Organisme(s) : EDF-R&D/AMA

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.5- : Méthodes de résolution
Document : U4.52.11

Opérateur NORM_MODE

1 But

Normer des modes propres en fonction d’un critère choisi par l’utilisateur.

Les opérateurs de calcul modal MODE_ITER_INV [U4.52.04] et MODE_ITER_SIMULT [U4.52.03] produisent un concept de type mode_meca ou mode_meca_c dont les modes propres réels ou complexes sont normalisés de telle façon que la plus grande des composantes qui n'est pas un multiplicateur de LAGRANGE, soit égale à un.

L’opérateur NORM_MODE permet à l’utilisateur de choisir une autre méthode de normalisation par exemple masse généralisée, rigidité généralisée ...

En fonction de la normalisation choisie, les paramètres modaux (facteur de participation, masse effective, ...) sont réactualisés.

Opérateur réentrant.

2 Syntaxe

```
m_out  = NORM_MODE  (

       ◊  reuse = m_out
       ♦  MODE = m_in                                   /  [mode_meca]
                                                        /  [mode_meca_c]
                                                        /  [mode_flamb]
                                                        /  [base_modale]


       ♦  /  NORME     =  /  'MASS_GENE'
                          /  'RIGI_GENE'
                          /  'TRAN'
                          /  'TRAN_ROTA'
                          /  'EUCL'
                          /  'EUCL_TRAN'
          /  ♦  NOEUD     =  n                          [noeud]
             ♦  NOM_CMP   =  cmp                        [Kn]
          /  SANS_CMP  =  s_cmp                         [l_Kn]
          /  AVEC_CMP  =  a_cmp                         [l_Kn]

       ◊  MODE_SIGNE = _F  (
             ♦  NOEUD     =  n                          [noeud]
             ♦  NOM_CMP   =  cmp,                       [Kn]
             ◊  SIGNE  =  /  ‘POSITIF’                  [DEFAUT]
                          /  ‘NEGATIF’
                          )
```

si base_modale :

```
       ♦  MASSE     =  masse                   [matr_asse_depl_r]
                                         ou    [matr_asse_gene_r]
                                         ou    [matr_asse_pres_r]
       ♦  RAIDE     =  masse                   [matr_asse_depl_r]
                                         ou    [matr_asse_depl_c]
                                         ou    [matr_asse_gene_r]
                                         ou    [matr_asse_pres_r]
       ◊  AMOR      =  masse                   [matr_asse_depl_r]
                                         ou    [matr_asse_gene_r]


       ◊  SENSIBILITE  =  (
                                          . . . voir [U4.50.02]  . . .
                              )


       ◊  TITRE =      t                                [l_Kn]

       ◊  INFO =       /  1                             [DEFAUT]
                       /  2

                              );
```

m_in =

si m_in est de type [mode_meca] alors m_out est de type [mode_meca]
idem avec [mode_meca_c]
idem avec [mode_flamb]
idem avec [base_modale]

3 Opérandes

3.1 Opérande MODE

♦ MODE = m_in

Nom du concept de type mode_* dont on veut changer la normalisation des modes propres. Si m_out est identique à m_in et si le mot-clé 'reuse' est activé avec la valeur m_out la renormalisation se fait en place.

3.2 Opérande NORME (cf. [§5])

/ NORME =

Nom symbolique de la norme choisie.

'MASS_GENE' :

Les modes sont normalisés à la masse généralisée unitaire.

'RIGI_GENE' :

Les modes sont normés à la rigidité généralisée unitaire.

'TRAN' :

Les modes sont normés à 1. pour la plus grande des composantes de translation : (composantes : DX, DY, DZ).

'TRAN_ROTA' :

Les modes sont normés à 1. pour la plus grande des composantes de translation et de rotation (composantes : DX, DY, DZ, DRX, DRY, DRZ).

'EUCL' :

Les modes sont normalisés à la norme euclidienne des composantes qui ne sont pas des multiplicateurs de LAGRANGE (composante : LAGR).

'EUCL_TRAN' :

Les modes sont normalisés à la norme euclidienne des composantes qui sont des composantes de translation (composantes : DX, DY, DZ).

3.3 Opérandes NOEUD et NOM_CMP

♦ NOEUD = n

Nom du noeud de normalisation

♦ NOM_CMP = cmp

Nom de la composante de normalisation au noeud n

Les modes sont normés à 1. pour la composante cmp du noeud n.

3.4 Opérandes AVEC_CMP / SANS_CMP

/ AVEC_CMP = a_cmp

a_cmp liste des noms des composantes utilisées pour la normalisation.
Les modes sont normés à 1. pour la plus grande des composantes de la liste a_cmp quelque soit le nœud.

/ SANS_CMP = s_cmp

s_cmp liste des noms des composantes qui ne sont pas utilisées pour la normalisation.

