

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.5- : Méthodes de résolution
Document : U4.53.02

Opérateur DYNA_LINE_TRAN

1 But

Calculer la réponse dynamique transitoire à une excitation temporelle quelconque.

Le chargement temporel doit être donné sous la forme d'une combinaison linéaire de vecteurs forces assemblés constants dans le temps. Ils peuvent être fournis directement sous forme de vecteurs assemblés ou sous forme de charges qui seront assemblées dans l'algorithme.

Seuls les coefficients de la combinaison linéaire sont fonction du temps.

Les méthodes d'intégration implicites disponibles sont WILSON-theta et NEWMARK, et les méthodes d'intégration explicites disponibles sont le schéma aux différences centrés, et une version à pas adaptatif de ce même schéma.

Des instants d'archivage peuvent être spécifiés.

Produit un concept résultat de type `dyna_trans`.

2 Syntaxe

```

dyn [dyna_trans] = DYNA_LINE_TRAN

(
  ◇ reuse          = dyn,
  ◇ MODELE         = mo,                [modele]
  ◇ CHAM_MATER     = chmat,            [cham_mater]
  ◇ CARA_ELEM      = carac,            [cara_elem]
  ◇ MODE_STAT      = modestat,         [mode_statique]
  ◆ MATR_MASS      = m,                [matr_asse_DEPL_R]
  ◆ MATR_RIGI      = k,                [matr_asse_DEPL_R]
  ◇ MATR_AMOR      = c,                [matr_asse_DEPL_R]
  ◆ / NEWMARK      = _F(◇ ALPHA = / 0.25, [DEFAULT]
                        / al, [R]
                        ◇ DELTA = / 0.5, [DEFAULT]
                        / de, [R] ),
  / WILSON = ( ◇ THETA = / 1.4, [DEFAULT]
               / th, [R] ),
  / DIFF_CENTRE = _F(),
  / ADAPT = _F(),
  ◇ / ETAT_INIT = _F(
      ◆ / DYNA_TRANS = dy,            [dyna_trans]
      ◇ / NUME_INIT = nuini,          [I]
        / INST_INIT = to,             [R]
        ◇ PRECISION =
          / 1.E-03, [DEFAULT]
          / prec , [R]
        ◇ CRITERE =
          / 'RELATIF', [DEFAULT]
          / 'ABSOLU',
  / DEPL_INIT = depl,                [cham_no_DEPL_R]
  VITE_INIT = vite,                  [cham_no_DEPL_R]
  ),
  ◇ EXCIT = _F(
      ◆ / CHARGE = chi,                [char_meca]
        ◇ FONC_MULT = fi,              [fonction]
        / VECT_ASSE = va,              [cham_no_DEPL_R]
        ◇ / COEF_MULT = αi, [R]
          / 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(
      ◆ / AMOR_REDUIT = l_amor, [l_R]
        / MODE_MECA = mode, [mode_meca]
        ◇ NB_MODE = / nbmode, [I]
          / 9999, [DEFAULT]
        ◇ REAC_VITE = / 'OUI',
          / 'NON', [DEFAULT]
      ),

