Opérateur COMB_SISM_MODAL

1 But

Calculer la réponse à un chargement sismique, via l'approche modale spectrale, basée sur le cumul des réponses modales, sous hypothèse de comportement linéaire élastique. (Réponse spectrale = réponse issue des cumuls)

Le chargement sismique est constitué de deux parties :
- le mouvement de déformation statique de la structure sous l'effet des déplacements imposés aux appuis (entraînement), représenté par les déplacements différentiels sismiques DDS ;
- le mouvement de déformation relative par rapport à la déformée statique (inertiel), représenté par le spectre de réponse d'oscillateur SRO.

L'analyse est soit mono-appui (excitation unique de tous les appuis par le même SRO), soit multi-appui (excitations différenciées selon les appuis). Dans le cas multi-appui, les excitations sont soit toutes corrélées entre elles, soit relatives à des groupes (décorrélés) d'appuis corrélés.
l'approche modale spectrale permet une estimation des valeurs maximale s m oyennes probables en valeur absolue des grandeurs d'intérêt , issue de la somme quadratique de la réponse aux DDS et de la réponse inertielle.

La méthode modale spectrale est strictement limitée à l'évaluation des grandeurs dépendant linéairement des déplacements : déformations, contraintes (hors grandeurs équivalentes), efforts généralisés, forces nodales, réactions d'appui.

Produit un concept de type `mult_elas`.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Syntaxe

```
R [mult_elas]  = COMB_SISM_MODAL

      (  # Sélection des modes dans la base modale
         ♦  MODE_MECA = mode                                  [mode_meca]
         ◊  /  TOUT_ORDRE = 'OUI'                             [DEFAUT]
            /  NUME_ORDRE = l_ordre                           [l_I]
            /  LIST_ORDRE = lordre                            [listis]
            /  NUME_MODE  = l_mode                            [l_I]
            /  /  FREQ =      l_freq                          [l_R]
               /  LIST_FREQ = lfreqr8                         [listr8]
                  ◊  PRECISION =  /  1.D-3                    [DEFAUT]
                                  /  prec                     [R]
                  ◊  CRITERE =    /  'RELATIF'                [DEFAUT]
                                  /  'ABSOLU'

          # D éfinition d e l 'amortissement structurel
         ♦  /  AMOR_REDUIT = amor                             [l_R]
            /  LIST_AMOR   = lamor                            [listr8]
            /  AMOR_GENE   = amogene                          [matr_asse_gene_R]

          # O ption de prise en compte des pseudo-modes après la définition
          de l'excitation
         ◊  MODE_CORR =  /  'OUI'
                         /  'NON'                             [DEFAUT]
                          # si MODE_CORR =   'OUI'
                         ♦   PSEUDO_MODE =   acce
[mode_stat_acce]
                          ◊ FREQ_COUP = freq                  [R]
          # D éfinition du type d'analyse
         ♦  TYPE_ANALYSE =  /  'MONO_APPUI'                   [DEFAUT]
                            / ' MULT_APPUI '
          # Définition des chargements sismiques
            # A nalyse mono-appui :  un seul SRO requis
             ♦  SPECTRE =_F(♦   LIST_AXE    = l_axe          [l_ axe ]
                            ♦  SPEC_OSCI = spec               [nappe]
                            ◊  ECHELLE   = echel              [R]
                            ◊  CORR_FREQ =  /  'OUI'
                                            /  'NON'          [DEFAUT]
                            ◊  NATURE =     /  'ACCE'         [DEFAUT]
                                            /  'VITE'
                                            /  'DEPL'
                         )

             # A nalyse multi-appui
            # Définition des appuis
            ♦   APPUIS    =_F( ♦  NOM    = nom_ appui
                               ♦  GROUP_NO =lgrno             [l_gr_noeud]
                         )
            # Définition des groupes d' appuis corrélés
            ♦   GROUP_ APPUI_ CORRELE  =_F(♦ NOM    = nom_ group_ appui
                                        ♦ / TOUT = 'OUI'      [DEFAUT]
                                          / LIST_APPUI = l_appui
                         )
             # Définition des SRO à chaque appui
             ♦  SPECTRE =_F(♦   NOM_APPUI    = nom_appui
                            ♦   LIST_AXE    = l_axe          [l_ axe ]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
                        ♦  SPEC_OSCI = spec          [nappe]
                        ◊  ECHELLE   = echel         [R]
                        ◊  CORR_FREQ =  /  'OUI'
                                        /  'NON'     [DEFAUT]
                        ◊  NATURE =     /  'ACCE'    [DEFAUT]
                                        /  'VITE'
                                        /  'DEPL'
                    )
          # Définition des DDS pour chaque appui
         ◊  DEPL_MULT_APPUI=_F( ♦  NOM_APPUI = nom_appui
                                ◊  GROUP_NO_REFE = lgrno  [l_gr_noeud]
                                ♦  MODE_STAT = stat    [mode_stat_depl]
                                ♦  GROUP_NO = lgrno    [l_gr_noeud]
                                ♦   | DX =   dx        [R]
                                    | DY =   dy        [R]
                                    | DZ =   dz        [R]
                             )
 # C hoix de la règle d e cumul des réponses modales
♦  COMB_MODE =_F(      ♦  /  TYPE =    /  'GUPTA'
                                       /  'SRSS'
                                       /  'CQC'     [DEFAUT]
                                       /  'DPC'
                                       /  'ABS'
                                       /  'DSC'
                        # Si TYPE =  'DSC'
                        ◊   DUREE = s                [R]
                         # Si TYPE = 'GUPTA'
                        ◊   FREQ_1 = Hz              [R]
                        ◊   FREQ_2 = Hz              [R]
                    )

 # Choix de la règle d e cumul des réponses directionnelles
◊  COMB_DIRECTION =    /  'QUAD'
                       /  'NEWMARK'    [DEFAUT]

 # Choix de la règle de cumul des DDS ( uniquement si MULT_APPUI )
◊  COMB_DDS_CORRELE =  / 'ABS'                       [DEFAUT]
                       / 'QUAD'
                       / 'LINE'
# Définition des grandeurs d'intérêt
♦  OPTION =   | 'DEPL',
              | 'VITE',
              | 'ACCE_ABSOLU',
              | 'SIGM_ELNO',
              | 'SIEF_ELGA',
              | 'SIPO_ELNO',
              | 'EFGE_ELNO',
              | 'REAC_NODA',
              | 'FORC_NODA',
               | ' SIEF_ELNO ' ,

 # Définition des types des résultats de sortie
♦  TYPE_RESU=_F(♦ TYPE = /'VALE_SPEC',
                         /' VALE_ TOTA ',
                         /' VALE_ DIRE ',
             # uniquement si COMB_DIRECTION = 'QUAD'
                         /' VALE_ QS ',
                         /' VALE_ DYNA ',
                         /' VALE_ INER ',
              # uniquement si MULT_APPUI et COMB_DIRECTION =   'QUAD'
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
                          /' VALE_ DDS ',
                    # Si TYPE = ' VALE_SPEC '
                    ♦    LIST_AXE     = l_axe                 [l_ axe ]
                    ◊   /   TOUT_ORDRE = 'OUI'               [DEFAUT]
                        /   NUME_ORDRE = l_ordre             [l_I]
                        /   LIST_ORDRE = lordre              [listis]
                        /   NUME_MODE  = l_mode              [l_I]
                        /   /   FREQ =      l_freq           [l_R]
                            /   LIST_FREQ = lfreqr8          [listr8]
                                ◊   PRECISION=/ 1.D-3        [DEFAUT]
                                              / prec [R]
                                ◊   CRITERE = / 'RELATIF'    [DEFAUT]
                                              / 'ABSOLU'
                    # uniquement si MULT_APPUI
                    ♦    / TOUT _A PPUI = 'OUI'              [DEFAUT]
                        /    LIST_A PPUI = l_appui

                    # Si TYPE = ' VALE_ QS ', ' VALE_ DYNA ', ' VALE_
INER ',                              ' VALE_ DDS ' ou ' VALE_ DIRE ':
                    ♦    LIST_A XE    = l_ a xe
                     # Si TYPE = ' VALE_ TOTA '
                    ◊    NEWMARK    = /   ' OUI '
                                     /   ' NON '             [DEFAUT]


            )
       ◊   TITRE = tit                                       [l_Kn]
       ◊   INFO =    /   1                                   [DEFAUT]
                     /   2
)
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Opérandes

3.1 Base modale de la structure

3.1.1 Opérande MODE_MECA

♦ MODE_MECA = mode

Nom du concept de type mode_meca produit par l'opérateur d'analyse modale CALC_MODES [U4.52.02].

3.1.2 Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / NUME_MODE/LIST_ORDRE

/ TOUT_ORDRE = 'OUI'

Valeur par défaut qui permet d'extraire tous les modes propres disponibles dans le concept mode.

/ NUME_ORDRE = l_ordre
/ NUME_MODE = l_mode

Extraction des modes propres définis par une liste l_ordre de numéros d'ordres (NUME_ORDRE) ou une liste l_mode de numéros de modes (NUME_MODE).

/ LIST_ORDRE = l_ordre

Idem NUME_ORDRE mais de type listis (produit par DEFI_LIST_ENTI).

3.1.3 Opérande FREQ / LIST_FREQ / PRECISION / CRITERE

/ FREQ = l_freq

Permet d'extraire les modes propres correspondant à une liste de fréquences l_freq.

/ LIST_FREQ = lfreqr8

Permet d'extraire les modes propres correspondant à une liste de fréquences lfreqr8, définie par l'opérateur DEFI_LIST_REEL [U4.34.01] (lfreqr8 est donc un concept de type listr8).

◊ | PRECISION = prec
| CRITERE =

Ces opérandes permettent d'indiquer que l'on recherche tous les modes propres dont la fréquence se trouve dans l'intervalle $inst \pm prec$. Par défaut $prec = 1.0\mathrm{D}-3$.

Suivant la valeur du mot-clé CRITERE :

'RELATIF' : l'intervalle de recherche est :

$$[inst(1-prec), inst(1+prec)]$$

'ABSOLU' : l'intervalle de recherche est :

$$[inst-prec, inst+prec]$$

3.2 Amortissements modaux

Trois possibilités existent pour définir les amortissements modaux : une liste d'amortissements réduits fournie par l'utilisateur sous forme de liste de réels (l_R) ou d'un concept de type listr8 construit par l'opérateur DEFI_LIST_REEL [U4.34.01] ou une matrice d'amortissement généralisée (matrice d'amortissement projetée sur la base des modes propres réels).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.2.1 Opérande AMOR_REDUIT

/ AMOR_REDUIT = amor

Cet opérande permet de fournir la liste des amortissements réduits sous forme d'une liste de réels (l_R). Si le nombre de coefficients fournis est inférieur aux nombres de modes propres pris en compte, le dernier coefficient est attribué au mode correspondant et aux modes suivants.

3.2.2 Opérande LIST_AMOR

/ LIST_AMOR = lamor

Cet opérande permet de fournir la liste des amortissements réduits sous forme d'un concept de type listr8. Si le nombre d'amortissements réduits est inférieur au nombre de modes propres pris en compte, le dernier coefficient est affecté aux modes suivants.

Exemple :

LIST_AMOR =('0.01', '0.02')

premier mode $\xi=0.01$ et pour tous les autres modes, $\xi=0.02$

3.2.3 Opérande AMOR_GENE

/ AMOR_GENE = amogene

On donne le nom de la matrice d'amortissement généralisé amogene produite par l'opérateur PROJ_MATR_BASE [U4.63.12] ou PROJ_BASE [U4.63.11].

Remarque :

Pour des raisons théoriques (cadre de COMB_SISM_MODAL restreint à l'amortissement « classique ») la matrice d'amortissement doit être ***diagonale*** *.*

3.3 Corrections par pseudo-mode : opérande MODE_CORR

La base modale utilisée est en général incomplète. L'évaluation du majorant moyen probable de la réponse à une excitation sismique nécessite, de ce fait, une correction par un terme représentant la contribution des modes propres négligés, dans chaque direction de séisme, appelée correction par pseudo-mode ou correction statique.

Pour chaque direction du séisme, on réalise cette correction, en ajoutant à la base modale, un pseudo-mode Ψ obtenu à partir d'un mode statique φ, champ de déplacements des nœuds de la structure soumise à une accélération uniforme **dans la direction considérée** défini par :

$$\mathbf{K}\varphi=\mathbf{M}\delta$$

- $\mathbf{K}$ matrice de rigidité de la structure
- $\mathbf{M}$ matrice de masse de la structure
- δ champ unitaire dans la direction du séisme

Le pseudo-mode Ψ est obtenu en soustrayant les contributions statiques des modes pris en compte :

$$\Psi=\varphi-\sum_{r=1}^{nmod}\frac{p_r}{\omega_r^2}\Phi_r$$

avec :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Φ_r mode propre d'indice r
- p_r facteur de participation dans la direction δ

Dans cette direction δ , pour chaque grandeur, la contribution des modes négligés est donnée par :

$$R_t = R_s - \sum_{r=1}^{nmod} R_r$$

R_s est la grandeur associée au mode statique

La définition de la correction par pseudo-mode est la suivante :

