

## Macro-commande CALC\_MODAL

---

### 1 But

---

Lancer dans une seule commande l'intégralité de la chaîne de calcul de modes propres :

- [1] CALC\_MATR\_ELEM (options 'RIGI\_MECA', 'MASS\_MECA' et 'AMOR\_MECA');
- [2] NUME\_DDL;
- [3] ASSE\_MATRICE;
- [4] MODE\_ITER\_SIMULT.

Cette macro-commande a pour but d'offrir aux utilisateurs un outil simple et convivial pour le calcul des modes propres d'une structure solide sans interaction fluide et seulement pour les modes « dynamiques » et non pas pour ceux de flambement. Pour l'instant le calcul de la matrice de rigidité est limité au cas des matrices symétriques.

Produit une seule structure de données de type `mode_meca` si pas de matrice d'amortissement présente ou `mode_meca_c` si matrice d'amortissement présente. Le choix de la présence de l'amortissement se fait avec le mot clé AMORTISSEMENT.

## Table des Matières

1 But.....	1
2 Syntaxe.....	3
3 Opérandes.....	5
3.1 Opérande MODELE .....	5
3.2 Mot clé AMORTISSEMENT.....	5
3.3 Opérande CHAM_MATER.....	5
3.4 Opérande CARA_ELEM.....	5
3.5 Opérande CHARGE .....	5
3.6 Opérande INST.....	5
3.7 Mot clé SOLVEUR.....	5
3.7.1 Opérande METHODE.....	6
3.7.2 Opérande RENUM.....	6
3.8 Mot clé METHODE.....	6
3.8.1 Opérandes d'IRAM ( si METHODE = 'SORENSEN').....	7
3.8.2 Opérandes de la méthode de Lanczos ( si METHODE = 'TRI_DIAG').....	7
3.8.3 Opérandes de la méthode de Bathe & Wilson ( si METHODE = 'JACOBI').....	8
3.8.4 Opérandes de la méthode QZ ( si METHODE = 'QZ').....	8
3.9 Mot clé MODE_RIGIDE.....	8
3.10 Mot clé CALC_FREQ.....	8
3.10.1 Opérande OPTION.....	8
3.10.2 Opérande APPROCHE.....	9
3.10.3 Opérande FREQ.....	9
3.10.4 Opérande AMOR_REDUIT.....	9
3.10.5 Opérande NMAX_FREQ.....	9
3.10.6 Opérande DIM_SOUS_ESPACE.....	9
3.10.7 Opérandes SEUIL_FREQ, PREC_SHIFT et NMAX_ITER_SHIFT.....	10
3.10.8 Opérande NPREC_SOLVEUR.....	10
3.10.9 Opérande STOP_FREQ_VIDE.....	10
3.11 Mot clé VERI_MODE.....	11
3.11.1 Opérande STOP_ERREUR.....	11
3.11.2 Opérande SEUIL.....	11
3.11.3 Opérande STURM.....	11
3.11.4 Opérande PREC_SHIFT.....	11
3.12 Opérande INFO.....	11
3.13 Opérande TITRE.....	11