```

Titre : *Opérateur DYNALINE TRAN*
Auteur(s) : *E. BOYERE, D. GIRARDOT*

Date : 14/01/04
Clé : U4.53.02-H1 Page : 3/14

```

◇ SENSIBILITE = _F( voir [U4.50.02]),

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

◆ INCREMENT = _F( ◆ / LIST_INST = litps, [listr8]
                  / FONC_INST = fonc, [fonction]
                  / PAS = dt, [R]
                  ◇ INST_INIT = ti, [R]
                  ◇ / INST_FIN= tf, [R]
                  / NUME_FIN= nufin, [I]

                  ◇ PAS_CALCUL = / 1, [DEFAULT]
                  / ipas, [I]

                  ◇ VITE_MIN = / 'MAXI',
                  / 'NORM', [DEFAULT]
                  ◇ COEF_MULT_PAS = / cmp, [R]
                  / 1.1, [DEFAULT]
                  ◇ COEF_DIVI_PAS = / cdp, [R]
                  / 1.3334, [DEFAULT]
                  ◇ PAS_LIMI_RELA = / plr, [R]
                  / 1.D-06, [DEFAULT]
                  ◇ NB_POIN_PERIODE = / npp, [I]
                  / 50, [DEFAULT]

                  ◇ NMAX_ITER_PAS = nip, [I]
                  16, [DEFAULT]
                  ),
◇ ARCHIVAGE = _F( ◆ / LIST_ARCH = list [listis]
                  / PAS_ARCH = ipa [I]
                  ◇ CHAM_EXCLU = ( | 'DEPL',
                  | 'VITE',
                  | 'ACCE'
                  ),

◇ TITRE = titre, [l_Kn]
◇ INFO = / 1,
        / 2,

)

```

3 Equations du comportement sous excitation transitoire

L'opérateur réalise l'intégration temporelle directe d'un problème mécanique linéaire transitoire de la forme :

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} = \sum_i \alpha_i(t) \mathbf{F}_i(\mathbf{x})$$

où matrices \mathbf{M} , \mathbf{C} , \mathbf{K} sont les matrices réelles assemblées du problème éléments finis (respectivement) de masse, d'amortissement et de rigidité du système.

Les α_i sont des fonctions du temps (cf. `DEFI_FONCTION` [U4.31.02]) et les \mathbf{F}_i sont des vecteurs assemblés issus de chargements en force imposée (cf. `AFFE_CHAR_MECA` [U4.44.01]) ; ils peuvent être fournis directement sous forme de vecteurs assemblés ou sous forme de charges qui seront assemblées dans l'algorithme.

La solution $(\mathbf{X}, \dot{\mathbf{X}}, \ddot{\mathbf{X}})$ est calculée sur une discrétisation temporelle t_i de l'intervalle d'étude précisé par l'utilisateur.

4 Opérandes

4.1 Opérande `MODELE`

◇ `MODELE = mo`

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

Cet opérande est obligatoire lorsque l'on applique une excitation de type charge avec le mot-clé `EXCIT` (cf. [§4.8]).

4.2 Opérande `CHAM_MATER`

◇ `CHAM_MATER = chmat`

Nom du champ de matériau affecté sur le modèle `mo`, nécessaire lorsque l'on applique une excitation de type charge avec le mot-clé `EXCIT`.

4.3 Opérande `CARA_ELEM`

◇ `CARA_ELEM = carac`

Nom des caractéristiques des éléments de poutre, coque etc, nécessaire lorsque l'on applique une excitation de type charge avec le mot-clé `EXCIT`.

4.4 Opérande `MODE_STAT`

◇ `MODE_STAT = modestat`

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

4.5 Matrices du problème

◆ MATR_MASS = m

Concept matrice assemblée de type `matr_asse_DEPL_R` correspondant à la matrice de masse du système.

◆ MATR_RIGI = k

Concept matrice assemblée de type `matr_asse_DEPL_R` correspondant à la matrice de rigidité du système.

◇ MATR_AMOR = c

Concept matrice assemblée de type `matr_asse_DEPL_R` correspondant à la matrice d'amortissement du système.

Les trois matrices doivent s'appuyer sur la même numérotation et être construites avec le même mode de stockage.

4.6 Schémas d'intégration

◆ / 'WILSON'

Schéma d'intégration implicite de type WILSON.
Mot-clé facteur permettant de préciser les paramètres d'intégration.

◇ THETA = th

Valeur du paramètre θ pour la méthode de WILSON.

Par défaut $\theta = 1,4$.

Ce schéma ne doit pas être utilisé lorsque l'on impose des déplacements non nuls par l'intermédiaire d'un vecteur assemblé.

