

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.5- : Méthodes de résolution
Document : U4.53.01

Opérateur *DYNA_NON_LINE*

1 But

Calculer l'évolution dynamique d'une structure dont le matériau ou la géométrie ont un comportement non linéaire. Il peut s'agir par exemple de non linéarités de matériau (plasticité ou de géométrie (grands déplacements)) [R5.05.05]. La syntaxe de cette commande est très semblable à celle de l'opérateur *STAT_NON_LINE* [U4.51.03].

L'évolution dynamique est étudiée à partir d'un état initial, configuration de référence, qui peut être produit par une analyse quasi-statique (opérateur *STAT_NON_LINE* [U4.51.03]) ou dynamique antérieure (opérateur *DYNA_NON_LINE*).

L'évolution dynamique peut être étudiée en plusieurs travaux successifs, par une poursuite à partir d'un instant déjà calculé, si une base de données a été définie dans le profil d'étude de l'utilisateur.

Produit un concept de type *evol_noli*.

Table des matières

1 But	1
2 Syntaxe	4
3 Opérandes	12
3.1 Opérandes MODELE / CHAM_MATER / CARA_ELEM / MODE_STAT / MASS_DIAG	12
3.2 Mot clé EXCIT	12
3.2.1 Opérandes CHARGE / FONC_MULT	12
3.2.2 Opérande TYPE_CHARGE	13
3.2.3 Opérandes MULT_APPUI /ACCE /VITE /DEPL /DIRECTION /NOEUD /GROUP_NO	13
3.3 Mot clé SOUS_STRUC	13
3.3.1 Opérande CAS_CHARGE	13
3.3.2 Opérandes TOUT / SUPER_MAILLE	14
3.3.3 Opérande FONC_MULT	14
3.4 Mot clé COMP_INCR	14
3.5 Mot clé COMP_ELAS	14
3.6 Mot clé ETAT_INIT	14
3.7 Mot clé INCREMENT	14
3.8 Mot clé NEWTON	15
3.9 Mot clé SOLVEUR	15
3.10 Mot clé CONVERGENCE	15
3.11 Mot clé ARCHIVAGE	15
3.12 Mot clé AMOR_MODAL	15
3.12.1 Opérandes MODE_MECA / AMOR_REDUIT / LIST_AMOR / NB_MODE	15
3.12.2 Opérande REAC_VITE	15
3.13 Mot clé OBSERVATION	16
3.13.1 Opérande SUIVI_DDL	16
3.13.2 Opérandes LIST_ARCH / LIST_INST / INST / PAS_OBSE	16
3.13.3 Opérandes NOM_CHAM / NOM_CMP	16
3.13.4 Opérandes NOEUD / GROUP_NO	16
3.13.5 Opérandes MAILLE / POINT	16
3.13.6 Opérande NUME_SUIVI	16
3.13.7 Opérandes VALE_MIN / VALE_MAX	16
3.13.8 Opérandes PRECISION / CRITERE	16
3.14 Description du schéma d'intégration en temps [bib2] [R5.05.05]	17
3.14.1 Mot clé NEWMARK	17
3.14.2 Mot clé HHT	18
3.14.3 Mot clé THETA_METHODE	18
3.14.4 Mot clé DIFF_CENT	18
3.14.5 Mot clé TCHAMWA	18
3.15 Mot clé AFFICHAGE	19

3.15.1	Opérande UNITE	19
3.15.2	Opérande NOM_COLONNE	19
3.15.3	Opérande INFO_RESIDU	21
3.15.4	Opérandes LONG_R, PREC_R et LONG_I	21
3.16	Opérande SOLV_NON_LOCAL	21
3.17	Opérande LAGR_NON_LOCAL	21
3.18	Mot-clé CRIT_FLAMB	22
3.19	Mot-clé MODE_VIBR	23
3.20	Opérandes SENSIBILITE	23
3.21	Opérande PROJ_MODAL	23
3.21.1	Opérandes MODE_MECA, NB_MODE	23
3.21.2	Opérandes MASS_GENE, RIGI_GENE, AMOR_GENE	24
3.22	Mot clé EXCIT_GENE	24
3.23	Opérande INFO	24
3.24	Opérande TITRE	24
4	Exemple : mouvement d'un pendule de grande amplitude	25
5	Bibliographie	25

2 Syntaxe

```

dynamnl [evol_noli] = DYNA_NON_LINE
(
  ◇ reuse = dynamnl,
  ◆ MODELE = mo, [modele]
  ◆ CHAM_MATER = chmat, [cham_mater]
  ◇ MODE_STAT = modestat, [mode_stat_depl]
  ◇ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
  ◇ MASS_DIAG = / 'OUI',
                / 'NON',

  ◇ EXCIT =_F (
    ◇ TYPE_CHARGE = / 'FIXE_CSTE', [DEFAULT]
                  / 'SUIV',
                  / 'DIDI',
    ◆ CHARGE = chi, [char_meca]
    ◇ / FONC_MULT = fi, [fonction]
      / DEPL = depl, [fonction]
      VITE = vite, [fonction]
      ACCE = acce, [fonction]
    ◇ MULT_APPUI = / 'OUI',
                  / 'NON', [DEFAULT]
    ◇ DIRECTION = (d1, d2, d3), [l_R]
    ◇ NOEUD = lno, [l_noeud]
    ◇ GROUP_NO = lgrno, [l_gr_noeud]
  ),

  ◇ SOUS_STRUC =_F (
    ◆ CAS_CHARGE = nocas, [K8]
    ◆ / TOUT = 'OUI',
      / SUPER_MAILLE = lmail, [l_maille]
    ◇ FONC_MULT = fi, [fonction]
  ),

  ◇ AMOR_MODAL =_F (
    ◆ MODE_MECA =mode, [mode_meca]
    ◆ / AMOR_REDUIT = l_amor, [l_R]
      / LIST_AMOR = lisamor, [listr8]
    ◇ NB_MODE = / nbmode, [I]
              / 9999, [DEFAULT]
    ◇ REAC_VITE = / 'OUI', [DEFAULT]
                / 'NON',
  ),

```

```

♦ | COMP_INCR =_F (
    ♦ RELATION      = / 'VMIS_ISOT_TRAC',      [DEFAULT]
                        / autres relations [U4.51.11]
    ◇ RELATION_KIT  = / 'ELAS',
                        / autres relations [U4.51.11]
    ◇ DEFORMATION   = / 'PETIT',
                        / 'PETIT_REAC',
                        / 'SIMO_MIEHE',
    ◇ / TOUT        = 'OUI',
                        / | GROUP_MA = lgrma,
                        / | MAILLE   = lma,
                        / |          [1_maille]
    ◇ ALGO_C_PLAN   = / 'DEBORST',
                        /          [DEFAULT]
    ◇ RESI_INTE_RELA = / 1.E-6,
                        / resint,
                        /          [R]
    ◇ ITER_INTE_MAXI = / 10,
                        / iteint,
                        /          [I]
    ◇ ITER_INTE_PAS  = / 0,
                        / itepas,
                        /          [DEFAULT]
    ◇ RESO_INTE      = / 'IMPLICITE',
                        / 'RUNGE_KUTTA_2',
                        / 'RUNGE_KUTTA_4',
                        /          [DEFAULT]
    ),

| COMP_ELAS =_F (
    ♦ RELATION      = / 'ELAS',
                        / autres relations [U4.51.11]
    ◇ DEFORMATION   = / 'PETIT',
                        / 'GREEN',
                        / 'GREEN_GR',
    ◇ / TOUT        = 'OUI',
                        / | GROUP_MA = lgrma,
                        / | MAILLE   = lma,
                        / |          [1_maille]
    ◇ RESI_INTE_RELA = / 1.E-6,
                        / resint,
                        /          [R]
    ◇ ITER_INTE_MAXI = / 10,
                        / iteint,
                        /          [I]
    ◇ ITER_INTE_PAS  = / 0,
                        / itepas,
                        /          [DEFAULT]
    ◇ RESO_INTE      = / 'IMPLICITE',
                        / 'RUNGE_KUTTA_2',
                        / 'RUNGE_KUTTA_4',
                        /          [DEFAULT]
    ),

◇ ETAT_INIT =_F (
    ♦ / | SIGM = sig,
                        [cham_elem_SIEF_R]
                        [carte_SIEF_R]
                        | VARI = vain,
                        [cham_elem_VARI_R]
                        | DEPL = depl,
                        [cham_no_DEPL_R]
                        | VITE = vite,
                        [cham_no_DEPL_R]
                        | VARI_NON_LOCAL = vanolo,
                        [cham_no_VANL_R]
    / EVOL_NOLI = evol,
                        [evol_noli]
    ◇ / NUME_ORDRE = nuini,
                        [I]
    / INST = instini,
                        [R]
    ◇ PRECISION = / 1.0E-3,
                        [DEFAULT]
                        / prec,
                        [R]
    ◇ CRITERE = / 'RELATIF',
                        [DEFAULT]
                        / 'ABSOLU',
    ◇ NUME_DIDI = nudidi,
                        [I]
    ◇ INST_ETAT_INIT = istetaini,
                        [R]
    ),