## 2 Syntaxe

```

mod_meca =    CALC_MODAL    (

    ♦  MODELE          =    mo ,                                [modele]
    ◇  AMORTISSEMENT = / 'NON'                                [DEFAULT]
                                   / 'OUI'

    ♦  CHAM_MATER      =    chmat,                             [cham_mater]
    ◇  CHARGE          =    char ,                             [char_meca]
    ◇  CARA_ELEM       =    caract ,                           [cara_elem]
    ◇  INST            =    / tps ,                             [R]
                                   / 0.0 ,                       [DEFAULT]

    ◇  SOLVEUR = _F (

        ◇ / METHODE = 'MULT_FRONT',                             [DEFAULT]
          ◇ RENUM = / 'METIS',                                   [DEFAULT]
                                   / 'MD',
                                   / 'MDA',

          / METHODE = 'LDLT' ,
          ◇ RENUM = / 'RCMK',                                   [DEFAULT]
                                   / 'SANS',

    ◇  METHODE = / 'TRI_DIAG'
        ◇ PREC_ORTHO = / 1.E-12,                                [DEFAULT]
                                   / po,                          [R]
        ◇ NMAX_ITER_ORTHO = / 5 ,                                [DEFAULT]
                                   / nio,                          [I]
        ◇ PREC_LANCZOS = / 1.E-8,                                [DEFAULT]
                                   / pl,                           [R]
        ◇ NMAX_ITER_QR = / 30,                                   [DEFAULT]
                                   / nim,                           [I]

        / 'JACOBI'
        ◇ PREC_BATHE = / 1.E-10,                                [DEFAULT]
                                   / pbat,                          [R]
        ◇ NMAX_ITER_BATHE = / 40,                                [DEFAULT]
                                   / nbat,                          [I]
        ◇ PREC_JACOBI = / 1.E-2,                                [DEFAULT]
                                   / pjaco,                         [R]
        ◇ NMAX_ITER_JACOBI = / 12,                               [DEFAULT]
                                   / njaco,                         [I]

        / 'SORENSEN'
        ◇ PREC_SOREN = / 0 ,                                    [DEFAULT]
                                   / pso,                           [R]
        ◇ NMAX_ITER_SOREN = / 20,                                [DEFAULT]
                                   / nso,                           [I]
        ◇ PARA_ORTHO_SOREN = / 0.717,                            [DEFAULT]
                                   / porso,                         [I]

        / 'QZ'
        ◇ TYPE_QZ = / 'QZ_SIMPLE',                                [DEFAULT]
                                   / 'QZ_QR',
                                   / 'QZ_EQUI',

    ◇  MODE_RIGIDE      = / 'OUI',
                                   / 'NON',                        [DEFAULT]

```

```

◇ CALC_FREQ = _F (
    ◇ OPTION = / 'CENTRE'
        ◆ FREQ = l_f [l_R]
        ◇ AMOR_REDUIT = l_a [l_R]
        ◇ NMAX_FREQ = / 10 [DEFAULT]
        / nf [I]
    / 'BANDE'
        ◆ FREQ = l_f [l_R]
    / 'PLUS_PETITE' [DEFAULT]
        ◇ NMAX_FREQ = / 10 [DEFAULT]
        / nf [I]

    ◇ APPROCHE = / 'REEL' [DEFAULT]
        / 'IMAG'
        / 'COMPLEXE'

    ◇ / DIM_SOUS_ESPACE = dse [I]
        / COEF_DIM_ESPACE = mse [I]
    ◇ PREC_SHIFT = / 0.05 [DEFAULT]
        / ps [R]
    ◇ NMAX_ITER_SHIFT = / 5 [DEFAULT]
        / ns [I]
    ◇ NPREC_SOLVEUR = / 8 [DEFAULT]
        / ndeci [R]
    ◇ SEUIL_FREQ = / 1.E-2 [DEFAULT]
        / sf [R]
    ◇ STOP_FREQ_VIDE = / 'OUI' [DEFAULT]
        / 'NON'

    )

◇ VERI_MODE = _F (
    ◇ STOP_ERREUR = / 'OUI' [DEFAULT]
        / 'NON'
    ◇ SEUIL = / rseuil [R]
        / 1.E-6 [DEFAULT]
    ◇ STURM = / 'OUI' [DEFAULT]
        / 'NON' [l_Kn]
    ◇ PREC_SHIFT = / pshif [R]
        / 0.005 [DEFAULT]
    )

◇ INFO = / 1 [DEFAULT]
        / 2

◇ TITRE = titre

)

```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande MODELE

Cet opérande sert à indiquer les éléments finis qui constituent la structure dont on calcule les modes propres. On rappelle que les éléments finis sont pour la plupart définis dans le modèle.

Il y a deux exceptions :

1. Les éléments de dualisation des conditions de DIRICHLET, c'est-à-dire les éléments permettant d'imposer des conditions sur les degrés de liberté de déplacement en mécanique.
2. Les éléments de chargement nodal.

Ces éléments sont définis dans un concept de type `char_meca`.

Si on est dans un cas parmi les deux présentés ci-dessus, on doit fournir le concept `char_meca` correspondant pour le calcul des matrices élémentaires de rigidité avec l'option `RIGI_MECA`.

◇ `INST = tps`

L'argument `tps` est utilisé lorsque les caractéristiques matérielles ou les chargements dépendent du temps. Un cas assez fréquent est celui d'un matériau mécanique dépendant de la température qui elle-même dépend du temps.

