

**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	
2 Syntaxe .....	4
3 Opérandes .....	9
3.1 Opérandes MODELE / CHAM_MATER / CARA_ELEM / MODE_STAT .....	9
3.2 Mot clé EXCIT .....	9
3.2.1 Opérandes CHARGE / FONC_MULT .....	9
3.2.2 Opérande TYPE_CHARGE .....	10
3.2.3 Opérandes MULT_APPUI /ACCE /VITE /DEPL /DIRECTION /NOEUD /GROUP_NO .....	10
3.3 Mot clé COMP_INCR .....	10
3.4 Mot clé COMP_ELAS .....	11
3.5 Mot clé VARI_COMM .....	11
3.5.1 Opérande IRRA .....	11
3.6 Mot clé ETAT_INIT .....	11
3.7 Mot clé INCREMENT .....	11
3.8 Mot clé NEWTON .....	11
3.9 Mot clé RECH_LINEAIRE .....	11
3.9.1 Opérande RESI_LINE_RELA / ITER_LINE_MAXI .....	12
3.10 Opérande PARM_THETA .....	12
3.11 Mot clé PILOTAGE .....	12
3.12 Mot clé SOLVEUR .....	12
3.13 Mot clé CONVERGENCE .....	13
3.14 Mot clé ARCHIVAGE .....	13
3.15 Mot clé AMOR_MODAL .....	13
3.15.1 Opérandes MODE_MECA / AMOR_REDUIT / NB_MODE .....	13
3.15.2 Opérande REAC_VITE .....	13
3.16 Mot clé OBSERVATION .....	13
3.16.1 Opérandes LIST_ARCH / LIST_INST / INST / PAS_OBSE .....	14
3.16.2 Opérandes NOM_CHAM / NOM_CMP .....	14
3.16.3 Opérandes NOEUD / GROUP_NO .....	14
3.16.4 Opérandes MAILLE / POINT .....	14
3.17 Description du schéma d'intégration en temps .....	14
3.17.1 Mot clé NEWMARK .....	14
3.17.2 Mot clé HHT .....	14
3.18 Opérande MODELE_NON_LOCAL .....	15
3.19 Opérande SOLV_NON_LOCAL .....	15
3.20 Opérande LAGR_NON_LOCAL .....	15
3.21 Opérande INFO .....	16
3.22 Opérande TITRE .....	16
4 Exemple : mouvement d'un pendule de grande amplitude .....	17

5 Bibliographie .....	18
-----------------------	----

## 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]
  ◆ EXCIT =_F (
    ◇ TYPE_CHARGE = / 'FIXE_CSTE', [DEFAULT]
                  / 'FIXE_PILO',
                  / '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]
  )
  ◇ AMOR_MODAL =_F (
    ◆ MODE_MECA = mode, [mode_meca]
    ◆ AMOR_REDUIT = l_amor, [l_R]
    ◇ NB_MODE = / nbmode, [I]
               / 9999, [DEFAULT]
    ◇ REAC_VITE = / 'OUI', [DEFAULT]
                 / 'NON',
  ) ;
  ◆ | COMP_INCR =_F (
    ◆ RELATION = / 'VMIS_ISOT_TRAC', [DEFAULT]
                 / autres relations [U4.51.03 § 3.3.1]
    ◇ RELATION_KIT = / 'ELAS',
                    / autres relations [U4.51.03 § 3.3.2]
    ◇ COQUE_NCOU = cncouch, [I]
    ◇ TUYAU_NCOU = tncouch, [I]
    ◇ TUYAU_NSEC = tnsec, [I]
    ◇ DEFORMATION = / 'PETIT', [DEFAULT]
                   / 'PETIT_REAC',
                   / 'SIMO_MIEHE',
    ◇ / TOUT = 'OUI', [DEFAULT]
      / | GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
      | MAILLE = lma, [l_maille]
    ◇ ALGO_C_PLAN = / 'DEBORST', [DEFAULT]
  )
  | COMP_ELAS =_F (
    ◆ RELATION = / 'ELAS', [DEFAULT]
                 / autres relations [U4.51.03 § 3.4.1]

```

Titre :           Opérateur DYNA\_NON\_LINE  
Auteur(s) :     G. DEVESA, I. VAUTIER

Date :           04/03/03  
Clé :           U4.53.01-F   Page :   5/18

