SSND102 – Loi de comportement cinématique non-linéaire pour des éléments discrets

Résumé :

Le problème est quasi-statique non-linéaire en mécanique des structures. Il s'agit d'une loi avec écrouissage cinématique non-linéaire. On analyse la réponse d'éléments discrets supportant une loi de comportement cinématique non-linéaire sous un chargement cyclique.

Les éléments discrets testés sont :

[1] 3D (K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_D_N, K_TR_D_N);

[2] 2D (K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_D_N, K_TR_D_N).

Tous les degrés de liberté sont testés, les paramètres du chargement en déplacements et ceux de la loi cinématique sont différents pour tous les degrés de liberté de façon à couvrir différentes situations.
Les solutions de référence sont obtenues de façon analytique ou par comparaison avec une application extérieure.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

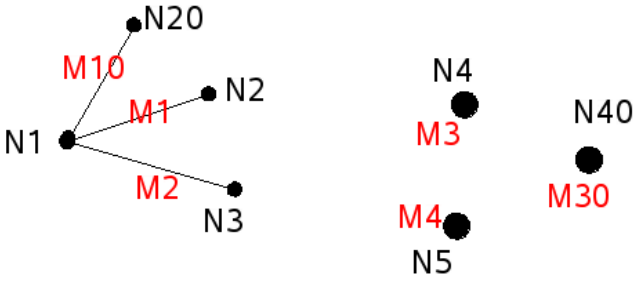


Figure 1.1.a : géométrie.

	Modèle en 3D	Modèle en 2D	GROUP_MA
Maille $M1$: Nœud $N1$ à $N2$	DIS_T	2D_DIS_T	DL_T
Maille $M2$: Nœud $N1$ à $N3$	DIS_TR	2D_DIS_TR	DL_TR
Maille $M3$: Nœud $N4$	DIS_T	2D_DIS_T	DN_T
Maille $M4$: Nœud $N5$	DIS_TR	2D_DIS_TR	DN_TR
Maille $M10$: Nœud $N1$ à $N20$	DIS_T		DL_T0
Maille $M30$: Nœud $N40$	DIS_T		DN_T0

1.2 Propriétés du matériau

La loi de comportement s'écrit sous la forme générique suivante (pour chaque degré de liberté) :

la relation élastoplastique : $F = K_e\left(U - U^{an}\right)$

la surface limite : $f = \left|F - X\right| - F_y$

la partie écrouissage cinématique : $$X = \frac{k_x . \alpha}{\left[1 + \left[\frac{k_x . \alpha}{F_u}\right]^n\right]^{1/n}}$$

Elle nécessite donc 5 caractéristiques. Leurs unités doivent être en accord avec celles de l'étude.

K_e : raideur élastique

F_y : limite élastique

k_x : raideur cinématique

F_u : effort limite cinématique

n : puissance

1.3 Conditions aux limites et chargements

Nœud $N1$: encastrement

Nœuds $N2$, $N3$, $N4$, $N5$, $N20$, $N40$: pour tous les degrés de liberté le signal est cyclique à déplacement imposé.

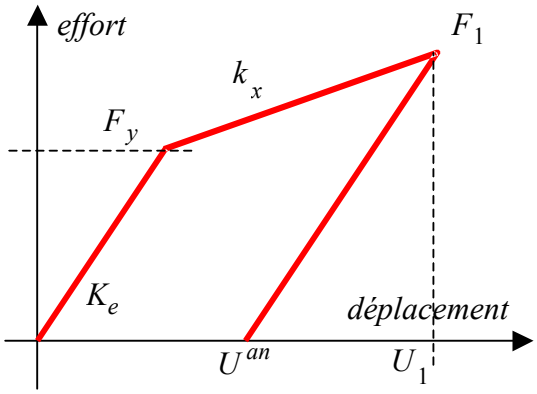
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Dans le cas général, la forme complexe de la loi ne permet pas de calculer une solution de référence.

Pour valider la loi, on se place dans le cas d'un écrouissage cinématique linéaire (la puissance et l'effort limite cinématique ne sont pas donnés). Les efforts ainsi que l'énergie dissipée peuvent être calculés analytiquement.