### 3.2 Mot clé AMORTISSEMENT

Ce mot clé permet la prise en compte de l'amortissement. Si il est renseigné 'OUI', alors les matrices élémentaires d'amortissement seront calculées avec l'option 'AMOR\_MECA'.

### 3.3 Opérande CHAM\_MATER

Nom du champ de matériau où sont définies les caractéristiques des matériaux des éléments.

### 3.4 Opérande CARA\_ELEM

Les caractéristiques élémentaires sont nécessaires s'il existe dans le modèle des éléments de poutre, coque ou des éléments discrets ou si un repère d'anisotropie a été défini sur des éléments massifs (mot clé `MASSIF` de la commande `AFFE_CARA_ELEM`).

### 3.5 Opérande CHARGE

Cet opérande est à préciser si on a des éléments pour lesquels sont faits les calculs élémentaires de rigidité (conditions de `DIRICHLET`).

### 3.6 Opérande INST

L'argument `tps` est utilisé lorsque les caractéristiques matérielles ou les chargements dépendent du temps. Un cas assez fréquent est celui d'un matériau mécanique dépendant de la température qui elle-même dépend du temps.

### 3.7 Mot clé SOLVEUR

Ce mot clé facteur sert à introduire les informations sur le choix du solveur qu'on utilisera pour la résolution du système linéaire.

### 3.7.1 Opérande METHODE

Cet opérande sert à choisir la méthode de résolution que l'on appliquera parmi :

```
/ 'MULT_FRONT'  méthode "multi_frontale" sans pivotage  
/ 'LDLT'        factorisation de type LU sans pivotage
```

Le choix de la méthode de résolution a une influence importante sur le mode de stockage des matrices assemblées (futures) `matr_asse_*`

```
/ 'LDLT'          stockage "ligne de ciel" par blocs  
/ 'MULT_FRONT'    stockage "morse"
```

Le stockage morse (qui ne conserve que les termes non nuls de la matrice) est beaucoup plus économique que le stockage ligne de ciel.

En revanche pour un gros système, ce stockage impose une taille **mémoire** importante car la matrice est stockée dans un seul vecteur, alors que le stockage ligne de ciel est découpé en plusieurs blocs de taille fixée par le mot clé `TAILLE_BLOC` de la commande `DEBUT`.

### 3.7.2 Opérande RENUM

Cet opérande sert à renuméroter (si on le souhaite) les inconnues du problème.

- 'MD' (Minimum Degré) : c'est la méthode de renumérotation associée à la résolution `MULT_FRONT`. Elle minimise le remplissage de la matrice lors de sa factorisation (c'est-à-dire : apparition de termes non nuls).
- 'MDA' (Minimum Degré Approchée) : c'est une méthode approchée de la méthode précédente. A priori, la numérotation obtenue est un peu moins optimale que par 'MD' (pour ce qui concerne le remplissage), mais elle est moins coûteuse à établir.
- 'METIS' autre méthode de numérotation pour la méthode multi-frontale. Elle est basée sur une technique de "dissection emboîtée".
- 'SANS' on garde l'ordre initial des nœuds donné dans le fichier de maillage
- 'RCMK' "Reverse CUTHIL MAC KEE" cet algorithme de renumérotation est souvent efficace pour réduire la place nécessaire au stockage "ligne de ciel" de la matrice assemblée. Il est donc aussi efficace en temps CPU lors de la triangulation d'une telle matrice, par l'opérateur `FACT_LDLT` [U4.55.01].

## 3.8 Mot clé METHODE

Quatre méthodes de résolution sont disponibles pour le problème aux valeurs propres

- La méthode IRA (dite de Sorensen), permet de traiter les deux types de problèmes généralisé et quadratique. Elle est la méthode par défaut et est basée sur :
  - l'obtention d'une matrice de Hessenberg en utilisant une factorisation de type Arnoldi
  - le calcul des valeurs propres de ce problème projeté par une méthode QR
  - un certain nombre de redémarrages permettant d'affiner les valeurs propres cherchées par l'utilisateur, les autres valeurs propres nécessaires à la méthode servant de valeurs auxiliaires.
- La méthode de Lanczos, permet de traiter les deux types de problèmes généralisé et quadratique. Elle est basée sur :
  - l'obtention d'une matrice tridiagonale projetée via la méthode de Lanczos,
  - la résolution du système tridiagonal réduit par une méthode **QR**,
- La méthode itérative de Bathe et Wilson valable seulement pour le problème généralisé, est basée sur :

- la construction à chaque itération d'un problème généralisé projeté de plus petite taille,
  - le calcul des valeurs propres de ce problème projeté par une méthode de Jacobi.
- La méthode QZ

◇ METHODE = / 'SORENSEN' [DEFAULT]

On utilise la méthode de Sorensen (cf. [§5] [R5.01.01]) pour calculer les valeurs et vecteurs propres du problème généralisé ou quadratique. Prendre en compte aussi l'effet gyroscopique.