```

◇ COQUE_NCOU      = cncouch,          [I]
◇ TUYAU_NCOU      = tncouch,          [I]
◇ TUYAU_NSEC      = tnsec,            [I]
◇ DEFORMATION     = / 'PETIT',        [DEFAULT]
                        / 'GREEN',
                        / 'GREEN_GR',
◇ / TOUT           = 'OUI',            [DEFAULT]
◇ / | GROUP_MA    = lgrma,
[1_gr_maille]
                        | MAILLE      = lma,          [1_maille]
                        )
◇ VARI_COMM =_F(
    ◆ / IRRA      =irra,                [evol_varc]
    )
◇ 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]
    )
    ◆ 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]
        ◇ SUBD_PAS       = / 1,            [DEFAULT]
                        / subpas ,        [I]
        ◇ SUBD_PAS_MINI  = submini,        [R]
        ◇ COEF_SUBD_PAS_1 = / 1.,          [DEFAULT]
                        / coefsub,        [R]
        ◇ OPTI_LIST_INST : / 'INCR_MAXI',   [DEFAULT]
        ◇ NOM_CHAM       : nomch,          [Kn]
        ◇ NOM_CMP        : nomcmp,         [Kn]
        ◇ VALEUR         : val,           [R]
    )

```

Titre : *Opérateur DYNA\_NON\_LINE*  
 Auteur(s) : **G. DEVESA, I. VAUTIER**

Clé : **U4.53.01-F** Date : **04/03/03**  
 Page : **6/18**

```

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

◇ RECH_LINEAIRE =_F(
    ◇ RESI_LINE_RELA = / 1.E-1, [DEFAULT]
                        / reslin , [R]
    ◇ ITER_LINE_MAXI = / 3, [DEFAULT]
                        / itelin, [I]
)

◇ PARM_THETA = / 1., [DEFAULT]
               / theta, [R]

◇ PILOTAGE =_F ( ◆ TYPE = / 'DDL_IMPO' ,
                  / 'LONG_ARC' ,
                  ◇ / NOEUD = no, [noeud]
                    / GROUP_NO = grno, [gr_noeud]
                  ◇ NOM_CMP : nomcmp, [Kn]
                  / 'DEFORMATION' ,
                  / 'PRED_ELAS_INCR' ,
                  / 'PRED_ELAS' ,
                  ◇ / TOUT = 'OUI' , [DEFAULT]
                    / GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
                    / MAILLE = lma, [l_maille]
                  ◇ COEF_MULT = / 1., [DEFAULT]
                    / cmult, [R]
                  ◇ ETA_PILO_MAX = etamax, [R]
                  ◇ ETA_PILO_MIN = etamin, [R]
                  )

◇ 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]

    ◇ ITER_GLOB_ELAS = / 25, [DEFAULT]
      / maxelas, [I]
    ◇ ITER_GLOB_MAXI = / 10, [DEFAULT]
      / maglob, [I]
    ◇ ARRET : / 'OUI' , [DEFAULT]
              / 'NON' ,

```

Titre :           Opérateur DYNALINE  
Auteur(s) :    G. DEVESA, I. VAUTIER

Date :        04/03/03  
Clé :        U4.53.01-F   Page :    7/18