```
◊  MODE_CORR =  /  'OUI'
                ♦   PSEUDO_MODE =    acce        [ mode_stat_acce ]
                 ◊ FREQ_COUP = freq          [R]
                /  'NON'                     [DEFAUT]
```

Uniquement si MODE_CORR = 'OUI':

♦ PSEUDO_MODE = acce

Obligatoire si MODE_CORR = 'OUI', ce mot clé permet de fournir le(s) champ(s) de déplacements φ des nœuds de la structure soumise à une accélération uniforme dans une (ou plusieurs) direction(s), champ(s) calculé(s) par l'opérateur MODE_STATIQUE avec le mot-clé PSEUDO_MODE [U4.52.14]. Pour des besoins spécifiques, il est également possible de fournir un concept issu de CREA_RESU, en choisissant TYPE_RESU='MODE_MECA' et en renseignant le mot-clé AXE de AFFE pour indiquer la direction correspondant à chaque champ (définit par son numéro d'ordre) [U4.44.12]. Pour toute direction de séisme où la réponse est calculée, on calcule un pseudo-mode si acce est fourni.

Pour les autres grandeurs d'intérêt (voir les options § 3.7) autre le déplacement, il est important de calculer ces grandeurs mode par mode via CALC_CHAMP à partir des champs de déplacement s φ issus de l'opérateur MODE_STATIQUE/PSEUDO_MODE .

Par principe d u calcul statique des champs de déplacements φ aux nœuds de la structure soumis à une accélération uniforme via MODE_STATIQUE/PSEUDO_MODE , il est donc impossible d'en déduire des champs des réponses en vitesse relative ni en accélération absolue. Ainsi, il est impossible de prendre en compte de la correction statique par pseudo-mode pour les options 'VITE', 'ACCE_ABSOLU' (voir les options § 3.7) à l'exception de la réponse en accélération absolue dans le cas du mono-appui où on connaît analytiquement le champ d'accélération absolue 'ACCE_ABSOLU' de la structure soumise à une accélération uniforme. Il s'agit du champ unitaire de l'accélération absolue aux ddls en translations. Cette correction est automatiquement effectuée quelle que soit la saisie du mot-clé MODE_CORR .

◊ FREQ_COUP = fcoup

Ce mot-clé permet de fournir la fréquence à laquelle on lit sur le SRO la valeur qui va être utilisée pour le niveau de correction par pseudo-mode. Cette fréquence correspond normalement à la fréquence de coupure du signal sismique, i.e. celle où le SRO atteint (en pseudo-accélération absolue) une asymptote. Ce mot-clé est particulièrement utile lorsque la dernière fréquence de la base modale n'atteint pas la fréquence de coupure du signal sismique bien qu'elle soit néanmoins suffisante pour prendre en compte tous les modes prépondérants pour la réponse de la structure (pratique non recommandée).

La valeur saisie dans FREQ_COUP est appliquée pour toutes les directions du séisme prises en compte dans l'analyse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

En cas d'absence de ce mot-clé, la dernière fréquence existante dans la base modale MODE_MECA est utilisée dès lors que la correction par pseudo-mode est activée (MODE_CORR = 'OUI'). En plus, la valeur spectrale lue sur le spectre correspondà la la plus petite valeur de l'amortissement.

3.4 Type de l'excitation (mono-appui ou multi-appui)

Deux configurations sont possibles :

- mono-appui : la structure est étudiée avec le même mouvement d'entraînement à tous les appuis
- multi-appui : la structure est étudiée avec plusieurs mouvements d'entraînement différents aux appuis et éventuellement des déplacements différentiels des supports (DDS)

Le traitement des deux type s d 'excitation est différent . Le type d'analyse est adéquatement défini par l'utilisateur via l'opérande TYPE_ANALYSE

```
♦  TYPE_ANALYSE =  /  'MONO_APPUI'              [DEFAUT]
                   / ' MULT_APPUI '
```

3.5 Description du chargement

Le chargement sismique est défini par :

- un ou plusieurs spectres d'oscillateurs
- d es déplacements différentiels du support uniquement en cas de multi-appui

3.5.1 Mono-appui

S eul s les spectres d'oscillateurs sont définis pour le cas du mono-appui.