Les données sont : F_y, K_e, k_x et l'amplitude du déplacement : $U_1 = 5.\frac{F_y}{K_e}$

Ce qui donne :

$$F_1 = F_y + 4.k_x \frac{F_y}{K_e}$$

$$U_{an} = 4.\frac{F_y}{K_e^2}(K_e - k_x)$$

L'énergie dissipée est : $W_1 = U_{an}.\frac{(F_y + F_1)}{2}$

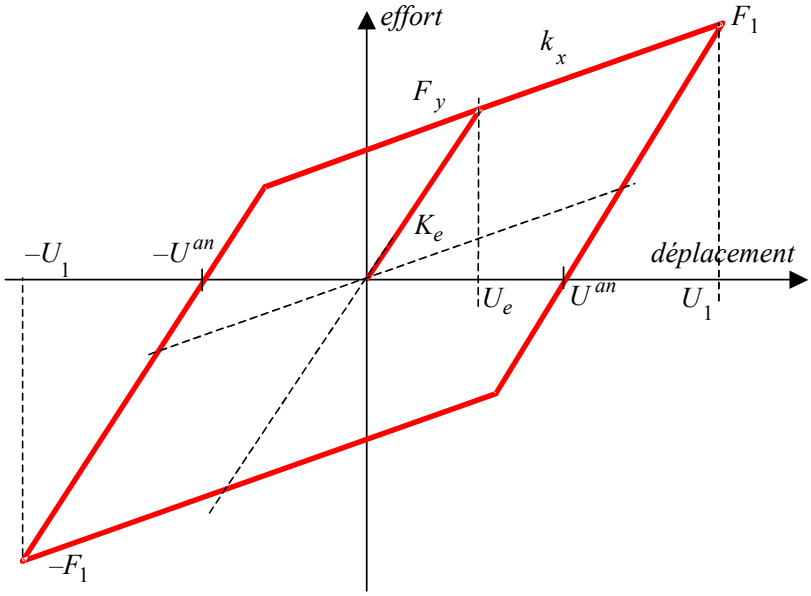


Figure 2.1.a : cycle de chargement.

Pour un cycle stabilisé (déplacement allant de 0 à U_1 à $-U_1$ à U_e) l'énergie dissipée est $W_d = 4.U_{an}.F_y$.

Dans le cas général de la loi puissance, un programme extérieur a permis de valider les réponses en efforts.

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

2.2 Résultats de référence

Les tests sont réalisés sur :
1) l'effort à chaque inversion de chargement ;
2) l'énergie dissipée en fin de chargement.

Pour les deux modélisations un tableau présente les paramètres de la loi ainsi que les valeurs des efforts et de l'énergie dissipée en fin de cycle.

2.3 Incertitude sur la solution

Pour le cas de l'écrouissage cinématique linéaire il n'y a aucune incertitude, la solution est analytique, aussi bien pour les efforts que pour l'énergie.

Pour le cas de l'écrouissage non linéaire la solution de référence est donnée par un programme extérieur.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation DISCRET (en 3D)

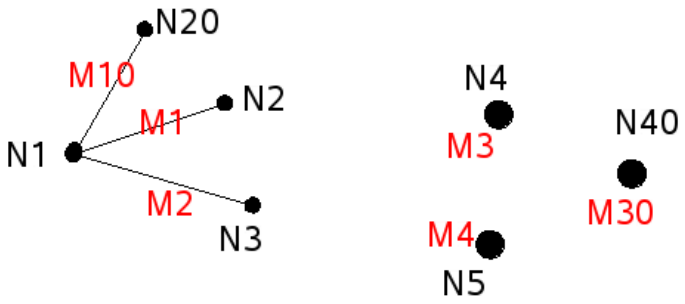


Figure 3.1.a : géométrie.

Caractéristiques des éléments discrets

		Modélisation en 3D	GROUP_MA
Maille $M1$	: Nœud $N1$ à $N2$	DIS_T	DL_T
Maille $M2$	: Nœud $N1$ à $N3$	DIS_TR	DL_TR
Maille $M3$	: Nœud $N4$	DIS_T	DN_T
Maille $M4$	: Nœud $N5$	DIS_TR	DN_TR
Maille $M10$	: Nœud $N1$ à $N20$	DIS_T	DL_T0
Maille $M30$	: Nœud $N40$	DIS_T	DN_T0

Le discret DL_T0 à les mêmes caractéristiques que DL_T, par contre son orientation est différente.