```

◇ RESI_INTE_RELA = / 1.E-6, [DEFAULT]
                  / resint, [R]
◇ ITER_INTE_MAXI = / 10, [DEFAULT]
                  / iteint, [I]
◇ ITER_INTE_PAS = / 0, [DEFAULT]
                  / itepas,
◇ RESO_INTE = / 'IMPLICITE', [DEFAULT]
              / 'RUNGE_KUTTA_2',
              / 'RUNGE_KUTTA_4',
)
◇ ARCHIVAGE =_F (
◇ / LIST_INST = list_r8, [listr8]
  / INST = l_r8, [R]
  / PAS_ARCH = npas, [I]
◇ PRECISION = / 1.E-3, [DEFAULT]
              / 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',
)
◆ / NEWMARK =_F (
◇ ALPHA = / 0.25, [DEFAULT]
          / alph, [R]
◇ DELTA = / 0.5, [DEFAULT]
          / delt, [R]
)
/ HHT =_F (
◇ ALPHA = / -0.3, [DEFAULT]
          / alph, [R]
)
◇ OBSERVATION =_F (
◆ NOM_CHAM = | 'DEPL',
              | 'VITE',
              | 'ACCE',
              | 'DEPL_ABSOLU',
              | 'VITE_ABSOLU',
              | 'ACCE_ABSOLU',
              | 'SIEF_ELGA',
              | 'VARI_ELGA',

```

Titre :        *Opérateur DYNALNONLINE*  
Auteur(s) :   **G. DEVESA, I. VAUTIER**

Clé :    **U4.53.01-F**      Date :    **04/03/03**  
Page :    **8/18**

```

      ◆ NOM_CMP = lncmp , [l_Kn]
      ◆ / LIST_ARCH = larch , [listis]
      / LIST_INST = linst , [listr8]
      / INST = linst , [l_R]
      / PAS_OBSE = pas , [I]
      ◆ / | NOEUD = lno , [l_noeud]
      | GROUP_NO = lgmo , [l_gr_noeud]
      / MAILLE = lma , [l_maille]
      POINT = lpoint , [l_I]

◇ MODELE_NON_LOCAL = modnl , [modele]

◇ 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] )

◇ INFO = / 1 , [DEFAULT]
      / 2 ,

◇ TITRE = tx , [Kn]

