Notice d'utilisation des éléments discrets

Résumé :

Ce document est une notice d'utilisation pour les modélisations des éléments discrets.

Les éléments discrets interviennent dans la modélisation numérique de raideurs, d'amortissements ou masses localisés sur un nœud (maille `POI1`) ou entre deux nœuds (maille `SEG2`) . Leurs degrés de liberté sont des déplacements généralisés.

Ils sont utilisables en mécanique linéaire ou non linéaire.

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

Table des matières

1 Introduction 3
2 Affectation des propriétés des discrets 4
2.1 Mailles supports des discrets 4
2.2 Discrétisation spatiale et affectation d'une modélisation 4
2.3 Degrés de liberté 4
2.3.1 Mailles support des matrices 4
2.3.2 Modèle : AFFE_MODELE 4
2.3.3 Caractéristiques élémentaires, opérateur AFFE_CARA_ELEM 5
2.3.4 Matériaux : DEFI_MATERIAU 6
2.3.5 Chargements et conditions limites : AFFE_CHAR_MECA et AFFE_CHAR_MECA_F 10
3 Résolution 12
3.1 Calculs linéaires : MECA_STATIQUE et autres opérateurs linéaires 12
3.2 Calculs non linéaires : STAT_NON_LINE et DYNA_NON_LINE 12
3.3 Calculs non linéaires explicites sur base modale : DYNA_VIBRA (TRAN/GENE) 12
4 Calculs supplémentaires et post-traitements 13
4.1 Calculs par éléments : opérateurs CALC_CHAMP 13
4.2 Calculs de quantités sur tout ou partie de la structure : opérateur POST_ELEM 13
4.3 Calculs du décollement : opérateur POST_DECOLLEMENT 13
5 Remarques 14
5.1 Longueur des éléments discrets 14
5.2 Transmission des efforts 14
6 Exemples 15
6.1 Éléments de masse 15
6.2 Éléments de raideur 16
6.3 Éléments d'amortissement 20
6.4 Autres utilisations 21
7 Bibliographie 24

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

1 Introduction

Les éléments discrets sont utilisés pour modéliser très simplement des masses , des ressorts ou encore des amortisseurs.
Ils sont utilisés pour affecter des propriétés ponctuelles à des nœuds du maillage et définir des masses ponctuelles, raideurs et amortissement d'appuis.

Ces modélisations sont utilisables en mécanique linéaire et non linéaire, sous l'hypothèse de petits déplacements.

Trois catégories d'éléments de discrets sont décrites dans ce document :
- masse,
- raideur,
- amortisseur,

Dans une première partie, on présente la mise en donnée des propriétés des éléments discrets avec les différentes options disponibles.
On donne dans la seconde et troisième partie les opérateurs de calcul et de post-traitement pour les éléments discrets.
La dernière partie donne une liste de cas tests, exemples d'utilisation des discrets.

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

2 Affectation des propriétés des discrets

2.1 Mailles supports des discrets

Les mailles supports des éléments discrets sont des POI1 (maille à un nœud) ou SEG2 (segment à deux nœuds).

2.2 Discrétisation spatiale et affectation d'une modélisation

Dans cette partie, on décrit le choix et l'affectation d'une des modélisations discrètes ainsi que les degrés de liberté et les mailles associées. La plupart des informations décrites sont extraites des documentations d'utilisation des modélisations :

- [U3.11.02] : modélisations DIS_T et DIS_TR.
- [U3.13.09] : modélisations 2D_DIS_T et 2D_DIS_TR.

2.3 Degrés de liberté

Les degrés de liberté de discrétisation sont définis en chaque nœud de la maille support. Les composantes, dépendant de la modélisation choisie, sont données dans le tableau suivant.

Modélisation	Degrés de liberté (à chaque nœud)					
2D_DIS_T	DX	DY				
2D_DIS_TR	DX	DY				DRZ
DIS_T	DX	DY	DZ			
DIS_TR	DX	DY	DZ	DRX	DRY	DRZ

2.3.1 Mailles support des matrices

Modélisation	Maille	Élément fini
2D_DIS_T	POI1	MECA_2D_DIS_T_N
	SEG2	MECA_2D_DIS_T_L
2D_DIS_TR	POI1	MECA_2D_DIS_TR_N
	SEG2	MECA_2D_DIS_TR_L
DIS_T	POI1	MECA_DIS_T_N
	SEG2	MECA_DIS_T_L
DIS_TR	POI1	MECA_DIS_TR_N
	SEG2	MECA_DIS_TR_L

Remarque :

Dans un m aillage, pour transformer un nœud en une maille POI1, on peut utiliser la commande CREA_MAILLAGE avec le mot clé CREA_POI1 (voir [U4.23.02]).

2.3.2 Modèle : AFFE_MODELE

L'affectation de la modélisation passe par l'opérateur AFFE_MODELE [U4.41.01].

AFFE_MODELE	
AFFE	
PHENOMENE	'MECANIQUE'
MODELISATION	'2D_DIS_T'
	'2D_DIS_TR'
	'DIS_T'
	'DIS_TR'

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

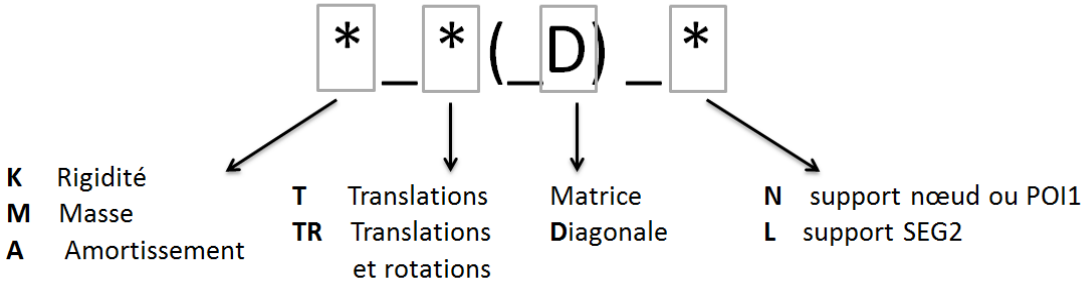
2.3.3 Caractéristiques élémentaires, opérateur AFFE_CARA_ELEM

Dans cette partie, les opérandes caractéristiques des éléments discrets sont décrits. La documentation d'utilisation de l'opérateur AFFE_CARA_ELEM est [U4.42.01].
Ces mots clés permettent d'affecter directement à des entités (mailles ou nœuds), qui supportent des éléments de type DIS_T, DIS_TR (DISCRET) ou 2D_DIS_T, 2D_DIS_TR (DISCRET_2D), des **matrices** de **rigidité**, de **masse** ou d'**amortissement**.