```
♦  SPECTRE =_F( ♦  LIST_AXE  = l_axe          [l_axe ]
                ♦  SPEC_OSCI = spec           [nappe]
                ◊  ECHELLE   = echel          [R]
                ◊  CORR_FREQ =  /  'OUI'
                                /  'NON'      [DEFAUT]
                ◊  NATURE =     /  'ACCE'     [DEFAUT]
                                /  'VITE'
                                /  'DEPL'
              )
```

3.5.1.1 Spectre d'oscillateur

♦ SPEC_OSCI = spec

Une seule nappe de spectres d'oscillateur où spec est le nom de la nappe à utiliser (spectres d'oscillateur paramétrés par la valeur de l'amortissement réduit). Ce spectre est calculé au préalable par la commande CALC_FONCTION [U4.32.04] ou lu sur un fichier par la commande LIRE_FONCTION [U4.32.02]. Dans les deux cas, le concept produit est de type fonction à deux variables (nappe).

◊ ECHELLE = echel

Un facteur d'échelle echel à appliquer à tous les points du spectre spec.

◊ NATURE = 'ACCE' [DEFAUT]

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Grandeur du spectre d'oscillateur. Par défaut, on utilise un spectre en pseudo-accélération absolue 'ACCE'. Il est possible d'utiliser plus rarement d'autres grandeurs : vitesse 'VITE' (pseudo-vitesse relative) ou déplacement 'DEPL' (déplacement relatif).

♦ LIST_AXE = (
| 'X',
| 'Y',
| 'Z',
)

On précise à chaque occurrence du mot-clé facteur les axes concernés par l'excitation décrite via une liste composée des 'X', 'Y' et 'Z'.

◊ CORR_FREQ = / 'OUI'
/ 'NON' [DEFAUT]

En fait, pour calculer les composantes de réponse en déplacement à partir d'un spectre d'oscillateur en pseudo-accélération absolue (NATURE = 'ACCE') ou pseudo-vitesse relative (NATURE = 'VITE'), on est conduit à diviser chaque valeur deux ou une fois par ω_r pulsation du mode propre réel (oscillateur non amorti). En toute rigueur l'oscillateur r est amorti et sa pulsation propre est $\omega_r\sqrt{1-\xi^2}$ et ω_r n'est que la pseudo-pulsation propre. L'opérande CORR_FREQ = 'OUI' permet de corriger ces valeurs pour prendre en compte l'amortissement du mode propre :

$$\begin{aligned} vite_{max} &= \omega_r\sqrt{1-\xi^2}\,depl_{lu} = vitesse \\ acce_{max} &= \omega_r^2\left(1-\xi^2\right)depl_{lu} = accélération \end{aligned}$$

Si on fournit un spectre de réponse en pseudo-vitesse relative (NATURE = 'VITE'), l'opérande CORR_FREQ sera nécessaire pour corriger $depl_{max}$ et $acce_{max}$ si nécessaire. De même pour un spectre de réponse en pseudo-accélération absolue (NATURE = 'ACCE') pour corriger $depl_{max}$ et $vite_{max}$.

Exemple :

Pour un spectre de sol en pseudo-accélération absolue sol_0_1 calé à $0.1\,m/s^2$ et un facteur d'échelle permettant de simuler un spectre calé à $0.25\,m/s^2$, appliqué à trois directions globales, et sans prendre en compte la correction des fréquences :

```
♦ SPECTRE =_F( SPEC_OSCI=sol_0_1,
               ECHELLE=2.5,
               NATURE='ACCE',
               LIST_AXE =('X','Y','Z',),
                CORR_FREQ    = ' NON ',
             )
```

3.5.2 Multi-appui

Dans le cas du mult i -appui, l a structure est étudiée avec plusieurs mouvements différents aux appuis. Il existe deux configurations :

- Mult-appui corrélé : tous appuis sont corrélés entre eux ;
- Mult-appui décorrélé : on peut exhiber des groupes parfaitement décorrélés entre eux, les excitations à l'intérieur d'un même groupe d'appuis étant supposées corrélées entre elles.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Ainsi, les étapes de définition du chargement sont les suivantes :

- D éfinition des appuis via l'opérande APPUIS
- D éfinition des groupes d'appuis corrélés via l'opérande GROUP_ APPUI_ CORRELE
- Définition des spectres d'oscillateurs (SRO) pour chaque appui via l'opérande SPECTRE
- Définition des D éplacements D ifférentiels Sismiques (DDS) pour chaque appui via l'opérande DEPL_MULT_APPUI

3.5.2.1 Opérande APPUIS

```
♦ APPUIS =_F( ♦ NOM    = nom_ appui
              ♦ GROUP_NO =lgrno                          [l_gr_noeud]
       )
```

où :

♦ NOM = nom_ appui
C haîne des caractères (limités 4 caractères maximaux) définie par l'utilisateur pour désigner le nom de l'appui.

♦ GROUP_NO =lgrno
L iste des GROUP_NO qui constituent l'appui .

3.5.2.2 G roupe d' appuis corrélés en mult-appui : opérande GROUP_ APPUI_ CORRELE

```
♦ GROUP_ APPUI_ CORRELE =_F( ♦ NOM = nom_ group_ appui
                             ♦ / TOUT = 'OUI'              [DEFAUT]
                               / LIST_APPUI = l_appui
                     )
```

où :

♦ NOM = nom_ group_ appui

C haîne des caractères (limités 8 caractères maximaux) définie par l'utilisateur pour désigner le nom d u groupe d 'appui s corrélés .

♦ / TOUT = 'OUI' [DEFAUT]

Tous les appuis sont corrélés entre eux et regroupés dans un seul groupe d'appuis corrélés. Ce cas correspond à la configuration multi-appui corrélé.

♦ / LIST_APPUI = l_appui

L iste des appuis corrélés entre eux et regroupés dans le groupe d'appuis corrélés.

L'utilisateur doit veiller à définir les groupes d'appuis pour tous les appuis définis par l'opérande APPUIS (voir 3.5.2.1),un appui ne pouvant appartenir qu'à un seul groupe d'appuis. Et, tous les groupes d'appuis corrélés définis par le mot-clé facteur GROUP_APPUI_CORRELE sont décorrélés entre eux.

Si tous les appuis forment un seul groupe d'appuis , i l s'agit du cas du multi-appui corrélé. Au contraire , l e cas où il y a au moins deux occurrences du facteur GROUP_ APPUI_ CORRELE , c'est-à-dire deux groupes d'appuis corrélés, correspond à la configuration mult i -appui décorrélé.

3.5.2.3 O pérande SPECTRE

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Les spectres sont définis pour chaque appui via le facteur SPECTRE comme le cas pour le mono-appui avec, en plus :

♦ NOM_APPUI = nom_appui : le nom de l'appui concerné

3.5.2.4 O pérande DEPL_MULT_APPUI

Le mouvement d'entraînement de la structure n'étant pas uniforme, ce mot-clé permet de définir la contribution à la réponse globale d'une liste d'appuis ou de groupes d'appuis. Celle-ci est établie à partir des modes statiques à déplacements imposés de la structure :

$$R_{ei} = \Phi_{si}\, \delta_{i\,max}$$

avec :

Φ_{si} mode statique pour l'appui i

$\delta_{i\,max}$ déplacement maximal de l'appui i par rapport à un appui de référence (pour lequel $\delta_{i\,max} = 0$)

Si ce mot-clé n'est pas renseigné, alors la contribution des modes statiques de la structure est nulle. Autrement dit, ceci est équivalent à renseigner $\delta_{i\,max} = 0$.

Les DDS sont définis par les occurrences du facteur DEPL_MULT_APPUI :