Voir [R5.05.02].

/ 'NEWMARK'

Schéma d'intégration implicite de type NEWMARK.
Mot-clé facteur permettant de préciser les paramètres d'intégration α et δ .

◇ ALPHA = al

Valeur du paramètre α pour la méthode de NEWMARK. Par défaut $\alpha = 0.25$.

◇ DELTA = de

Valeur du paramètre δ pour la méthode de NEWMARK. Par défaut $\delta = 0.5$.

Voir [R5.05.02].

/ 'DIFF_CENTRE'

Schéma d'intégration explicite par différences centrées. L'utilisation de ce schéma impose certaines restrictions d'utilisation énumérées au [§6.3]. La description théorique du schéma est faite dans [bib 2].

/ 'ADAPT'

Schéma d'intégration explicite à pas de temps adaptatif, variante du schéma des différences centrées. L'utilisation de ce schéma impose certaines restrictions d'utilisation énumérées au [§6.3] (voir [bib 2]).

4.7 Mot-clé ETAT_INIT

Cette fonctionnalité permet une poursuite d'un calcul transitoire, en prenant comme état initial un résultat obtenu par un calcul précédent avec DYNA_LINE_TRAN. Elle permet aussi de définir des conditions initiales de type champs aux noeuds.

4.7.1 Opérandes DYNA_TRANS

♦ / DYNA_TRANS = dy

Concept de type `dyna_trans` issu d'un calcul précédent avec DYNA_LINE_TRAN, et définissant les conditions initiales pour le nouveau calcul.

4.7.2 Opérandes DEPL_INIT / VITE_INIT

/ DEPL_INIT = do

Concept de type `cham_no_DEPL_R`, déplacements initiaux.

VITE_INIT = vo

Concept de type `cham_no_DEPL_R`, vitesses initiales.

4.7.3 Opérandes NUME_INIT / INST_INIT

◇ / NUME_INIT = nuini

`nuini` désigne le numéro d'archivage du calcul précédent à extraire et à prendre comme état initial dans le cas d'une reprise.

/ INST_INIT = to

Instant du calcul précédent à extraire et à prendre comme état initial dans le cas d'une reprise.

En l'absence de NUME_INIT et INST_INIT, l'instant de reprise est pris égal au dernier instant de calcul précédent archivé.

4.7.4 Opérande CRITERE

◇ CRITERE =

Indique avec quelle précision la recherche de l'instant doit se faire :

'RELATIF' : intervalle de recherche [(1-prec).instant, (1+prec).instant]

'ABSOLU' : intervalle de recherche [instant-prec, instant+prec]

La valeur par défaut du critère de recherche est 'RELATIF'.

4.7.5 Opérande PRECISION

◇ PRECISION = / 1.E-03 [DEFAULT]
 / prec [R]

Indique avec quelle précision la recherche de l'instant doit se faire.

4.8 Mot-clé EXCIT

◇ EXCIT =

Opérande permettant de définir plusieurs excitations spatio-temporelles. Soit en indiquant un vecteur assemblé correspondant à un chargement, soit des charges qui conduiront au calcul et à l'assemblage d'un second membre. Le vecteur assemblé peut être associé à une fonction d'évolution temporelle ou un coefficient multiplicateur constant.

Le chargement total est la somme des chargements définis par toutes les occurrences du mot-clé EXCIT (cf. [§4.8.2]).

4.8.1 Opérandes VECT_ASSE / CHARGE

- ♦ / VECT_ASSE = vecti
 Vecteur assemblé correspondant à un chargement (concept de type `cham_no_DEPL_R`).
- ◊ / COEF_MULT = ci
 Coefficient multiplicatif du vecteur assemblé `vecti`.
- / FONC_MULT = α_i
 Voir [§4.8.2].
- / CHARGE = chi
 chi est le chargement comportant éventuellement l'évolution d'un champ de température précisé par la $i^{\text{ème}}$ occurrence de `EXCIT`.
 Voir [§4.8.2].

