

Opérateur DYNA_LINE_HARM

1 But

Calculer la réponse dynamique complexe d'un système à une excitation harmonique : calcul direct pour une structure dans l'espace physique, calcul par sous-structuration harmonique pour plusieurs sous structures définies par leur base modale en coordonnées modales.

Cette réponse dynamique peut être évaluée en plusieurs travaux successifs (concept réentrant).

Produit une structure de données de type `dyna_harmo` ou `acou_harmo` ou `harmo_gene`.

2 Syntaxe

```

harm  [*] = DYNA_LINE_HARM
(
  ◇ reuse = harm,
  ◇ RESULTAT = harm, / [dyna_harmo]
                                / [harm_gene]

  ◇ MODELE = mo, [modele]
  ◇ CHAM_MATER = chmat, [cham_mater]
  ◇ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]

  ◆ MATR_MASS = m, / [matr_asse_DEPL_R]
                                / [matr_asse_PRES_C]
                                / [matr_asse_GENE_R]

  ◆ MATR_RIGI = k, / [matr_asse_DEPL_R]
                                / [matr_asse_DEPL_C]
                                / [matr_asse_PRES_C]
                                / [matr_asse_GENE_R]
                                / [matr_asse_GENE_C]

  ◇ MATR_AMOR = c, / [matr_asse_DEPL_R]
                                / [matr_asse_PRES_C]
                                / [matr_asse_GENE_R]

  ◇ AMOR_MODAL = _F(
                                / AMOR_REDUIT = l  $\eta$  , [l_R]
                                / LIST_AMOR = c  $\eta$  , [listr8]
                                )

  ◇ MATR_IMPE_PHI = imp, / [matr_asse_DEPL_R]
                                / [matr_asse_GENE_R]

  ◆ / FREQ = lf, [l_R]
    / LIST_FREQ = cf, [listr8]

  ◇ / TOUT_CHAM = 'OUI', [DEFAULT]
    / NOM_CHAM = | 'DEPL',
                  | 'VITE',
                  | 'ACCE',

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

  ◆ EXCIT =
    _F(
      ◆ / VECT_ASSE = vecti, [cham_no]
        / VECT_ASSE_GENE = vect_gene [vect_asse_gene]
        / CHARGE = chi, [char_meca]

      ◆ / FONC_MULT_C = hci, / [fonction_C]
                                / [formule_C]
        / COEF_MULT_C = aci, [C]
        / FONC_MULT = hi, / [fonction]
                                / [formule]
                                / [nappe]

        / COEF_MULT = ai, [R]
      ◇ PHAS_DEG = / 0., [DEFAULT]
                    / phi, [R]
      ◇ PUIS_PULS = / 0, [DEFAULT]
                    / ni, [Is]
    ),

  ◇ EXCIT_RESU =

```

```

_F( ♦ RESULTAT = resuforc, / [dyna_harmo]
    ♦ COEF_MULT_C = aci, / [harm_gene]
    ) , [C]

♦ TITRE = tx, [l_Kn]
♦ INFO = / 1, [DEFAULT]
        / 2,

);

si MATR_RIGI = [matr_asse_DEPL_R] alors [*] dyna_harmo
               [matr_asse_DEPL_C] dyna_harmo
               [matr_asse_PRES_C] acou_harmo
               [matr_asse_GENE_R] harm_gene
               [matr_asse_GENE_C] harm_gene
```

3 Rappels

3.1 Équation du comportement dynamique sous excitation harmonique

L'amortissement de la structure peut être visqueux ou hystérétique [U2.06.03] [R5.05.04].

Cet opérateur résout l'équation :

$$(-j\omega^3 I - \omega^2 M + j\omega C + K)x = \left\{ \sum_{i=1}^k h_i(f) \omega^{n_i} e^{j\pi \frac{\varphi_i}{180}} g_i(P) \right\}$$

Où :

K représente une matrice de rigidité réelle ou complexe

M représente une matrice de masse

C représente une matrice d'amortissement

I représente une matrice d'impédance acoustique issue d'une formulation en déplacement-pression-potentiel.

P est un point courant de la structure.