Les modes sont normés à 1. pour la plus grande des composantes qui n'est pas dans la liste s_cmp.

3.5 Mot-clé facteur MODE_SIGNE

Ce mot-clé facteur permet d'imposer pour tous les modes le signe d'une composante d'un noeud stipulée par l'utilisateur. Ce mot-clé facteur ne peut être utilisé que pour les modes réels (problème généralisé).

♦ `NOEUD = nd`

Nom du noeud où on impose le signe d'une composante.

♦ `NOM_CMP = cmp`

Nom de la composante du noeud n où le signe est imposé.

◊ `SIGNE = / 'POSITIF'`
`/ 'NEGATIF'`

Signe imposé de la composante : 'POSITIF' ou 'NEGATIF'.

3.6 Cas de la normalisation d'une base_modale

si base_modale :

```
♦ MASSE  =  masse         [matr_asse_depl_r]
                       ou [matr_asse_gene_r]
                       ou [matr_asse_pres_r]
♦ RAIDE  =  masse         [matr_asse_depl_r]
                       ou [matr_asse_depl_c]
                       ou [matr_asse_gene_r]
                       ou [matr_asse_pres_r]
◊ AMOR   =  masse         [matr_asse_depl_r]
                       ou [matr_asse_gene_r]
```

Dans le cas d'une base_modale (généralement issue d'un DEFI_BASE_MODALE) les informations sur les matrices de masse et de rigidité (et éventuellement d'amortissement) sur lesquelles s'appuie la base modale ont été perdues. Il est nécessaire de les rappeler à l'opérateur NORM_MODE pour qu'il puisse calculer les normes des modes par rapport aux masse et rigidité généralisées.

3.7 Opérandes SENSIBLITE

◊ `SENSIBILITE =`

Norme les dérivées des modes selon le même coefficient de normalisation que les modes.

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

3.8 Opérande TITRE

◊ `TITRE = t`

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

3.9 Opérande INFO

◊ `INFO = 1 ou 2`

Pour chaque mode, le nom de l'ancienne norme et le nom de la nouvelle norme sont indiqués dans le fichier MESSAGE.

4 Formulation des règles de normalisation

Les différentes normes utilisées ainsi que la définition des différents paramètres modaux sont recensées dans la documentation de référence [R5.01.03].

4.1 Modes propres réels

Pour les modes de type MODE_MECA_R (modes propres réels) le problème généralisé aux valeurs propres associé est : $\left(\mathbf{K}-\omega^2\mathbf{M}\right)\mathbf{x}=\left(\mathbf{K}-(2\pi f)^2\ \mathbf{M}\right)\mathbf{x}=0$
où $\mathbf{K},\mathbf{M}$ sont respectivement la matrice de masse et la matrice de rigidité du système mécanique.

Pour les modélisations 'MECANIQUE', on définit les composantes du vecteur propre :

- composantes de translation $\mathbf{u}^{\mathbf{T}}$
- composantes de rotation $\mathbf{u}^{\mathbf{R}}$
- composantes des multiplicateurs de LAGRANGE λ
- autres composantes (pression et potentiel fluide) p_f

On appelle :

- $\mathbf{u}^{\mathbf{TR}}$ composantes de translation et rotation,
- $\mathbf{u}$ composantes autres que multiplicateurs de LAGRANGE.

ce qui conduit à

$$\mathbf{u}^* = \begin{bmatrix}\mathbf{u}\\ \lambda\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{u}^{\mathbf{T}}\\ \mathbf{u}^{\mathbf{R}}\\ p_f\\ \lambda\end{bmatrix}$$

Pour les modèles avec composantes de translation et de rotation, le mode propre Φ_i fourni par les algorithmes d'analyse modale est par défaut :

$$\Phi_i = \frac{\mathbf{u}^*}{max\ \mathbf{u}} = \frac{\mathbf{u}^*}{max\ \mathbf{u}^{\mathbf{TR}}} = \Phi_i^{\mathbf{TR}}$$

ce qui est équivalent à la normalisation obtenue par le mot clé 'TRAN_ROTA'.

Avec le mot clé 'TRAN' le mode obtenu est défini par :

$$\Phi_i = \frac{\mathbf{u}^*}{max\ \mathbf{u}^{\mathbf{T}}} = \Phi_i^{\mathbf{T}}$$

Pour les modèles avec composantes de translation uniquement, la normalisation est par défaut :

$$\Phi_i^{\mathbf{T}} = \frac{\mathbf{u}^*}{max\ \mathbf{u}} = \frac{\mathbf{u}^*}{max\ \mathbf{u}^{\mathbf{T}}}$$

ce qui est équivalent à la normalisation obtenue par le mot clé 'TRAN'.

