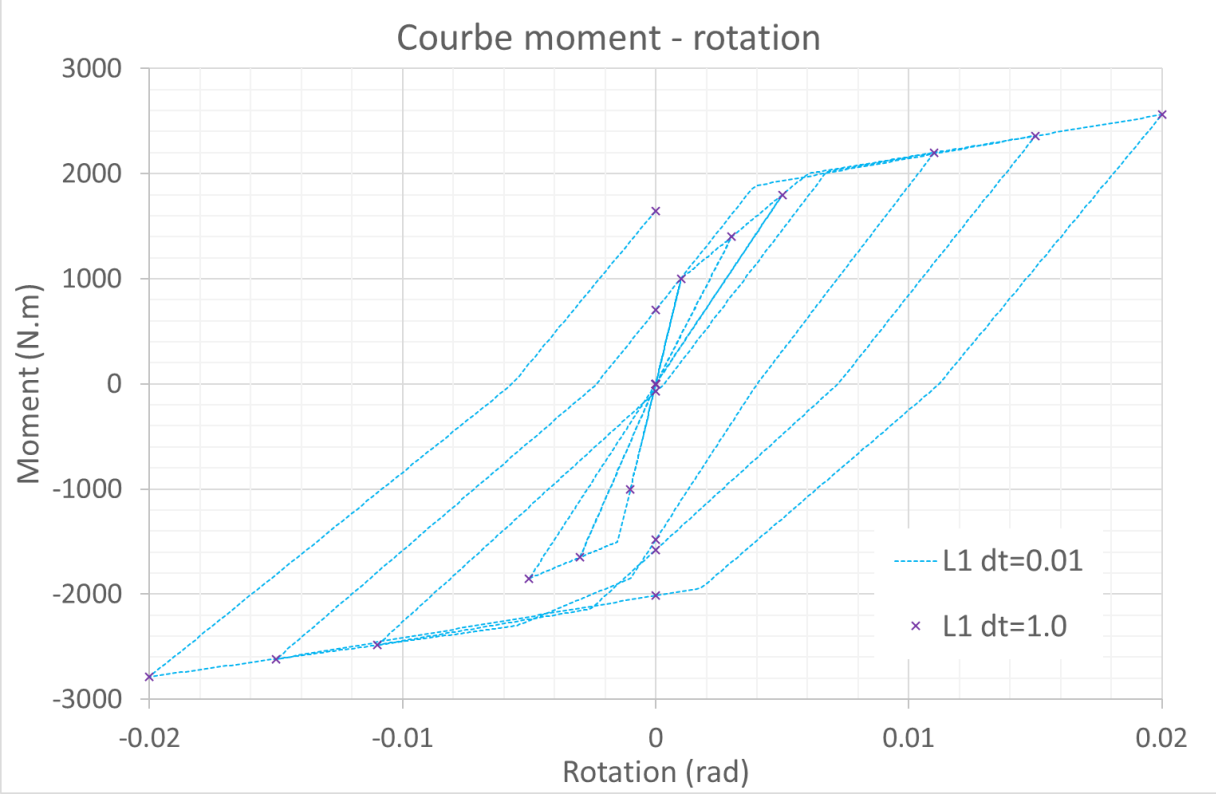


Figure 2.2-a : Courbe Moment-rotation, élément 1.

La réponse donnée par *Code_Aster* est testée pour les valeurs suivantes :

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

Tableau 2.2-a : rotations et moments, élément 1.

Instant	*rotation* θ_z	*Moment* M_z
1.0000000000E+00	1.0000000000E+03	1.0000000000E-03
3.0000000000E+00	-1.0000000000E+03	-1.0000000000E-03
5.0000000000E+00	1.4000156777E+03	3.0000000000E-03
7.0000000000E+00	-1.6500032505E+03	-3.0000000000E-03
9.0000000000E+00	1.8000256320E+03	5.0000000000E-03
1.1000000000E+01	-1.8500108811E+03	-5.0000000000E-03
1.3000000000E+01	2.2000192257E+03	1.1000000000E-02
1.5000000000E+01	-2.4833453804E+03	-1.1000000000E-02
1.7000000000E+01	2.3601391920E+03	1.5000000000E-02
1.9000000000E+01	-2.6166696872E+03	-1.5000000000E-02
2.1000000000E+01	2.5600393177E+03	2.0000000000E-02
2.3000000000E+01	-2.7833327927E+03	-2.0000000000E-02



Figure 2.2-b : Courbe Moment-rotation, élément 2.

La réponse donnée par *Code_Aster* est testée pour les valeurs suivantes :

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

Tableau 2.2-b : rotations et moments, élément 2.