Les caractéristiques peuvent être définies par un des quatre mots clés suivants et régissent le comportement élastique linéaire.

2.3.3.1 Mot clef : DISCRET ou DISCRET_2D

Les caractéristiques des discrets sont décrites par la nomenclature suivante :



Les possibilités d'affectation des matrices sont :
– Matrices de rigidité
  K_T_D_N, K_TR_D_N, K_T_D_L, K_TR_D_L, K_T_N, K_TR_N, K_T_L, K_TR_L
– Matrices de masse
  M_T_D_N, M_TR_D_N, M_T_D_L, M_TR_D_L, M_T_N, M_TR_N, M_T_L, M_TR_L
– Matrices d'amortissement
  A_T_D_N , A_TR_D_N , A_T_D_L, A_TR_D_L, A_T_N , A_TR_N , A_T_L , A_TR_L

Le nombre de valeurs nécessaires pour définir les matrices est fonction de la caractéristique choisie dans [U4.42.01].

Par défaut, les caractéristiques sont données dans le repère global. Le repère local peut être défini pour un nœud, une maille POI1 ou maille SEG2 grâce au mot clé ORIENTATION de AFFE_CARA_ELEM et en précisant REPERE='LOCAL'.

Remarques :
- L'indice T ou TR doit être compatible avec la définition des modèles dans AFFE_MODELE : DIS_T ou DIS_TR
- On peut appliquer des caractéristiques de masses et de rigidité sur une même maille. Si on affecte seulement une masse sur un discret, on obtient l'alarme DISCRETS_27 pour indiquer qu'une raideur nulle est considérée. L'alarme DISCRETS_26 est émise dans le cas où on affecte seulement une raideur. Pour supprimer ces alarmes il faut renseigner les différentes matrices.
- Le mot clé AMOR_HYST= $amor_h$ permet de construire une matrice de rigidité complexe (modélisation de l'amortissement hystérétique); la matrice construite est : $(1+\mathrm{i}.amor_h).\mathbf{K}$ où $\mathbf{K}$ est la matrice K_* dont les valeurs sont fournies dans la même occurrence du mot clé DISCRET. La matrice de rigidité complexe sera construite lors d'un appel à CALC_MATR_ELEM [U4.61.01] avec l'option AMOR_HYST (voir test SDLD313 et [R5.05.04]).
- La définition complète des matrices de rigidité, masse ou amortissement permet de définir des éléments excentrés. Le cas test SDNL113 donne l'exemple de masses excentrées (V5.02.113).

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

2.3.3.2 Mot clef : RIGI_PARASOL

Cette fonctionnalité correspond à une méthodologie utilisée pour déterminer les caractéristiques d'éléments discrets (ressorts de translation et/ou de rotation) à appliquer aux nœuds d'un radier à partir de raideurs globales.
Cette option est disponible en 3D et en 2D. Dans le cas 3D le radier sera modélisé par une surface, dans le cas 2D il sera modélisé par une ligne (test SSNL130 [V6.02.130]). Dans le cas 2D, les discrets sont des 2D_DIS_TR ou 2D_DIS_T.
Le mot clef facteur RIGI_PARASOL répartit 6 raideurs globales proportionnellement aux surfaces des éléments entourant ses nœuds.
Cas tests : SSLS118C et D [V2.03.118] et SSNL130 A et B [V6.02.130]

2.3.3.3 Mot clef : RIGI_MISS_3D

Ce mot-clé va affecter les termes exacts d'une matrice d'impédance calculée par MISS3D pour tous les degrés de liberté d'interface (3 fois le nombre de nœuds) et pour une fréquence d'extraction donnée. L'affectation de ces termes (modélisation DIS_T) se fait alors aux mailles ponctuelles POI1 des nœuds de la fondation surfacique.
Cas test : SDNX101A [V5.05.101].

2.3.3.4 Mot clef : MASS_AJOU

Dans cette nouvelle option MASS_AJOU , on répartit aux nœuds de l'interface fluide-structure via des caractéristiques 'M_T_N' des valeurs élémentaires de masse directionnelle obtenues par intégration de la pression normale à chaque élément (à partir de fonctions de répartition de cette pression normale dépendant des coordonnées, en particulier de l'altitude) afin d'exprimer des relations de Westergaard par exemple ou plus simplement l'expression de la pression hydrostatique.
L'affectation de ces termes (modélisation DIS_T à déclarer dans AFFE_MODELE) se fait alors aux mailles ponctuelles POI1 des nœuds de l'interface fluide-structure à l'aide du mot-clé GROUP_MA_POI1 du mot clé facteur MASS_AJOU.
Cas test : FDLV112C [V8.01.112].

2.3.3.5 Mot clef : MASS_REP

L'objectif est de prendre en compte simplement une masse et de la répartir sur une surface. L'option MASS_REP, permet de répartir aux nœuds des discrets de caractéristique 'M_T_D_N' des valeurs de masse obtenues au prorata de l'aire des mailles surfaciques ou de la longueur des mailles linéiques.
L'affectation (modélisation 'DIS_T' à déclarer dans AFFE_MODELE) se fait sur des mailles ponctuelles de type POI1.
Cas test : ZZZ384A [V1.01.384].

2.3.4 Matériaux : DEFI_MATERIAU

La définition des paramètres décrivant le comportement non_linéaire d'un matériau s'effectue à l'aide de l'opérateur DEFI_MATERIAU [U4.43.01] et le choix du comportement dans le mot clé COMPORTEMENT de STAT_NON_LINE ou DYNA_NON_LINE.
Le détail des lois de comportements des discrets est donné dans la documentation [R5.03.17] Relations de comportement des éléments discrets, excepté pour la loi ARME et la loi ASSE_CORN [R5.03.32].