```
◊  DEPL_MULT_APPUI= _F( ♦   NOM_APPUI    = nom_appui
                        ◊   GROUP_NO _REFE = lgrno [l_gr_noeud]
                        ♦  MODE_STAT = stat    [mode_stat_depl]
                        ♦  GROUP_NO = lgrno    [l_gr_noeud]
                        ♦    | DX =   dx        [R]
                             | DY =   dy        [R]
                             | DZ =   dz        [R]
                          )
```

♦ NOM_APPUI = nom_appui
N om de l'appui concerné

◊ MODE_STAT = stat

Nom des modes statiques Φ_{si}, concept de type mode_stat produit par l'opérateur MODE_STATIQUE, mot_clé MODE_STAT [U4.52.14].

◊ GROUP_NO_ REFE = grno

Groupe contenant le nœud de référence par rapport auquel sont définis les déplacements relatifs des appuis (le groupe donné ne doit contenir qu'un seul nœud) .
Si cette opérande est présent, le déplacement maximal appliqué à l'appui i vaut $\delta_{i\,max} - \Delta$ où Δ est le déplacement affecté au nœud de référence noeu dans la direction considérée.

♦ GROUP_NO = lgrno

Liste des noms des groupes de nœuds correspondant aux appuis concernés par l'occurrence du mot clé facteur DEPL_MULT_APPUI.

♦ | DX = dx
| DY = dy
| DZ = dz

Valeur de déplacement relatif maximal des appuis concernés, direction par direction.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Par principe d u calcul statique des champs de déplacements φ aux nœuds de la structure soumise à un déplacement imposé à un appui donné via MODE_STATIQUE , il est impossible d'en déduire des champs des réponses en vitesse relative ni en accélération absolue. Ainsi, il est impossible de prendre en compte d es DDS pour les options 'VITE', 'ACCE_ABSOLU' (voir les options § 3.7).

Exemple :

Une ligne de tuyauteries est fixée à deux planchers distincts via des appuis différents. Deux appuis (sup 1 et sup2) sont situés sur la plancher niveau 1, tandis que (sup3 et sup4) sont situés sur l e plancher niveau 2. Quatre différents spectres sont définis. Les mouvements du plancher 1 et 2 sont considérés comme décorrélés, tandis que tous les spectres du même plancher sont considérés comme corrélés.