4.8.2 Opérande FONC_MULT

- ◊ FONC_MULT = α_i
 α_i est la fonction du temps multiplicative du vecteur assemblé ou du chargement précisé à la $i^{\text{ème}}$ occurrence de `EXCIT`.

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

$$\mathbf{ch}(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(t) \mathbf{ch}_i$$

Le ou les champs de température ne sont pas multipliés par α_i en analyse thermomécanique.

Remarque importante :

Les conditions aux limites de type déplacement imposé non nul peuvent être imposées avec un vecteur assemblé ou une charge ; il faut alors utiliser impérativement le schéma de Newmark.

4.8.3 Opérandes MULTI_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].

4.9 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 $-C\dot{x}$.

4.9.1 Opérands `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` [§4.10]. 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.

4.10 Mot-clé `SENSIBILITE`

- ◇ `SENSIBILITE` = `_F(...)`

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

Le document [U4.50.02] précise le fonctionnement du mot clé.

4.11 Mot-clé `SOLVEUR`

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

4.12 Mot-clé `INCREMENT`

Mot-clé facteur définissant les instants de calcul.

4.12.1 Opérands `LIST_INST` / `FONC_INST` / `PAS`

- Pour les schémas de Newmark et Wilson :

- ♦ / `LIST_INST` = `l_temp`

Concept liste de réels de type `listr8`.

Liste de réels définissant les instants t_i de calcul de la solution

- / `FONC_INST` = `fonc`

Concept de type `fonction` d'une variable quelconque à pas constant définissant l'évolution en temps

- Pour les schémas des différences centrées et à pas de temps adaptatif :

- / `PAS` = `dt`

Désigne le pas de temps utilisé par l'algorithme. Ce mot-clé est obligatoire pour le schéma des différences centrées et pour le schéma adaptatif et non disponible pour les schémas de Newmark et Wilson.

Pour le schéma adaptatif, il désigne à la fois le pas de temps initial et le pas de temps maximal utilisés par l'algorithme.

Ce paramètre doit être suffisamment faible :

- pour permettre le calcul des phases statiques (qui utilisent toujours le pas maximal),
- pour démarrer correctement l'algorithme.

Il doit cependant être suffisamment élevé pour ne pas pénaliser l'ensemble du calcul.

4.12.2 Opérande PAS_CALCUL

◇ PAS_CALCUL = ipas

Entier utilisable pour les schémas Newmark et Wilson, et définissant la périodicité de calcul de la solution : on effectue le calcul tous les ipas instants de la fonction du temps *fonc* ou de la liste d'instants *l_temp*.

4.12.3 Opérandes INST_INIT / INST_FIN / NUME_FIN

Pour les schémas des différences centrées et à pas de temps adaptatif :

◇ INST_INIT = ti

En cas de reprise on utilise le mot-clé ETAT_INIT [§4.7] : sous ce mot-clé, l'instant initial est récupéré avec l'opérande INST_INIT ou pris égal au dernier instant de calcul précédent archivé.

L'opérande INST_INIT sous INCREMENT doit donc être utilisée uniquement s'il n'y a pas reprise d'un calcul précédent.

◇ / INST_FIN = tf

Instant de fin du calcul transitoire. Obligatoire pour les schémas des différences centrées et à pas de temps adaptatif.

/ NUME_FIN = nufin

Numéro de l'instant de fin de calcul dans LIST_INST (uniquement pour les schémas de Newmark et Wilson).

4.12.4 Opérandes VITE_MIN / COEF_MULT_PAS / COEF_DIV_PAS / PAS_LIMI_RELA / NB_POIN_PERIODE / NMAX_ITER_PAS

Ces opérandes ne concernent que le schéma à pas de temps adaptatif.

