SSND117 – Validation du comportement DIS_ECRO_TRAC

Résumé :

On teste la réponse du modèle de comportement non linéaire DIS_ECRO_TRAC, formulé sur des éléments discrets pour des mailles SEG2 ou POI1.

L'opérateur STAT_NON_LINE est employé pour la validation. On analyse la réponse d'éléments discrets supportant une loi de comportement non linéaire sous un chargement cyclique.

Les modélisations et éléments discrets testés sont en 3D avec les modélisations DIS_T et DIS_TR sur des mailles POI1 et SEG2.

Ce comportement est aussi validé pour des sollicitations dynamiques dans le cas-test SDND124 [V5.01.124] avec les opérateurs DYNA_VIBRA et DYNA_NON_LINE.

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

1 Problème de référence

1.1 Description du dispositif

L'élément non-linéaire est représenté par le modèle rhéologique ci-dessous.

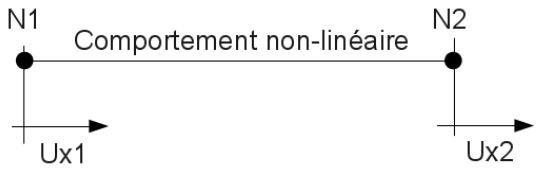


Figure 1.1-a : Modèle du dispositif.

Les équations régissant le comportement sont dans [R5.03.17].

1.2 Modélisations

Les modélisations testées le sont sur des éléments DIS_T puis DIS_TR, mailles SEG2 puis mailles POI1. Les caractéristiques des éléments discrets sont du type : K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_D_N, K_TR_D_N.

Remarque : Les unités des paramètres doivent être en accord avec l'unité des efforts, l'unité des longueurs [R5.03.17]. Pour toutes les modélisations les unités sont homogènes à des [N], [mm].

1.2.1 Modélisation A

Cette modélisation permet de tester le comportement cyclique statique non linéaire de la loi.

1.3 Propriétés matériaux

1.3.1 Modélisation A

La seule propriété est la fonction non-linéaire [R5.03.17].
La figure 1.3.1-a présente le comportement non-linéaire utilisé dans le cas test :

- Comportement élastique jusqu'au point $(0.5\text{mm}, 200.0\text{N})$.
- Comportement non-linéaire suivant la direction x locale du discret, régit par l'équation suivante :

$$R(p) = \frac{K_{elas} \cdot p}{\left[1+\left(\frac{k_{elas} \cdot p}{F_u - F_y}\right)^n\right]^{(1/n)}} \quad \text{avec} \quad K_{elas} = \frac{200.0\,N}{0.5\,mm} = 400\ N/mm$$
$$F_y = 200.0\,N$$
$$F_u = 450.0\,N$$
$$n = 1.5$$