$\omega = 2\pi f$: pulsation d'excitation

x : réponse complexe

3.2 Amortissement hystérétique

Cet opérateur permet également de calculer la réponse harmonique d'une structure avec

$$(K - \omega^2 M)x = \left\{ \sum_{i=1}^k h_i(f) \omega^{n_i} e^{j\pi \frac{\varphi_i}{180}} g_i(P) \right\}$$

amortissement hystérétique.

Avec K : matrice de rigidité complexe.

Pour des exemples détaillés, on se reportera au document [U2.06.03].

Cet opérateur est utilisable en force imposée et en mouvement imposé (référentiel relatif ou absolu).

4 Opérandes

4.1 Opérande RESULTAT

◇ RESULTAT = harm

Nom de la structure de données résultat à enrichir. Ce mot-clé est obligatoire si on est en mode concept ré-entrant (*reuse*).

4.2 Opérande MODELE

◇ MODELE = mo

Nom du concept définissant le modèle dont les éléments font l'objet du calcul harmonique.

4.3 Opérande CHAM_MATER

◇ CHAM_MATER = chmat

Nom du concept définissant le champ de matériau affecté sur le modèle *mo*.

4.4 Opérande CARA_ELEM

◇ CARA_ELEM = carac

Nom du concept définissant les caractéristiques des éléments de poutre, coques, etc...

4.5 Opérande MATR_MASS

◆ MATR_MASS = m

Nom du concept matrice assemblée correspondant à la matrice de masse du système.

4.6 Opérande MATR_RIGI

◆ MATR_RIGI = k

Nom du concept matrice assemblée correspondant à la matrice de rigidité du système. Un amortissement hystérique est obtenu avec une matrice de rigidité complexe.

4.7 Opérande MATR_AMOR

◇ MATR_AMOR = c

Nom du concept matrice assemblée correspondant à la matrice d'amortissement visqueux du système.

4.8 Mot-clé AMOR_MODAL

Mot-clé facteur pour renseigner l'amortissement sous la forme de listes d'amortissement réduit avec les opérandes suivants.

4.8.1 Opérandes AMOR_REDUIT / LIST_AMOR

/ AMOR_REDUIT = l η

Liste de tous les amortissements réduits : $(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$.

/ LIST_AMOR = c η

Nom du concept de type *listr8* contenant la liste des amortissements réduits.

4.9 Opérande MATR_IMPE_PHI

◇ MATR_IMPE_PHI = imp

Nom du concept matrice assemblée correspondant à la matrice d'impédance pour un système fluide-structure dont la formulation est en déplacement-pression-potentiel (u, p, φ) [R4.02.02].

4.10 Opérandes FREQ/LIST_FREQ

◆ / FREQ = lf

Liste de toutes les fréquences de calcul: (f1, f2, ..., fn).

/ LIST_FREQ = cf

Nom du concept de type `listr8` contenant la liste des fréquences de calcul.

4.11 Opérandes TOUT_CHAM / NOM_CHAM

```
◇ / TOUT_CHAM = 'OUI'
  / NOM_CHAM  = | 'DEPL'
                  | 'VITE'
                  | 'ACCE'
```

Choix des champs à calculer pour représenter la réponse : déplacement, vitesse, accélération ou les trois.

4.12 Opérandes SOLVEUR

◇ SOLVEUR

Ce mot clé facteur est facultatif. Il permet de définir la méthode de résolution du système. La syntaxe est décrite dans le document [U4.50.01].

Dans la version actuelle, la méthode `MULT_FRONT` n'est pas disponible pour la résolution des systèmes avec des matrices généralisées.

4.13 Mot clé EXCIT

◆ EXCIT

Opérande permettant de définir plusieurs excitations. 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. Pour chaque occurrence du mot clé facteur, on définit une composante de l'excitation sous la forme $(h(f), g(P), \varphi)$.

4.13.1 Opérandes VECT_ASSE/VECT_ASSE_GENE/CHARGE

Permettent de définir $g(P)$ discrétisation spatiale du chargement, sous forme d'un champ aux nœuds correspondant à une ou plusieurs charges de force ou de mouvement imposé.

◆ / VECT_ASSE = vecti

Nom du concept produit par :

- l'opérateur `ASSE_VECTEUR` en force imposée ou en mouvement imposé de déplacement dans un référentiel absolu. Les amplitudes de l'excitation peuvent être définies dans les concepts de type charge correspondante. Le champ attendu est un champ aux nœuds de grandeur `DEPL_R`, `DEPL_C` ou `PRES_C`.

