
Opérateur MODE_STATIQUE

1 But

Calculer des modes statiques pour un déplacement, une force ou une accélération unitaire imposé. On peut également calculer des modes de couplages (modes d'interface) pour définir un modèle généralisé plus petit.

Un mode statique est la déformée statique d'une structure isostatique ou hyperstatique à laquelle on impose :

- en un **degré de liberté bloqué** (nœud - composante) un déplacement imposé unitaire,
- en un **degré de liberté libre** (nœud - composante) une force nodale unitaire,
- dans une **direction**, une accélération imposée unitaire,
- en un **degré de liberté** (nœud - composante) une accélération imposée unitaire.

Les modes de couplages correspondent aux modes de la sous structure condensée statiquement sur l'interface. Ces modes, définis uniquement sur l'interface, sont ensuite relevés statiquement sur l'ensemble de la sous structure.

L'opérateur permet de calculer l'ensemble des modes statiques correspondant à plusieurs couples nœud - composante. La matrice de rigidité doit être assemblée en utilisant un ensemble de conditions aux limites cinématiques suffisant pour que tous les modes de corps solides soient supprimés (opérateurs `AFPE_CHAR_MECA` [U4.44.01] ou `AFPE_CHAR_CINE` [U4.44.03]). Il est possible de ne demander qu'une partie des modes statiques correspondant à ces conditions cinématiques.

Le concept produit peut être utilisé pour compléter une base modale de modes propres de vibration (opérateur `DEFI_BASE_MODAL` [U4.64.02] ou `DYNA_ALEA_MODAL` [U4.53.22]), pour déterminer les chargements nécessaires au calcul du mouvement d'entraînement sous une excitation sismique (opérateur `CALC_CHAR_SEISME` [U4.63.01]) et pour introduire les déplacements aux ancrages multi-appuis ou les modes de correction en analyse spectrale (opérateur `COMB_SISM_MODAL` [U4.84.01]).

Produit un concept de type `mode_meca`.

Table de matières

1 But.....	1
2 Syntaxe.....	3
3 Opérandes.....	5
3.1 Opérande MATR_RIGI	5
3.2 Opérande MATR_MASS	5
3.3 Nature des sollicitations appliquées.....	5
3.3.1 Mot clé MODE_STAT	5
3.3.1.1 Opérandes TOUT/NOEUD/GROUP_NO	5
3.3.1.2 Opérandes TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP	5
3.3.2 Mot clé FORCE_NODALE	5
3.3.2.1 Opérande TOUT/NOEUD/GROUP_NO	6
3.3.2.2 Opérandes TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP	6
3.3.3 Mot clé PSEUDO_MODE	6
3.3.3.1 Opérandes AXE/DIRECTION/NOM_DIR.....	6
3.3.3.2 Opérandes TOUT/NOEUD/GROUP_NO	6
3.3.3.3 Opérandes TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP	7
3.3.4 Mot clé MODE_INTERF	7
3.3.4.1 Opérande TOUT/NOEUD/GROUP_NO	7
3.3.4.2 Opérandes TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP	7
3.3.4.3 Opérande NBMOD	7
3.3.4.4 Opérande FREQ	8
3.4 Mot clé SOLVEUR	8
3.5 Opérande TITRE	8
3.6 Opérande INFO	8
4 Exemples.....	9
4.1 Calcul des modes statiques en déplacement imposé unitaire	9
4.2 Calcul des modes statiques en force imposée unitaire.....	9
4.3 Calcul des modes statiques (ou pseudo-modes) en accélération uniforme unitaire dans les 3 directions.....	9
4.4 Calcul des modes statiques (ou pseudo-modes) en accélération imposée unitaire.....	10
4.5 Calcul des modes de couplage.....	10