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

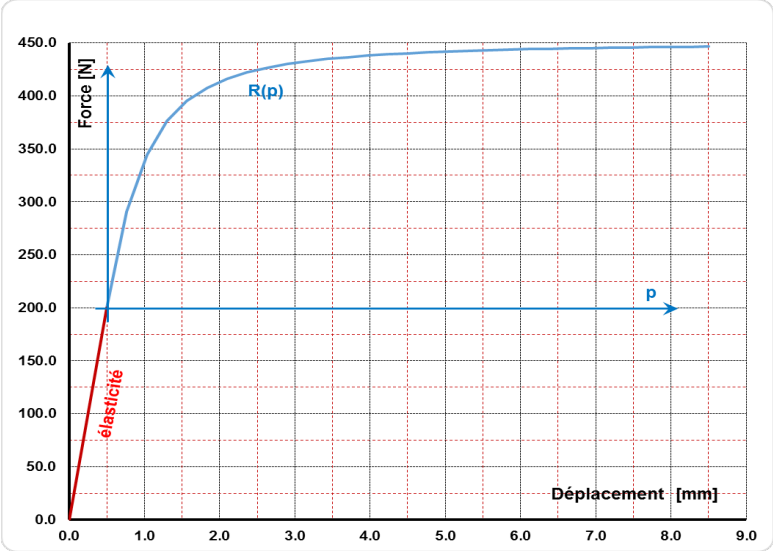


Figure 1.3.1-a **: Comportement non-linéaire**

1.3.2 Modélisation B

La seule propriété est la fonction non-linéaire [R5.03.17].
Le comportement est du type “écrouissage isotrope” dans le plan tangent local à l’élément. Il est défini par la fonction suivante :

```
fctsy2 = DEFI_FONCTION(NOM_PARA="DTAN",
   VALE = (0.0, 0.0, 0.1, 100.0, 0.2, 120.0, 20.2, 370.0),
)
```

1.3.3 Modélisation C

La seule propriété est la fonction non-linéaire [R5.03.17].
Le comportement est du type “écrouissage cinématique ” dans le plan tangent local à l’élément. Il est défini par la fonction suivante :

```
fctsy2 = DEFI_FONCTION( NOM_PARA= "D TAN " ,
   VALE = (0.0, 0.0, 0.1, 100.0, 20.1, 350.0),
)
```

1.4 Conditions aux limites et chargements

1.4.1 Modélisation A

Lorsque le discret est un SEG2, l’un des nœuds est bloqué, sur l’autre une condition de déplacement est imposé. Lorsque le discret est un POI1 la condition de déplacement est imposé sur ce nœud.

La condition en déplacement est une fonction du temps :

$U_0.\sin\left(2\pi.f.t\right)$ avec $f=1\,Hz$ et $U_0=2.0\,mm$

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

1.4.2 Modélisations B et C

Lorsque le discret est un SEG2, l'un des nœuds est bloqué, sur l'autre une condition de déplacement est imposé. Lorsque le discret est un POI1 la condition de déplacement est imposé sur ce nœud.

Les conditions en déplacement sont des fonctions du temps :

$$Depl = U_{1.} \sin(2\pi . f_1 . t) + U_{2.} \sin(2\pi . f_2 . t) + U_{3.} \sin(2\pi . f_3 . t)$$

Suivant la direction Y : $(u, f) = [(0.20, 0.80), (0.15, 1.50), (0.10, 3.00)]$
Suivant la direction Z : $(u, f) = [(-0.20, 0.90), (0.15, 2.00), (-0.10, 2.80)]$

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

2 Solutions de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour les solutions de référence

2.1.1 Modélisation A

L'équation du comportement non-linéaire est connu ainsi que le chargement en déplacement, la solution est calculée de façon analytique.

La réponse en effort de la loi de comportement est :

INST	DX [mm]	Force [N]
1.000E-01	1.1755705046E+00	3.6359182479E+02
1.500E-01	1.6180339887E+00	3.9812608291E+02
2.000E-01	1.9021130326E+00	4.1019465908E+02
2.500E-01	2.0000000000E+00	4.1334696516E+02
3.000E-01	1.9021130326E+00	3.7419217820E+02
3.500E-01	1.6180339887E+00	2.6056056066E+02
4.000E-01	1.1755705046E+00	8.3575166995E+01
4.500E-01	6.1803398875E-01	-1.3943943934E+02
5.500E-01	-6.1803398875E-01	-4.2538927701E+02
6.000E-01	-1.1755705046E+00	-4.3218671109E+02
6.500E-01	-1.6180339887E+00	-4.3565267662E+02
7.000E-01	-1.9021130326E+00	-4.3733359687E+02
7.500E-01	-2.0000000000E+00	-4.3783890390E+02
8.000E-01	-1.9021130326E+00	-3.9868411694E+02
8.500E-01	-1.6180339887E+00	-2.8505249940E+02
9.000E-01	-1.1755705046E+00	-1.0806710573E+02
9.500E-01	-6.1803398875E-01	1.1494750060E+02
1.050E+00	6.1803398875E-01	4.3970639868E+02
1.100E+00	1.1755705046E+00	4.4151193260E+02
1.150E+00	1.6180339887E+00	4.4260216756E+02
1.200E+00	1.9021130326E+00	4.4318572288E+02
1.250E+00	2.0000000000E+00	4.4336937364E+02
1.300E+00	1.9021130326E+00	4.0421458667E+02
1.350E+00	1.6180339887E+00	2.9058296914E+02
1.400E+00	1.1755705046E+00	1.1359757547E+02
1.450E+00	6.1803398875E-01	-1.0941703086E+02

Les variables internes de la loi de comportement sont également calculées et seront testées.