◇ / 'TRI\_DIAG'

On utilise la méthode de Lanczos (puis la méthode **QR** sur le système projeté) pour calculer les valeurs et vecteurs propres du problème généralisé ou quadratique (cf. [§4] [R5.01.01]).

◇ / 'JACOBI'

On utilise la méthode de Bathe & Wilson (cf. [§6] [R5.01.01]) (puis la méthode de Jacobi sur le système projeté) pour calculer les valeurs et vecteurs propres du problème généralisé. Cette option ne peut pas être utilisée pour un problème quadratique.

◇ / 'QZ'

On utilise la méthode QZ pour traiter les problèmes modaux quadratiques prenant en compte l'effet gyroscopique des structures tournantes. Les matrices de masse, rigidité et amortissement peuvent être non-symétriques.

### 3.8.1 Opérandes d'IRAM ( si METHODE = 'SORENSEN' )

◇ PREC\_SOREN = pso ( 0. ) [DEFAULT]

Remarque :

*La méthode considère alors qu'elle doit travailler avec la plus petite précision possible, le « zéro machine ». Pour en avoir un ordre de grandeur, en double précision sur les machines standards, cette valeur est proche de  $2.22 \cdot 10^{-16}$*

◇ NMAX\_ITER\_SOREN = nso ( 20 ) [DEFAULT]

◇ PARA\_ORTHO\_SOREN = porso ( 0.717 ) [DEFAULT]

Il s'agit de paramètres d'ajustement de la précision requise sur les modes (par défaut, la précision machine est choisie), du nombre de redémarrages autorisé de la méthode de Sorensen (cf. [§5.4.2] et [§6.4] [R5.01.01]) et du coefficient d'orthogonalisation de l'IGSM de Kahan-Parlett (cf. [§11.4] [R5.01.01]).

Remarque :

Lors des premiers passages, il est fortement conseillé de ne pas modifier ces paramètres qui concernent plutôt les arcanes de l'algorithme et qui sont initialisés empiriquement à des valeurs standards.

### 3.8.2 Opérandes de la méthode de Lanczos ( si METHODE = 'TRI\_DIAG' )

◇ PREC\_ORTHO = po (  $1 \cdot 10^{-12}$  ) [DEFAULT]

◇ NMAX\_ITER\_ORTHO = nio ( 5 ) [DEFAULT]

◇ PREC\_LANCZOS = pl (  $1 \cdot 10^{-8}$  ) [DEFAULT]

◇ NMAX\_ITER\_QR = nim ( 30 ) [DEFAULT]

Les deux premiers paramètres permettent, respectivement, d'ajuster la précision d'orthogonalisation et le nombre de réorthogonalisations dans la méthode de Lanczos pour obtenir des vecteurs indépendants engendrant le sous-espace (cf. [§5.5.1] [R5.01.01]).

Le troisième est un paramètre d'ajustement pour déterminer la nullité d'un terme sur la surdiagonale de la matrice tridiagonale caractérisant le problème réduit obtenu par la méthode de Lanczos. C'est juste un critère de déflation et non, contrairement à ce que pourrait laisser croire son nom, un critère de qualité des modes (cf. [§5.4.1] [R5.01.01]).

Le dernier fixe le nombre d'itérations maximum pour la résolution du système réduit par la méthode **QR** ([§5.5.2] et [§10] [R5.01.01]).

Remarque :

*Lors des premiers passages, il est fortement conseillé de ne pas modifier ces paramètres qui concernent plutôt les arcanes de l'algorithme et qui sont initialisés empiriquement à des valeurs standards.*

### 3.8.3 Opérandes de la méthode de Bathe & Wilson ( si METHODE = 'JACOBI' )

```
◇ PREC_BATHE      = pbat      ( 1.10-10 ) [DEFAULT]
◇ NMAX_ITER_BATHE = nbat      ( 40 )      [DEFAULT]
◇ PREC_JACOBI     = pjaco     ( 1.10-2 )  [DEFAULT]
◇ NMAX_ITER_JACOBI = njaco     ( 12 )      [DEFAULT]
```

Les deux premiers paramètres permettent, respectivement, d'ajuster la précision de convergence et le nombre maximum d'itérations permises de la méthode de Bathe & Wilson (cf. [§7] [R5.01.01]).