2 Syntaxe

```
R [mode_meca] = MODE_STATIQUE (

  ♦ MATR_RIGI = rigi [matr_asse_DEPL_R]
  ◇ MATR_MASS = masse [matr_asse_DEPL_R]
  ♦ / MODE_STAT = _F (
    ♦ / TOUT = 'OUI'
      / NOEUD = noeud [l_Kn]
      / GROUP_NO = g_noeu [l_Kn]
    ♦ / TOUT_CMP = 'OUI'
      / AVEC_CMP = l_cmp [l_Kn]
      / SANS_CMP = l_cmp [l_Kn]
  )
  / FORCE_NODALE = _F (
    ♦ / TOUT = 'OUI'
      / NOEUD = noeud [l_noeud]
      / GROUP_NO = g_noeu [l_gr_noeud]
    ♦ / TOUT_CMP = 'OUI'
      / AVEC_CMP = l_cmp [l_Kn]
      / SANS_CMP = l_cmp [l_Kn]
  )
  / PSEUDO_MODE = _F (
    ♦ / AXE = / 'X'
      / 'Y'
      / 'Z'
    / ♦ DIRECTION = l_dir [l_R]
      ◇ NOM_DIR = n_dir [l_Kn]
    / ♦ / TOUT = 'OUI'
      / NOEUD = noeud [l_noeud]
      / GROUP_NO = g_noeu [l_gr_noeud]
    ♦ / TOUT_CMP = 'OUI'
      / AVEC_CMP = l_cmp [l_Kn]
      / SANS_CMP = l_cmp [l_Kn]
  )
  / MODE_INTERF = _F (
    ♦ / TOUT = 'OUI'
      / NOEUD = noeud [l_noeud]
      / GROUP_NO = g_noeu [l_gr_noeud]
    ♦ / TOUT_CMP = 'OUI'
      / AVEC_CMP = l_cmp [l_Kn]
      / SANS_CMP = l_cmp [l_Kn]
    ♦ / NBMOD = nb_mod [I]
      / SHIFT = shift [R]
      / TYPE = / 'SST' [DEFAULT]
      / 'INT'
    )
  ◇ SOLVEUR = _F ( voir document [U4.50.01])
  ◇ TITRE = titre [l_Kn]
  ◇ INFO = / 1 [DEFAULT]
      / 2
```

);

3 Opérandes

3.1 Opérande **MATR_RIGI**

- ◆ `MATR_RIGI = rigi`
Matrice de rigidité de la structure isostatique ou hyperstatique.

3.2 Opérande **MATR_MASS**

- ◇ `MATR_MASS = masse`
Matrice de masse de la structure isostatique ou hyperstatique.

3.3 Nature des sollicitations appliquées

3.3.1 Mot clé **MODE_STAT**

- ◆ `/ MODE_STAT`
Mot clé facteur pour la définition des modes statiques à déplacement imposé unitaire. Ces modes interviennent pour déterminer le chargement dû au mouvement d'entraînement multi-appuis sous une excitation sismique (opérateur `CALC_CHAR_SEISME` [U4.63.01]) (cf. référence [R4.05.01]) ou pour introduire les déplacements aux ancrages multi-appuis en analyse spectrale (opérateur `COMB_SISM_MODAL` [U4.84.01]) (cf. référence [R4.05.03]). Voir exemple §4.1.

3.3.1.1 Opérandes **TOUT/NOEUD/GROUP_NO**

- ◆ `/ TOUT = 'OUI'`
Calcul des modes sur tous les nœuds du système qui ont des ddl bloqués.
- `/ NOEUD = noe`
Calcul des modes sur tous les nœuds `noeu` (sous-ensemble des nœuds bloqués).
- `/ GROUP_NO = g_noeu`
Calcul des modes sur les groupes de nœuds `g_noeu` (sous-ensemble des nœuds bloqués).

3.3.1.2 Opérandes **TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP**

- ◆ `/ TOUT_CMP = 'OUI'`
Calcul des modes sur toutes les composantes bloquées aux nœuds définis précédemment.
- `/ AVEC_CMP = l_cmp`
Calcul des modes sur les composantes citées seulement.
- `/ SANS_CMP = l_cmp`
Calcul des modes en excluant les composantes citées.