```

Titre : *Opérateur DYNA_NON_LINE*
Auteur(s) : **N. GREFFET**

Date : 27/12/07
Clé : U4.53.01-11 Page : 6/25

```

◇ EXCIT_GENE =_F (
    ◇ FONC_MULT = fomult,          [fonction_sdaster]
    ◆ VECT_GENE = vecgen,          [vect_asse_gene]
),

◆ INCREMENT      = _F (
    ◆ LIST_INST      = litps,          [listr8]
    ◇ EVOLUTION      = / 'CHRONOLOGIQUE', [DEFAULT]
                        / 'RETROGRADE',
                        / 'SANS',
    ◇ / NUME_INST_INIT = nuini,          [I]
      / INST_INIT     = instini,        [R]
    ◇ / NUME_INST_FIN = nufin,          [I]
      / INST_FIN      = instfin,        [R]
    ◇ PRECISION      = / 1.0E-3,        [DEFAULT]
                        / prec,          [R]
    ◇ OPTI_LIST_INST  = / 'INCR_MAXI',   [DEFAULT]
    ◇ NOM_CHAM        = nomch,          [Kn]
    ◇ NOM_CMP         = nomcmp,         [Kn]
    ◇ VALE            = val,            [R]
    ◇ SUBD_METHODE    = / 'AUCUNE',      [DEFAULT]
                        / 'UNIFORME',
                        / 'EXTRAPOLE',
{ b_subd_unif SUBD_METHODE = 'UNIFORME'
    ◇ SUBD_PAS      = / 4,          [DEFAULT]
                        / subpas,    [I]
    ◇ SUBD_COEF_PAS_1 = / 1.,        [DEFAULT]
                        / coefsub,    [R]
    ◇ / SUBD_PAS_MINI = submini,     [R]
      / SUBD_NIVEAU  = subniv,       [I]
}
{ b_subd_extr SUBD_METHODE = 'EXTRAPOLE'
    ◇ SUBD_OPTION    = / 'IGNORE_PREMIERES', [DEFAULT]
                        / 'GARDE_DERNIERES',
    ◇ SUBD_ITER_IGNO  = / 3,          [DEFAULT]
                        / subigno,     [I]
    ◇ SUBD_ITER_FIN   = / 8,          [DEFAULT]
                        / subfin,       [I]
    ◇ SUBD_PAS        = / 4,          [DEFAULT]
                        / subpas,       [I]
    ◇ / SUBD_PAS_MINI = submini,     [R]
      / SUBD_NIVEAU  = subniv,       [I]
    ◇ SUBD_ITER_PLUS  = / 50,        [DEFAULT]
                        / subplus,     [I]
},),

```

Titre : Opérateur DYNANONLINE
Auteur(s) : N. GREFFET

Date : 27/12/07
Clé : U4.53.01-I1 Page : 7/25

```

◇ NEWTON =_F ( ◇ PREDICTION =
                / 'TANGENTE' , [DEFAULT]
                / 'ELASTIQUE' ,
                ◇ MATRICE = / 'TANGENTE' , [DEFAULT]
                  ◇ REAC_INCR = / 1 , [DEFAULT]
                    / mf , [I]
                  ◇ REAC_ITER = / 0 , [DEFAULT]
                    / it , [I]
                  ◇ REAC_ITER_ELAS = / 0 , [DEFAULT]
                    / it , [I]
                  ◇ PAS_MINI_ELAS= pasmini, [I]
                    / 'ELASTIQUE' ,
                ),

◇ SOLVEUR =_F ( voir le document [U4.50.01] ),

◇ CONVERGENCE =_F (
    ◇ / RESI_GLOB_RELA = 1.E-6 , [DEFAULT]
      / | RESI_GLOB_MAXI = resmax , [R]
        | RESI_GLOB_RELA = resrel , [R]
        | RESI_REFE_RELA = resref , [R]
    ◇ SIGM_REFE = sigref , [R]
    ◇ EPSI_REFE = sigref , [R]
    ◇ FLUX_THER_REFE = sigref , [R]
    ◇ FLUX_HYD1_REFE = sigref , [R]
    ◇ FLUX_HYD2_REFE = sigref , [R]
    ◇ ITER_GLOB_ELAS = / 25 , [DEFAULT]
                        / maxelas , [I]
    ◇ ITER_GLOB_MAXI = / 10 , [DEFAULT]
                        / maglob , [I]
    ◇ ARRET = / 'OUI' , [DEFAULT]
              / 'NON' ,
    ),

◇ CRIT_FLAMB =_F (
    ◇ NB_FREQ = / 3 , [DEFAULT]
                / nbfreq , [I]
    ◇ CHAR_CRIT = / (-10,10) , [DEFAULT]
                  / intcc ,
    ),

◇ MODE_VIBR =_F (
    ◇ NB_FREQ = / 3 , [DEFAULT]
                / nbfreq , [I]
    ◇ MATR_RIGI = / 'ELASTIQUE' , [DEFAULT]
                  / 'TANGENTE' ,
    ),

◇ SENSIBILITE ( voir le document [U4.50.02] ),

```

Titre : *Opérateur DYNA_NON_LINE*
Auteur(s) : **N. GREFFET**

Date : 27/12/07
Clé : U4.53.01-I1 Page : 8/25

```

◇  ARCHIVAGE =_F (
    ◇  /  LIST_INST =  list_r8,          [listr8]
    /  INST      =  l_r8,              [R]
    /  PAS_ARCH  =  npas,              [I]
    ◇  PRECISION  =  /  1.E-3,          [DEFAULT]
    /  prec      =  /  prec,          [R]
    ◇  /  ARCH_ETAT_INIT =  'OUI',
    /  NUME_INIT  =  nuinit,          [I]
    ◇  DETR_NUME_SUIV =  'OUI',
    ◇  CHAM_EXCLU  =  'DEPL',
    /  'VITE',
    /  'ACCE',
    /  'SIEF_ELGA',
    /  'VARI_ELGA',
    /  'VARI_NON_LOCAL',
    /  'LANL_ELGA',
    ),

◆  SCHEMA_TEMPS =_F (
    ◆  SCHEMA =  /  NEWMARK,
    /  HHT,
    /  THETA_METHODE,
    /  DIFF_CENT,
    /  TCHAMWA,
    { b_newmark      SCHEMA =  NEWMARK
    ◇  ALPHA =  /  0.25,          [DEFAULT]
    /  alph,          [R]
    ◇  DELTA =  /  0.5,          [DEFAULT]
    /  delt,          [R]
    }
    { b_hht          SCHEMA =  HHT
    ◇  ALPHA =  /  -0.3,          [DEFAULT]
    /  alph,          [R]
    ◇  MODI_EQUI =  /  'OUI',
    /  'NON',          [DEFAULT]
    }
    { b_theta        SCHEMA =  THETA_METHODE
    ◇  TETA =  /  1.,          [DEFAULT]
    /  teta,          [R]
    }
    { b_tchamwa      SCHEMA =  TCHAMWA
    ◇  PHI =  /  1.05          [DEFAULT]
    /  phi,          [R]
    }
    { b_implicite    SCHEMA =  /  NEWMARK,
    /  HHT,
    /  THETA_METHODE,
    ◆  FORMULATION =  /  DEPLACEMENT,
    /  VITESSE,
    }
    { b_explicite    SCHEMA =  /  DIFF_CENT,
    /  TCHAMWA,
    ◆  FORMULATION =  ACCELERATION,
    ◇  STOP_CFL =  /  'OUI',          [DEFAULT]
    /  'NON',
    }, ),