/ VECT_ASSE_GENE = vect_gene

Nom du concept produit par :

- l'opérateur PROJ_VECT_BASE qui permet de projeter un vecteur assemblé sur une base modale ou une base de Ritz.
- l'opérateur ASSE_VECT_GENE qui permet de projeter un chargement sur une base définie sur un modèle généralisé pour les calculs de sous-structuration dynamique.

/ CHARGE = chi

chi nom du concept de chargement précisé par la $i^{\text{ème}}$ occurrence de EXCIT.
Le mot-clé MODELE doit être renseigné si on utilise le mot-clé CHARGE.

4.13.2 Opérandes FONC_MULT_C / COEF_MULT_C / FONC_MULT / COEF_MULT

Permettent de définir $h(f)$ loi d'évolution, complexe ou réelle, de la fréquence, appliquée à toutes les composantes du champ au nœud associé à cette occurrence. Plusieurs possibilités sont offertes :

♦ / FONC_MULT_C = hci

Nom du concept de type fonction_C ou formule_C définissant une fonction $h(f)$ complexe de la fréquence f ,

/ COEF_MULT_C = aci

Coefficient complexe multiplicateur du chargement, indépendant du chargement,

/ FONC_MULT = hi

Concept de type fonction, formule ou nappe définissant une fonction $h(f)$ réelle de la fréquence f ,

/ COEF_MULT = ai

Coefficient réel multiplicateur du chargement, indépendant du chargement.

4.13.3 Opérande PUIS_PULS

◇ PUIS_PULS = ni

Permet de définir la puissance de la pulsation lorsque le chargement est fonction de la fréquence ; par défaut $n_i=0$.

4.13.4 Opérande PHAS_DEG

◇ PHAS_DEG = phi

Permet de définir la phase de chaque composante de l'excitation en degrés par rapport à une référence de phase unique ; par défaut $\varphi_i=0$.

4.13.5 Remarque

Pour un problème à mouvement imposé, on définit les degrés de liberté bloqués (conditions cinématiques préalables à la construction du `cham_no`) ; on peut ensuite choisir une excitation :

- en déplacement imposé $n=0$, $\varphi=0$ degré
- en vitesse imposée $n=1$, $\varphi=90$ degrés
- en accélération imposée $n=2$, $\varphi=180$ degrés

4.14 Opérande EXCIT_RESU

◇ EXCIT_RESU

Ce mot-clé facteur permet de définir plusieurs compléments de chargement sous forme d'une évolution harmonique de type `dyna_harmo` de vecteurs assemblés seconds membres, calculée sur la base physique.

4.14.1 Opérande RESULTAT

Ce mot-clé permet de définir les seconds membres complémentaires à extraire pour chaque fréquence de calcul à partir d'un résultat déjà calculé de champs de forces nodales.

◆ `RESULTAT = resuforc`

Nom du concept d'évolution harmonique de seconds membres produit par l'enchaînement de l'opérateur `CALC_FORC_NONL` [U4.84.21] afin de produire une évolution transitoire de seconds membres, et de l'opérateur `REST_SPEC_TEMP` [U4.63.34] pour transformer cette évolution transitoire en évolution harmonique. Un exemple d'utilisation est fourni dans le cas test SDLS119A.

4.14.2 Opérande COEF_MULT_C

◆ `COEF_MULT_C = aci`

Coefficient complexe multiplicateur du vecteur second membre extrait du résultat `resuforc` pour chaque fréquence de calcul.

4.15 Opérande TITRE

◇ `TITRE = tx`

Titre attaché au concept produit par cet opérateur [U4.03.01].

4.16 Opérande INFO

◇ `INFO = inf`

Permet d'effectuer dans le fichier message diverses impressions intermédiaires permettant de suivre l'avancement du calcul.

Par défaut, si `INFO=1`, on imprime l'avancement du calcul harmonique avec un pas qui correspond au maximum à 5 % du nombre total de fréquences. La règle générale est d'imprimer systématiquement les première et dernière fréquences ainsi qu'un nombre maximal de 20 fréquences au milieu.

Si `INFO=2`, une impression est effectuée pour chaque fréquence et permet de suivre plus précisément l'avancement du calcul.