	Nom de la variable	
V1	FORCEX	Force axiale dans le repère local
V4	DEPLX	Déplacement axial dans le repère local
V7	DISSTHER	Dissipation
V8	PCUM	Déplacement anélastique cumulé
V9	DEPLPX	Déplacement anélastique

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

Les variables internes de la loi de comportement :

INST	V1	V4	V7	V9	V8
1.000E-01	3,63592E+02	1,17557E+00	8,68431E+01	2,66591E-01	2,66591E-01
1.500E-01	3,98126E+02	1,61803E+00	2,23467E+02	6,22719E-01	6,22719E-01
2.000E-01	4,10195E+02	1,90211E+00	3,26206E+02	8,76626E-01	8,76626E-01
2.500E-01	4,13347E+02	2,00000E+00	3,63271E+02	9,66633E-01	9,66633E-01
3.000E-01	3,74192E+02	1,90211E+00	3,63271E+02	9,66633E-01	9,66633E-01
3.500E-01	2,60561E+02	1,61803E+00	3,63271E+02	9,66633E-01	9,66633E-01
4.000E-01	8,35752E+01	1,17557E+00	3,63271E+02	9,66633E-01	9,66633E-01
4.500E-01	-1,39439E+02	6,18034E-01	3,63271E+02	9,66633E-01	9,66633E-01
5.500E-01	-4,25389E+02	-6,18034E-01	5,82185E+02	4,45439E-01	1,48783E+00
6.000E-01	-4,32187E+02	-1,17557E+00	8,14129E+02	-9,51037E-02	2,02837E+00
6.500E-01	-4,35653E+02	-1,61803E+00	1,00241E+03	-5,28902E-01	2,46217E+00
7.000E-01	-4,37334E+02	-1,90211E+00	1,12458E+03	-8,08779E-01	2,74204E+00
7.500E-01	-4,37839E+02	-2,00000E+00	1,16686E+03	-9,05403E-01	2,83867E+00
8.000E-01	-3,98684E+02	-1,90211E+00	1,16686E+03	-9,05403E-01	2,83867E+00
8.500E-01	-2,85052E+02	-1,61803E+00	1,16686E+03	-9,05403E-01	2,83867E+00
9.000E-01	-1,08067E+02	-1,17557E+00	1,16686E+03	-9,05403E-01	2,83867E+00
9.500E-01	1,14948E+02	-6,18034E-01	1,16686E+03	-9,05403E-01	2,83867E+00
1.050E+00	4,39706E+02	6,18034E-01	1,35299E+03	-4,81232E-01	3,26284E+00
1.100E+00	4,41512E+02	1,17557E+00	1,59669E+03	7,17907E-02	3,81586E+00
1.150E+00	4,42602E+02	1,61803E+00	1,79109E+03	5,11529E-01	4,25560E+00
1.200E+00	4,43186E+02	1,90211E+00	1,91626E+03	7,94149E-01	4,53822E+00
1.250E+00	4,43369E+02	2,00000E+00	1,95945E+03	8,91577E-01	4,63565E+00
1.300E+00	4,04215E+02	1,90211E+00	1,95945E+03	8,91577E-01	4,63565E+00
1.350E+00	2,90583E+02	1,61803E+00	1,95945E+03	8,91577E-01	4,63565E+00
1.400E+00	1,13598E+02	1,17557E+00	1,95945E+03	8,91577E-01	4,63565E+00
1.450E+00	-1,09417E+02	6,18034E-01	1,95945E+03	8,91577E-01	4,63565E+00

2.1.2 Modélisations B et C

Cas tests de non-régression

2.2 Incertitude sur la solution

2.2.1 Modélisation A

Aucune, la solution de référence est exacte.