3.3.2 Mot clé **FORCE_NODALE**

- `/ FORCE_NODALE`

Mot clé facteur pour la définition des modes statiques à force imposée unitaire. Ces modes interviennent pour compléter une base modale de modes propres de vibration (opérateur `DEFI_BASE_MODAL` [U4.64.02] ou `DYNA_ALEA_MODAL` [U4.53.22]). Cf. référence [R5.06.01] et voir exemple §4.2.

3.3.2.1 Opérande `TOUT/NOEUD/GROUP_NO`

- ◆ / `TOUT = 'OUI'`
Calcul des modes sur tous les nœuds du système qui ont des ddl **libres** .
- / `NOEUD = noe`
Calcul des modes sur tous les nœuds `noeu`.
- / `GROUP_NO = g_noeu`
Calcul des modes sur les groupes de nœuds `g_noeu` .

3.3.2.2 Opérandes `TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP`

- ◆ / `TOUT_CMP = 'OUI'`
Calcul des modes sur toutes les composantes **libres** aux nœuds définis précédemment.
- / `AVEC_CMP = l_cmp`
Calcul des modes sur les composantes citées seulement.
- / `SANS_CMP = l_cmp`
Calcul des modes en excluant les composantes citées.

3.3.3 Mot clé `PSEUDO_MODE`

- / `PSEUDO_MODE`
Mot clé facteur pour la définition des modes statiques (ou pseudo-modes) à accélération imposée unitaire. Ces modes interviennent pour compléter une base modale de modes propres de vibration (opérateur `DEFI_BASE_MODAL` [U4.64.02] ou `DYNA_ALEA_MODAL` [U4.53.22]) (cf. référence [R5.06.01], pour déterminer les modes de correction en analyse spectrale (opérateur `COMB_SISM_MODAL` [U4.84.01], mot clé `MODE_CORR`) (cf. référence [R4.05.03]). On traite le cas mono-appui (opérandes `AXE/DIRECTION`, voir exemple §4.3) ou multi-appuis (opérandes `NOEUD/GROUP_NO` et `*CMP`, voir exemple §4.4).

3.3.3.1 Opérandes `AXE/DIRECTION/NOM_DIR`

- ◆ / `AXE = l_axe`
Calcule des modes suivant les axes du repère global donnés (`l_axe`), ces axes étant '`X`', '`Y`' et '`Z`'.
- / ◆ `DIRECTION = l_dir`
Calcule le mode suivant la direction donnée (`l_dir`)
(`l_dir`) : vecteur directeur à 3 composantes.
- ◇ `NOM_DIR = n_dir`
Nom utilisateur que l'on désire donner au mode calculé dans la direction (n_{dir}).
Par défaut le nom est `DIR_N`, N étant le numéro du mode statique.

3.3.3.2 Opérandes `TOUT/NOEUD/GROUP_NO`

- ◆ / TOUT = 'OUI'
Calcul des modes sur tous les nœuds du système.
- / NOEUD = noeu
Calcul des modes sur tous les nœuds noeu.
- / GROUP_NO = g_noeu
Calcul des modes sur les groupes de nœuds g_noeud .

3.3.3.3 Opérandes TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP

- ◆ / TOUT_CMP = 'OUI'
Calcul des modes sur toutes les composantes aux nœuds définis précédemment.
- / AVEC_CMP = l_cmp
Calcul des modes sur les composantes citées seulement.
- / SANS_CMP = l_cmp
Calcul des modes en excluant les composantes citées.

3.3.4 Mot clé *MODE_INTERF*

/ *MODE_INTERF*

Mot clé facteur pour la définition des modes de couplage. Ces modes interviennent pour compléter une base modale de modes propres de vibration (opérateur *DEFI_BASE_MODAL* [U4.64.02] ou *DYNA_ALEA_MODAL* [U4.53.22]). Cf. référence [R5.06.01] et voir exemple §4.2.