5 Exemple d'utilisation en force imposée

```
# -----
# REFERENCE: SFM/VPCS SDLD21      COMMANDES
# -----
# SYSTEME MASSE-RESSORT A 8 DEGRES DE LIBERTE AVEC AMORTISSEMENT
# VISQUEUX PROPORTIONNEL (REPONSE HARMONIQUE)
# 9 RESSORTS 8 MASSES -- K = 1.E+5      M = 10      C = 50--
# -----
DEBUT(CODE = _F(NOM = 'SDLD21A'),);
# -----
MA = LIRE_MALLAGE( );

MO = AFFE_MODELE(   MAILLAGE = MA ,
                    AFPE = (   _F(   TOUT           = 'OUI',
                                    PHENOMENE        = 'MECANIQUE',
                                    MODELISATION      = 'DIS_T',),
                                _F(   GROUP_NO        = MASSE,
                                    MODELISATION      = 'DIS_T',),
                                ),);

CARELEM = AFFE_CARA_ELEM( MODELE = MO ,
                           DISCRET = (   _F(   GROUP_MA = 'RESSORT',
                                                CARA      = 'K_T_D_L',
                                                VALE      = (1.E+5,1.,1.), ),
                                           _F(   GROUP_NO = MASSE,
                                                CARA      = 'M_T_D_N',
                                                VALE      = 10., ),
                                           _F(   GROUP_MA = AMORTIS,
                                                CARA      = 'A_T_D_L',
                                                VALE      = (50.,1.,1.), ),
                                           ),),);

CH = AFFE_CHAR_MECA(   MODELE = MO,
                        DDL_IMPO = (   _F( GROUP_NO = 'A_ET_B',
                                           DX = 0., DY = 0., DZ = 0.),
                                      _F( GROUP_NO = 'MASSE',
                                           DY = 0., DZ = 0.),),
                        FORCE_NODALE = _F( NOEUD = 'P4', FX = 1.),
                        );

MELR = CALC_MATR_ELEM( MODELE = MO ,CHARGE = CH,
                        OPTION = 'RIGI_MECA',
                        CARA_ELEM = CARELEM,);

MELM = CALC_MATR_ELEM( MODELE = MO ,CHARGE= CH,
                        OPTION = 'MASS_MECA',
                        CARA_ELEM = CARELEM,);

MELC = CALC_MATR_ELEM( MODELE = MO ,CHARGE = CH,
                        OPTION = 'AMOR_MECA',
                        CARA_ELEM = CARELEM,);

VECT = CALC_VECT_ELEM( CHARGE = CH, OPTION = 'CHAR_MECA',);
# -----
NUM = NUME_DDL(   MATR_RIGI = MELR,);
MATASSR = ASSE_MATRICE(MATR_ELEM = MELR, NUME_DDL = NUM,);
MATASSM = ASSE_MATRICE(MATR_ELEM = MELM, NUME_DDL = NUM,);
```

Titre : Opérateur DYNA_LINE_HARM
Responsable : Harinaivo ANDRIAMBOLOLONA

Date : 09/07/2015 Page : 10/10
Clé : U4.53.11 Révision : 13259

```
MATASSC = ASSE_MATRICE(MATR_ELEM = MELC, NUME_DDL = NUM,);  
VECTASS = ASSE_VECTEUR(VECT_ELEM = VECT, NUME_DDL = NUM,);  
# -----  
# EXCITATION FORCE SINUSOIDALE D'AMPLITUDE CRETE FX = 1.N  
# AU POINT P4     BANDE DE FREQUENCES 5 Hz - 40 Hz  
# (AMPLITUDE INDEPENDANTE DE LA FREQUENCE)  
LIFREQ = DEFI_LIST_REEL(  DEBUT = 5.,  
                          INTERVALLE = _F(  JUSQU_A=40.,  
                                              NOMBRE=70, ),  
                          );  
  
DYNAHARM = DYNA_LINE_HARM( MATR_MASS = MATASSM,  
                           MATR_RIGI = MATASSR,  
                           MATR_AMOR = MATASSC,  
                           LIST_FREQ = LIFREQ,  
                           EXCIT      = _F(  VECT_ASSE = VECTASS,  
                                              COEF_MULT = 1., ) ,  
                           );  
  
IMPR_RESU(  MODELE = MO, RESU = _F(RESULTAT = DYNAHARM, ), ) ;  
  
FIN( );
```