2.2.2 Modélisations B et C

Sans objet

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les modélisations testées sont DIS_T et DIS_TR sur des mailles et des points. Les caractéristiques de raideur des discrets sont donc du type : K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_D_N, K_TR_D_N.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 6, nombre de mailles : 4, éléments SEG2 : 2, éléments POI1 : 2.

3.3 Conditions aux limites et chargements

La condition en déplacement est la fonction du temps :

3.4 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont le déplacement, l'effort, les variables internes.
Les tolérances sont celles par défaut.

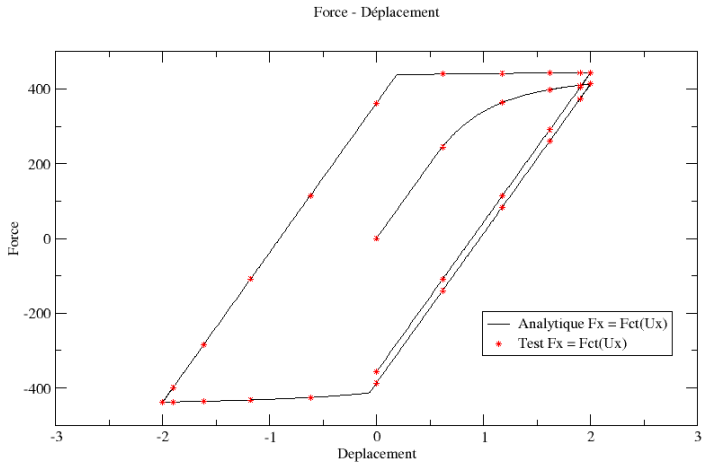


Figure 3.4-a **: Comparaison de la réponse force-déplacement.**

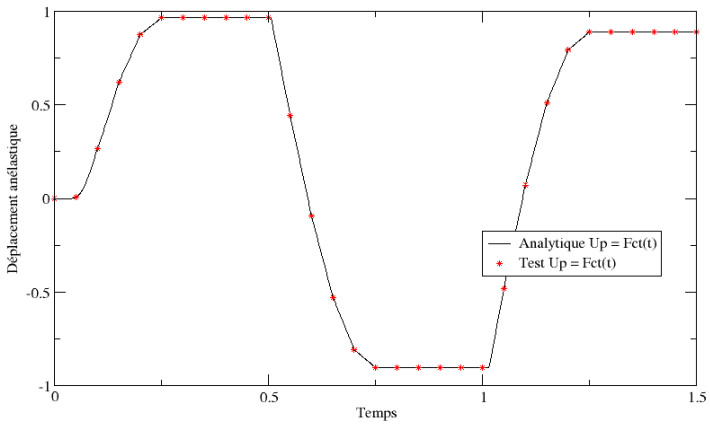


Figure 3.4-b **: Comparaison du déplacement anélastique vs temps.**

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

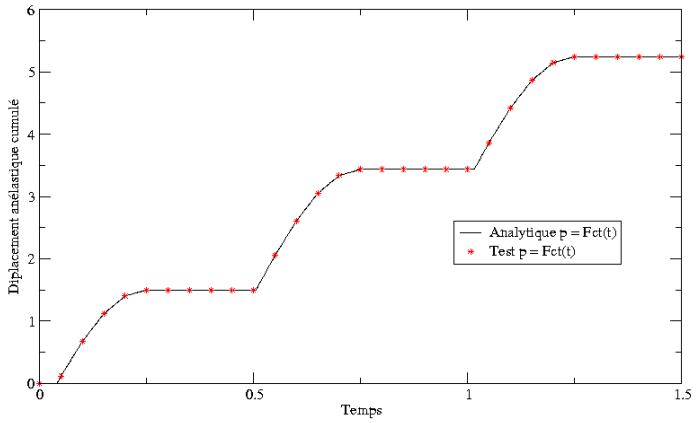


Figure 3.4-c **: Comparaison du déplacement anélastique cumulé vs temps.**