3.3.4.1 Opérande TOUT/NOEUD/GROUP_NO

- ◆ / TOUT = 'OUI'
Calcul des modes sur tous les nœuds du système qui ont des degrés de liberté **bloqués** .
- / NOEUD = noeu
Calcul des modes sur tous les nœuds noeu.
- / GROUP_NO = g_noeu
Calcul des modes sur les groupes de nœuds g_noeu .

3.3.4.2 Opérandes TOUT_CMP/AVEC_CMP/SANS_CMP

- ◆ / TOUT_CMP = 'OUI'
Calcul des modes sur toutes les composantes bloquées aux nœuds définis précédemment.
- / AVEC_CMP = l_cmp
Calcul des modes sur les composantes citées seulement.
- / SANS_CMP = l_cmp
Calcul des modes en excluant les composantes citées.

3.3.4.3 Opérande `NBMOD`

◆ `NBMOD = nbmod`

Nombre de modes à calculer. Il n'est, pour l'instant, pas possible de spécifier une bande de fréquence d'intérêt, ou la fréquence maximal des modes à calculer. L'utilisateur doit donc estimer par lui même le nombre de mode à prendre en compte. La liste des fréquences associées aux modes d'interface permet de déterminer le nombre de modes à prendre en compte dans le calcul pour le modèle réduit.

3.3.4.4 Opérande `SHIFT`

◆ `SHIFT = shift`

Fréquence de décalage (shift) utilisée pour le calcul des modes d'interface. Le choix de cette valeur permet d'améliorer la précision du calcul des modes. On pourra choisir une valeur de shift correspondant à 10% de la première fréquence propre attendue pour les modes de couplage. La valeur arbitraire par défaut est fixée à 1 Hz .

3.3.4.5 Opérande `TYPE`

◆ `TYPE = 'SST' / 'INT'`

Orienté la méthode de calcul des modes d'interface.

-Le choix 'SST' (par défaut) calcule des modes d'interface 'globaux'. Dans ce cas, pour un vecteur donné, toutes les interfaces présentent des déplacements a priori non nuls. Cela revient à condenser statiquement le modèle sur l'ensemble des interfaces, et à calculer les premiers modes du modèle ainsi construit.

-Le choix 'INT' calcule des modes interface par interface. Dans ce cas, pour un vecteur donné, les déplacements seront a priori non nul pour une interface donnée, mais les déplacements associés aux autres interfaces seront nuls.



Figure 1: Illustration de la différence entre deux modes calculés avec 'SST' ou 'INT' sur un quart de couronne circulaire. Chaque bord droit est associé à une interface.

L'intérêt de distinguer ces deux types de modes permet de lever les difficultés de recherche des modes de corps rigide rencontrées lorsque les sous structures d'un même modèle généralisé forment des « boucles » (i.e. 1 connecté avec 2, 2 connecté avec 3, et 3 connecté avec 1).

Dans le cas d'une chaîne ouverte de sous structure, on préconise l'utilisation du type 'SST', qui conduit à des calculs plus légers. Pour un modèle contenant des chaînes fermées, on préconise le type 'INT' pour la robustesse.

3.4 Mot clé `SOLVEUR`

◇ `SOLVEUR = ...`

Ce mot clé facteur est facultatif : il permet de choisir le solveur linéaire utilisé dans certaines parties de l'algorithme. La syntaxe étant commune à plusieurs commandes, veuillez consulter le manuel [U4.50.01].

Remarque : pour le mot clé `MODE_INTERF`, on doit résoudre des systèmes linéaires mais pour ceux-ci, le solveur est choisi en « dur » dans la programmation (LDLT s'il y a très peu de ddls et MUMPS s'il y en a plus).