- ARME
  La loi de comportement ARME permet de modéliser le comportement d'un armement de ligne aérienne. Il s'agit d'une loi de comportement tri-linéaire non-linéaire (avec décharge) pouvant représenter la rupture d'un armement de ligne aérienne.
  Cas test : SSNL101 [V6.02.101].

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

- ASSE_CORN [R5.03.32]
  La loi de comportement ASSE_CORN permet de modéliser le comportement non linéaire de cornières de pylônes (DIS_TR). La loi représente à la fois le comportement en traction de l'assemblage et la relation moment-rotation autour de l'axe des boulons, perpendiculaire à l'assemblage. Les autres directions de chargement présentent un comportement élastique linéaire décrit par des caractéristiques classiques de rigidité.
  Cas test : SSNL102A
- DIS_BILI_ELAS [R5.03.17]
  La loi de comportement DIS_BILI_ELAS permet de modéliser un comportement élastique bilinéaire en translation, dans chaque direction. Les coefficients de la loi bi-linéaire peuvent dépendre de la température.
  Cas test : SSND103A/B/C
- DIS_CHOC [R5.03.17]
  La loi de comportement DIS_CHOC permet de modéliser le contact avec choc et frottement entre deux structures, via deux types de relations :
  - la relation de contact unilatéral qui exprime la non inter-pénétrabilité entre les corps solides,
  - la relation de frottement de Coulomb qui régit la variation des efforts tangentiels dans le contact.

  Ce comportement est explicite et est traité par pénalisation. Les raideurs qui interviennent dans le comportement ne sont donc pas « physiques »
  Il n'est pas conseillé d'utiliser ce comportement pour modéliser des éléments dont les raideurs ont un sens « physique ». Dans ce cas, il est souhaitable d'utiliser le comportement DIS_CONTACT, qui a les mêmes paramètres matériaux et avec un formalisme proche d'une loi de plasticité.
  Cas tests :
  SDLS119A/B Prise en compte du décollement
  SSND116A Contact avec frottement (étude statique)
  SDND100C Contact avec frottement (étude dynamique)
  SDND102B/C Choc entre masses en dynamique
  SSNL130A/B [Étude statique avec RIGI_PARASOL
- DIS_CONTACT [R5.03.17]
  La loi de comportement DIS_CONTACT permet de modéliser le contact avec choc et frottement entre deux structures, via deux types de relations :
  - la relation de contact unilatéral qui exprime la non inter-pénétrabilité entre les corps solides,
  - la relation de frottement de Coulomb qui régit la variation des efforts tangentiels dans le contact.

  Ce comportement est implicite et est écrit comme une loi de comportement classique. Les raideurs qui interviennent dans ce comportement sont donc physiques.
  Il n'est pas conseillé d'utiliser ce comportement pour modéliser du contact par pénalisation. Dans ce cas, il est souhaitable d'utiliser le comportement DIS_CHOC , qui a les mêmes paramètres matériaux qui est intégrée explicitement et qui traite le contact et le frottement par pénalisation .
  Cas tests :
  [V5.01.100] : Lâcher d'un patin frottant avec frottement de type Coulomb
  [V5.01.102] : Réponse sismique d'un système masse-ressort non linéaire multi-supporté
  [V5.01.108] : Loi de comportement DIS_CONTACT en dynamique
  [V5.02.104] : Sous-structuration transitoire non linéaire : choc d'une poutre sur 1 appui
  [V5.03.105] : Balancement d'un bloc sur une table
  [V6.02.130] : Plaque indéformable sur un tapis de ressorts
  [V6.08.116] : Loi de comportement DIS_CONTACT en statique
  [V6.08.118] : Loi de comportement DIS_CONTACT , gestion du contact initial
- DIS_ECRO_CINE [R5.03.17]
  La loi de comportement DIS_ECRO_CINE est une loi de comportement élastoplastique à écrouissage cinématique non linéaire.
  Cas tests :
  SSND102A/B [V6.08.102] (étude statique)
- DIS_ECRO_TRAC [R5.03.17]
  Le comportement DIS_ECRO_TRAC est un comportement non linéaire qui s'applique soit :

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

◦ au degré de liberté DX local des éléments discrets à deux nœuds (sur maille SEG2) ou et des éléments discrets à un nœud (maille POI1). Le comportement est du type "écrouissage isotrope".
◦ dans le plan tangent YZ local des éléments discrets à deux nœuds (sur maille SEG2) ou et des éléments discrets à un nœud (maille POI1). Le comportement est du type "écrouissage isotrope" ou "écrouissage cinématique" .

Le comportement non-linéaire est donné par une courbe $F = fonction(\Delta U)$:
◦ pour un SEG2, ΔU représente le déplacement relatif des 2 nœuds dans le repère local de l'élément.
◦ pour un POI1, ΔU représente le déplacement absolu du nœud dans le repère local de l'élément.
◦ pour un SEG2 ou un POI1, F représente l'effort exprimé dans le repère local de l'élément.

Cas tests :
[V6.08.117] : Validation du comportement DIS_ECRO_TRAC
[V5.01.124] : Excitation sismique d'un discret affecté du comportement DIS_ECRO_TRAC

- DIS_GOUJ2E_ELAS ou DIS_GOUJ2E_PLAS [R5.03.17]
  Ces lois de comportement permettent de modéliser une relation de comportement de type élastoplastique à écrouissage isotrope, liant les efforts dans l'élément discret à la différence de déplacement des deux nœuds dans la direction y locale. Les équations sont déduites du comportement 3D VMIS_ISOT_TRAC [R5.03.02].
  Cas tests : ZZZZ120 [V1.01.120]
- DIS_GRICRA [R5.03.17]
  Le comportement DIS_GRICRA permet de modéliser le comportement en translation et en rotation des ressorts de liaison grille-crayon des assemblages combustibles. Ce comportement est disponible pour des mailles SEG2.
  Cas tests : SSNL131 [V6.02.131]
- DIS_VISC [R5.03.17]
  La loi de comportement DIS_VISC permet de modéliser un comportement rhéologique viscoélastique non linéaire, de type *Zener* étendu, permettant de schématiser le comportement d'un amortisseur uni axial.
  Cas tests : SSND101A/B/C/D [V6.08.103] (étude statique) et SDND107A/B/C/D/E [V5.01.107] (étude dynamique).
- DIS_CHOC_ENDO [R5.03.17]
  Ce matériau permet de définir les caractéristiques, qui seront affectés à des discrets à deux nœuds sur une maille de type SEG2 : K_T_D_L. Les particularités des 2 comportements associés :
  ◦ modélisation des chocs,
  ◦ l'effort de choc est limité au cours du chargement par une fonction seuil dépendant du déplacement,
  ◦ endommagement des raideurs de choc au cours du chargement,
  ◦ prise en compte de l'évolution du "gap", du fait des chocs répétés,
  ◦ amortissement variable au cours du calcul.