)
```



## 3 Opérandes

### 3.1 Opérandes **MODELE** / **CHAM\_MATER** / **CARA\_ELEM** / **MODE\_STAT**

- ◆ **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].

### 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<sub>i</sub>* est le chargement mécanique (comportant éventuellement l'évolution d'un champ de température) précisé à la *i*<sup>ème</sup> 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<sub>i</sub>* est la fonction du temps multiplicatrice du chargement précisé à la *i*<sup>ème</sup> 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<sub>i</sub>*.

Par défaut : *f<sub>i</sub>* = 1.

*Le champ de température n'est pas multiplié par *f<sub>i</sub>*.*

### 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 'FIXE\_PILO', le chargement est toujours fixe (indépendant de la géométrie) mais sera piloté grâce au mot clé PILOTAGE [§3.11].

*Les charges pilotables doivent être issues d'AFFE\_CHAR\_MECA ou d'AFFE\_CHAR\_MECA\_F et ne pas être affectées du mot clé FONC\_MULT. On ne peut pas piloter les chargements de pesanteur, la force centrifuge, les forces de Laplace, les chargements thermiques ou de déformations initiales ou anélastiques, et les conditions de liaison.*

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<sub>i</sub> 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].

### 3.3 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 DYNA\_NON\_LINE, à condition que le calcul de la matrice de masse des éléments concernés soit prévu. On se reportera donc au document [U4.51.03] pour une description des relations de comportement disponibles (opérande RELATION) ainsi que des autres opérandes du mot clé COMP\_INCR.

## 3.4 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 *DYNA\_NON\_LINE*, à condition que le calcul de la matrice de masse des éléments concernés soit prévu. On se reportera donc au document [U4.51.03] pour une description des relations de comportement disponibles (opérande *RELATION*) ainsi que des autres opérandes du mot clé *COMP\_ELAS*.

## 3.5 Mot clé **VARI\_COMM**

◇   VARI\_COMM =\_F

Variables de commandes qui pilotent les lois de comportement (au même titre que la température).

### 3.5.1 Opérande **IRRA**

◆   /   IRRA   :   irr

Champ d'irradiation.

## 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 **RECH\_LINEAIRE**

◇   RECH\_LINEAIRE =\_F

La recherche linéaire peut permettre d'améliorer la convergence de la méthode de Newton (Cf. [R5.03.01] pour plus de détails).

### 3.9.1 Opérande RESI\_LINE\_RELA / ITER\_LINE\_MAXI

◇ RESI\_LINE\_RELA =      / 1.E-1      [DEFAULT]  
                             / reslin  
◇ ITER\_LINE\_MAXI =      / 3      [DEFAULT]  
                             / itelin

Ce sont les paramètres de la recherche linéaire. On donne le nombre d'itérations maximum *itelin* à effectuer et la précision *reslin* à atteindre pour réaliser la convergence de la recherche linéaire.

*Il n'est pas nécessaire de spécifier une précision ni un nombre d'itérations très élevés, la pratique montrant que 2 ou 3 itérations de recherche linéaire sont suffisantes. On peut donc se contenter de demander 3 itérations avec la précision par défaut.*

### 3.10 Opérande PARM\_THETA

◇ PARM\_THETA =      / 1.      [DEFAULT]  
                             / theta

Pour les modélisations THM, l'argument *theta* est le paramètre de la *thêta*-méthode utilisée pour résoudre les équations évolutives de thermique et d'hydraulique (Cf. [R5.03.60] pour plus de détails). Sa valeur doit être comprise entre 0 (méthode explicite) et 1 (méthode totalement implicite).

Pour les lois de comportements ROUSS\_VISC, ASSE\_COMBU, ZIRC\_CYRA2 et ZIRC\_EPRI, l'argument *theta* sert à l'intégration de la loi de comportement (pour le modèle ASSE\_COMBU, il sert à intégrer la loi de Lemaitre en 1D). Il peut prendre les valeurs 0.5 ou 1.

### 3.11 Mot clé PILOTAGE

◇ PILOTAGE =\_F

Lorsque l'intensité  $\eta$  d'une partie du chargement n'est pas connue a priori (chargement dit de référence défini dans *AFFE\_CHAR\_MECA* ou *AFFE\_CHAR\_MECA\_F* avec charge de type *FIXE\_PILO*), le mot clé *PILOTAGE* permet de piloter ce chargement par l'intermédiaire d'un nœud (ou groupe de nœud) sur lequel on peut imposer différents modes de pilotage (mot clé *TYPE*). Les opérands du mot clé *PILOTAGE* ont la même signification que dans le document [U4.51.03]. Toutefois, cette option active également avec *DYNANONLINE* y est à utiliser avec réserve du fait que le temps a une signification physique et non virtuelle : il ne sert pas essentiellement à indiquer les incréments de charge comme avec *STATNONLINE*.

#### Attention :

*Avec *FIXE\_PILO*, on ne peut pas utiliser pour le chargement de référence le mot clé *FONCT\_MULT*.*

#### Attention :

*Lorsque le chargement de référence est défini par *AFFE\_CHAR\_MECA\_F*, ce chargement peut être fonction des variables d'espace mais pas du temps.*

### 3.12 Mot clé SOLVEUR

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

### 3.13 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].

### 3.14 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].

### 3.15 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  $-C\dot{x}$ .

#### 3.15.1 Opérandes MODE\_MECA / AMOR\_REDUIT / NB\_MODE

◆ MODE\_MECA        =    mode  
◇ AMOR\_REDUIT      =    l\_amor  
◇ 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` [§3.12]. 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.

#### 3.15.2 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.

### 3.16 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` [§3.14] (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`.

### 3.16.1 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 [§3.14].

### 3.16.2 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).

### 3.16.3 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').

### 3.16.4 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').

## 3.17 Description du schéma d'intégration en temps

On peut utiliser une méthode de NEWMARK ou de HILBER-HUGHES-TAYLOR (HHT).

### 3.17.1 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 [bib 1].

### 3.17.2 Mot clé HHT

```
/ HHT=_F(  
  ◊ ALPHA = / -0.3 [DEFAULT]  
            / alph [R]  
            )
```

La méthode d'intégration en temps (schéma d'intégration implicite) est celle de HILBER-HUGHES-TAYLOR (HHT) [bib1], 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).



### 3.21 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.

### 3.22 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,
                  AFFE=_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,
                     AFFE=_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),
                     NEWMARK=_F ( ),
                     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", 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.