3.5 Opérande `TITRE`

◇ `TITRE = titre`

Attaché au concept produit par cet opérateur [U4.03.01].

3.6 Opérande `INFO`

◇ `INFO`

Indique le niveau d'impression d'informations sur le fichier " MESSAGE " :

- 1 : aucune impression
- 2 : impression des modes statiques calculés.

4 Exemples

4.1 Calcul des modes statiques en déplacement imposé unitaire

Calcul des modes statiques en déplacement imposé unitaire.

mode Ψ solution de

$$\begin{cases} \Psi = -K^{-1} \cdot {}^t B^{-1} \cdot \lambda_i \\ B \cdot \Psi = V_i \end{cases} \quad \text{avec} \quad K : \text{matrice de rigidité}$$

V_i : vecteur valant 1. pour les composantes DX et DY du groupe de nœuds base.

λ_i : réactions d'appui sur la liaison B du groupe de nœuds base.

```
mstat = MODE_STATIQUE ( MATR_RIGI = rigidite,  
                        MODE_STAT = _F ( GROUP_NO = 'base',  
                                       ( AVEC_CMP = ( 'DX', 'DY' ) ), ),  
                        );
```

4.2 Calcul des modes statiques en force imposée unitaire

Calcul des modes statiques en force imposée unitaire.

$$\text{mode } \Psi = K^{-1} F_i \quad \text{avec} \quad K : \text{matrice de rigidité}$$

F_i : vecteur valant 1. pour les composantes DX et DY du groupe de nœuds base.

```
mstat = MODE_STATIQUE ( MATR_RIGI = rigidite,  
                        FORCE_NODALE = _F ( GROUP_NO = 'base',  
                                       ( AVEC_CMP = ( 'DX', 'DY' ) ), ),  
                        );
```

4.3 Calcul des modes statiques (ou pseudo-modes) en accélération uniforme unitaire dans les 3 directions

Calcul des modes statiques en accélération uniforme unitaire dans les 3 directions.

$$\text{mode } \Psi = K^{-1} (M A_i) \quad \text{avec} \quad K : \text{matrice de rigidité}$$

M : matrice de masse

A_i : vecteur unitaire dans la direction i .

```
mstat = MODE_STATIQUE ( MATR_RIGI = rigidite,  
                        MATR_MASS = masse,  
                        PSEUDO_MODE = _F ( AXE = ( 'X', 'Y', 'Z' ) ), ),  
                        );
```

4.4 Calcul des modes statiques (ou pseudo-modes) en accélération imposée unitaire

Calcul des modes statiques en accélération imposée unitaire.

mode $\Psi = K^{-1}(M A_i)$ avec K : matrice de rigidité
 M : matrice de masse
 A_i : vecteur unitaire pour les composantes DX et DY du groupe de nœuds *base*

```
mstat = MODE_STATIQUE ( MATR_RIGI = rigidite,  
                        MATR_MASS = masse,  
                        PSEUDO_MODE=_F ( GROUP_NO = 'base',  
                                       ( AVEC_CMP = ( 'DX', 'DY' ) ),  
                        ) ;
```

4.5 Calcul des modes de couplage

Les modes de couplages $\Psi = T \Phi$ sont le relèvement statique des modes Φ du problème réduit

$$[T^T (K - \omega^2 M) T] \Phi = 0, \quad (1)$$

où T sont les modes statiques en déplacement imposé. On ne calcule évidemment pas explicitement T dans ce cas là. Les modes sont calculés par une méthode approchée détaillée dans la référence [R4.06.02].

```
minter = MODE_STATIQUE ( MATR_RIGI = rigidite,  
                        MATR_MASS = masse,  
                        MODE_INTERF=_F ( GROUP_NO = 'base',  
                                       AVEC_CMP = ( 'DX', 'DY' ),  
                                       NBMOD=10,  
                                       SHIFT=1.,  
                        ),  
                        ) ;
```