  Le choix du comportement se fait de façon usuelle sous le mot clef RELATION de STAT_NON_LINE ou DYNA_NON_LINE. Soit c'est CHOC_ENDO soit c'est CHOC_ENDO_PENA.
  Cas tests :
  ◦ [V5.01.109] SDND109 - Loi de comportement CHOC_ENDO, en dynamique non-linéaire.
  ◦ [V6.08.120] SSND120 - Loi de comportement CHOC_ENDO, en statique non-linéaire.
  ◦ [V5.01.105] SDND105 - Choc d'un point matériel contre une paroi, flambage plastique.
    ▪ SDND105E : sans amortissement, référence analytique + non régression.
    ▪ SDND105F : avec amortissement, non régression.

- JONC_ENDO_PLAS [R5.03.17] et [U2.03.10]
  Ce matériau permet de définir les caractéristiques de comportement élastoplastique endommageable en flexion qui permet de modéliser une jonction en flexion entre un voile et un plancher ou un radier, qui seront affectés à des discrets à deux nœuds sur une maille de type SEG2. Cette relation de comportement lie les moments MZ (en repère local) et le différentiel de rotations DRZ (en repère local) ; des variables internes décrivent l'histoire de l'évolution

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

irréversible: Sur les autres degrés de liberté, la relation sera élastique linéaire (caractéristiques fournies dans AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01]). Le choix du comportement se fait de façon usuelle sous le mot clef RELATION de STAT_NON_LINE ou DYNA_NON_LINE.
Cas tests :
◦ [V6.08.114] SSND114 - Loi de comportement pour des jonctions élastoplastiques endommageables en flexion avec des éléments discrets. Référence analytique + non régression.

Les lois de comportements sont disponibles pour les opérateurs non linéaires STAT_NON_LINE et DYNA_NON_LINE.
Certaines modélisations peuvent également être pris en compte pour des analyses transitoires linéaires via l'opérateur DYNA_VIBRA : DIS_VISC, CHOC,...

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

Comportement dans STAT_NON_LINE DYNA_NON_LINE	Type d'élément (modélisation) dans AFFE_MODELE	Mots clé dans DEFI_MATERIAU	AFFE_CARA_ELEM mots clé sous DISCRET
ARME	DIS_T, DIS_TR	ARME	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_TR_D_L' CARA : 'K_T_D_N' CARA : 'K_TR_D_N'
ASSE_CORN	DIS_T, DIS_TR	ASSE_CORN	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_TR_D_L' CARA : 'K_T_D_N' CARA : 'K_TR_D_N'
DIS_BILI_ELAS	DIS_T, 2D_DIS_T, DIS_TR, 2D_DIS_TR éléments discrets 2D ou 3D à un ou deux nœuds en translation / rotation	DIS_BILI_ELAS	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_TR_D_L' CARA : 'K_T_D_N' CARA : 'K_TR_D_N'
DIS_CHOC DIS_CHOC_FROT contact et choc avec frottement de Coulomb	DIS_T, 2D_DIS_T éléments discrets 2D ou 3D à deux nœuds en translation.	DIS_CONTACT	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_T_D_N' Pour le calcul de rigidité élastique et de modes propres
DIS_ECRO_CINE	DIS_T, D_DIS_T, DIS_TR, 2D_DIS_TR éléments discrets 2D ou 3D à un ou deux nœuds en translation / rotation	DIS_ECRO_CINE	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_TR_D_L' CARA : 'K_T_D_N' CARA : 'K_TR_D_N'
DIS_ECRO_TRAC	DIS_T, D_DIS_T, DIS_TR, 2D_DIS_TR éléments discrets 2D ou 3D à un ou deux nœuds en translation / rotation	DIS_ECRO_TRAC	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_TR_D_L' CARA : 'K_T_D_N' CARA : 'K_TR_D_N'
DIS_GOUJ2E_ELAS DIS_GOUJ2E_PLAS	2D_DIS_T élément discret 2D à deux nœuds en translation	TRACTION	CARA : 'K_T_D_L'
DIS_GRICRA	DIS_TR éléments discrets 3D à deux nœuds en translation / rotation	DIS_GRICRA	CARA : 'K_TR_L' Pour le calcul de rigidité élastique et de modes propres
DIS_VISC	DIS_T, 2D_DIS_T, DIS_TR, 2D_DIS_TR éléments discrets 2D ou 3D à un ou deux nœuds en translation / rotation	DIS_VISC	CARA : 'K_T_D_L' CARA : 'K_TR_D_L' CARA : 'K_T_D_N' CARA : 'K_TR_D_N'
JONC_ENDO_PLAS	DIS_TR : éléments discrets 3D à deux nœuds en translation / rotation	JONC_ENDO_PLAS	CARA : 'K_TR_ D_ L '

2.3.5 Chargements et conditions limites : AFFE_CHAR_MECA et AFFE_CHAR_MECA_F

La documentation d'utilisation d'AFFE_CHAR_MECA et AFFE_CHAR_MECA_F est [U4.44.01] .
Les chargements supportés sont les suivants :

- **PESANTEUR**
  Ce chargement permet d'appliquer un chargement de type pesanteur.
  Modélisations supportées : 2D_DIS_T, 2D_DIS_TR, DIS_T, DIS_TR
  Cas tests: SDLD04A [V2.01.004]
- **LIAISON_ELEM**

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

Les éléments discrets peuvent être utilisés dans le cadre de liaison entre des morceaux de structure de modélisations différentes.
Les options possibles sont 3D_POU, 2D_POU, COQ_POU et PLAQ_POUT_ORTH. L'option 3D_POU permet de raccorder une partie massive avec un nœud à 6 degrés de libertés. Cas test SDLV122A/B [V2.04,122].