Instant	*rotation* θ_z	*Moment* M_z
1.0000000000E+00	-1.0000000000E+03	-1.0000000000E-03
3.0000000000E+00	1.0000000000E+03	1.0000000000E-03
5.0000000000E+00	-1.6500000701E+03	-3.0000000000E-03
7.0000000000E+00	1.4000143913E+03	3.0000000000E-03
9.0000000000E+00	-1.8500245881E+03	-5.0000000000E-03
1.1000000000E+01	1.8000013063E+03	5.0000000000E-03
1.3000000000E+01	-2.4500169230E+03	-1.1000000000E-02
1.5000000000E+01	2.2000156060E+03	1.1000000000E-02
1.7000000000E+01	-2.6166668190E+03	-1.5000000000E-02
1.9000000000E+01	2.3601185361E+03	1.5000000000E-02
2.1000000000E+01	-2.7833347518E+03	-2.0000000000E-02
2.3000000000E+01	2.5600383030E+03	2.0000000000E-02

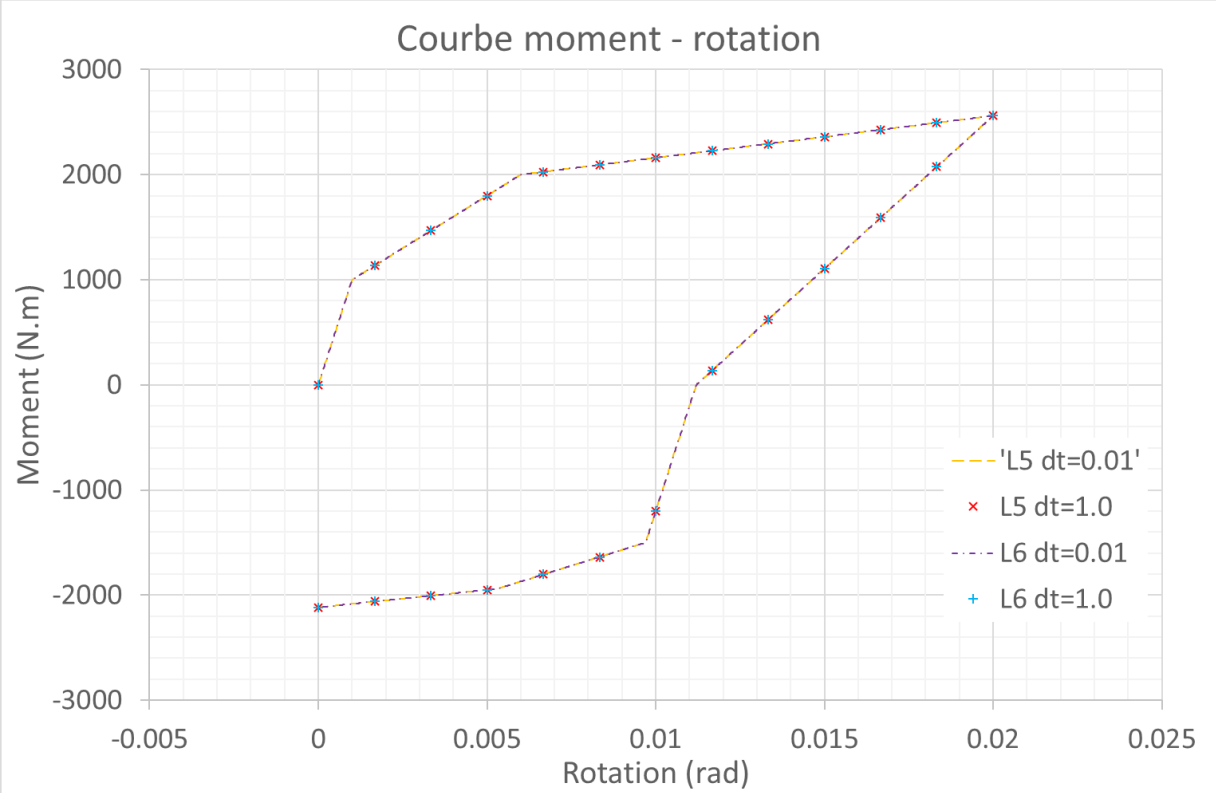


Figure 2.2-c : Courbe Moment-rotation, éléments 5 et 6.

Tableau 2.2-c : rotations et moments, éléments 5 et 6.

Instant	*rotation* θ_z	*Moment* M_z
3.0000000000E+00	1.8000004556E+03	5.0000000000E-03
6.0000000000E+00	2.1600162134E+03	1.0000000000E-02
9.0000000000E+00	2.3600225066E+03	1.5000000000E-02
1.2000000000E+01	2.5599993245E+03	2.0000000000E-02
1.5000000000E+01	1.1054534813E+03	1.5000000000E-02
1.8000000000E+01	-1.2000046711E+03	1.0000000000E-02
2.1000000000E+01	-1.9499993974E+03	5.0000000000E-03

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

Tableau 2.2-d : rotations et moments, élément 3.