Les deux autres permettent d'ajuster la précision de la convergence et le nombre maximum d'itérations permises par la méthode de JACOBI (cf. [§12] [R5.01.01]) qui permet d'exhumer les modes propres de la matrice projetée par la méthode précédente.

#### Remarque :

Lors des premiers passages, il est fortement conseillé de ne pas modifier ces paramètres qui concernent plutôt les arcanes de l'algorithme et qui sont initialisés empiriquement à des valeurs standards.

### 3.8.4 Opérandes de la méthode QZ ( si METHODE = 'QZ' )

```
◇ TYPE_QZ = / 'QZ_SIMPLE',          [DEFAULT]
             / 'QZ_QR',
             / 'QZ_EQUI',
```

1. 'QZ\_SIMPLE', algorithme QZ 'standard',
2. 'QZ\_EQUI', idem mais on rajoute un pré-traitement d'équilibrage des termes des matrices.
3. Cela améliore souvent la qualité des modes, mais *a contrario*, si les matrices présentent des
4. termes très petits dus à des erreurs d'arrondis, cette phase engendre des modes parasites.
5. 'QZ\_QR', algorithme QR plus rapide mais au périmètre plus restreint.

Les deux premières variantes peuvent être employées pour les problèmes généralisés et quadratiques avec ou sans matrice hystérétique/effet gyroscopique. La troisième est à réserver aux problèmes dynamiques, sans amortissement, ni effet gyroscopique et n'utilisant pas de Lagrange de blocage ou de liaison. La méthode QZ va calculer tous les modes associés à des ddls physiques (ddls non bloqués et sans les Lagranges) et le paramétrage usuel de l'opérateur va permettre à l'utilisateur d'en faire le tri (option 'BANDE', 'CENTRE', 'PLUS\_PETITE').

## 3.9 Mot clé MODE\_RIGIDE

Mot-clé utilisable seulement avec la méthode de Lanczos pour un problème modal généralisé. Il permet de détecter et de calculer au préalable, par une méthode algébrique les modes de corps de rigide (modes associés à une valeur propre nulle) (cf. [§5.5.4] [R5.01.01]). Ils sont utilisés par la suite pour calculer les autres modes avec l'algorithme de Lanczos. Ils sont fournis à l'utilisateur seulement s'ils font partie des modes demandés. Si les modes de corps rigide sont calculés sans utiliser cette option, les valeurs propres calculées par l'algorithme de Lanczos ne sont pas nulles mais très voisines de zéro.



## 3.10 Mot clé CALC\_FREQ

◇ CALC\_FREQ = \_F ( ...

Mot-clé facteur pour la définition des paramètres de calcul des valeurs propres et de leur nombre.

### 3.10.1 Opérande OPTION

◇ OPTION =

'BANDE'	On recherche toutes les valeurs propres dans une bande donnée. Cette bande est définie par l'argument de <b>FREQ</b> : $(f_1 \ f_2)$ ou par celui de <b>CHAR_CRIT</b> : $(\lambda_1, \lambda_2)$ .
'CENTRE'	Cette option n'est pas utilisable avec un problème modal quadratique. On recherche les <b>NMAX_FREQ</b> valeurs propres les plus proches de la fréquence $f$ (argument du mot-clé <b>FREQ</b> : $f$ ) ou les plus proches de la charge critique $\lambda$ (argument du mot-clé <b>CHAR_CRIT</b> : $\lambda$ ) .
'PLUS_PETITE' [DEFAULT]	On recherche les <b>NMAX_FREQ</b> plus petites valeurs propres.

Voir [§2.9] et [§4.4] [R5.01.01].

### 3.10.2 Opérande APPROCHE

◇ APPROCHE =        / 'REEL'                [DEFAULT]  
                      / 'IMAG'  
                      / 'COMPLEXE'

Ce mot-clé définit le type d'approche (réelle, imaginaire ou complexe) pour le choix du pseudo-produit scalaire du problème quadratique(cf. [§5.5.2] [R5.01.02]). En général la valeur par défaut (réel) est valide.