```


Titre : Opérateur DYNA_NON_LINE
Auteur(s) : **N. GREFFET**

Date : 27/12/07
Clé : U4.53.01-11 Page : 9/25

```

◇  OBSERVATION =_F (
                                ◆  NOM_CMP      =  lnocmp ,                [1_Kn]
                                ◇  SUIVI_DDL    =  /  'OUI' ,
                                                                /  'NON' ,                [DEFAULT]
{  b_suivi                      SUIVI_DDL      =  'OUI'
                                ◆  /  |  NOEUD      =  lno      ,                [1_noeud]
                                                                |  GROUP_NO    =  lgmo      ,                [1_gr_noeud]
                                /  MAILLE      =  lma      ,                [1_maille]
                                POINT          =  lpoint   ,                [1_I]
                                ◆  NOM_CHAM    =  |  'DEPL' ,
                                                                |  'VITE' ,
                                                                |  'ACCE' ,
                                                                |  'DEPL_ABSOLU' ,
                                                                |  'VITE_ABSOLU' ,
                                                                |  'ACCE_ABSOLU' ,
                                                                |  'SIEF_ELGA' ,
                                                                |  'VARI_ELGA' ,
                                                                |  'FORC_NODA' ,
                                ◇  GROUP_MA    =  lgrma ,                [1_gr_maille] ,
                                ◆  NUME_SUIVI  =  nsui      [I]
                                ◇  VALE_MAX    =  'OUI' ,
                                ◇  VALE_MIN    =  'OUI' ,
}
{  b_non_suivi                  SUIVI_DDL      =  'NON'
                                ◆  /  |  NOEUD      =  lno      ,                [1_noeud]
                                                                |  GROUP_NO    =  lgmo      ,                [1_gr_noeud]
                                /  MAILLE      =  lma      ,                [1_maille]
                                POINT          =  lpoint   ,                [1_I]
                                ◆  NOM_CHAM    =  |  'DEPL' ,
                                                                |  'VITE' ,
                                                                |  'ACCE' ,
                                                                |  'DEPL_ABSOLU' ,
                                                                |  'VITE_ABSOLU' ,
                                                                |  'ACCE_ABSOLU' ,
                                                                |  'SIEF_ELGA' ,
                                                                |  'VARI_ELGA' ,
                                ◆  /  LIST_ARCH  =  larch   ,                [listis]
                                /  LIST_INST    =  linst   ,                [listr8]
                                /  INST         =  linst   ,                [1_R]
                                /  PAS_OBSE     =  pas     ,                [I]
                                ◇  PRECISION    =  /  1.E-3. ,                [DEFAULT]
                                                                /  prec ,                [R]
                                ◇  CRITERE      =  /  'RELATIF' ,                [DEFAULT]
                                                                /  'ABSOLU' ,
}
),

```

Titre : *Opérateur DYNALNONLINE*
Auteur(s) : **N. GREFFET**

Date : 27/12/07
Clé : U4.53.01-11 Page : 10/25

```

◇ AFFICHAGE =_F (
    ◇ / LIST_INST = list_r8, [listr8]
      / INST = l_r8, [R]
      / PAS_ARCH = npas, [I]

    ◇ UNITE = unite [I]
    ◇ LONG_R = / 12 [DEFAULT]
      / long_r [I]
    ◇ PREC_R = / 5 [DEFAULT]
      / prec_r [I]
    ◇ LONG_I = / 6 [DEFAULT]
      / long_i [I]

    ◇ NOM_COLONNE = 'STANDARD',
                    'MINIMUM',
                    'ITER_NEWT',
                    'INCR_TPS',
                    'RESI_RELA',
                    'RELA_NOEU',
                    'RESI_MAXI',
                    'MAXI_NOEU',
                    'RESI_REFE',
                    'REFE_NOEU',
                    'LAGR_ECAR',
                    'LAGR_INCR',
                    'LAGR_ITER',
                    'MATR_ASSE',
                    'ITER_DEBO',
                    'CTCD_ITER',
                    'CTCD_INFO',
                    'CTCD_GEOM',
                    'CTCD_NOEU',
                    'CTCC_CONT',
                    'CTCC_FROT',
                    'CTCC_GEOM',
    ◇ INFO_RESIDU = 'OUI', [DEFAULT]
                  'NON'

),

◇ LAGR_NON_LOCAL =_F (
    ◇ ITER_PRIM_MAXI = / 10, [DEFAULT]
                      / iterprimmax, [I]
    ◆ RESI_PRIM_ABSO = resiprimab, [R]
    ◇ ITER_DUAL_MAXI = / 50, [DEFAULT]
                      / iterdmax, [I]
    ◆ RESI_DUAL_ABSO = residabso, [R]
    ◇ R = / 1000., [DEFAULT]
          / rho , [R]
    ),

◇ SOLV_NON_LOCAL =_F ( voir le document [U4.50.01] ),

```

Titre : Opérateur *DYNA_NON_LINE*
Auteur(s) : **N. GREFFET**

Date : 27/12/07
Clé : *U4.53.01-I1* Page : 11/25

```
◇ PROJ_MODAL =_F (
    ◆ MODE_MECA = mode, [mode_meca]
    ◇ NB_MODE = / nbmode, [I]
               / 9999, [DEFAULT]
    ◇ / MASS_GENE = massgen [matr_asse_gene_R]
      RIGI_GENE = rigigen [matr_asse_gene_R]
      / AMOR_GENE = amorgen [matr_asse_gene_R]
    ) ,

◇ INFO = / 1, [DEFAULT]
         / 2,

◇ TITRE = tx , [Kn]

)
```

3 Opérandes

3.1 Opérandes **MODELE / CHAM_MATER / CARA_ELEM / MODE_STAT / MASS_DIAG**

- ◆ **MODELE** = mo

Nom du modèle dont les éléments font l'objet du calcul mécanique.

- ◆ **CHAM_MATER** = chmat

Nom du champ de matériau affecté sur le modèle mo.

- ◇ **CARA_ELEM** = carac

Nom des caractéristiques des éléments de coque, poutre, barre, câble, et éléments discrets affectés sur le modèle mo, si nécessaire.

- ◇ **MODE_STAT** = modestat

Nom du mode statique nécessaire dans le cas d'un calcul sismique avec excitations multi-appuis [R4.05.01].

- ◇ **MASS_DIAG** = / 'OUI' ,
 / 'NON' ,

Option à utiliser avec un schéma en temps explicite [bib2] et qui permet de résoudre avec une matrice de masse lumpée (diagonalisée). Cette option n'est pas disponible pour tous les types d'éléments, en particulier les discrets (dans ce cas, il faut résoudre avec la matrice de masse consistante).

En implicite il est fortement recommandé d'utiliser la matrice de masse consistante (l'absence du mot clé **MASS_DIAG** correspond aussi à ce cas).

3.2 Mot clé **EXCIT**

- ◆ **EXCIT** = _F

Ce mot clé facteur permet de décrire à chaque occurrence une charge (solicitations et conditions aux limites), et éventuellement un coefficient multiplicateur et/ou un type de charge.

3.2.1 Opérandes **CHARGE / FONC_MULT**

- ◆ **CHARGE** = chi

ch_i est le chargement mécanique (comportant éventuellement l'évolution d'un champ de température) précisé à la i^{ème} occurrence de **EXCIT**.