◇ VITE_MIN = / 'NORM' [DEFAULT]
 / 'MAXI'

Méthode de calcul de la vitesse de référence utilisée pour évaluer la fréquence apparente.

Quand le dénominateur de la fréquence apparente ($x_n - x_{n-1}$) devient faible, la fréquence apparente peut devenir très élevée, ce qui conduit à un raffinement injustifié du pas de temps. Pour y remédier, l'algorithme utilise le critère suivant pour chaque ddl i :

$$\frac{|x_n^i - x_{n-1}^i|}{\Delta t} \leq v_{\min}^i \Rightarrow f_{AP_n} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\ddot{x}_n^i - \ddot{x}_{n-1}^i}{v_{\min}^i \Delta t}}$$

v_{\min}^i peut être calculée de deux façons différentes selon la valeur de VITE_MIN :

$$\text{'NORM'} : v_{\min}^i(t_n) = \text{Max} \left(\frac{\text{Max}(\dot{x}_{n+1/2}^k, \dot{x}_{n+1/2}^l)}{100}, 10^{-15} \text{ms}^{-1} \right) \text{ où } k \text{ et } l \text{ sont les degrés de}$$

liberté de même nature que le ddl i les plus proches de i dans la numérotation (DX ou DY ou DZ...).

'MAXI' :

$$v_{\min}^i(t_n) = \text{Max}_{0 < t_p < t_n} \left(\frac{|v^i(t_p)|}{100}, 10^{-15} \text{ms}^{-1} \right) \text{ pour le ddl } i.$$

Peut être utilisé si l'ordre de grandeur de la vitesse ne varie pas trop au cours du temps.

◇ **COEF_MULT_PAS** = cmp

Coefficient de déraffinement du pas de temps (>1) lorsque l'erreur est suffisamment faible :

$$\Delta t_n < \frac{0.75}{Nf_{APn}} \text{ depuis plus de 5 pas consécutifs } \Rightarrow \Delta t_{n+1} = \min(\text{cmp } \Delta t_n, \Delta t_{\max})$$

avec $\Delta t_{\max} = \Delta t_{\text{initial}}$

Sa valeur par défaut (cmp = 1.1) garantit stabilité et précision, mais il peut en général être augmenté (au plus jusqu'à 1.3) pour accélérer l'intégration.

◇ **COEF_DIVI_PAS** = cdp

Coefficient de raffinement du pas de temps (>1) lorsque l'erreur est supérieure à 1, que le nombre d'itérations maximales (NMAX_ITER_PAS) n'est pas atteint et que le pas de temps minimal n'est pas atteint :

$$\Delta t_n > \frac{1}{Nf_{APn}}, Niter < Niter_{\max} \text{ et } \Delta t_n > \text{plr} * \Delta t_{\text{initial}} \Rightarrow \Delta t_n = \frac{\Delta t_n}{\text{cdp}}$$

Sa valeur par défaut est de 1.3334, soit une réduction d'un facteur 0,75.

◇ **PAS_LIMI_RELA** = plr

Coefficient appliqué au pas de temps initial pour définir la limite de raffinement et donc le pas de temps minimal :

$$\Delta t_{\min} = \text{plr} * \Delta t_{\text{initial}}$$

◇ **NB_POIN_PERIODE** = N

Nombre de points par période apparente. C'est ce paramètre qui fixe la précision du calcul. Il doit être au moins égal à 20 ; sa valeur par défaut (50) garantit une précision satisfaisante (de l'ordre de 1 à 2%) dans la plupart des cas.

◇ NMAX_ITER_PAS

Nombre maximal de réductions du pas de temps par pas de calcul :

si $\text{err} > 1$ et $N_{\text{iter}} < N_{\text{iter max}} : \Delta t_n = \text{cdp} * \Delta t_n$

Il est par défaut égal à 16, ce qui limite le coefficient de réduction du pas à $(1/1,33)^{16} = 10^{-2}$ par itération. NMAX_ITER_PAS peut être :

- augmenté pour permettre au pas de temps de chuter de façon plus brutale,
- diminué si le pas de temps semble excessivement raffiné.