- L'option 2D_POU permet de relier les mailles d'une partie surfacique 2D avec un élément discret. Cas test SSLX100F/G [V3.05.100].
- L'option COQ_POU permet de raccorder une partie maillée en coque avec un nœud d'un élément discret. Cas test SDLL135F [V2.02.135].
- L'option PLAQ_POUT_ORTH permet de raccorder une partie maillée avec des éléments TRIA3 et QUA4 avec une partie modélisée par un élément discret.

- **DDL_IMPO/LIAISON_DDL/ LIAISON_UNIF /LIAISON_SOLIDE**
  Les conditions aux limites sur les nœuds des éléments discrets à 2 nœuds (maille SEG2) peuvent être définies avec ces opérateurs.

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

3 Résolution

3.1 Calculs linéaires : MECA_STATIQUE et autres opérateurs linéaires

Les calculs linéaires s'effectuent en petites déformations. Plusieurs opérateurs de résolution linéaires sont disponibles pour les études suivantes :

- **Analyse statique : opérateurs MECA_STATIQUE / MACRO_ELAS_MULT**
  Résolution d'un problème de mécanique statique linéaire.
  Cas tests : SDLD105A [V2.01.105]
- **Analyse modale : opérateurs MODE_ITER_SIMULT / MODE_ITER_INV**
  Calcul des valeurs et vecteurs propres.
  Cas tests : SDLD27A/E [V2.01.027]
- **Analyse dynamique : opérateurs DYNA_VIBRA / TRAN/PHYS**
  Calcul de la réponse dynamique transitoire à une excitation temporelle quelconque.
  Cas tests : SDLD106A [V2.01.106]
- **Analyse dynamique : opérateurs DYNA_VIBRA / HARM/PHYS**
  Calcul de la réponse dynamique transitoire à une excitation harmonique.
  Cas tests : SDLD106A [V2.01.106]
- **Analyse dynamique : opérateurs DYNA_VIBRA / TRAN/GENE**
  Calcul de la réponse dynamique transitoire à une excitation temporelle sur base modale
  Cas tests : SDLD22A [V2.01.022]
- **Analyse dynamique : opérateurs DYNA_VIBRA / HARM/GENE**
  Calcul de la réponse dynamique transitoire à une excitation harmonique sur base modale.
  Cas tests : SDLD21B [V2.01.021]

3.2 Calculs non linéaires : STAT_NON_LINE et DYNA_NON_LINE

Pour les lois de comportement non-linéaires, cf §2.1.4, les opérateurs non linéaires doivent être utilisés :

- **Analyse statique : opérateurs STAT_NON_LINE**
  Calcul de la réponse statique non-linéaire
  Cas tests : SSNV503 [V6.04.503]
- **Analyse dynamique : opérateurs DYNA _NON_LINE**
  Calcul de la réponse dynamique non-linéaire
  Cas tests : SSNV104 [V5.03.104]

3.3 Calculs non linéaires explicites sur base modale : DYNA_VIBRA (TRAN/GENE)

Certains comportements non-linéaires pour des éléments discrets peuvent être utilisés dans l'opérateur dynamique DYNA_VIBRA . Dans ce cas, la modélisation des éléments discrets n'est pas obligatoire et la loi de comportement peut être définie directement entre deux nœuds ou groupes de nœuds :

- Modélisation d'un CHOC : étude de structures dont les déplacements sont limités en un ou plusieurs points par la présence d'un obstacle.
  Cas test : SDND104A [V5.01.104]
- Modélisation d'un amortisseur visqueux non-linéaire de type Zener.
  Cas test : SDND107C [V5.01.107]
- Modélisation d'une non-linéarité de type effort-déplacement.
  Cas test : SDND103A [V5.01.103]

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

4 Calculs supplémentaires et post-traitements

4.1 Calculs par éléments : opérateurs CALC_CHAMP

Les options de post-traitement disponibles via CALC_CHAMP sont :

- SIEF_ELGA
- SIEF_ELNO
- EFGE_ELGA
- EFGE_ELNO

Tous ces champs donnent le calcul des efforts généralisés par élément aux points de gauss ou aux nœuds à partir des déplacements dans le repère local de l'élément.

Pour les discrets de type POI1 , le point de Gauss est à la même position que le nœud. Pour un discret de type SEG2 , le point de Gauss est au milieu du segment (Cas test ZZZZ266A).

Il n'y a pas d'options de post-traitement des déformations, car les lois de comportement sont exprimées en forces-déplacements et non en contraintes-déformations.

4.2 Calculs de quantités sur tout ou partie de la structure : opérateur POST_ELEM

L'opérateur POST_ELEM (documentation [U4.81.22]) permet de calculer des quantités sur tout ou partie de la structure. Les quantités calculées correspondent à des options de calcul particulières de la modélisation affectée.

Les options disponibles pour les éléments discrets sont :

- MASS_INER : calcul des caractéristiques géométriques (volume, centre de gravité, matrice d'inertie).
- ENER_POT : calcul de l'énergie potentielle de déformation à l'équilibre à partir des déplacements en mécanique linéaire des milieux continus (2D et 3D) et en mécanique linéaire pour les éléments de structures.
- ENER_CIN : calcul de l'énergie cinétique à partir d'un champ de vitesse ou à partir d'un champ de déplacement et d'une fréquence (uniquement pour les éléments de structure et les éléments 3D).

Les options ENER_ELAS et ENER_TOTALE ne sont pas encore disponibles pour les éléments discrets.

4.3 Calculs du décollement : opérateur POST_DECOLLEMENT

Cet opérateur de post-traitement calcule la surface de contact ou décollée entre le radier et le sol lors d'un calcul d'interaction sol/structure (ISS), mené avec l'opérateur DYNA_NON_LINE .
Ce post-traitement peut être utile par exemple pour une modélisation du sol avec des éléments dont les caractéristiques sont renseignées à l'aide RIGI_PARASOL et affecté de la loi de comportement DIS_CHOC (voir cas test ZZZZ200D [V1.01.200]).