```
APPUIS=(
       _F(NOM=" sup 1", GROUP_NO="NO1"),
       _F(NOM=" sup2 ", GROUP_NO="NO 2 "),
       _F(NOM=" sup3 ", GROUP_NO="NO 3 "),
       _F(NOM=" sup4 ", GROUP_NO="NO 4 "),
),
GROUP_APPUI_CORRELE=(
       _F(LIST_APPUI=("sup1","sup2",), NOM="planc_1"),
       _F(LIST_APPUI=("sup3","sup4",), NOM="planc_2"),
),
SPECTRE=(
       _F(NOM_APPUI="sup1", LIST_AXE=("X"), SPEC_OSCI=SRO1_NO1,),
       _F(NOM_APPUI="sup2", LIST_AXE=("X"), SPEC_OSCI=SRO1_NO2,),
       _F(NOM_APPUI="sup3", LIST_AXE=("X"), SPEC_OSCI=SRO2_NO1,),
       _F(NOM_APPUI="sup4", LIST_AXE=("X"), SPEC_OSCI=SRO2_NO2,),
),
DEPL_MULT_APPUI=(
       _F(MODE_STAT=MODE_STA, NOM_APPUI="sup1", DX=DDS1),
       _F(MODE_STAT=MODE_STA, NOM_APPUI="sup2", DX=DDS2),
       _F(MODE_STAT=MODE_STA, NOM_APPUI="sup3", DX=DDS3),
       _F(MODE_STAT=MODE_STA, NOM_APPUI="sup4", DX=DDS4),
),
```

3.6 Règles de combinaison

On raisonne grandeur par grandeur (déplacement, vitesse ou accélération, efforts internes, contraintes) à partir des valeurs modales associées aux modes propres pris en considération. Pour chaque grandeur, on traitera **indépendamment** chaque degré de liberté (champs aux nœuds de déplacement, vitesse ou accélération), ou chaque composante de torseur (efforts internes) ou de contrainte. C'est ce que nous appelons la réponse R dans l'énoncé des règles de combinaison.

Plusieurs niveaux de combinaisons sont nécessaires :

- combinaison des modes propres,
- correction statique par pseudo-mode,
- combinaison suivant les directions de séisme.

Dans le cas d'une analyse multi-appui, les règles de combinaison sont modifiées pour tenir compte des différentes excitations appliquées à des groupes d'appuis. Il est également possible de calculer séparément les composantesde la réponse inertielle et due aux DDS.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.6.1 Mono-appui

Le calcul de la réponse totale résultant des cumuls des réponses modales puis directionnelles est présentée sur la figure 13.

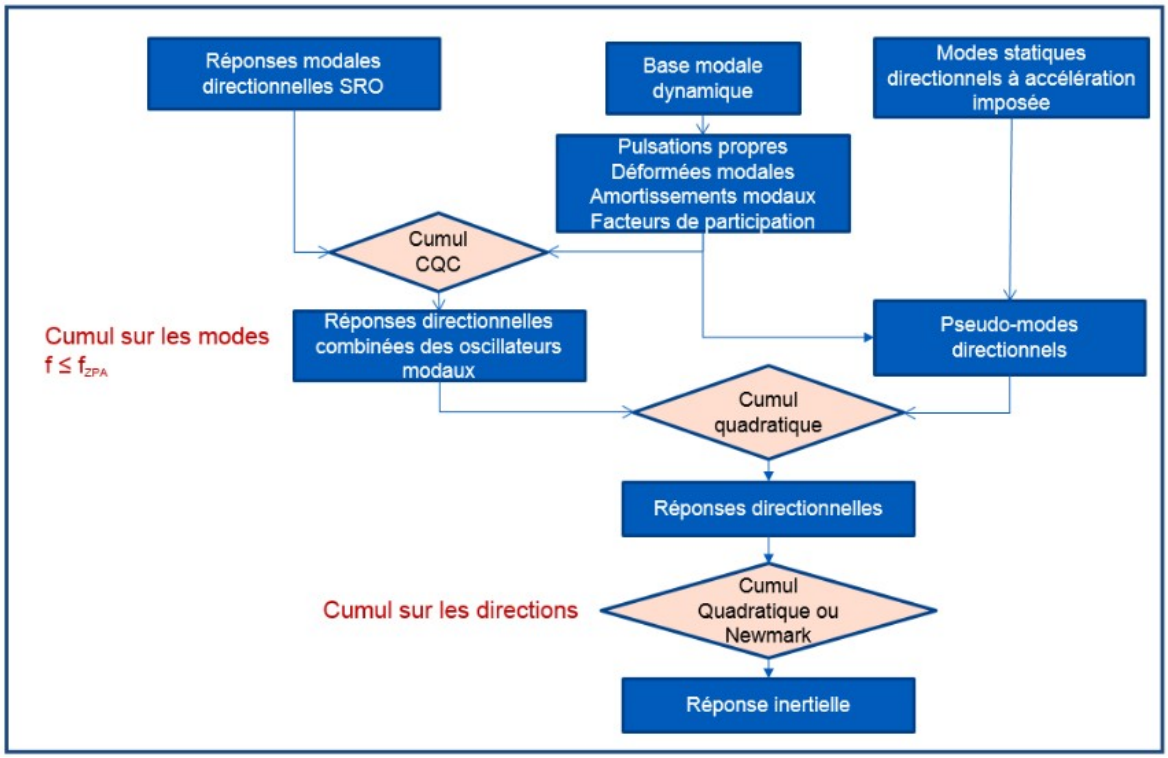


Figure 3.6.1-1: Calcul spectral mono-appui (Réf. [6])

La réponse **totale** de la structure R est obtenue par **combinaison des réponses directionnelles** R_X où X représente une des directions du repère GLOBAL de définition du maillage (X, Y, Z). La réponse directionnelle est donnée par :

$$R_X = \sqrt{R_d^2 + (R_t + R_{qs})^2}$$

- R_d réponse combinée dynamique des oscillateurs modaux établie par le cumul des modes avec la règle définie par le mot-clé COMB_MODE [§ 3.6.3]
- R_t correction des effets statiques des modes négligés (pseudo-mode) [§ 3.5.1.1]
- R_{qs} réponse combinée quasi-statique des oscillateurs modaux établie par le cumul des modes uniquement avec la règle GUPTA' par le mot-clé COMB_MODE (TYPE ='GUPTA') [§ 3.6.3.6]

La règle de combinaison des réponses directionnelles est définie par le mot-clé COMB_DIRECTION [§ 3.6.4].

En résumé, pour le cas du mono-appui, la règle du cumul des modes est définie par le mot clé COMB_MODE [§ 3.6.3] et des directions par le mot clé COMB_DIRECTION [§ 3.6.4].

3.6.2 Multi-appui

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Pour la réponse totale du cas multi-appui, l'enchaînement des cumuls est présenté sur la figure 14.

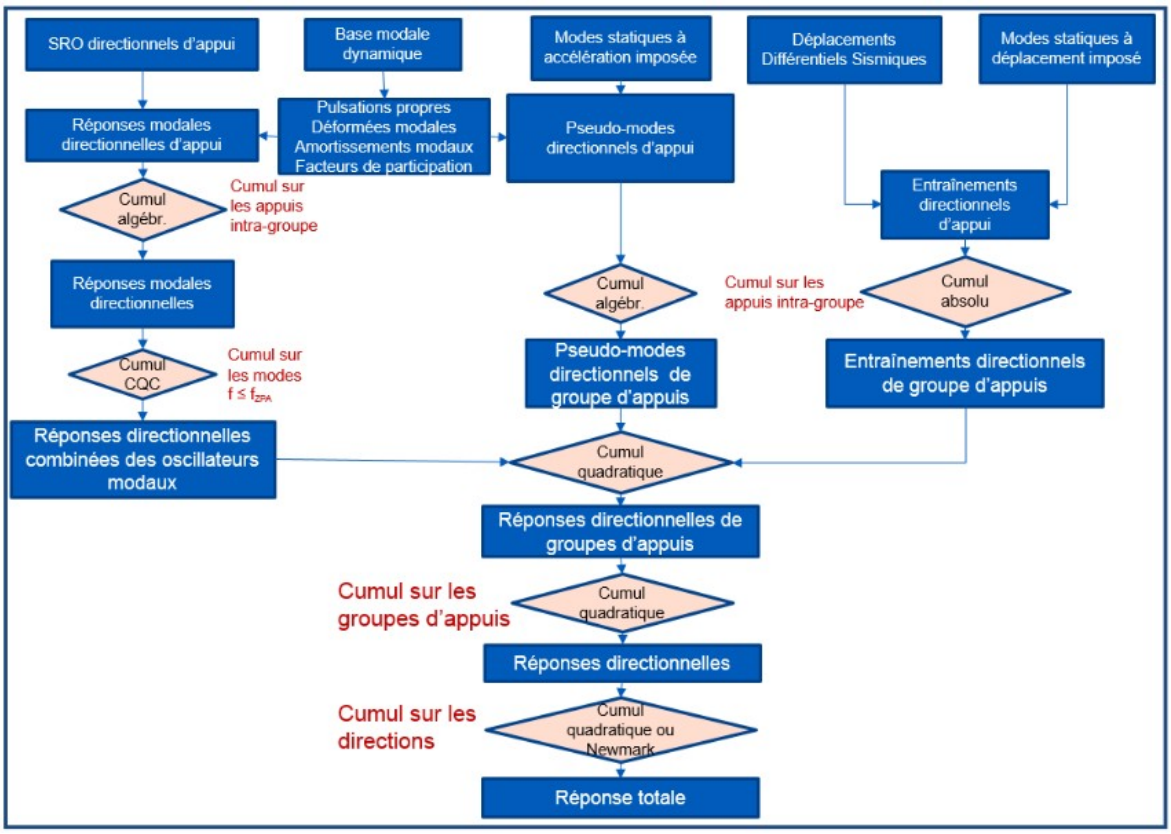


Figure 3.6.2-1: Calcul spectral mult-appui (Réf. [6])

La réponse **totale** de la structure R est obtenue par **combinaison des réponses directionnelles** R_X où X représente une des directions du repère GLOBAL de définition du maillage (X, Y, Z). La réponse directionnelle est donnée par :

$$R_X = \sqrt{R_d^2 + R_t^2 + R_e^2}$$

- R_d réponse combinée dynamique des oscillateurs modaux établie par le cumul des modes avec la règle définie par le mot clé COMB_MODE [§ 3.6.3]
- R_t correction des effets statiques des modes négligés (pseudo-mode) [§ 3.3]
- R_e réponse au mouvement d'entraînement [§ 3.5.2.4]

Pour la réponse dynamique combinée R_d par direction, on cumule quadratiquement des réponses dynamiques combinées des différents groupes d'appuis corrélés (pas de choix laissé à l'utilisateur pour ce cumul inter-groupe) :

$$R_d = \sqrt{\sum_{m=1}^{nbG} R_{d,m}^2}$$

- $R_{d,m}$ réponse combinée dynamique des oscillateurs modaux pour le m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbG nombre total de groupes d'appuis corrélés

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Pour la réponse dynamique combinée au m-ième groupe d'appuis $R_{d,m}$, on cumule des réponses des modes du m-ième groupe d'appuis corrélés avec la règle de combinaison définie par le mot clé COMB_MODE [§ 3.6.3] (exemple d'illustration pour la règle SRSS) :

$$R_{d,m}=\sqrt{\sum_{i=1}^{nbM} R_{d,m,i}^2}$$

- $R_{d,m,i}$ réponse combinée dynamique du i-ième mode pour le m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbM nombre total de modes

Pour la réponse dynamique combinée au i-ième mode au m-ième groupe d'appuis $R_{d,m,i}$, on cumule linéairement des réponses du i-ième mode des appuis corrélés dans le m-ième groupe d'appui corrélés (pas de choix laissé à l'utilisateur pour ce cumul intra-groupe) :

$$R_{d,m,i}=\sum_{n=1}^{nbA_m} R_{d,m,i,n}$$

- $R_{d,m,i,n}$ réponse dynamique du i-ième mode due au SRO au n-ième appui dans le m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbA_m nombre total des appuis corrélés constituant le m-ième groupe d'appuis corrélés

En résumé, la réponse dynamique combinée R_d de la direction considérée résulte des cumuls linéaires des appuis corrélés, et puis, cumuls des modes par la règle définie par le mot-clé COMB_MODE [§ 3.6.3] et enfin cumuls quadratiques des groupes d'appuis.

Pour la correction des effets statiques des modes négligés (pseudo-mode) combinée R_t par direction, on cumule linéairement des corrections des appuis corrélés dans un groupe d'appuis et puis quadratiquement des corrections des groupes d'appuis (pas de choix laissé à l'utilisateur pour ces cumuls) :

$$R_t=\sqrt{\sum_{m=1}^{nbG} R_{t,m}^2}$$
$$R_{t,m}=\sum_{m=1}^{nbA_m} R_{t,m,n}$$

- $R_{t,m,n}$ correction due au SRO au n-ième appui dans le m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbA_m nombre total des appuis corrélés constituant le m-ième groupe d'appuis corrélés
- $R_{t,m}$ correction du m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbG nombre total des groupes d'appuis corrélés

Pour la réponse au mouvement d'entraînement R_e par direction, on cumule des réponses des appuis corrélés dans un groupe d'appuis par la règle définie dans COMB_ DDS_CORRELE (§ 3.6.5) et puis quadratiquement des réponses des groupes d'appuis (pas de choix laissé à l'utilisateur pour ce cumul inter-groupe). Pour cette composante, la règle de combinaison des DDS des appuis corrélés est en val eur absolue, par défaut (formule d'illustration avec règle absolue) :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$$R_e = \sqrt{\sum_{m=1}^{nbG} R_{e,m}^2}$$

$$R_{e,m} = \sum_{m=1}^{nbA_m} |R_{e,m,n}|$$

- $R_{e,m,n}$ réponse due au DDS au n-ième appui dans le m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbA_m nombre total des appuis corrélés constituant le m-ième groupe d'appuis corrélés
- $R_{e,m}$ réponse combinée du m-ième groupe d'appuis corrélés
- nbG nombre total des groupes d'appuis corrélés

En résumé, pour le cas du mulit-appui, le premier cumul étant linéaire est effectué entre les différents nœuds (NOEUD) d'un même appui pour toutes les composants sans choix laissé à l'utilisateur. En suite, la règle du cumul intra-groupe (réponses entre des appuis corrélés au sein d'un même groupe) est linéaire pour les réponses des oscillateurs et du pseudo-mode (pas de choix à l'utilisateur) tandis que pour la réponse au DDS, la règle est définie dans COMB_DDS_CORRELE (§ 3.6.5). Ensuite, le cumul des modes est définie par le mot clé COMB_MODE [§ 3.6.3], puis, le cumul quadratique des groupes d'appuis (cumul inter-groupe quadratique sans choix à l'utilisateur). En fin, le cumul des directions est défini par le mot clé COMB_DIRECTION [§ 3.6.4].

3.6.3 Combinaison des modes propres : mot clé COMB_MODE

♦ COMB_MODE

La réponse de la structure R_d , **dans une direction de séisme**, est obtenue par une des combinaisons possibles (définie par l'opérande TYPE) des contributions de chacun des modes propres pris en compte. Chaque mode propre est considéré comme un oscillateur indépendant de réponse R_r défini par (ω_r, ξ_r) . La réponse est lue par interpolation dans le spectre d'oscillateur du signal d'excitation dans cette direction.

Pour une excitation mono-appui, la réponse R_r de l'oscillateur r est donnée par :

$$R_r = \frac{p_r}{\omega_r^2} S_r \Phi_r$$

- Φ_r grandeur modale (déplacement, effort généralisé, réaction) associée au mode propre d'indice r
- P_r facteur de participation modale associé au mode r dans la direction étudiée
- S_r valeur du spectre de réponse, par exemple en pseudo-accélération, pour l'oscillateur r , pour la valeur d'amortissement spécifiée

Plusieurs règles de combinaison des modes propres sont disponibles. Elles sont choisies par l'opérande TYPE. La règle de combinaison des modes propres est commune pour toutes les directions considérées.

3.6.3.1 Combinaison quadratique TYPE = 'SRSS'

Cette combinaison (Square Root of Sum of Squares) correspond à l'hypothèse d'indépendance stricte des oscillateurs associés à chaque mode propre :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$$R_d = \sqrt{\sum_{r=1}^{nmod} R_r^2}$$

Notons que cette règle de combinaison, bien que très couramment utilisée, peut être mal adaptée quand l'hypothèse d'indépendance n'est pas vérifiée pour des modes propres voisins ou fortement amortis.

3.6.3.2 Combinaison quadratique complète TYPE = 'CQC'

La combinaison quadratique (établie par DER KIUREGHIAN [bib1]) apporte une correction à la règle précédente en introduisant des coefficients de corrélation dépendant des amortissements et des distances entre modes propres voisins (cf. [R4.05.03]) :

$$R_d = \sqrt{\sum_{r_1} \sum_{r_2} \rho_{r_1 r_2} R_{r_1} R_{r_2}}$$

avec le coefficient de corrélation :

$$\rho_{ij} = \frac{8\sqrt{\xi_i \xi_j \omega_i \omega_j}\left(\xi_i \omega_i + \xi_j \omega_j\right)\omega_i \omega_j}{\left(\omega_i^2 - \omega_j^2\right)^2 + 4\xi_i \xi_j \omega_i \omega_j\left(\omega_i^2 + \omega_j^2\right) + 4\left(\xi_i^2 + \xi_j^2\right)\omega_i^2 \omega_j^2}$$

3.6.3.3 Somme des valeurs absolues TYPE = 'ABS'

Cette combinaison correspond à une hypothèse de dépendance complète des oscillateurs associés à chaque mode propre :

$$R_d = \sum_{r=1}^{nmod} |R_r|$$

Notons que cette règle de combinaison est à déconseiller, car elle est trop fortement conservatrice et conduit à un sur-dimensionnement systématique.

3.6.3.4 Combinaison avec règle des 10% TYPE = 'DPC'

Les modes voisins (dont les fréquences différent de moins de 10%) sont d'abord combinés par sommation des valeurs labsolues. Les valeurs résultant de cette première combinaison sont ensuite combinées quadratiquement. Cette méthode a été proposée par le règlement américain U.S. Nuclear Regulatory Commission (Regulatory Guide 1.92 - Février 1976) pour atténuer le conservatisme de la méthode précédente. Elle reste en défaut pour des structures à forte densité modale

Les modes i et $i+1$ sont voisins quand :

$$2\frac{(f_{i+1} - f_i)}{(f_{i+1} + f_i)} \leq 10\,\%$$

3.6.3.5 Combinaison de ROSENBLUETH TYPE = 'DSC'

Cette règle (proposée par E. ROSENBLUETH et J. ELORDY [bib2]) introduit une corrélation entre modes, différente de celle de la méthode CQC. Les réponses des oscillateurs sont combinées par double somme (Double Sum Combination) :

$$R_d = \sqrt{\sum_{r_1} \sum_{r_2} \rho_{r_1 r_2} R_{r_1} R_{r_2}}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Elle nécessite une donnée supplémentaire, la durée s de la phase “forte” du séisme définie par l'opérande DUREE. L'utilisateur doit veiller à la homogénéisation des unités, la fréquence est en Hz, la durée doit être donc en seconde.

Le coefficient de corrélation est alors :

$$\rho_{ij}=\left(1+\left(\frac{\omega'_i-\omega'_j}{\xi'_i\omega_i+\xi'_j\omega_j}\right)^2\right)^{-1}$$

$$où\quad \omega'_i=\omega_i\sqrt{1-\xi_i^2}\quad et\quad \xi'_i=\xi_i+\frac{2}{s\,\omega_i}$$

3.6.3.6 Combinaison selon Gupta TYPE = 'GUPTA'

Gupta [NRC1.92], pour prendre en compte les corrélations entre modes dues à la partie quasi-statique de la réponse, introduit le facteur de réponse rigide, qui fait varier de 0 à 1 la corrélation entre les réponses modales de fréquences intermédiaires entre $FREQ_1$ et $FREQ_2$, deux fréquences à déterminer par l'utilisateur.

Gupta décompose chaque réponse modale R_r en une partie dynamique R_r^p et une partie quasi-statique R_r^{qs} : $R_r^{qs}=\alpha_r R_r$ et $R_r^p=\sqrt{1-\alpha_r^2}R_r$

Ainsi, pour chaque mode r, on affecte le facteur de réponse rigide α_r à la réponse modale R_r :

$$\alpha_r=0 \text{ pour } f\le f_1 \text{ et } \alpha_r=1 \text{ pour } f\ge f_2$$

α_r est estimé pour la fréquence f_r selon la formule suivante :

$$\alpha_r=\frac{\ln f_r/f_1}{\ln f_2/f_1}$$

La réponse combinée dynamique des oscillateurs modaux est effectuée selon la combinaison 'CQC' :

$$R_d=\sqrt{\sum_{r_1}\sum_{r_2}\rho_{r_1r_2}R_{r_1}^pR_{r_2}^p}$$

La réponse combinée quasi-statique des oscillateurs modaux est effectuée selon une combinaison algébrique :

$$R_{qs}=\sum_{r=1}^{nmod}R_r^{qs}$$

Cette combinaison selon GUPTA n'est disponible que dans le cas mono-appui.

3.6.4 Combinaison suivant les directions : mot clé COMB_DIRECTION