*Une seule charge peut comporter l'évolution d'un champ de température, qui aura précédemment été défini grâce au mot-clé **TEMP_CALCULEE** de la commande **AFFE_CHAR_MECA**.*

- ◇ **FONC_MULT** = fi

f_i est la fonction du temps multiplicatrice du chargement précisé à la i^{ème} occurrence de **EXCIT**.

Le chargement et les conditions aux limites pour *n* occurrences du mot clé facteur **EXCIT** sont :

$$ch = \sum_{i=1}^n f_i \, ch_i$$

Pour les conditions de **DIRICHLET**, bien entendu, seule la valeur imposée est multipliée par f_i.

Par défaut : $f_i = 1$.

|Le champ de température n'est pas multiplié par f_i .

3.2.2 Opérande **TYPE_CHARGE**

◇ **TYPE_CHARGE** = *tchi*

Par défaut, *tchi* vaut 'FIXE_CSTE' : cela correspond à un chargement appliqué sur la géométrie initiale et non piloté. Il peut cependant être une fonction, et en particulier dépendre du temps.

Si *tchi* vaut 'SUIV', le chargement est dit "suiveur", c'est-à-dire qu'il dépend de la valeur des inconnues : par exemple, la pression, étant un chargement s'appliquant dans la direction normale à une structure, dépend de la géométrie actualisée de celle-ci, et donc des déplacements. Un chargement suiveur est réévalué à chaque itération de l'algorithme de résolution. Un chargement fixe n'est réévalué qu'à chaque nouvel instant, et seulement si *ch_i* dépend du temps (défini dans **AFFE_CHAR_MECA_F** et paramétré par l'instant).

*Actuellement les chargements qui peuvent être qualifiés de 'SUIV' sont le chargement de pesanteur pour l'élément de **CABLE_POULIE**, la pression pour les modélisations 3D, 3D_SI, D_PLAN, D_PLAN_SI, AXIS, AXIS_SI, C_PLAN, C_PLAN_SI et pour toutes les modélisations THM (3D_HHM, 3D_HM, 3D_JOINT_CT, 3D_THH, 3D_THHM, 3D_THM, AXIS_HHM, AXIS_HM, AXIS_THH, AXIS_THHM, AXIS_THM, D_PLAN_HHM, D_PLAN_HM, D_PLAN_THH, D_PLAN_THHM, D_PLAN_THM) et la force centrifuge en grands déplacements (mot clé **ROTATION** dans **AFFE_CHAR_MECA**).*

Si *tchi* vaut 'DIDI' alors les conditions de DIRICHLET (déplacements imposés, conditions linéaires) s'appliqueront sur l'incrément de déplacement à partir de l'instant donné sous **ETAT_INIT/NUME_DIDI** (par défaut l'instant de reprise du calcul) et non sur le déplacement total. Par exemple pour un déplacement imposé (mot clé **DDL_IMPO** de **AFFE_CHAR_MECA**) la condition sera de la forme : $u - u_0 = d$ où u_0 est le déplacement défini par **NUME_DIDI** et non : $u = d$.

3.2.3 Opérandes **MULT_APPUI /ACCE /VITE /DEPL /DIRECTION /NOEUD /GROUP_NO**

Dans le cas d'une excitation multi-appuis (**MULT_APPUI** = 'OUI'), les autres opérandes ont exactement la même signification que dans le mot clé facteur **EXCIT** de l'opérateur **DYNA_TRAN_MODAL** [U4.53.21]. Dans ce cas, les champs 'DEPL', 'VITE', 'ACCE' correspondent respectivement aux déplacements, vitesses et accélérations du mouvement relatif par rapport au mouvement d'entraînement multi-appuis. Les nouveaux champs 'DEPL_ABSOLU', 'VITE_ABSOLU', 'ACCE_ABSOLU' sont alors créés et correspondent respectivement aux déplacements, vitesses et accélérations du mouvement absolu, somme du mouvement d'entraînement multi-appuis et du mouvement relatif par rapport à ce mouvement d'entraînement multi-appuis.

3.3 Mot clé **SOUS_STRUC**

◇ **SOUS_STRUC**

Ce mot clé facteur permet de préciser quels sont les chargements à utiliser pour les sous-structures statiques qui font alors obligatoirement partie du modèle. En son absence, les chargements sur les sous structures sont nuls.

Ces chargements s'ajoutent aux chargements "éléments finis" qui peuvent être appliqués sur le reste du modèle.

3.3.1 Opérande **CAS_CHARGE**

◆ **CAS_CHARGE** = *nocas*

nocas est le nom du cas de charge à utiliser. Voir opérateur **MACR_ELEM_STAT** [U4.62.01].

3.3.2 Opérandes TOUT / SUPER_MAILLE

♦ / TOUT = 'OUI'

Ce mot clé permet d'affecter le chargement `nocas` à toutes les sous structures du modèle.

/ MAILLE = l_mail

Ce mot clé facteur permet de n'affecter le chargement `nocas` qu'à certaines sous-structures.

3.3.3 Opérande FONC_MULT

◇ FONC_MULT = f_i

f_i est la fonction du temps multiplicatrice du chargement précisé à la i^{ème} occurrence de SOUS_STRUCT.

Le comportement de ce mot clé est le même que pour son occurrence dans EXCIT.

3.4 Mot clé COMP_INCR

♦ | COMP_INCR = _F

Ce mot clé facteur regroupe les relations de comportement reliant des taux de déformations à des taux de contraintes (comportement incrémental). On peut avoir dans le même calcul certaines parties de la structure obéissant à divers comportements incrémentaux (COMP_INCR) et d'autres parties obéissant à divers comportements élastiques (COMP_ELAS). Toutes les relations de comportement incrémentales supportées par STAT_NON_LINE sont disponibles également dans DYNANONLINE, à condition que le calcul de la matrice de masse des éléments concernés soit prévu. On se reportera donc au document [U4.51.11] pour une description des relations de comportement disponibles (opérande RELATION) ainsi que des autres opérandes du mot clé COMP_INCR.

3.5 Mot clé COMP_ELAS

| COMP_ELAS = _F

Ce mot clé facteur regroupe les relations de comportement reliant les déformations (prises par rapport à l'état de référence initial) et les contraintes (comportement élastique). Toutes les relations de comportement incrémentales supportées par STAT_NON_LINE sont disponibles également dans DYNANONLINE, à condition que le calcul de la matrice de masse des éléments concernés soit prévu. On se reportera donc au document [U4.51.11] pour une description des relations de comportement disponibles (opérande RELATION) ainsi que des autres opérandes du mot clé COMP_ELAS.

3.6 Mot clé ETAT_INIT

◇ ETAT_INIT = _F

Sous ce mot clé sont définies les conditions initiales du problème. Si les mots clés EVOL_NOLI, DEPL, et VITE sont absents, on suppose que l'état initial est à déplacements, vitesses et contraintes nuls, et on calcule les accélérations correspondant au chargement à l'instant `instini` défini par l'opérande INST. Les autres opérandes du mot clé ETAT_INIT ont la même signification que dans le document [U4.51.03].

3.7 Mot clé INCREMENT

♦ INCREMENT = _F

Définit la liste des instants de calcul. Les opérandes du mot clé INCREMENT ont la même signification que dans le document [U4.51.03].

3.8 Mot clé **NEWTON**

◇ **NEWTON** =_F

Précise les caractéristiques de la méthode de résolution du problème incrémental non linéaire (méthode de **NEWTON-RAPHSON**). Les opérandes du mot clé **NEWTON** ont la même signification que dans le document [U4.51.03].

3.9 Mot clé **SOLVEUR**

La syntaxe de ce mot clé commun à plusieurs commandes est décrite dans le document [U4.50.01].

3.10 Mot clé **CONVERGENCE**

◇ **CONVERGENCE** =_F

Ce mot clé décrit les paramètres permettant d'apprécier la convergence de la méthode de **NEWTON** utilisée pour résoudre le problème mécanique non linéaire. Les opérandes du mot clé **CONVERGENCE** ont la même signification que dans le document [U4.51.03].