Cet opérande n'a de sens que pour l'analyse des vibrations libres d'une structure amortie .

### 3.10.3 Opérande FREQ

◇ FREQ = l\_f

Liste des fréquences (ne peut être utilisé que si **TYPE\_RESU** = 'DYNAMIQUE') : son utilisation dépend de l'**OPTION** choisie.

<b>OPTION</b> = 'BANDE'	On attend deux valeurs $(f_1 \ f_2)$ qui définissent la bande de recherche,
<b>OPTION</b> = 'CENTRE'	On attend une seule valeur de fréquence,

Les valeurs stipulées sous ce mot-clé doivent être positives.

### 3.10.4 Opérande AMOR\_REDUIT

◇ AMOR\_REDUIT = l\_a

Valeur de l'amortissement réduit qui permet de définir la valeur propre complexe autour de laquelle on cherche les valeurs propres les plus proches.

<b>OPTION</b> = 'CENTRE'	On attend une seule valeur d'amortissement réduit,
--------------------------	--

La valeur stipulée sous ce mot-clé doit être positive et être comprise entre 0 et 1.

### 3.10.5 Opérande NMAX\_FREQ

◇ NMAX\_FREQ = nf ( 10 )                [DEFAULT]

Nombre maximum de valeurs propres à calculer.

Ce mot-clé est ignoré avec l'option 'BANDE' car on calcule alors toutes les valeurs propres contenues dans la bande stipulée.

## 3.10.6 Opérande DIM\_SOUS\_ESPACE

◇ / DIM\_SOUS\_ESPACE = des  
/ COEF\_DIM\_ESPACE = mse

Si le mot-clé DIM\_SOUS\_ESPACE n'est pas renseigné ou est initialisé à une valeur strictement inférieure au nombre de fréquences demandées  $nf$ , l'opérateur calcule automatiquement une dimension admissible pour le sous-espace de projection (cf. [§5.2] de ce document et [§4.3], [§5.5.2], [§6.5.3], [§7.3.1] [R5.01.01]) à l'aide COEF\_DIM\_ESPACE.

Grâce à la donnée de ce facteur multiplicatif,  $mse$ , on peut projeter sur un espace dont la taille est proportionnelle au nombre de fréquences contenues dans l'intervalle d'étude.

### Remarques :

- Si on utilise la méthode de Sorensen (IRAM) et que  $ndim - nf < 2$ , des impératifs numérico-informatiques forcent à imposer  $ndim = nf + 2$ .
- En quadratique on travaille sur un problème réel de taille double :  $2*nf$ ,  $2*ndim$ .

## 3.10.7 Opérandes SEUIL\_FREQ, PREC\_SHIFT et NMAX\_ITER\_SHIFT

◇ PREC\_SHIFT = ps ( 0.05 ) [DEFAULT]  
◇ SEUIL\_FREQ = sf ( 0.01 ) [DEFAULT]  
◇ NMAX\_ITER\_SHIFT = ns ( 5 ) [DEFAULT]

Pour les trois options possibles 'PLUS\_PETITE', 'BANDE' ou 'CENTRE', on effectue une factorisation  $LDL^T$  de la matrice  $(A - (2\pi f_*)^2 B)$ .  $f_*$  dépend de la méthode utilisée. Si  $f_*$  est détectée comme étant une fréquence propre ou étant située à proximité de fréquences propres (perte de plus de  $ndeci=8$  décimales lors de la factorisation des matrices), la fréquence  $f_*$  est alors modifiée (cf. [§2.6] et [§2.9] [R5.01.01]):

$$f_*^- = f_* \times (1 - ps) \quad \text{ou} \quad f_*^+ = f_* \times (1 + ps)$$

Dans le cas où  $(A - (2\pi f_*)^2 B)$  est non factorisable  $LDL^T$  et  $(|f_*| \leq sf)$ , on effectue la modification suivante :  $f_*^- = -sf$ . On considère alors qu  $f_*$  est associée à un mode de corps rigide. La modification de cette fréquence permet a priori de comptabiliser tous les modes de corps rigide. On n'effectue pas plus de  $ns$  modifications de la valeur  $f_*$ .