```
◊  COMB_DIRECTION =     /   'QUAD'
                        /   'NEWMARK'     [DEFAUT]
```

Deux règles de combinaison des réponses directionnelles sont disponibles.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Cette opérande n'est pas obligatoire. S'll y a plus d'une direction saisie dans l'opérande SPECTRE, la règle COMB_DIRECTION = NEWMARK est appliquée par défaut. S'il y a une seule direction saisie dans l'opérande SPECTRE, aucune combinaison directionnelle n'est effectuée.

3.6.4.1 Combinaison quadratique : COMB_DIRECTION = 'QUAD'

Cette combinaison correspond à l'hypothèse d'indépendance stricte des réponses dans chaque direction :

$$R=\sqrt{R_X^2+R_Y^2+R_Z^2}$$

3.6.4.2 Combinaison de NEWMARK : COMB_DIRECTION = 'NEWMARK'

Pour chacune des directions $i(X,Y,Z)$, on calcule les 8 valeurs :

$$R_i=\pm R_X \pm 0{,}4\,R_Y \pm 0{,}4\,R_Z$$

Ce qui conduit, par permutation circulaire, à 24 (respectivement 8 et 2) valeurs si 3 (respectivement 2 et 1) excitations directionnelles sont définies

$$R_{max}=max(R_i)$$

3.6.5 Mot-clé COMB_DDS_CORRELE

◊ COMB_DDS_CORRELE = / 'ABS' [DEFAUT]
/ 'QUAD'
/ 'LINE'

Ce mot-clé définit la règle de combinaison des réponses aux mouvements d'entraînement des appuis corrélés.

3.6.5.1 Combinaison quadratique COMB_DDS_CORRELE = 'QUAD'

$$R_e=\sqrt{\sum R_{ej}^2}$$

3.6.5.2 Combinaison linéaire COMB_DDS_CORRELE = 'LINE'

$$R_e=\sum_{j=1}^{nbA} R_{ej}$$

3.6.5.3 Combinaison en valeur absolue COMB_DDS_CORRELE = 'ABS'

$$R_e=\sum_{j=1}^{nbA} |R_{ej}|$$

3.7 Option de calcul : opérande OPTION

♦ OPTION

Liste des grandeurs (options de calcul) modales dont on veut déterminer la réponse combinée :

'DEPL'	déplacement relatif
'VITE'	vitesse relative
'ACCE_ABSOLU'	accélération absolue = accélération relative + accélération d'entraînement
'SIGM_ELNO'	contraintes par éléments aux nœuds
'SIEF_ELGA'	contraintes par éléments aux points d'intégration
'SIPO_ELNO'	contraintes dans la section de poutre décomposées en contributions de chaque effort généralisé

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

'EFGE_ELNO', 'SIEF_ELNO'	efforts généralisés par éléments aux nœuds
'REAC_NODA'	réactions aux appuis
'FORC_NODA'	efforts internes

Remarque :
Pour le calcul des options d'efforts ou contraintes sur une partie du modèle définie par des groupes de mailles, il est possible d'enchaîner un calcul sur le concept mode produit par l'opérateur CALC_CHAMP.

3.8 Type de résultat de sortie : opérande TYPE_RESU

Il est possible de sortir plusieurs résultats par l'occurrence de l'opérande

♦
```
TYPE_RESU =_ F(    TYPE = / ' VALE_ XXX',
                                ...
                ),
```

En fonction du type de résultat défini par le mots-clés TYPE, plusieurs mot-clés sont éventuellement nécessaires pour filtrer les résultats de sortie :

- Réponse modale : TYPE = /'VALE_SPEC'
- Réponse totale : TYPE = /'VALE_TOTA'
- Réponse directionnelle : TYPE = /'VALE_DIRE'

Uniquement si COMB_DIRECTION = ' QUAD ':

- Réponse dynamique : TYPE = /'VALE_DYNA'
- Réponse quasi-statique : TYPE = /'VALE_QS'
- Réponse inertielle : TYPE = /'VALE_INER'
- Réponse aux DDS (uniquement multi-appui) : TYPE = /'VALE_DDS'

3.8.1 Réponse modale TYPE = /'VALE_SPEC'

En mono-appui, on peut sortir les réponses par mode et par direction :

$$R_{d,i,k} = r_i \lambda_{i,k} \frac{SA(f_i, \xi_i)}{\omega_i^2}$$

où :

- r_i réponse modale (vecteur mode propre) du i-ième mode
- $\lambda_{i,k}$ facteur de participation modal du i-ième mode dans la direction $k = X, Y, Z$
- $SA(f_i, \xi_i)$ valeur lue sur le SRO à la fréquence f_i et à l'amortissement ξ_i

En multi-appui, on peut sortir les réponses par mode, par appui et par direction :

$$R_{d,i,n,k} = r_i \lambda_{i,n,k} \frac{SA_n(f_i, \xi_i)}{\omega_i^2}$$

où :

- r_i réponse modale (vecteur mode propre) du i-ième mode
- $\lambda_{i,n,k}$ facteur de participation modaledu i-ième mode par mouvement au n-ième appui dans la direction $k = X, Y, Z$
- $SA_n(f_i, \xi_i)$ valeur lue sur le SRO du mouvement au n-ième appui à la fréquence f_i et à l'amortissement ξ_i

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
# Si TYPE = ' VALE_SPEC '
   ♦   LIST_AXE     = l_axe                [l_ axe ]
   ◊  /  TOUT_ORDRE = 'OUI'              [DEFAUT]
      /  NUME_ORDRE = l_ordre             [l_I]
      /  LIST_ORDRE = lordre              [listis]
      /  NUME_MODE  = l_mode              [l_I]
      /  /  FREQ =      l_freq            [l_R]
      /  LIST_FREQ = lfreqr8              [listr8]
         ◊  PRECISION=/ 1.D-3             [DEFAUT]
                      / prec              [R]
         ◊  CRITERE = / 'RELATIF'         [DEFAUT]
                      / 'ABSOLU'
   # uniquement si MULT_APPUI
   ♦    / TOUT _A PPUI  = 'OUI'       [DEFAUT]
      /   LIST_A PPUI   = l_appui
```