CARA = 'ANGL_NAUT' , VALE =(90 . 0 ,-90.0,0.0)

L'effort N est donc suivant l'axe Z, l'effort VY suivant l'axe Z et l'effort VZ suivant X.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 7, Nombre de mailles : 6, Éléments SEG2 : 3, Éléments POI1: 3

3.3 Définition de la fonction de chargement

instants	valeurs
0.0	0.000
30.0	1.000
90.0	-1.000
145.0	0.800
180.0	-0.450
230.0	1.150
250.0	0.500
280.0	1.450

Le pas choisi est de $1.s$.

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

3.4 Propriétés des discrets

Le tableau ci-dessous donne pour toutes les directions sollicitées les caractéristiques des discrets.

		F_y LIMY_*	K_e K_T*	F_u LIMU_*	k_x KCIN_*	n PUIS_*
DL_T	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
DL_T0	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
	dz	2000.0	2500000.0	800.0	700000.0	2.25
DN_T	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
	dz	2000.0	2500000.0	800.0	700000.0	2.25
DL_TR	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
	dz	2000.0	2500000.0	800.0	700000.0	2.25
	rx	3000.0	3000000.0	1000.0	600000.0	2.00
	ry	3500.0	2700000.0	1800.0	800000.0	1.50
	rz	2500.0	3200000.0	1400.0	850000.0	2.25
DN_TR	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
	dz	2000.0	2500000.0	800.0	700000.0	2.25
	rx	3000.0	3000000.0	1000.0	600000.0	2.00
	ry	3500.0	2700000.0	1800.0	800000.0	1.50
	rz	2500.0	3200000.0	1400.0	850000.0	2.25
DN_T0	dx	1000.0	3400000.0		700000.0	
	dy	1500.0	2000000.0		900000.0	
	dz	2000.0	2500000.0		700000.0	

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

3.5 Grandeurs testées et résultats

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DN_TR	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DN_TR	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DN_TR	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DN_TR	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DN_TR	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DN_TR	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DN_TR	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DN_TR	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DN_TR	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DN_TR	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DN_TR	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DN_TR	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DN_TR	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DN_TR	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DN_TR	VZ	30.000	2767.252580	2767.252580	-7.5200e-11
DN_TR	VZ	90.000	-2767.252580	-2767.252580	-7.5200e-11
DN_TR	VZ	145.000	2740.932239	2740.932239	1.8200e-10
DN_TR	VZ	180.000	-2547.183658	-2547.183658	2.5800e-11
DN_TR	VZ	230.000	2777.276300	2777.276300	-1.5700e-10
DN_TR	VZ	250.000	-1243.236082	-1243.236082	-9.2100e-11
DN_TR	VZ	280.000	2787.481342	2787.481342	7.7000e-11
DN_TR	MFY	30.000	5022.231028	5022.231028	9.6800e-11
DN_TR	MFY	90.000	-5022.231028	-5022.231028	9.6800e-11
DN_TR	MFY	145.000	4911.499221	4911.499221	8.9600e-11
DN_TR	MFY	180.000	-4443.221450	-4443.221450	-4.3200e-12
DN_TR	MFY	230.000	5075.752629	5075.752629	3.5200e-12
DN_TR	MFY	250.000	-2025.828992	-2025.828992	-8.7200e-11
DN_TR	MFY	280.000	5143.339483	5143.339483	-4.7600e-11
DN_TR	MFZ	30.000	3773.863680	3773.863680	4.0200e-11
DN_TR	MFZ	90.000	-3773.863680	-3773.863680	4.0200e-11
DN_TR	MFZ	145.000	3686.099695	3686.099695	-2.8500e-11
DN_TR	MFZ	180.000	-3236.583886	-3236.583886	1.3700e-10
DN_TR	MFZ	230.000	3810.233618	3810.233618	6.2600e-11
DN_TR	MFZ	250.000	-1262.367026	-1262.367026	5.6200e-11
DN_TR	MFZ	280.000	3849.201624	3849.201624	-1.8600e-12

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DN_T	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DN_T	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DN_T	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DN_T	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DN_T	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DN_T	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DN_T	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DN_T	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DN_T	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DN_T	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DN_T	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DN_T	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DN_T	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11