Dans le cas du flambement linéaire, la transposition est immédiate en remplaçant  $f_*$  (fréquence de vibration) par  $\lambda_*$  (charge critique),  $(2\pi f_*)^2$  par  $\lambda_*$  et  $sf$  par  $(2\pi sf)^2$ .

### Remarque :

Lors des premiers passages, il est fortement conseillé de ne pas modifier ces paramètres qui concernent plutôt les arcanes de l'algorithme et qui sont initialisés empiriquement à des valeurs standards.

## 3.10.8 Opérande NPREC\_SOLVEUR

◇ NPREC\_SOLVEUR = ndeci ( 8 ) [DEFAULT]

$ndeci$  représente le nombre de décimales qu'on s'autorise à perdre lors de la factorisation de la matrice shiftée  $(A - (2\pi f_*)^2 B)$  ou  $(A - \lambda B)$ . Si on perd plus de  $ndeci$  décimales, la matrice est considérée comme non inversible (cf. [§2.6] et [§2.9] [R5.01.01]).

### Remarque :

Lors des premiers passages, il est fortement conseillé de ne pas modifier ce paramètre qui concerne plutôt une arcane de l'algorithme et qui est initialisé empiriquement à une valeur standard.

## 3.10.9 Opérande STOP\_FREQ\_VIDE

◇ STOP\_FREQ\_VIDE = / 'OUI' [DEFAULT]  
/ 'NON'

'OUI' arrête le calcul si aucune valeur propre n'est détectée dans la bande stipulée par l'utilisateur : une exception (nommée `BandeFrequenceVide`) est émise. Elle peut être traitée pour continuer le déroulement de l'étude.

'NON' n'arrête le calcul (émission seulement d'une ALARME) si aucune valeur propre n'est détectée dans la bande stipulée par l'utilisateur.

## 3.11 Mot clé VERI\_MODE

◇ VERI\_MODE = \_F(...

Mot clé facteur pour la définition des paramètres de la vérification des modes propres ([§2.9] [R5.01.01]).

### 3.11.1 Opérande STOP\_ERREUR

◇ STOP\_ERREUR = / 'OUI' [DEFAULT]  
/ 'NON'

Permet d'indiquer à l'opérateur s'il doit s'arrêter ('OUI') ou continuer ('NON') dans le cas où l'un des critères SEUIL ou STURM n'est pas vérifié.

Par défaut le concept de sortie n'est pas produit.

### 3.11.2 Opérande SEUIL

◇ SEUIL = r ( 1.10<sup>-6</sup> ) [DEFAULT]

Seuil de tolérance pour la norme d'erreur relative du mode au dessus duquel le mode est considéré comme faux.

La norme d'erreur relative du mode est :

$$\frac{\|(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{B})\mathbf{x}\|_2}{\|\mathbf{Ax}\|_2} \quad \text{pour } \lambda \neq 0 \quad \text{pour le problème généralisé et}$$

$$\frac{\|(\lambda^2 \mathbf{B} + \lambda \mathbf{C} - \mathbf{A})\mathbf{x}\|_2}{\|\mathbf{AX}\|_2} \quad \text{pour le problème quadratique}$$

### 3.11.3 Opérande STURM

◇ STURM = / 'OUI' [DEFAULT]  
/ 'NON'

Vérification dite de STURM ('OUI') permettant de s'assurer que l'algorithme utilisé dans l'opérateur a déterminé le nombre exact de valeurs propres dans l'intervalle de recherche ([§2.5] [§2.6] [R5.01.01]).

### 3.11.4 Opérande PREC\_SHIFT

◇ PREC\_SHIFT = prs ( 0.05 ) [DEFAULT]

Ce paramètre (qui est un pourcentage) permet de définir un intervalle contenant les valeurs propres calculées, pour lequel la vérification de Sturm sera effectuée ([§2.6] [R5.01.01]).

## 3.12 Opérande INFO

◇ INFO = / 1 [DEFAULT]  
/ 2

Indique le niveau d'impression dans le fichier MESSAGE.

- 1 : Impression sur le fichier 'MESSAGE' des valeurs propres, de leur position modale, de l'amortissement réduit, de la norme d'erreur a posteriori et de certains paramètres utiles pour suivre le déroulement du calcul (Cf. [§5.2])
- 2 : Impression plutôt réservée aux développeurs.

### 3.13 Opérande TITRE

◇ TITRE = ti

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