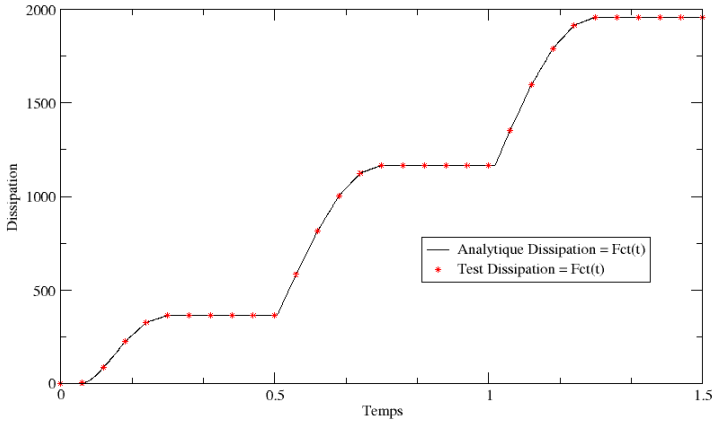


Figure 3.4-d **:comparaison de la dissipation vs temps.**

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Les modélisations testées sont DIS_T et DIS_TR sur des mailles et des points. Les caractéristiques de raideur des discrets sont donc du type : K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_D_N, K_TR_D_N.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 6, nombre de mailles : 4, éléments SEG2 : 2, éléments POI1 : 2.

4.3 Conditions aux limites et chargements

La condition en déplacement est la fonction du temps :

4.4 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont le déplacement, l'effort, les variables internes.
Les tolérances sont celles par défaut.

	Nom de la variable	
V2	FORCEY	Force suivant l'axe local y de l'élément.
V3	FORCEZ	Force suivant l'axe local z de l'élément.
V5	DEPLY	Déplacement suivant l'axe local y de l'élément.
V6	DEPLZ	Déplacement suivant l'axe local z de l'élément.
V7	DISSTHER	Dissipation.
V8	PCUM	Indicateur plastique.