3.11 Mot clé **ARCHIVAGE**

◇ **ARCHIVAGE** =_F

Permet d'archiver des ou certains résultats à tous ou certains instants du calcul.

En l'absence de ce mot clé tous les pas de temps sont archivés, y compris les instants de calculs nouvellement créés par redécoupage automatique du pas de temps. Les opérandes du mot clé **ARCHIVAGE** ont la même signification que dans le document [U4.51.03].

3.12 Mot clé **AMOR_MODAL**

Ce mot clé permet de prendre en compte un amortissement équivalent à de l'amortissement modal décomposé sur une base de modes pré-calculée sous forme de concept de type `mode_meca`. Cet amortissement est globalement pris en compte dans l'équation d'équilibre dynamique comme une force correctrice au second membre $-C\dot{X}$.

3.12.1 Opérandes **MODE_MECA** / **AMOR_REDUIT** / **LIST_AMOR** / **NB_MODE**

◆ **MODE_MECA** = mode
◆ / **AMOR_REDUIT** = l_amor,
 / **LIST_AMOR** = lisamor
◇ **NB_MODE** = nbmode

Le concept mode de type `mode_meca` (entré par l'opérande **MODE_MECA**) représente la base de modes pré-calculée sur laquelle on décompose l'amortissement modal. Cette base doit impérativement avoir le même profil de numérotation que celui du système dynamique défini par les paramètres du mot clé **SOLVEUR** [§3.9]. Il est possible de tronquer la base modale à un nombre de modes défini par **NB_MODE**. A défaut, on prend tous les modes de la base modale.

Les amortissements modaux sous forme réduite sont donnés sous forme d'une liste de réels dont le nombre de termes est inférieur ou égal au nombre de modes pris en compte. Si le nombre de termes de la liste est strictement inférieur, on étend cette liste avec la valeur de son dernier terme jusqu'à ce que sa taille atteigne le nombre de modes calculés.

3.12.2 Opérande **REAC_VITE**

Si sa valeur est 'OUI', on modifie la force correctrice d'amortissement modal à chaque itération interne de **NEWTON** définie dans le mot clé **NEWTON** [§3.8].

Si sa valeur est 'NON', on ne remet à jour ce terme qu'au début de chaque pas de temps.

3.13 Mot clé OBSERVATION

Ce mot clé permet de post-traiter certains champs aux nœuds ou aux éléments sur des parties de modèle à des instants d'une liste (dite d'observation) généralement plus raffinée que la liste des instants archivés définie dans le mot clé ARCHIVAGE [§3.11] (où on stocke tous les champs sur tout le modèle). Il sert essentiellement à des économies de stockage.

Ce mot clé est répétable et permet la création d'une table d'observation de même nom que le concept résultat de DYNA_NON_LINE.

Il permet aussi de suivre l'évolution d'un ou plusieurs ddl, au travers du mot clé SUIVI_DDL.

3.13.1 Opérande SUIVI_DDL

Cet opérande permet de choisir entre le mode d'observation classique ou de faire du suivi de ddl.

3.13.2 Opérandes LIST_ARCH / LIST_INST / INST / PAS_OBSE

Ces opérandes permettent de définir aux choix une liste d'instants d'observation. Ils ont la même signification que les opérandes de même nom servant à définir une liste d'archivage. PAS_OBSE jouant le même rôle que PAS dans ARCHIVAGE [§3.11].

3.13.3 Opérandes NOM_CHAM / NOM_CMP

Ces opérandes permettent de définir les champs à post-traiter ainsi que leurs composantes données par leur nom (par NOM_CMP).

3.13.4 Opérandes NOEUD / GROUP_NO

Ces opérandes permettent de définir les nœuds de post-traitement pour des champs aux nœuds ('DEPL', 'VITE', 'ACCE', 'DEPL_ABSOLU', 'VITE_ABSOLU', 'ACCE_ABSOLU').

3.13.5 Opérandes MAILLE / POINT

Ces opérandes qui vont de pair permettent de définir les mailles de post-traitement et leurs points d'extraction pour des champs aux éléments ('SIEF_ELGA' ou 'VARI_ELGA').

3.13.6 Opérande NUME_SUIVI

En mode SUIVI_DDL, on peut choisir de suivre et d'afficher entre un et quatre ddl.

3.13.7 Opérandes VALE_MIN / VALE_MAX

En mode SUIVI_DDL, au lieu de suivre un ddl particulier, on peut demander à afficher la valeur minimale ou maximale d'une composante d'un champ donné.

3.13.8 Opérandes PRECISION / CRITERE

Ces paramètres permettent de gérer la précision de la sélection des instants pour l'observation. Pour plus de précisions, cf. document [U4.71.00].

3.14 Description du schéma d'intégration en temps [bib2] [R5.05.05]

On peut soit utiliser une méthode implicite de NEWMARK (mot clé NEWMARK ou accélération moyenne modifiée : HHT avec MODI_EQUI = 'NON'), de HILBER-HUGHES-TAYLOR (HHT avec MODI_EQUI = 'OUI') ou bien une THETA_METHODE. Avec un schéma implicite, seule la résolution en déplacement est actuellement disponible (mot clé FORMULATION = DEPLACEMENT).

Inversement, on peut choisir une méthode explicite de type différences centrées (mot clé DIFF_CENT) ou un schéma dissipatif de type TCHAMWA (mot clé TCHAMWA). Avec un schéma explicite, on ne peut résoudre qu'en accélération (mot clé FORMULATION = ACCELERATION).

Les schémas explicite étant conditionnellement stable, il peut être utile de vérifier si le pas de temps donné en entrée du calcul respecte bien la condition de stabilité (condition CFL). Si STOP_CFL= 'OUI' (défaut), alors si la liste d'instants fournie par l'utilisateur comporte un ou plusieurs pas de temps supérieurs à la condition de stabilité, le calcul s'arrête en erreur fatale. Si STOP_CFL= 'NON', on émet une alarme et continue le calcul.

Dans tous les cas, le pas de temps critique est donné dans le fichier de messages pour information.

N.B : Le calcul de la CFL n'est pas programmé pour tous les éléments (En particulier les éléments discrets sont ignorés.) ; la CFL estimée par Code_Aster peut donc être plus grande (moins pénalisante) que la CFL réelle, avec les risques de divergence brutale qui en découlent.

En explicite, il est aussi recommandé d'utiliser une matrice de masse lumpée (diagonalisée) : ce que l'on peut obtenir avec le mot clé MASS_DIAG = 'OUI' [§3.1].

Nota bene

Le choix MASS_DIAG= 'NON' est déconseillé avec les coques DKT.

Avec les éléments DKT/DKTG il est nécessaire de préciser dans AFFE_CARA_ELEM, sous le mot clé facteur COQUE, le mot clé simple INER_ROTA = 'OUI'. Sinon la matrice masse est singulière et DYNA_TRAN_EXPLI est inutilisable

3.14.1 Mot clé NEWMARK

```
♦ / NEWMARK=_F(  
  ◊ ALPHA = / 0.25 [DEFAULT]  
            / alph  
  ◊ DELTA = / 0.5  
            / delt [DEFAULT]  
  )
```

La méthode d'intégration en temps est celle de NEWMARK, avec les valeurs données des paramètres alph et delt.

Quand on ne précise ni alph, ni delt, on a la méthode dite "règle du trapèze" (alph = 0.25 ; delt = 0.5) qui, en linéaire, est inconditionnellement stable et n'apporte aucune dissipation parasite (i.e. amortissement numérique), mais qui, en non linéaire, peut être instable [bib1][bib2].

3.14.2 Mot clé HHT

```
/    HHT=_F(  
◇    ALPHA =    /    -0.3                    [DEFAULT]  
                 /    alph                   [R]  
◇    MODI_EQUI =    /    'OUI',  
                     /    'NON',            [DEFAULT]  
                     )
```

Pour MODI_EQUI = 'NON' (valeur par défaut), la méthode d'intégration en temps (schéma d'intégration implicite) est celle de l'accélération moyenne modifiée (de la famille de Newmark) ([bib1], [bib2]), avec la valeur négative de alph donnée. Plus |alph| est grand, plus l'amortissement numérique apporté par le calcul est important. Mais cette dissipation est parfois nécessaire, en non linéaire, pour assurer la stabilité (à moins d'affecter un amortissement par matériau à la structure).