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

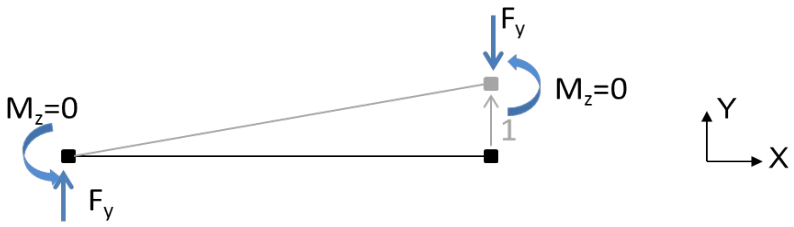
5 Remarques

5.1 Longueur des éléments discrets

Pour les éléments discrets dont la maille support est un élément à deux nœuds SEG2, la longueur de l'élément n'intervient pas dans la réponse de l'élément, hormis pour la loi de comportement DIS_CHOC.
En effet pour les autres lois de comportement, la relation est exprimée en fonction des déplacements relatifs des deux nœuds.
Pour la loi DIS_CHOC, la longueur de l'élément intervient dans la détermination de l'état de contact ou de décollement en comparant le déplacement des nœuds en fonction de la longueur de l'élément et des valeurs DIST_1 et DIST_2.

5.2 Transmission des efforts

Il n'y a pas de transmission du moment lié à un couple de force. On illustre cette limitation dans le cas où on impose un déplacement DY entre deux nœuds d'un élément discret DIS_TR ou DIS_T.
Les deux forces FY de réactions nodales sont égales et opposées mais ce couple n'engendre pas de moments pour le cas DIS_T et pour le cas DIS_TR si les termes de couplages (translation-rotation) sont supposés nuls.
Pour des éléments discrets de grande longueur, on pourra donc trouver un bilan global des moments non souhaité.



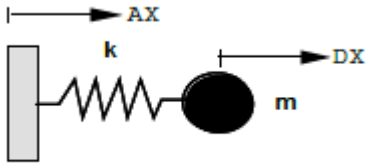
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Exemples

Les cas-tests retenus illustrent les différentes utilisations possibles des éléments discrets.

6.1 Éléments de masse

Modélisation d'une masse ponctuelle M_T_D_N



SDLD34

Titre : Lâcher d'un simple masse-ressort

Documentation V : [V2.01.034]

Modélisations :

SDLD34A	DIS_T / M_T_D_N
SDLD34B	DIS_T / M_T_D_N

Modélisation d'une masse ponctuelle M_TR_D_N en rotation



SDLL123

Titre : Fréquence d'une ligne d'arbre simplifiée avec gyroscopie

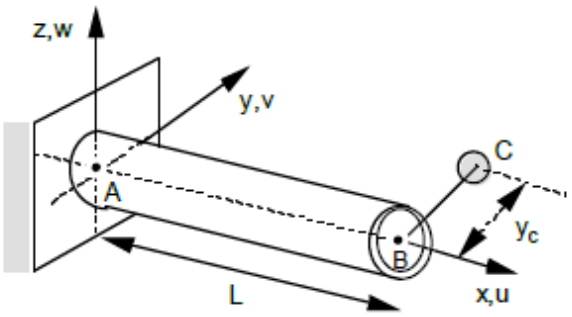
Documentation V : [V2.02.123]

Modélisations :

SDLL123A	DIS_TR / M_TR_D_N
SDLL123B	DIS_TR / M_TR_D_N
SDLL123C	DIS_TR / M_TR_D_N
SDLL123D	DIS_TR / M_TR_D_N
SDLL123E	DIS_TR / M_TR_D_N
SDLL123F	DIS_TR / M_TR_D_N

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

Modélisation de masse excentrée



SDLL15

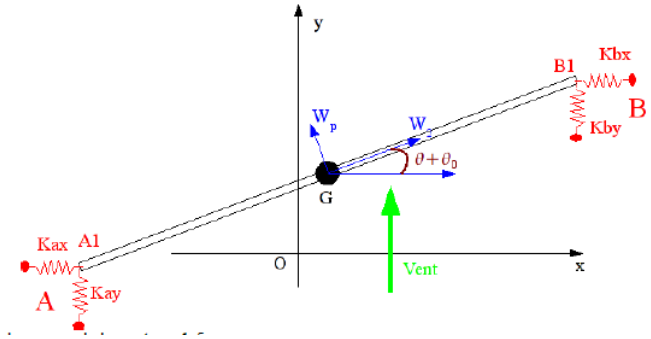
Titre : Poutre élancée, encastrée-libre avec masse ou inertie excentrée

Documentation V : [V2.02.015]

Modélisations :
SDLL15A DIS_TR / M_TR_D_N

6.2 Éléments de raideur

Modélisation de raideurs aux appuis



SDNL102

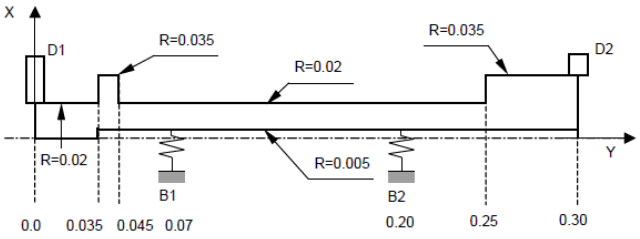
Titre : Poutre soumise à un champ de vitesse de vent

Documentation V : [V5.02.102]

Modélisations :
SDNL102A DIS_T /K_T_D_L

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

Modélisation de matrices de raideur et d'amortissement non symétriques



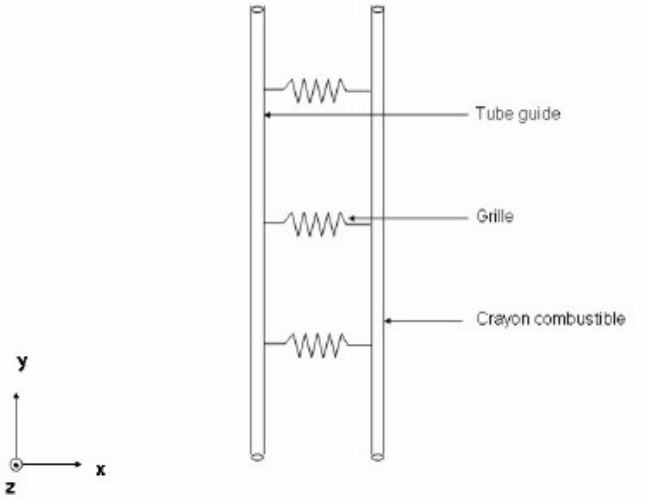
SHLL103A

Titre : Réponse harmonique d'un rotor avec deux disques et deux paliers non symétriques, soumis à l'effet gyroscopique