3.8.1.1 Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / NUME_MODE/LIST_ORDRE

/ TOUT_ORDRE = 'OUI'

Valeur par défaut qui permet d'extraire les résultats à tous les modes propres calculés

/ NUME_ORDRE = l_ordre
/ NUME_MODE = l_mode
/ LIST_ORDRE = l_ordre

Voir § 3.1.2

3.8.1.2 Opérande FREQ / LIST_FREQ / PRECISION / CRITERE

Voir § 3.1.3

3.8.1.3 Opérande TOUT_APPUI / LIST_APPUI

Uniquement utilisé pour le cas du mult-appui.

/ TOUT_ORDRE = 'OUI'
Valeur par défaut qui permet d'extraire les résultats des modes dû au mouvement de tous les appuis.

/ LIST_A PPUI = l_appui
Liste des noms des appuis, définis par le mot-clé APPUIS (voir § 3.5.2.1) pour lesquels les résultats sont extraits.

3.8.2 Réponse totale TYPE = 'VALE_TOTA'

Il est possible de sortir :
- Si COMB_DIRECTION = 'QUAD' la réponse totale
- Si COMB_DIRECTION = 'NEWMARK' la réponse totale maximale et les 24 (resp. 8 et 2) combinaisons correspondant à 3 directions d'excitations (resp. 2 et 1) (voir § 3.6.4.2)

```
# Si TYPE = ' VALE_ TOTA '
♦   NEWMARK   = 'OUI'                [DEFAUT]
```

active l'écriture des 24 (resp. 8 et 2) combinaisons correspondant à 3 directions d'excitations (resp. 2 et 1)

3.8.3 Réponse directionnelle TYPE = 'VALE_DIRE'

Il est possible de sortir la réponse directionnelle (voir § 3.6) :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$$R_X = \sqrt{R_d^2 + R_t^2 + R_e^2}$$

```
# Si TYPE = ' VALE_ INER ', ' VALE_ DDS ':
```
♦ LIST_AXE = l_axe
Liste des axes concernés par l'excitation décrite via une liste composée des 'X', 'Y' et 'Z'.

3.8.4 Partition des composantes inertielle et due aux DDS de la réponse

Pour l'analyse sismique des tuyauteries, la partition des composantes inertielle et au DDS de la réponse peut s'avérer nécessaire en vue d'un post-traitement RCC-M [bib3]. Il est possible de sortir ces composantes pour chaque direction ainsi que leur combinaison par la règle COMB_DIRECTION = 'QUAD' (et uniquement cela).

```
# Si TYPE = ' VALE_ INER ', ' VALE_ DDS ':
```
♦ LIST_AXE = l_axe
Liste des axes concernés par l'excitation décrite via une liste composée des 'X', 'Y' et 'Z'.

3.8.4.1 Composante inertielle : TYPE = 'VALE_INER'

Pour la direction X , la composante inertielle directionnelle est définie comme suit :

$$R_{I,X} = \sqrt{R_{d,X}^2 + R_{t,X}^2}$$

- $R_{d,X}$ réponse modale combinée des oscillateurs modaux pour la direction X (voir § 3.6)
- $R_{t,X}$ contribution de la correction statique des modes négligés (pseudo-mode) (voir § 3.6)

La composante inertielle est le résultat du cumul quadratique des trois réponses inertielles directionnelles :

$$R_{I,tot} = \sqrt{R_{I,X}^2 + R_{I,Y}^2 + R_{I,Z}^2}$$

3.8.4.2 Composante due aux DDS: TYPE = 'VALE_DDS'

Il s'agit de la réponse statique induite par les déplacements différentiels sismiques des ancrages (mouvement d'entraînement), uniquement en cas du multi-appui. Pour le cas du mono-appui, cette composante est considérée nulle.

Pour la direction X , la composante directionnelle de la réponse due aux DDS est définie comme présentée dans § 3.6.2.