Pour MODI_EQUI = 'OUI', la méthode d'intégration en temps (schéma d'intégration implicite) est celle de HILBER-HUGHES-TAYLOR (HHT ou α -méthode) [bib2], avec la valeur négative de alph donnée. Plus |alph| est grand, plus l'amortissement numérique apporté par le calcul est important. Par rapport au schéma précédent (MODI_EQUI = 'NON') d'accélération moyenne modifiée, l'amortissement numérique induit est plus « sélectif » : il est plus faible aux basses et moyennes fréquences (asymptotiquement nul à fréquence nulle) et il va croître plus vite quand la fréquence devient grande.

Ce deuxième schéma se base sur le premier avec, en plus, une modification de l'équation d'équilibre (on décale dans le temps les efforts intérieurs et extérieurs) [bib2].

3.14.3 Mot clé THETA_METHODE

```
◆    /    TETA_METHODE =_F(  
◇    TETA =    /    teta                    [R]  
                 )
```

Le schéma d'intégration en temps est un theta-schéma implicite d'ordre 1, en vitesse. Il ne peut être utilisé qu'avec des charges de contact. Et dans ce cas, il doit aussi faire appel à la méthode CONTINUE (AFFE_CHAR_MECA / CONTACT / METHODE = 'CONTINUE') et la formulation en vitesse (FORMULATION = 'VITE').

teta doit être compris entre 0,5 et 1 : 0,5 correspond à un minimum de dissipation numérique, 1 correspond à un maximum de dissipation numérique. teta = 1 permet de retrouver le schéma d'Euler.

3.14.4 Mot clé DIFF_CENT

Le schéma des différences centrées est un schéma explicite d'ordre 2 de la famille de Newmark, de paramètres ALPHA = 0 et DELTA=0.5. Il s'agit d'un schéma à un pas qui ne présente pas de dissipation numérique contrôlable.

3.14.5 Mot clé TCHAMWA

Une alternative aux schémas des différences centrées est le schéma développé par Bertrand Tchamwa et Christian Wielgosz.

Ce schéma a plusieurs particularités intéressantes. Ce n'est pas un dérivé de Newmark, et la variation de son paramètre PHI permet une dissipation numérique contrôlable des hautes fréquences. Lorsqu'il vaut 1, la dissipation est nulle. Pour ne pas trop dégrader la condition de Courant et conserver des propriétés de stabilité comparables au schéma des différences centrées, il est recommandé de ne pas choisir un PHI supérieur à 1.10. 1.05 est la valeur choisie par défaut.

3.15 Mot clé AFFICHAGE

Ce mot-clé facteur permet de personnaliser l'affichage du tableau de convergence dans STAT_NON_LINE ou DYNA_NON_LINE.

◇ AFFICHAGE :

Si ce mot-clé n'est pas renseigné, le tableau est affiché en mode « STANDARD » et avec INFO_RESIDU='NON'.

Chaque occurrence d'AFFICHAGE concerne l'affichage d'une colonne et son format. L'ordre des colonnes donné par la succession des NOM_COLONNE est respecté.

3.15.1 Opérande UNITE

◇ UNITE = unit

Le tableau de convergence sera dupliqué dans le fichier d'unité unit.

Remarque :

L'unité peut être répétée à chaque occurrence du mot-clé facteur mais seul la première est prise en compte (avec affichage d'une alarme).

3.15.2 Opérande NOM_COLONNE

◇ NOM_COLONNE =	' STANDARD ' , ' MINIMUM ' , ' ITER_NEWT ' , ' INCR_TPS ' , ' RESI_RELA ' , ' RELA_NOEU ' , ' RESI_MAXI ' , ' MAXI_NOEU ' , ' RESI_REFE ' , ' REFE_NOEU ' , ' LAGR_ECAR ' , ' LAGR_INCR ' , ' LAGR_ITER ' , ' MATR_ASSE ' , ' ITER_DEBO ' , ' CTCD_ITER ' , ' CTCD_INFO ' , ' CTCD_GEOM ' , ' CTCD_NOEU ' , ' CTCC_CONT ' , ' CTCC_FROT ' , ' CTCC_GEOM ' ,
-----------------	--

Type de la colonne à afficher (chaque valeur correspond à une colonne affichée):

ITER_NEWT : numéro de l'itération de Newton en cours. La colonne est marquée par un « X » tant qu'il n'y a pas eu convergence sur tous les critères.

INCR_TPS : instant de calcul courant.

RESI_RELA et RELA_NOEU : valeur de RESI_GLOB_RELA et affichage du nœud où il est maximum. La colonne est marquée par un X tant que le résidu est plus grand que celui spécifié par l'utilisateur (opérande RESI_GLOB_RELA).

RESI_MAXI et MAXI_NOEU : valeur de RESI_GLOB_MAXI et affichage du nœud où il est maximum. La colonne est marquée par un X tant que le résidu est plus grand que celui spécifié par l'utilisateur (opérande RESI_GLOB_MAXI).

RESI_REFE et REFE_NOEU : valeur de RESI_REFE_RELA et affichage du nœud où il est maximum. La colonne est marquée par un X tant que le résidu est plus grand que celui spécifié par l'utilisateur (opérande RESI_REFE_RELA).

LAGR_ECAR, LAGR_INCR et LAGR_ITER: paramètres du lagrangien augmenté (voir LAGR_NON_LOCAL)

MATR_ASSE : option d'assemblage pour la matrice (élastique, tangente, sécante)

ITER_DEBO : indique une itération de De Borst pour les contraintes planes ou les comportements unidimensionnels (voir COMP_INCR)

CTCD_ITER : nombre d'itérations internes de contact/frottement, méthodes discrètes. La colonne est marquée par un X tant que le contact n'a pas convergé sur la géométrie.

CTCD_INFO : informations sur l'état de contact pour les méthodes discrètes :

- ALGO : résolution du problème de contact (itérations internes)
- ALGO/REAC_GEOM : résolution du problème de contact (itérations internes) et mise à jour de la géométrie pour réactualisation
- INIT_GEOM/ALGO : initialisation de la géométrie pour le contact et résolution du problème de contact
- ATT_PT_FIXE : attente point fixe pour le contact méthodes discrètes

CTCD_GEOM : valeur du déplacement maximum pour la réactualisation géométrique du contact, méthodes discrètes.

CTCD_NOEU : nœud où la valeur du déplacement est maximale lors de la réactualisation géométrique du contact, méthodes discrètes.

CTCC_GEOM : numéro de l'itération de contact méthode continue lors de la boucle sur la géométrie. La colonne est marquée par un X tant qu'on n'a pas convergé.

CTCC_FROT : numéro de l'itération de contact méthode continue lors de la boucle sur le seuil de frottement. La colonne est marquée par un X tant qu'on n'a pas convergé.

CTCC_CONT : numéro de l'itération de contact méthode continue lors de la boucle sur l'état de contact (contraintes actives). La colonne est marquée par un X tant que l'on n'a pas convergé.

Types composites (affiche plusieurs colonnes) :

STANDARD : affichage standard (par défaut) du tableau de convergence. Contient :

Le numéro de l'itération de Newton (ITER_NEWT)

Toutes les colonnes nécessaires selon les fonctionnalités activées (contact...)