Documentation V : [V2.06.103]

Modélisations :
SHLL103A DIS_TR / K_TR_N/ A_TR_N

Modélisation d'éléments structurels simples



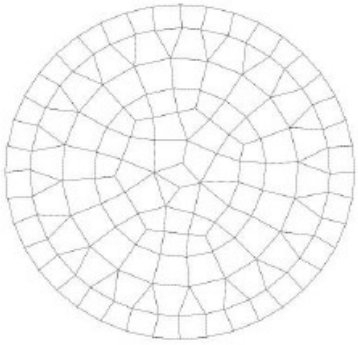
Titre : Identification d'efforts fluides sur une structure filaire

Documentation V : [V2.03.139]

Modélisations :
SDLS139A DIS_TR / K_TR_D_N

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

Modélisation des raideurs du sol réparties



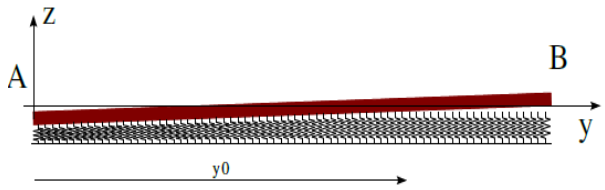
SDLS118C

Titre : Réponse d'une fondation circulaire rigide à une excitation sismique variable en espace

Documentation V : [V2.03.118]

Modélisations :
SDLS118C DIS_TR / K_TR_D_N
SDLS118D DIS_TR / K_TR_D_N

Modélisation de raideurs de sol réparties avec décollement



SSNL130

Titre : Plaque indéformable sur un tapis de ressorts

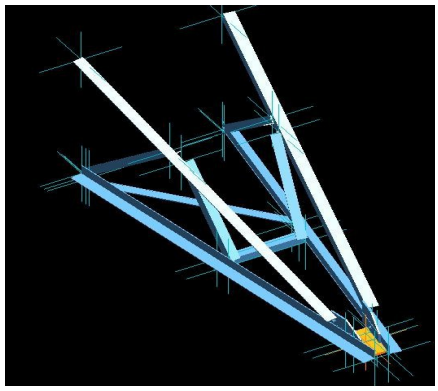
Documentation V : [V6.02.130]

Modélisations :
SSNL130A DIS_T / K_T_D_L
SSNL130B 2D_DIS_T / K_T_D_L

Remarque: Utilisation de la loi DIS_CHOC

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

Modélisation d'un assemblage boulonné



SSNL135

Titre : Détermination des charges de ruine de la console MEKELEC

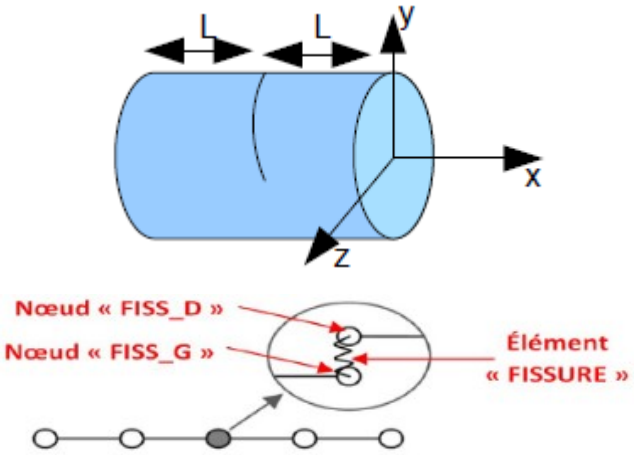
Documentation V : [V3.03.020]

Modélisations :

SSNL135A	DIS_TR
SSNL135B	DIS_TR
SSNL135C	DIS_TR

Remarque: Chaque boulon est représenté par un élément discret de longueur nulle et sa raideur K_TR_D_L.

Modélisation d'une fissure d'un rotor



SDNL133

Titre : Rotor fissuré tournant, soumis à un effort de flexion

Documentation V : [V5.02.133]

Modélisations :

SDNL133A	DIS_TR
SDNL133A	DIS_TR
SDNL133A	DIS_TR

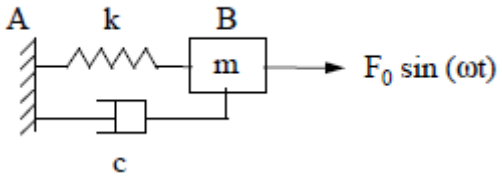
Voir la documentation Notice de mise en œuvre de calculs de rotors [U2.06.32].

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

6.3 Éléments d'amortissement

Les documentations de modélisation de l'amortissement mécanique sont :
- [R5.05.04] Modélisation de l'amortissement en dynamique linéaire
- [U2.06.03] Notice de modélisation de l'amortissement mécanique

Modélisation de l'amortissement visqueux



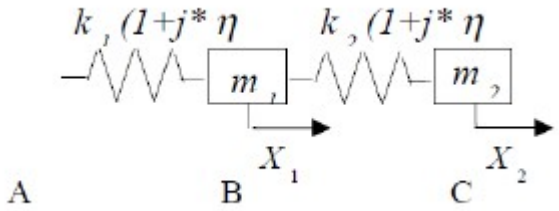
SDLD321

Titre : Réponse dynamique transitoire d'un oscillateur harmonique avec amortissement variable

Documentation V : [V2.01.321]

Modélisations :
```
SDLD321A    DIS_T / K_T_D_L M_T_L A_T_D_L
SDLD321B    DIS_T / K_T_D_L M_T_L A_T_D_L
SDLD321C    DIS_T / K_T_D_L M_T_L A_T_D_L
```

Modélisation de l'amortissement hystérétique



SDLD313

Titre : Système masse ressort à 2 degrés de liberté avec amortissement hystérétique

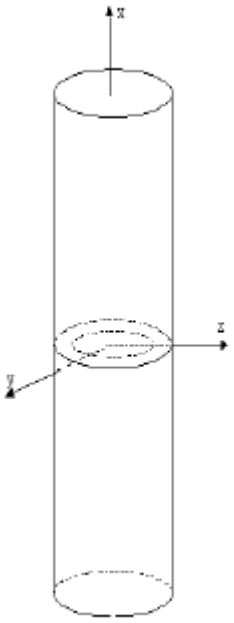
Documentation V : [V2.01.313]

Modélisations :
```
SDLD313A    DIS_T / K_T_D_L M_T_L
```


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

6.4 Autres utilisations

Application de chargement ou conditions aux limites ponctuelles.