La normalisation par défaut conduit aux paramètres généralisés suivants :

- rigidité généralisée ${}^T\Phi_i\,\mathbf{K}\,\Phi_i=\gamma_i$
- masse généralisée ${}^T\Phi_i\,\mathbf{M}\,\Phi_i=\mu_i$
- d'où la pulsation propre $\omega_i^2=\dfrac{\gamma_i}{\mu_i}$

La normalisation à la masse généralisée unitaire est obtenue par le mot clé 'MASS_GENE' :

$$\Phi_i^M=\frac{\Phi_i}{\sqrt{\mu_i}} \quad \text{d'où} \quad {}^T\Phi_i^M\,\mathbf{M}\,\Phi_i^M=1. \quad \text{et} \quad {}^T\Phi_i^M\,\mathbf{K}\,\Phi_i^M=\omega_i^2$$

Celle à la rigidité généralisée unitaire est obtenue par le mot clé 'RIGI_GENE' :

$$\Phi_i^K=\frac{\Phi_i}{\sqrt{\gamma_i}} \quad \text{d'où} \quad {}^T\Phi_i^K\,\mathbf{M}\,\Phi_i^K=\frac{1.}{\omega_i^2} \quad \text{et} \quad {}^T\Phi_i^K\,\mathbf{K}\,\Phi_i^K=1.$$

La normalisation du mode propre à la norme euclidienne 'EUCL' est obtenue naturellement par :

$$\Phi_i^{\|u\|}=\frac{\mathbf{u}^*}{\|\mathbf{u}\|}=\frac{\mathbf{u}^*}{\sqrt{\sum_j\left(\mathbf{u}_j\right)^2}}$$

La normalisation du mode propre à la norme euclidienne 'EUCL_TRAN' est :

$$\Phi_i^{\|u^T\|}=\frac{u^*}{\left\|u^T\right\|}=\frac{u^*}{\sqrt{\sum_j\left(u_j^T\right)^2}}$$

4.2 Modes propres complexes

Pour les modes de type MODE_MECA_C (modes propres complexes) issus d'une résolution d'un problème quadratique aux valeurs propres $\lambda^2\,\mathbf{M}+\lambda\,\mathbf{C}+\mathbf{K}=\mathbf{0}$ où $\mathbf{C}$ est la matrice d'amortissement du système mécanique, on norme les modes Φ par rapport au problème linéarisé associé :

$$\left(\lambda\begin{bmatrix}\mathbf{0} & \mathbf{M}\\ \mathbf{M} & \mathbf{C}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}-\mathbf{M} & \mathbf{0}\\ \mathbf{0} & \mathbf{K}\end{bmatrix}\right)\begin{pmatrix}\lambda\,\Phi\\ \Phi\end{pmatrix}=\mathbf{0}$$

Le mode propre est normé à la masse généralisée unitaire ('MASS_GENE'), si Φ_i satisfait :

$$\begin{pmatrix}\lambda\,{}^T\Phi_i & {}^T\Phi_i\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{0} & \mathbf{M}\\ \mathbf{M} & \mathbf{C}\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\lambda\,\Phi_i\\ \Phi_i\end{pmatrix}=1.$$

à la rigidité généralisée unitaire ('RIGI_GENE'), si Φ_i satisfait :

$$\left(\lambda\ {}^T\Phi_i \quad {}^T\Phi_i\right)\begin{bmatrix}-\mathbf{M} & \mathbf{0}\\ \mathbf{0} & \mathbf{K}\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\lambda\ \Phi_i\\ \Phi_i\end{pmatrix}=1.$$

Pour les autres normes, les définitions sont équivalentes à celles définies pour les modes réels, il suffit de remplacer le produit scalaire par le produit hermitien.

5 Exemples modes réels

Pour les modes de type `mode_meca` (modes propres réels) issus d'une résolution d'un problème généralisé aux valeurs propres $(\mathbf{K} - \lambda\mathbf{M})\,\mathbf{x} = 0$:

- normer un vecteur propre x à la rigidité généralisée unitaire équivaut à ce que $\mathbf{x}$ satisfasse

  $$\mathbf{x}^T\mathbf{K}\mathbf{x}=1$$

  Normalisation avec duplication du concept `mode_meca` :

```
mo_2    = NORM_MODE (   MODE = mo_1,
                        NORME= 'RIGI_GENE'
                    );
```

- normer un vecteur propre x à la masse généralisée unitaire équivaut à ce que $\mathbf{x}$ satisfasse

  $$\mathbf{x}^T\mathbf{M}\mathbf{x}=1$$

  Normalisation "en place" à la masse généralisée unitaire :

```
mo   = NORM_MODE        (   reuse = mo,
                            MODE  = mo,
                            NORME = 'MASS_GENE'
                        );
```