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

DN_T	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DN_T	VZ	30.000	2767.252580	2767.252580	-7.5200e-11
DN_T	VZ	90.000	-2767.252580	-2767.252580	-7.5200e-11
DN_T	VZ	145.000	2740.932239	2740.932239	1.8200e-10
DN_T	VZ	180.000	-2547.183658	-2547.183658	2.5800e-11
DN_T	VZ	230.000	2777.276300	2777.276300	-1.5700e-10
DN_T	VZ	250.000	-1243.236082	-1243.236082	-9.2100e-11
DN_T	VZ	280.000	2787.481342	2787.481342	7.7000e-11

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DL_TR	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DL_TR	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DL_TR	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DL_TR	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DL_TR	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DL_TR	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DL_TR	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DL_TR	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DL_TR	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DL_TR	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DL_TR	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DL_TR	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DL_TR	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DL_TR	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DL_TR	VZ	30.000	2767.252580	2767.252580	-7.5200e-11
DL_TR	VZ	90.000	-2767.252580	-2767.252580	-7.5200e-11
DL_TR	VZ	145.000	2740.932239	2740.932239	1.8200e-10
DL_TR	VZ	180.000	-2547.183658	-2547.183658	2.5800e-11
DL_TR	VZ	230.000	2777.276300	2777.276300	-1.5700e-10
DL_TR	VZ	250.000	-1243.236082	-1243.236082	-9.2100e-11
DL_TR	VZ	280.000	2787.481342	2787.481342	7.7000e-11
DL_TR	MFY	30.000	5022.231028	5022.231028	9.6800e-11
DL_TR	MFY	90.000	-5022.231028	-5022.231028	9.6800e-11
DL_TR	MFY	145.000	4911.499221	4911.499221	8.9600e-11
DL_TR	MFY	180.000	-4443.221450	-4443.221450	-4.3200e-12
DL_TR	MFY	230.000	5075.752629	5075.752629	3.5200e-12
DL_TR	MFY	250.000	-2025.828992	-2025.828992	-8.7200e-11
DL_TR	MFY	280.000	5143.339483	5143.339483	-4.7600e-11
DL_TR	MFZ	30.000	3773.863680	3773.863680	4.0200e-11
DL_TR	MFZ	90.000	-3773.863680	-3773.863680	4.0200e-11
DL_TR	MFZ	145.000	3686.099695	3686.099695	-2.8500e-11
DL_TR	MFZ	180.000	-3236.583886	-3236.583886	1.3700e-10
DL_TR	MFZ	230.000	3810.233618	3810.233618	6.2600e-11
DL_TR	MFZ	250.000	-1262.367026	-1262.367026	5.6200e-11
DL_TR	MFZ	280.000	3849.201624	3849.201624	-1.8600e-12

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DL_T	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DL_T	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DL_T	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DL_T	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DL_T	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10

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

DL_T	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DL_T	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DL_T	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DL_T	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DL_T	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DL_T	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DL_T	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DL_T	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DL_T	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DL_T	VZ	30.000	2767.252580	2767.252580	-7.5200e-11
DL_T	VZ	90.000	-2767.252580	-2767.252580	-7.5200e-11
DL_T	VZ	145.000	2740.932239	2740.932239	1.8200e-10
DL_T	VZ	180.000	-2547.183658	-2547.183658	2.5800e-11
DL_T	VZ	230.000	2777.276300	2777.276300	-1.5700e-10
DL_T	VZ	250.000	-1243.236082	-1243.236082	-9.2100e-11
DL_T	VZ	280.000	2787.481342	2787.481342	7.7000e-11

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DL_T0	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DL_T0	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DL_T0	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DL_T0	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DL_T0	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DL_T0	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DL_T0	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DL_T0	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DL_T0	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DL_T0	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DL_T0	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DL_T0	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DL_T0	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DL_T0	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DL_T0	VZ	30.000	2767.252580	2767.252580	-7.5200e-11
DL_T0	VZ	90.000	-2767.252580	-2767.252580	-7.5200e-11
DL_T0	VZ	145.000	2740.932239	2740.932239	1.8200e-10
DL_T0	VZ	180.000	-2547.183658	-2547.183658	2.5800e-11
DL_T0	VZ	230.000	2777.276300	2777.276300	-1.5700e-10
DL_T0	VZ	250.000	-1243.236082	-1243.236082	-9.2100e-11
DL_T0	VZ	280.000	2787.481342	2787.481342	7.7000e-11