4.13 Mot-clé ARCHIVAGE

◇ ARCHIVAGE =

Mot-clé facteur définissant l'archivage. En l'absence de ce mot-clé facteur, tous les pas de temps sont archivés.

Quelle que soit l'option d'archivage choisie, on archive le dernier pas de temps et tous les champs associés pour permettre une éventuelle poursuite.

4.13.1 Opérande LIST_ARCH

◆ / LIST_ARCH = l_arch

Liste d'entiers définissant les instants de calcul pour lesquels la solution doit être archivée dans le concept résultat dyna_tran.

4.13.2 Opérande PAS_ARCH

/ PAS_ARCH = ipa

Entier définissant la périodicité d'archivage de la solution du calcul transitoire dans le concept résultat dyna_trans.

Si ipa = 5 on archive tous les 5 pas de calcul.

Cet opérande est obligatoire pour le pas de temps adaptatif, si le mot-clé facteur ARCHIVAGE est présent. Cet entier permet alors de calculer l'intervalle entre deux instants d'archivage dans le concept résultat, égal à PAS_ARCH * PAS. Avec cette convention, le pas d'archivage est toujours supérieur ou égal au pas maximal utilisé par le calcul. Pour un instant d'archivage donné, on recherche l'instant de calcul le plus proche, qui sera l'instant effectivement archivé.

4.13.3 Opérande CHAM_EXCLU

```
◇ CHAM_EXCLU = (           | 'DEPL',  
                        | 'VITE',  
                        | 'ACCE',  
                        )
```

Permet d'exclure l'archivage d'un ou plusieurs champs parmi 'DEPL', 'VITE' et 'ACCE'.

Cette exclusion est ignorée pour le dernier instant de calcul : les trois champs sont nécessaires pour une POURSUITE.

4.14 Opérande TITRE

◇ TITRE = titre

Titre de la structure de données résultat [U4.03.01].

5 Concept produit

`dyn` est un concept produit de type `dyna_trans` qui contiendra de 1 à 3 champs aux nœuds pour chaque instant archivé.

Ces `cham_no` ont pour nom symbolique :

DEPL : déplacement
VITE : vitesse
ACCE : accélération

6 Phase d'exécution

6.1 Numérotation

L'opérateur vérifie que les matrices assemblées sont construites sur une même numérotation.

6.2 Poursuite

En cas de poursuite, on vérifie :

- l'existence dans le concept de type `dyna_trans` fourni de l'instant (ou du numéro d'ordre) qui sert de conditions initiales,
- pour cet instant de l'existence des champs 'DEPL', 'VITE' et 'ACCE'.

6.3 Phase d'exécution pour les schémas des différences centrées et adaptatifs

L'utilisation de ces schémas impose certaines restrictions d'utilisation :

- ces deux schémas nécessitent l'utilisation d'une matrice de masse diagonale. Un test vérifie que la matrice de masse a été créée avec l'option 'MASS_MECA_DIAG' de `CALC_MATR_ELEM`. D'autre part, la matrice de masse doit être stockée en ligne de ciel,
- il ne doit pas y avoir d'autres conditions aux limites que des ddl bloqués. Un test vérifie qu'il n'y a pas de conditions aux limites de type liaisons entre ddl. Il n'est pas non plus possible d'imposer des déplacements non nuls par l'intermédiaire d'un vecteur assemblé,
- pour le schéma des différences centrées, on s'assure que le pas de temps choisi vérifie les conditions de stabilité :

$dt < 0,05 / f_{\max}$ avec $f_{\max} = \max_{1 \leq i \leq nddl} \left(\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{ii}}{m_{ii}}} \right)$ et k_{ii} et m_{ii} termes diagonaux des matrices de raideur et de masse.