- La valeur des résidus (RESI_MAXI et RESI_RELA)

MINIMUM : affichage minimum du tableau de convergence. Contient :

- Le numéro de l'itération de Newton (ITER_NEWT)
- La valeur des résidus (RESI_MAXI et RESI_RELA)

Remarques :

- On ne peut demander plus de seize colonnes (16 colonnes de 16 caractères, soit une largeur totale de 256).
- Les colonnes sont cumulables : on peut demander l'affichage MINIMUM et ajouter une colonne quelconque.
- On peut avoir plusieurs fois la même colonne.
- Tant que « X » est affiché dans la colonne ITER_NEWT, le calcul n'a pas convergé. Ceci dépend bien sûr de la valeur des résidus mais aussi de la convergence du contact ou de De Borst.
- Pour la méthode de contact continue, les itérations de Newton constitue une boucle interne aux trois autres boucles (CTCC_GEOM, CTCC_FROT et CTCC_CONT). ITER_NEWT n'est donc pas en première position en mode « STANDARD » et c'est le marquage des colonnes CTCC_* qui joue le rôle de juge de paix final sur la convergence.

3.15.3 Opérande INFO_RESIDU

```
◇ INFO_RESIDU =               'NON',       [DEFAULT]
                              'OUI'
```

Cet opérande permet d'ajouter une colonne pour chaque résidu évalué (RESI_RELA, RESI_MAXI et RESI_REFE). Cette colonne indiquera le nœud où le résidu est maximum, ce qui peut aider l'utilisateur lorsqu'il y a des difficultés de convergence. Par exemple, pour voir si le matériau a été mal défini avec une valeur incorrecte sur un élément.

Cette option est strictement équivalente à l'ajout des colonnes RELA_NOEU, RELA_MAXI ou RELA_REFE quand on décrit complètement l'affichage du tableau de convergence mais permet d'afficher l'information sur les nœuds lorsque l'on est en mode « STANDARD » ou « MINIMUM », sans avoir besoin de décrire toutes les autres colonnes.

3.15.4 Opérandes LONG_R, PREC_R et LONG_I

```
◇ LONG_R     =               / 12               [DEFAULT]
                              / long_r        [I]
◇ PREC_R     =               / 5                [DEFAULT]
                              / prec_r        [I]
◇ LONG_I     =               / 6                [DEFAULT]
                              / long_i        [I]
```

Ces opérandes permettent de modifier l'affichage des informations dans le tableau de convergence. Toutes les colonnes ont une largeur fixe de 16 caractères. Quand l'information est un réel, on peut demander un affichage personnalisé : la longueur long_r du réel affiché (maximum 16) et le nombre de chiffres significatifs.

Quand c'est un entier, on peut régler la longueur par long_i. Pour une chaîne de caractères, le format est toujours de 16 caractères.

3.16 Opérande SOLV_NON_LOCAL

La syntaxe de ce mot clé est identique au mot clé SOLVEUR décrit dans le document [U4.50.01]. A utiliser pour un modèle non local.

3.17 Opérande LAGR_NON_LOCAL

L'intégration de lois de comportement non locales impose la résolution d'un problème global (sur toute la structure) : la minimisation d'une fonctionnelle énergie (l'expression du lagrangien augmenté) par rapport à une variable nodale scalaire.

La résolution de ce problème s'effectue au moyen d'un algorithme newton primal et BFGS dual combiné, qui consiste en deux phases :

- Résolution du problème primal :
 - Minimisation par rapport à la variable interne non locale et son gradient (cham_elem)
 - Minimisation par rapport à la variable interne aux nœuds (cham_no)
 - Test de convergence primal : la plus grande composante du résidu assemblé
- Résolution du problème dual : (Maximisation par rapport aux multiplicateurs de Lagrange)
 - Calcul d'une direction de descente BFGS
 - Recherche linéaire par méthode de Wolfe
 - Test de convergence dual : la plus grande composante du gradient
 - Réactualisation des multiplicateurs de Lagrange

```
◇ ITER_PRIM_MAXI = iterprimmax (10 par défaut)
Nombre d'itérations maximales pour la résolution du problème primal.
```

```
◆ RESI_PRIM_ABSO = resiprimab
Précision pour le test de convergence pour le problème primal.
```

```
◇ ITER_DUAL_MAXI = iterdmax (50 par défaut)
Nombre d'itérations maximales pour la résolution du problème dual.
```

- ◆ RESI_DUAL_ABSO = residabso
Précision pour le test de convergence pour le problème dual.
- ◇ R = rho (1000 par défaut)
Coefficient de pénalisation du lagrangien augmenté.

Remarque :

comme la précision du problème dual dépend fortement de celle du problème primal, on conseille de choisir une meilleure précision pour le problème primal, par exemple 100 ou 1000 fois plus que pour le problème dual.

3.18 Mot-clé CRIT_FLAMB

```

◇ CRIT_FLAMB = _F (
    ◇ NB_FREQ =      / 3,           [DEFAULT]
                      / nbfreq,      [I]
    ◇ CHAR_CRIT =    / (-10,10),    [DEFAULT]
                      / intcc,
),

```

Ce mot-clé permet de déclencher le calcul, à la fin de chaque incrément de temps, d'un critère de stabilité au sens du flambage. On retrouve la même fonctionnalité dans STAT_NONLINE (U4.51.03). Ce critère est utile pour déceler, au cours du calcul transitoire, le point à partir duquel on perd la stabilité au sens quasistatique (par flambage par exemple).

Ce critère est calculé de la façon suivante : à la fin d'un pas de temps, en petites perturbations, on résout $\det(K^T - \lambda K^g) = 0$. K^T est la matrice tangente cohérente à cet instant. K^g est la matrice de rigidité géométrique, calculée à partir du champ de contraintes à cet instant.

En pratique, le chargement est instable si $|\lambda| < 1$ (en fait $-1 < \lambda < 0$). On calcule les valeurs propres par la méthode de Sorensen (cd MODE_ITER_SIMULT). Ceci peut être assez coûteux pour les problèmes de grande taille.

Le mot-clé CHAR_CRIT permet de gagner du temps en ne faisant qu'un test de Sturm dans la bande de fréquence fournie. Si on trouve au moins une fréquence, alors on calcule réellement les valeurs des charges critiques dans cet intervalle.

Pour les grands déplacements et les grandes déformations GREEN(_GR) ou SIMO_MIEHE, on résout $\det(K^T - \lambda Id) = 0$ car K^T contient alors K^g (et éventuellement K^p).

Le critère est alors un critère d'instabilité : quand λ change de signe (donc passe par 0) le chargement est instable.

Le mot-clé NB_FREQ (3 par défaut) désigne le nombre de charges critiques à calculer. En fait seule la première suffit mais il peut y avoir des modes multiples

On stocke le mode propre correspondant à la plus petite charge critique (en valeur absolue) dans la S.D. RESULTAT, sous le nom MODE_FLAMB. Ce mode propre peut être extrait et visualisé (comme un champ de déplacements ou un mode propre classique). Il est normalisé à 1 sur la plus grande composante de déplacement.

3.19 Mot-clé MODE_VIBR

```

◇  MODE_VIBR =_F (
      ◇ NB_FREQ      =   / 3,           [DEFAULT]
                          / nbfreq,      [I]
      ◇ MATR_RIGI    =   / 'ELASTIQUE',  [DEFAULT]
                          / 'TANGENTE',
    ),

```

Ce mot-clé permet de déclencher le calcul, à la fin de chaque incrément de temps, d'une recherche de modes propres vibratoires.

Ce critère est utile pour suivre, au cours du calcul transitoire, l'évolution de la réponse vibratoire de la structure non linéaire.

Ce critère est calculé de la façon suivante : à la fin d'un pas de temps, on résout $\det(K - \omega^2 M) = 0$. K peut soit être la matrice de raideur élastique, soit la matrice tangente cohérente à l'instant courant. M est la matrice de masse.

Le mot-clé NB_FREQ (3 par défaut) désigne le nombre de fréquences propres à calculer.

On stocke le mode propre correspondant à la plus petite fréquence propre dans la S.D. RESULTAT, sous le nom MODE_MECA. Ce mode propre peut être extrait et visualisé (comme un champ de déplacements ou un mode propre classique). Il est normalisé à 1 sur la plus grande composante de déplacement.

3.20 Opérandes SENSIBILITE

```

◇  SENSIBILITE = liste de paramètres sensibles [l_para_sensi]

```

Active le calcul de la dérivée des champs de déplacement, vitesse et accélération par rapport à un paramètre sensible du problème.