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DN_T0	N	30.000	1823.529412	1823.529412	3.5500e-11
DN_T0	N	90.000	-1823.529412	-1823.529412	3.5500e-11
DN_T0	N	145.000	1823.529412	1823.529412	3.5500e-11
DN_T0	VY	30.000	4200.000000	4200.000000	2.1700e-16
DN_T0	VY	90.000	-4200.000000	-4200.000000	-4.3300e-16
DN_T0	VY	145.000	4200.000000	4200.000000	-2.1700e-16
DN_T0	VZ	30.000	4240.000000	4240.000000	0.0000e+00
DN_T0	VZ	90.000	-4240.000000	-4240.000000	-2.1500e-16
DN_T0	VZ	145.000	4240.000000	4240.000000	2.1500e-16

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

GROUP_MA	Direction	Énergie Référence	Énergie Code_Aster	Erreur
DN_TR	DX	9.083900	9.083899	-1.1600e-07
DN_TR	DY	35.563390	35.563387	-9.4500 10 -8
DN_TR	DZ	51.155440	51.155445	9.2600 10 -8
DN_TR	RX	96.706530	96.706529	-1.5000 10 -8
DN_TR	RY	144.155340	144.155339	-4.8400 10 -9
DN_TR	RZ	61.549450	61.549446	-5.8100 10 -8
DN_T	DX	9.083900	9.083899	-1.1600e-07
DN_T	DY	35.563390	35.563387	-9.4500 10 -8
DN_T	DZ	51.155440	51.155445	9.2600 10 -8
DL_TR	DX	9.083900	9.083899	-1.1600e-07
DL_TR	DY	35.563390	35.563387	-9.4500 10 -8
DL_TR	DZ	51.155440	51.155445	9.2600 10 -8
DL_TR	RX	96.706530	96.706529	-1.5000 10 -8
DL_TR	RY	144.155340	144.155339	-4.8400e-09
DL_TR	RZ	61.549450	61.549446	-5.8100 10 -8
DL_T	DX	9.083900	9.083899	-1.1600e-07
DL_T	DY	35.563390	35.563387	-9.4500 10 -8
DL_T	DZ	51.155440	51.155445	9.2600 10 -8
DL_T0	DX	9.083900	9.083899	-1.1600e-07
DL_T0	DY	35.563390	35.563387	-9.4500 10 -8
DL_T0	DZ	51.155440	51.155445	9.2600 10 -8
DN_T0	DX	5.055974	5.055974	-5.5200e-12
DN_T0	DY	14.602500	14.602500	0.0000
DN_T0	DZ	25.620480	25.620480	1.3900e-16

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 2D_DISCRET

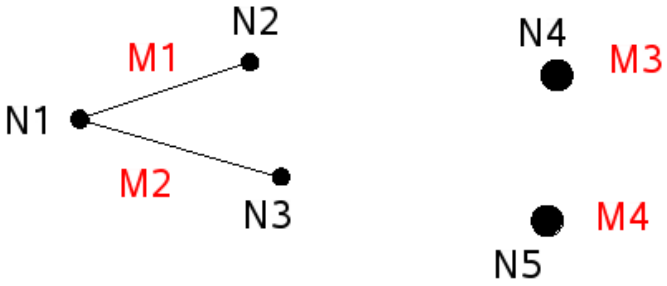


Figure 5.1.a : géométrie.

Caractéristiques des éléments discrets

		Modélisation 2D	GROUP_MA
Maille *M1*	: Nœud *N1* à *N2*	2D_DIS_T	DL_T
Maille *M2*	: Nœud *N1* à *N3*	2D_DIS_TR	DL_TR
Maille *M3*	: Nœud *N4*	2D_DIS_T	DN_T
Maille *M4*	: Nœud *N5*	2D_DIS_TR	DN_TR

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 5, Nombre de mailles : 4, Élément SEG2 : 2, Élément POI1 : 2

4.3 Propriétés des discrets

Le tableau ci-dessous donne pour toutes les directions sollicitées les caractéristiques des discrets.