INST	V2	V3	V5	V6	V7	V8
4.000E-01	1,50323E+01	-2,92173E+01	1,50323E-02	-2,92173E-02	0,00000E+00	0,00000E+00
1.000E+00	-3,80423E+01	4,25325E+01	-3,80423E-02	4,25325E-02	0,00000E+00	0,00000E+00
1.460E+00	8,58639E+01	-6,66728E+01	1,11532E-01	-9,01775E-02	3,63576E+00	3,48403E-02
2.080E+00	1,74943E+01	1,19056E+02	1,28874E-02	1,49800E-01	1,19733E+01	1,06407E-01
2.520E+00	-5,94795E+01	-1,03887E+02	-8,26979E-02	-9,87251E-02	1,57943E+01	1,38107E-01
3.420E+00	1,22669E+02	-4,38438E+01	6,78613E-03	-1,19585E-01	1,10311E+02	8,91220E-01
4.580E+00	-1,29527E+02	6,63161E+01	-3,48678E-01	7,08092E-02	2,76412E+02	2,09579E+00
5.220E+00	-5,15692E+01	1,44536E+02	-3,71105E-02	3,11240E-01	3,70225E+02	2,72335E+00
6.120E+00	1,54687E+02	7,61953E+01	9,11893E-02	8,43277E-02	6,14488E+02	4,22238E+00
7.220E+00	-1,88155E+02	-2,22833E+01	-4,13216E-01	-4,50213E-02	8,58010E+02	5,56815E+00
7.700E+00	1,60373E+02	1,07335E+02	1,81292E-01	2,10136E-01	9,10994E+02	5,84523E+00
8.120E+00	1,04843E+02	1,68022E+02	2,17801E-01	6,24516E-02	9,89326E+02	6,24588E+00
8.560E+00	-1,19153E+02	1,66194E+02	-3,80400E-01	3,14357E-01	1,09180E+03	6,75502E+00
9.360E+00	5,00216E+01	-2,06836E+02	1,00544E-01	-3,35797E-01	1,22870E+03	7,41113E+00
9.880E+00	-1,99287E+02	-8,87959E+01	-3,26229E-01	6,15869E-02	1,32020E+03	7,83576E+00
1.040E+01	2,99822E+01	-2,21747E+02	1,87903E-01	-3,65216E-01	1,41779E+03	8,27743E+00
1.098E+01	-1,25061E+02	8,91986E+01	-2,04159E-01	1,97692E-01	1,49901E+03	8,63675E+00
1.168E+01	-3,30553E+00	2,36773E+02	1,72188E-01	2,26495E-01	1,65485E+03	9,30686E+00
1.232E+01	-5,96964E+01	-2,35641E+02	-1,63327E-01	-2,23125E-01	1,77407E+03	9,80374E+00
1.278E+01	2,46206E+02	1,26225E+01	4,13216E-01	4,50213E-02	1,84069E+03	1,00758E+01
1.374E+01	1,80682E+02	-1,30957E+02	-7,43374E-03	-1,47891E-01	2,02731E+03	1,08187E+01
1.458E+01	-2,58181E+02	7,26517E+01	-3,80653E-01	7,73027E-02	2,28145E+03	1,17884E+01
1.522E+01	1,76788E+01	2,70069E+02	-3,54776E-02	2,97545E-01	2,33337E+03	1,19811E+01
1.562E+01	-9,63865E+01	1,43497E+02	-7,14677E-03	1,55959E-01	2,37258E+03	1,21255E+01
1.612E+01	1,49825E+02	2,31724E+02	7,07629E-02	6,54383E-02	2,44767E+03	1,23993E+01
1.670E+01	2,13407E+02	1,76855E+02	1,71094E-01	9,93262E-02	2,47441E+03	1,24960E+01
1.748E+01	1,25011E+02	1,76254E+02	8,26979E-02	9,87251E-02	2,47441E+03	1,24960E+01
1.794E+01	3,79693E+01	-7,11375E+01	-4,34385E-03	-1,48667E-01	2,47441E+03	1,24960E+01
1.854E+01	-6,92185E+01	1,67707E+02	-1,11532E-01	9,01775E-02	2,47441E+03	1,24960E+01
1.910E+01	7,29511E+01	6,74797E+01	3,06379E-02	-1,00494E-02	2,47441E+03	1,24960E+01

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les modélisations testées sont DIS_T et DIS_TR sur des mailles et des points. Les caractéristiques de raideur des discrets sont donc du type : K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_D_N, K_TR_D_N.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 6, nombre de mailles : 4, éléments SEG2 : 2, éléments POI1 : 2.

5.3 Conditions aux limites et chargements

La condition en déplacement est la fonction du temps :

5.4 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont le déplacement, l'effort, les variables internes.
Les tolérances sont celles par défaut.

	Nom de la variable	
V2	FORCEY	Force suivant l'axe local y de l'élément.
V3	FORCEZ	Force suivant l'axe local z de l'élément.
V5	DEPLY	Déplacement suivant l'axe local y de l'élément.
V6	DEPLZ	Déplacement suivant l'axe local z de l'élément.
V7	DISSTHER	Dissipation.
V8	PCUM	Indicateur plastique.