La composante due aux DDS est le résultat du cumul quadratique des trois directions :

$$R_{E,tot} = \sqrt{R_{e,X}^2 + R_{e,Y}^2 + R_{e,Z}^2}$$

On rappelle que le cumul intra-groupe des réponses au DDS est effectué selon la règle définie par l'utilisateur via COMB_DDS_CORRELE (§ 3.6.5.3) alors que le cumul inter-groupe est quadratique sans choix laissé à l'utilisateur.

3.8.5 Partition des contributions dynamique et quasi-statique

Il est possible de sortir ces parts pour chaque direction ainsi que leur combinaison par la règle COMB_DIRECTION = ' QUAD ' (et uniquement cela).

```
# Si TYPE = ' VALE_ DYNA ', ' VALE_ QS ':
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

♦ LIST_AXE = l_axe
Liste des axes concernés par l'excitation décrite via une liste composée des 'X', 'Y' et 'Z'.

3.8.5.1 Part dynamique : TYPE = 'VALE_DYNA'

Pour la direction X, la partie dynamique directionnelle $R_{d,X}$ est définie comme réponse modale combinée des oscillateurs modaux pour la direction X (voir § 3.6).

La partie dynamique est le résultat du cumul quadratique des trois réponses dynamiques directionnelles :

$$R_{d,tot}=\sqrt{R_{d,X}^2+R_{d,Y}^2+R_{d,Z}^2}$$

3.8.5.2 Part quasi-statique : TYPE = ' VALE_ QS '

Pour la direction X, la partie quasi-statique directionnelle $R_{t,X}$ est définie comme la contribution de la correction statique des modes négligés (pseudo-mode) (voir § 3.6).

La partie quasi-statique est le résultat du cumul quadratique des trois réponses quasi-statiques directionnelles :

$$R_{t,tot}=\sqrt{R_{t,X}^2+R_{t,Y}^2+R_{t,Z}^2}$$

3.9 Opérande TITRE

◊ TITRE = t
Titre attaché au concept produit par cette opérateur [U4.03.01].

3.10 Opérande INFO

◊ INFO

/1 : impression sur le fichier " message " des informations suivantes :

Informations générales :
- nom de la base modale utilisée,
- nombre de vecteurs propres retenus,
- règle de combinaison modale choisie,
- options de calcul demandées.

Information sur la base modale prise en considération (seuls les modes pris en compte sont imprimés) :
- numéro du mode
- fréquence du mode
- facteur de participation
- masse modale participative (MASSE MODALE EFFECTIVE)
- pourcentage de la masse modale participative (MASSE MODALE UN EFFECTIVE)

Information sur l es spectres et les valeurs lues sur les spectres à chaque appui, chaque mode et chaque direction :
- nature de l'excitation
- valeurs lues sur les spectres prises en compte des corrections par CORR_FREQ

Information sur la correction statique par pseudo-mode à chaque appui et chaque direction :
- la fréquence à laquelle la valeur ZPA est lue
- valeurs ZPA prises en compte des corrections par CORR_FREQ

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Information sur l es règles de combinaisons :
  - Combinaison des réponses aux DDS entre les appuis corrélés
  - Combinaison des réponses directionnelles

/2 : idem 1

4 Concept en sortie

L'opérateur COMB_SISM_MODAL produit un concept de type mult_elas. Les différents résultats sont accessibles via le paramètre NOM_CAS. La valeur du paramètre NOM_CAS est définie par l'opérateur COMB_SISM_MODAL en fonction des résultats de sortie souhaités (voir § 3.8). Ainsi, il convient d'appliquer les règles de nommage ci-dessous pour déterminer la valeur du paramètre NOM_CAS associée au résultat souhaité. On rappelle que NOM_CAS est une chaîne de caractères limitée à 16 caractères.

L'impression dans le fichier "résultat" des champs calculés est réalisée via les commandes IMPR_RESU [U4.91.01] en spécifiant la valeur du paramètre NOM_CAS appropriée.

TYPE =	correspondance	Règle NOM_CAS	Exemple NOM_CAS
VALE_SPEC	Cas mono-appui : réponse du i-ième mode dans la k-ième direction	' SPEC _ ik '	' SPEC_1X ' ' SPEC_3Y '
	Cas mult-appui : réponse du i-ième mode due au mouvement de l'appui nom_appui dans la k-ième direction	' SPEC _ ik nom_appui '	' SPEC_1X sup1 ' ' SPEC_3Y sup2 '
VALE_ TOTA	cumul total sur les directions (valeur maximale R_{max} si COMB_DIRECTION = 'NEWMARK')	' TOTA '	' TOTA '
	Cumul sur les directions à la j-ième combinaison uniquement si COMB_DIRECTION = 'NEWMARK'	' NEWM_j '	' NEWM_ 1 ' ' NEWM_ 2 '
VALE_ D IRE	Réponse directionnelle X	' DIRE _X '	' DIRE _X '
	Réponse directionnelle Y	' DIRE _Y '	' DIRE _Y '
	Réponse directionnelle Z	' DIRE _Z '	' DIRE _Z '
Uniquement si COMB_DIRECTION = ' QUAD '			
VALE_ DYNA	contribution dynamique directionnelle, direction X	' PART_DYNA_X '	' PART_DYNA_X '
	contribution dynamique directionnelle, direction Y	' PART_DYNA_Y '	' PART_DYNA_Y '
	contribution dynamique directionnelle, direction Z	' PART_DYNA_Z '	' PART_DYNA_Z '
	contribution dynamique	' PART_ DYNA '	' PART_ DYNA '

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

VALE_ QS	contribution quasi-statique, dir direction X	' PART_QS_X '	' PART_QS_X '
	contribution quasi-statique dir, direction Y	' PART_QS_Y '	' PART_QS_Y '
	contribution quasi-statique, dir direction Z	' PART_QS_Z '	' PART_QS_Z '
	contribution quasi-statique totale	' PART_QS '	' PART_QS '
VALE_ DDS	Réponse dir au mouvement d'entraînement, direction X	' PART_DDS_X '	' PART_DDS_X '
	Réponse dir au mouvement d'entraînement, direction Y	' PART_D DS _Y '	' PART_D DS _Y '
	Réponse dir au mouvement d'entraînement, direction Z	' PART_D DS _Z '	' PART_D DS _Z '
	Réponse au mouvement d'entraînement	' PART_ DDS '	' PART_ DDS '
VALE_ INER	Composante inertielle dir, direction X	' PART_INER_X '	' PART_INER_X '
	Composante inertielle, dir direction Y	' PART _ INER _Y '	' PART _ INER _Y '
	Composante inertielle dir direction Z	' PART _ INER _Z '	' PART _ INER _Z '
	Composante inertielle	' PART _ INER '	' PART _ INER '

Exemple :

On souhaite sortir des réponses totales ainsi que des réponses directionnelles pour les directions 'X','Y':

```
TYPE_RESU=(
          _F(TYPE="VALE_TOTA"),
          _F(TYPE="VALE_DIRE",LIST_AXE=("X", "Y"),
          ),
```

On souhaite imprimer à partir du résultat resu de COMB_SISM_MODAL sous SD m ult_elas les résultats sous format MED pour les réponses directionnelles 'X','Y' et sous format RESULTAT pour la réponse totale:

```
 IMPR_RESU(FORMAT="RESULTAT", RESU=_F(RESULTAT=resu, NOM_CAS="TOTA"),),
IMPR_RESU(FORMAT="MED", RESU=(
                          _F(RESULTAT=resu, NOM_CAS="DIRE_X"),
                          _F(RESULTAT=resu, NOM_CAS="DIRE_Y"),
                             ),
          ),
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Bibliographie

- "A response spectrum method for random vibrations" Report UCB/EERC - 80/15 Berkeley (1980).
- "Response of linear systems to certain transient disturbances" Proceedings, Fourth World conference on earthquake engineering - Santiago of Chile (1969).
- Réponse sismique par méthode spectrale [R4.05.03].
- [NRC1.92] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.92 – Combining Modal Responses and Spatial Components in Seismic Response Analysis (July 2006).
- Expertise de l'analyse sismique de l'EPR Flammanville par COMB_SISM_MODAL et perspectives de développements, CR-AMA-11.210, E. Boyère, I. Zentner (15/07/2011).
- Projet Risque Sismique. « Analyse sismique spectrale appliquée aux tuyauteries : guide méthodologique » 6125-1714-2017-03047-FR Version 1.0

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)