Instant	rotation θ_z	Moment M_z
1.0000000000E+00	1.1904121201E+03	1.1545287124E-03
3.0000000000E+00	-1.3331111483E+03	-1.1545081204E-03
5.0000000000E+00	1.7237265601E+03	3.4638528074E-03
7.0000000000E+00	-1.9588403006E+03	-3.4638188809E-03
9.0000000000E+00	2.2570514348E+03	5.7731769015E-03
1.1000000000E+01	-2.2255575302E+03	-5.7731814447E-03
1.3000000000E+01	2.6190094112E+03	1.2701327870E-02
1.5000000000E+01	-2.9330146633E+03	-1.2701282573E-02
1.7000000000E+01	2.8324211293E+03	1.7320099228E-02
1.9000000000E+01	-3.1107779579E+03	-1.7320059070E-02
2.1000000000E+01	3.0989885500E+03	2.3093563448E-02
2.3000000000E+01	-3.3330038571E+03	-2.3093529688E-02

Tableau 2.2-e : rotations et moments, élément 4.

Instant	rotation θ_z	Moment M_z
1.0000000000E+00	-1.3331111481E+03	-1.1545081204E-03
3.0000000000E+00	1.1904121201E+03	1.1545287124E-03
5.0000000000E+00	-1.9588485809E+03	-3.4638188656E-03
7.0000000000E+00	1.7237108264E+03	3.4638528189E-03
9.0000000000E+00	-2.2255289211E+03	-5.7731814457E-03
1.1000000000E+01	2.2570794615E+03	5.7731768999E-03
1.3000000000E+01	-2.9330774561E+03	-1.2701282533E-02
1.5000000000E+01	2.6190179987E+03	1.2701327871E-02
1.7000000000E+01	-3.1108083764E+03	-1.7320059051E-02
1.9000000000E+01	2.8325478530E+03	1.7320099228E-02
2.1000000000E+01	-3.3330092804E+03	-2.3093529684E-02
2.3000000000E+01	3.0989396258E+03	2.3093563476E-02

Tableau 2.2-f : rotations et moments, élément 7.

Instant	rotation θ_z	Moment M_z
3.0000000000E+00	2.2570241105E+03	5.7731769185E-03
6.0000000000E+00	2.5656146751E+03	1.1546635072E-02
9.0000000000E+00	2.8326866571E+03	1.7320099213E-02
1.2000000000E+01	3.0989736939E+03	2.3093563449E-02
1.5000000000E+01	1.1994330950E+03	1.7320334952E-02
1.8000000000E+01	-1.8045529425E+03	1.1547265855E-02
2.1000000000E+01	-2.2218840472E+03	5.7738233936E-03

Tableau 2.2-g : rotations et moments, élément 8.

Instant	rotation θ_z	Moment M_z
3.0000000000E+00	4.6662898355E+06	3.0801270189E-03
6.0000000000E+00	9.3318646247E+06	6.1602540378E-03
9.0000000000E+00	1.3997034885E+07	9.2403810568E-03
1.2000000000E+01	1.8662205044E+07	1.2320508076E-02
1.5000000000E+01	1.3996314269E+07	9.2403810568E-03
1.8000000000E+01	9.3304234944E+06	6.1602540378E-03
2.1000000000E+01	4.6637232079E+06	3.0801270189E-03

2.3 Incertitude sur la solution

2.3.1 Modélisation A

La solution de référence est obtenue par intégration numérique d'un système différentiel non linéaire.

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

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

L a modélisation testée comprend 8 éléments DIS_TR sur des mailles SEG2 . Les caractéristiques de raideur des éléments discrets, qui servent pour la prédiction de l'algorithme non linéaire, sont donc du type : K_TR_D_L .

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 16, nombre de mailles SEG2 : 8, éléments DIS_TR : 8. Se reporter à § 1.2.1.

3.3 Conditions aux limites et chargements

Se reporter à § 1.4 .

3.4 Discrétisation en temps

Le pas de temps et l'intervalle de temps d'analyse sont :

$\Delta t = 1{,}0\,10^{-2}\ s$ et $t \in [0\,s, 24\,s]$

3.5 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont les rotations, et les moments. Les valeurs sont celles présentées à § 2.2. Les tolérances sont celles par défaut.

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

4 Synthèse des résultats

Ces tests permettent de vérifier le bon fonctionnement des éléments discrets 3D avec le comportement JONC_ENDO_PLAS dans le cadre de l'utilisation de STAT_NON_LINE et de DYNA_NON_LINE.

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