INST	V2	V3	V5	V6	V7	V8
4,000E-01	1,50323E+01	-2,92173E+01	1,50323E-02	-2,92173E-02	0,00000E+00	0,00000E+00
1,000E+00	-3,80423E+01	4,25325E+01	-3,80423E-02	4,25325E-02	0,00000E+00	0,00000E+00
1,460E+00	7,97639E+01	-6,12084E+01	1,11532E-01	-9,01775E-02	4,30413E+00	4,30413E-02
2,080E+00	2,95172E+01	9,61582E+01	1,28874E-02	1,49800E-01	1,65017E+01	1,65017E-01
2,520E+00	-3,34475E+01	-9,11873E+01	-8,26979E-02	-9,87251E-02	2,34569E+01	2,34569E-01
3,420E+00	9,84926E+01	-9,70970E+00	6,78613E-03	-1,19585E-01	1,14363E+02	1,14363E+00
4,580E+00	-8,87131E+01	5,22258E+01	-3,48678E-01	7,08092E-02	2,53754E+02	2,53754E+00
5,220E+00	-4,84703E+01	9,01862E+01	-3,71105E-02	3,11240E-01	3,34950E+02	3,34950E+00
6,120E+00	9,53866E+01	3,05349E+01	9,11893E-02	8,43277E-02	5,31573E+02	5,31572E+00
7,220E+00	-8,79395E+01	-5,44144E+01	-4,13216E-01	-4,50213E-02	6,98202E+02	6,98202E+00
7,700E+00	8,18760E+01	6,10548E+01	1,81292E-01	2,10136E-01	7,45311E+02	7,45311E+00
8,120E+00	1,44292E+00	9,95224E+01	2,17801E-01	6,24516E-02	8,22792E+02	8,22791E+00
8,560E+00	-5,81145E+01	8,70217E+01	-3,80400E-01	3,14357E-01	9,05850E+02	9,05849E+00
9,360E+00	8,00689E+01	-6,36972E+01	1,00544E-01	-3,35797E-01	1,03184E+03	1,03184E+01
9,880E+00	-9,40630E+01	-3,99026E+01	-3,26229E-01	6,15869E-02	1,12758E+03	1,12758E+01
1,040E+01	-1,07852E+01	-1,02438E+02	1,87903E-01	-3,65216E-01	1,19792E+03	1,19792E+01
1,098E+01	-4,18053E+01	9,30843E+01	-2,04159E-01	1,97692E-01	1,32448E+03	1,32448E+01
1,168E+01	-9,56494E+00	1,00884E+02	1,72188E-01	2,26495E-01	1,44115E+03	1,44115E+01
1,232E+01	4,04045E+00	-1,01352E+02	-1,63327E-01	-2,23125E-01	1,56210E+03	1,56210E+01
1,278E+01	1,03909E+02	1,68068E+00	4,13216E-01	4,50213E-02	1,61472E+03	1,61472E+01
1,374E+01	5,11726E+01	-7,09213E+00	-7,43374E-03	-1,47891E-01	1,77337E+03	1,77337E+01
1,458E+01	-8,75689E+01	5,47617E+01	-3,80653E-01	7,73027E-02	1,94216E+03	1,94216E+01
1,522E+01	-4,86134E+01	8,99238E+01	-3,54776E-02	2,97545E-01	2,02721E+03	2,02721E+01
1,562E+01	-9,20887E+01	3,78339E+01	-7,14677E-03	1,55959E-01	2,08318E+03	2,08318E+01
1,612E+01	9,40287E+01	3,36165E+01	7,07629E-02	6,54383E-02	2,18674E+03	2,18674E+01
1,670E+01	1,00882E+02	1,14614E-01	1,71094E-01	9,93262E-02	2,19895E+03	2,19895E+01
1,748E+01	8,40830E+01	5,38879E+01	8,26979E-02	9,87251E-02	2,28712E+03	2,28712E+01
1,794E+01	-3,46092E+00	-9,87767E+01	-4,34385E-03	-1,48667E-01	2,29668E+03	2,29668E+01
1,854E+01	-6,54461E+01	7,62865E+01	-1,11532E-01	9,01775E-02	2,30615E+03	2,30615E+01
1,910E+01	6,94602E+01	-2,52087E+01	3,06379E-02	-1,00494E-02	2,30689E+03	2,30689E+01

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

6 Synthèse des résultats

Ces tests permettent de vérifier le bon fonctionnement des éléments discrets avec le comportement DIS_ECRO_TRAC dans le cadre d'une utilisation avec la commande STAT_NON_LINE.

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