		F_y	K_e	F_u	k_x	n
DL_T	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
DN_T	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
DL_TR	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
	rz	2500.0	3200000.0	1400.0	850000.0	2.25
DN_TR	dx	1000.0	3400000.0	1000.0	700000.0	2.00
	dy	1500.0	2000000.0	800.0	900000.0	1.50
	rz	2500.0	3200000.0	1400.0	850000.0	2.25

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

4.4 Grandeurs testées et résultats

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DN_TR	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DN_TR	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DN_TR	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DN_TR	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DN_TR	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DN_TR	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DN_TR	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DN_TR	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DN_TR	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DN_TR	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DN_TR	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DN_TR	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DN_TR	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DN_TR	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DN_TR	MFZ	30.000	3773.863680	3773.863680	4.0200e-11
DN_TR	MFZ	90.000	-3773.863680	-3773.863680	4.0200e-11
DN_TR	MFZ	145.000	3686.099695	3686.099695	-2.8500e-11
DN_TR	MFZ	180.000	-3236.583886	-3236.583886	1.3700e-10
DN_TR	MFZ	230.000	3810.233618	3810.233618	6.2600e-11
DN_TR	MFZ	250.000	-1262.367026	-1262.367026	5.6200e-11
DN_TR	MFZ	280.000	3849.201624	3849.201624	-1.8600e-12

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DN_T	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DN_T	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DN_T	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DN_T	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DN_T	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DN_T	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DN_T	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DN_T	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DN_T	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DN_T	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DN_T	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DN_T	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DN_T	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DN_T	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DL_TR	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DL_TR	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DL_TR	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DL_TR	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DL_TR	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DL_TR	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DL_TR	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DL_TR	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DL_TR	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12

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

DL_TR	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DL_TR	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DL_TR	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DL_TR	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DL_TR	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10
DL_TR	MFZ	30.000	3773.863680	3773.863680	4.0200e-11
DL_TR	MFZ	90.000	-3773.863680	-3773.863680	4.0200e-11
DL_TR	MFZ	145.000	3686.099695	3686.099695	-2.8500e-11
DL_TR	MFZ	180.000	-3236.583886	-3236.583886	1.3700e-10
DL_TR	MFZ	230.000	3810.233618	3810.233618	6.2600e-11
DL_TR	MFZ	250.000	-1262.367026	-1262.367026	5.6200e-11
DL_TR	MFZ	280.000	3849.201624	3849.201624	-1.8600e-12

GROUP_MA	Effort	Instant	Effort Référence	Effort Code_Aster	Erreur
DL_T	N	30.000	1635.707253	1635.707253	-8.4900e-11
DL_T	N	90.000	-1635.707253	-1635.707253	-8.4900e-11
DL_T	N	145.000	1525.492881	1525.492881	-1.8200e-10
DL_T	N	180.000	-1249.231871	-1249.231871	1.4500e-11
DL_T	N	230.000	1699.177353	1699.177353	-1.6000e-10
DL_T	N	250.000	-415.381013	-415.381013	-1.1200e-10
DL_T	N	280.000	1789.595108	1789.595108	-4.9600e-11
DL_T	VY	30.000	2224.098875	2224.098875	-4.9400e-12
DL_T	VY	90.000	-2224.098875	-2224.098875	-4.9400e-12
DL_T	VY	145.000	2190.040518	2190.040518	-1.0900e-10
DL_T	VY	180.000	-2017.290415	-2017.290415	-1.5500e-10
DL_T	VY	230.000	2239.745512	2239.745512	-6.2600e-12
DL_T	VY	250.000	-790.397664	-790.397663	-3.5800e-11
DL_T	VY	280.000	2258.782745	2258.782745	1.0400e-10

GROUP_MA	Direction	Énergie Référence	Énergie Code_Aster	Erreur
DN_TR	DX	12.862800	12.862836	$2.8000\ 10^{-6}$
DN_TR	DY	49.538500	49.538536	7.3200e-07
DN_TR	RZ	84.921900	84.921949	5.8100e-07
DN_T	DX	12.862800	12.862836	$2.8000\ 10^{-6}$
DN_T	DY	49.538500	49.538536	7.3200e-07
DL_TR	DX	12.862800	12.862836	$2.8000\ 10^{-6}$
DL_TR	DY	49.538500	49.538536	7.3200e-07
DL_TR	RZ	84.921900	84.921949	5.8100e-07
DL_T	DX	12.862800	12.862836	$2.8000\ 10^{-6}$
DL_T	DY	49.538500	49.538536	7.3200e-07

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

5 Synthèse des résultats

Ces tests permettent de vérifier le bon fonctionnement des éléments discrets 2D et 3D avec le comportement DIS_ECRO_CINE et l'utilisation de STAT_NON_LINE.

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