SSNV166

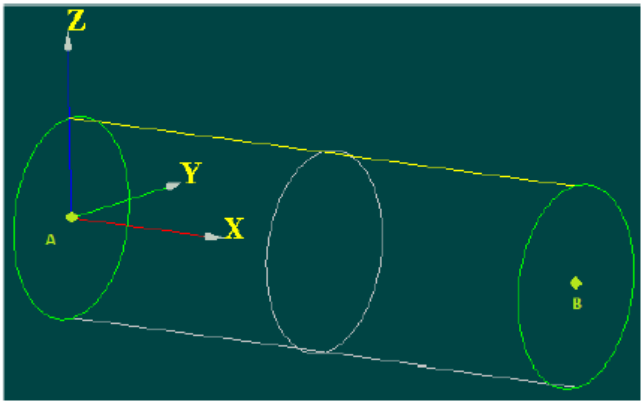
Titre : Cylindre fissuré sous chargements multiples

Documentation V : [V6.04.166]

Modélisations :
SSNV166A DIS_TR /K_TR_D_N M_TR_D_N
SSNV166B DIS_TR /K_TR_D_N M_TR_D_N
SSNV166C DIS_TR /K_TR_D_N M_TR_D_N
(raideur et masse nulles)

Dans ce modèle 3D, on applique un chargement de torsion et flexion sur la face supérieure du cylindre via une maille POI1 et une liaison LIAISON_ELEM .

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



SDLL135

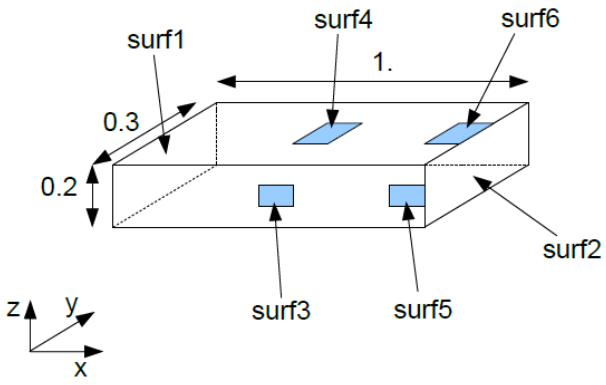
Titre : Réponse dynamique d'une poutre-tuyau encastrée-libre.

Documentation V : [V2.02.135]

Modélisations :
SDLL135F DIS_TR /K_TR_D_N M_TR_D_N
(raideur et masse nulles)

Dans ce modèle DKT , les nœuds situés dans la section A sont liés (LIAISON_ELEM) à un élément discret DIS_TR (maille de type point POI1 située en A) à 6 degrés de liberté, qui lui est totalement fixe.

Modélisation d'un modèle constitué de nœuds pour la projection de résultats.



SDLV131

Titre : Simulation d'une jauge de déformation par la commande OBSERVATION

Documentation V : [V2.04.131]

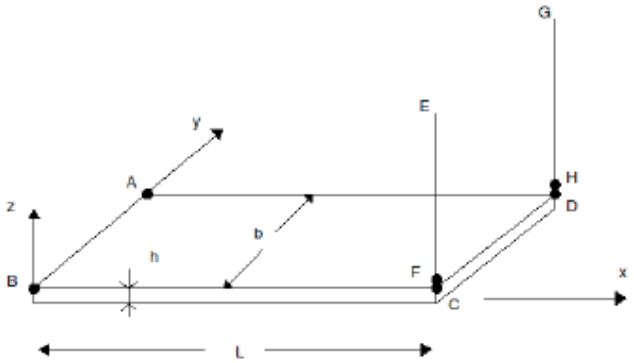
Modélisations :
SDLV131A DIS_T
SDLV131B DIS_T
SDLV131C DIS_T
SDLV131D DIS_T

Création de modèle numérique pour la comparaison de résultats expérimentaux :
- SDLS112B : Extrapolation de mesures sur un modèle 2D (test de GARTEUR)
- SDLV122A : Extrapolation de mesures locales sur un modèle complet (3D) [V2.04.122] .

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

- SDLD104A/B : Extrapolation de mesures locales sur un modèle complet (discret).

Prise en compte du contact (via opérateur DEFI_CONTACT) entre deux mailles POI1 de raideur nulle.



SSNL107

Titre : Plaque encastrée soumise à une flexion par des poutres en contact avec le bord libre.

Documentation V : [V2.04.131]

Modélisations :

SSNL107A	DIS_TR
SSNL107B	DIS_TR
SSNL107C	DIS_TR

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

7 Bibliographie

1 Opérateur CREA_MAILLAGE [U4.23.02].

2 Opérateur AFFE_MODELE [U4.41.01].

3 Opérateur DEFI_MATERIAU [U4.43.01].

4 Opérateur AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01].

5 Opérateur AFFE_CHAR_MECA et AFFE_CHAR_MECA_F [U4.44.01].

6 Opérateur CALC_MATR_ELEM [U4.61.01].

7 Opérateur CALC_CHAMP [U4.81.04].

8 Opérateur POST_ELEM [U4.81.22].

9 Modélisations DIS_T et DIS_TR [U3.11.02].

10 Modélisations 2D_DIS_T et 2D_DIS_TR [U3.13.09].

11 Relations de comportement des éléments discrets [R5.03.17].

12 Loi de comportement de l'assemblage ASSE_CORN [R5.03.32].

13 Modélisation de l'amortissement en dynamique linéaire [R5.05.04].

14 Notice de modélisation de l'amortissement mécanique [U2.06.03].

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