Le document [U4.50.01] précise le fonctionnement du mot clé.

3.21 Opérande PROJ_MODAL

Ce mot clé permet de faire le calcul sur une base modale préalablement calculée. Il est à utiliser avec un schéma d'intégration en temps explicite.

3.21.1 Opérandes MODE_MECA, NB_MODE

```

◆  MODE_MECA    = mode,           [mode_meca]
◇  NB_MODE      =   / nbmode,      [I]
                  / 9999,          [DEFAULT]

```

On spécifie la base modale à utiliser (MODE_MECA) et le nombre de modes (NB_MODE).

Remarque importante :

La base modale doit s'appuyer sur une numérotation cohérente avec celle de l'évolution calculée (cf. [§ 3.11]) : même profil de numérotation.

3.21.2 Opérands MASS_GENE, RIGI_GENE, AMOR_GENE

Ces opérands sont utilisés ensemble dans le cas où l'on veut condenser dynamiquement une partie du modèle au comportement linéaire, en ne calculant strictement par DYNANONLINE que des domaines au comportement non linéaire. Ceci, afin de réduire la taille du modèle de calcul. Dans ce cas, il est nécessaire de calculer une base modale de Ritz sur l'ensemble des domaines : le domaine non linéaire modélisé pour le calcul faisant appel à DYNANONLINE et les autres domaines linéaires condensés dynamiquement. Cette base doit être orthogonalisée par rapport à la masse et à une rigidité linéaire de l'ensemble des domaines. Elle doit simplement être représentative des mouvements activant l'ensemble des domaines. Par contre, on ne renseignera derrière MODE_MECA que les modes obtenus par réduction de la base de Ritz au modèle de calcul traité par DYNANONLINE. Un exemple de calcul est fourni par le cas test SDNV107A [V5.03.107].

La syntaxe de ces opérands se présente ainsi :

```
◇ / MASS_GENE = massgen,           [matr_asse_gene_R]
   RIGI_GENE = rigigen,           [matr_asse_gene_R]
   / AMOR_GENE = amorgen,         [matr_asse_gene_R]
```

L'opérande MASS_GENE permet d'entrer la projection de la matrice masse de l'ensemble des domaines sur la base de Ritz avec un stockage diagonal. L'opérande RIGI_GENE permet d'entrer la projection de la matrice rigidité des domaines linéaires condensés seuls sur la base de Ritz avec un stockage plein. L'opérande AMOR_GENE permet d'entrer éventuellement la projection d'une matrice d'amortissement (si elle existe) des domaines linéaires condensés seuls sur la base de Ritz avec un stockage plein.

3.22 Mot clé EXCIT_GENE

Ce mot clé répétable est associé à l'utilisation des opérands MASS_GENE, RIGI_GENE et éventuellement AMOR_GENE dans le mot clé PROJ_MODAL. Il sert à introduire les forces appliquées sur des domaines de comportement linéaire condensés dynamiquement et non modélisés dans le calcul faisant appel à un schéma d'intégration en temps explicite. Ces forces sont projetées sur la base de Ritz calculée sur l'ensemble des domaines.

```
◇ FONC_MULT = fomult,           [fonction_sdaster]
◆ VECT_GENE = vecgen,           [vect_asse_gene]
```

VECT_GENE sert à renseigner les vecteurs de force projetés sur la base de Ritz. FONC_MULT sert à renseigner la fonction multiplicatrice dépendant du temps associée à chaque vecteur au sein d'une occurrence du mot clé EXCIT_GENE.

3.23 Opérande INFO

```
◇ INFO = inf
```

Permet d'effectuer dans le fichier message diverses impressions intermédiaires en présence de contact unilatéral traité par la méthode des contraintes actives.

```
inf     = 1     impression de la liste des nœuds en contact après convergence à chaque
                  itération de Newton.
          = 2     idem 1 plus impression des associations/dissociations de nœuds entre
                  itérations de la méthode des contraintes actives.
```

D'autres impressions sont faites systématiquement lors du calcul non linéaire, indépendamment de la valeur affectée au mot-clé INFO : ce sont les impressions des résidus et des incréments relatifs de déplacement au cours des itérations de Newton.

3.24 Opérande TITRE

```
◇ TITRE = tx
```

tx est le titre du calcul. Il sera imprimé en tête des résultats. Voir [U4.03.01].

4 Exemple : mouvement d'un pendule de grande amplitude

```
# TITRE Pendule simple en grande oscillation
#
# PENDULE CONSTITUE D'UN ELEMENT DE CABLE (test SDNL100A).
#
DEBUT ();
#
ma = LIRE_MALLAGE ();
mo = AFFE_MODELE (MAILLAGE= ma,
                  AFPE=_F ( GROUP_MA= 'CABLE', PHENOMENE= 'MECANIQUE',
                           MODELISATION= 'CABLE' ) );
mat = DEFI_MATERIAU (CABLE=_F(E= 1.E8, EC_SUR_E= 1.E0, RHO= 1.) );
chmat =AFFE_MATERIAU (MAILLAGE= ma,
                     AFPE=_F(TOUT= 'OUI', MATER= mat) );
cha1 = AFFE_CHAR_MECA (MODELE= mo,
                      DDL_IMPO=(
                          _F(NOEUD= 'N1',DX=0., DY= 0., DZ= 0.),
                          _F(NOEUD= 'N2',DY=0.,          ) ) );
cha2 = AFFE_CHAR_MECA (MODELE= mo,
                      PESANTEUR= (9.81, 0., 0., -1.) );
cara = AFFE_CARA_ELEM (MODELE= mo,
                      CABLE=_F (TOUT= 'OUI', SECTION= 1.) );
l_archi = DEFI_LIST_REEL (DEBUT= 0.,
                        INTERVALLE=(
                            _F(JUSQU_A= 0.4186, NOMBRE =1),
                            _F(JUSQU_A= 0.8372, NOMBRE =2),
                            _F(JUSQU_A= 1.6744, NOMBRE =5) )
                        );
l_inst1 = DEFI_LIST_REEL ( DEBUT= 0.,
                        INTERVALLE=_F(JUSQU_A= 1.6744, NOMBRE=40)
                        );
resu = DYNA_NON_LINE (MODELE= mo, CHAM_MATER= chmat, CARA_ELEM= cara,
                      EXCIT=(
                          _F(CHARGE= cha1),
                          _F(CHARGE= cha2)),
                      INCREMENT=_F (LIST_INST= l_inst1),
                      ARCHIVAGE=_F (LIST_INST= l_archi),
                      SCHEMA_TEMPS = _F( NEWMARK=_F( ), FORMULATION='DEPLACEMENT' ),
                      COMP_ELAS=_F(RELATION= 'CABLE', DEFORMATION= 'GREEN'),
                      CONVERGENCE=_F(RESI_GLOB_RELA= 1.e-2, ITER_GLOB_MAXI=100)
                      );
```

- la charge cha1 impose au noeud 1 de rester fixe et au noeud 2 de se déplacer dans le plan vertical xz,
- la charge cha2 est la pesanteur,
- la commande DYNA_NON_LINE spécifie que :
 - la méthode d'intégration du temps sera celle de 'NEWMARK', "règle du trapèze" (appelée aussi accélération moyenne), car il n'y a aucun argument sous 'NEWMARK',
 - l'état initial, à l'instant 0, est à déplacement nul, c'est-à-dire que les déplacements seront évalués à partir de la position initiale, et à vitesse nulle,
 - le calcul itératif se poursuivra tant que le résidu relatif sera $> 10^{-2}$, mais le nombre des itérations sera limité à 100,
 - enfin la matrice tangente du système linéaire à résoudre sera réévaluée à chaque itération (par défaut puisque le mot clé NEWTON est absent).

5 Bibliographie

- [1] M. AUFAURE : Méthodes directes d'analyse dynamique des structures en non-linéaire. Note HI-70/93/124.
- [2] N. GREFFET : « Vers de nouvelles méthodes numériques pour l'intégration temporelle dans le Code_Aster » Note HT-62/04/016.