7 Exemple d'utilisation

```
# fichier de commande Aster inspire du test sd11100
# reponse dynamique transitoire d une poutre en traction simple
#
#
poutre = LIRE_MALLAGE ( )
modele = AFFE_MODELE (   MALLAGE = poutre ,
                        AFPE = _F(GROUP_MA='POUTRE',
                                PHENOMENE='MECANIQUE',MODELISATION = 'POU_D_T'))
mater1 = DEFI_MATERIAU (ELAS = _F (E = 98696.0,  NU = 0.0,  RHO = 3.0) )
chmat  = AFFE_MATERIAU (MALLAGE=poutre, AFPE=_F(TOUT='oui', MATER=mater1))
chcar  = AFFE_CARA_ELEM(MODELE = modele,
                        POUTRE = (TOUT = 'OUI',   SECTION = 'CERCLE',
                                CARA = ('R', 'EP'), VALE = (0.05,0.05) ) )

#
charge = AFFE_CHAR_MECA(  MODELE = modele,
                        FORCE_NODALE = _F(NOEUD = 'NO02', FX= 1.0)
                        DDL_IMPO = _F(NOEUD = 'NO01', DX=.0, DY=.0,
                                DZ=.0, DRX=.0, DRY=.0, DRZ=.0))

#
MACRO_MATR_ASSE (   MODELE = modele, CHARGE = charge, CARA_ELEM = chcar,
                    CHAM_MATER = chmat, NUME_DDL = nume,
                    MATR_ASSE=_F(MATRICE = matrriqi, OPTION = 'RIGI_MECA')
                    MATRICE = matrmass, OPTION = 'MASS_MECA'))

#
matramor = COMB_MATR_ASSE (COMB_R=_F(MATR_ASSE=matrmass, COEF_R=5. ),
                        (MATR_ASSE=matrriqi, COEF_R=.0005),
                        SANS_CMP = 'LAGR' )

#
vectelem = CALC_VECT_ELEM (CHARGE = charge,CARA_ELEM = chcar,
                        OPTION = 'CHAR_MECA' )
vecas    = ASSE_VECTEUR (VECT_ELEM = vectelem, NUME_DDL = nume)
#
fonc      = DEFI_FONCTION (NOM_PARA = 'INST', VALE = (0.,0.,1.E-6,1.,1.,1.))
templi    = DEFI_LIST_REEL (DEBUT=0., INTERVALLE=_F(JUSQU_A=.02,NOMBRE=2000))
intl      = DEFI_LIST_ENTI (DEBUT=200,INTERVALLE=_F(JUSQU_A=2000,PAS=200))
#
# 1 - NON AMORTI
newmona   = DYNA_LINE_TRAN (MATR_MASS = matrmass, MATR_RIGI = matrriqi,
                        NEWMARK = _F(),
                        INCREMENT = _F(LIST_INST = templi),
                        ARCHIVAGE = _F(LIST_ARCH = intl),
                        EXCIT = _F(VECT_ASSE = vecas, FONC_MULT=fonc))

# 2 - AMORTI
wilamor   = DYNA_LINE_TRAN (MATR_MASS = matrmass, MATR_RIGI = matrriqi,
                        MATR_AMOR = matramor,
                        WILSON = _F(),
                        INCREMENT = _F(LIST_INST = templi),
                        ARCHIVAGE = _F(LIST_ARCH =intl),
                        EXCIT = _F(VECT_ASSE = vecas, FONC_MULT=fonc))

FIN( )
```

8 Bibliographie

- [1] BATHE K.J. : Finite Element Procedures in engineering Analysis. Prentice-Hall, 1982.
- [2] LEGER A.C. : Introduction des schémas explicites « différences centrées » et « pas de temps adaptatif » dans l'opérateur DYNA_LINE_TRAN du Code_Aster. Note EDF HP51/97/067/A 1997.