Opérateur CALC_COUPURE

Résumé :
On présente ici la commande qui permet de réaliser de calculer le torseur d'efforts résultants de l'action d'un groupe de mailles sur un groupe de nœuds en un point donné.

La commande peut également gérer la combinaison des torseurs modaux dans le cadre d'une analyse modale spectrale (avec ou sans signature, combinaison CQC des modes et combinaison quadratique ou de Newmark pour les directions).

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

Table des Matières

1But....3
2Syntaxe....4
3Principes de fonctionnement de la commande....5
4Format du tableau de sortie....6
5Traitement des résultats modaux....6
5.1Calcul de la réponse d'oscillateur....6
5.1.1Rappels de calcul transitoire sur base modale....6
5.1.2Rappels de la méthode spectrale....7
5.1.3Combinaison des modes pour une direction....7
5.1.4Combinaison des directions....8
5.1.4.1Combinaisons de Newmark....8
5.1.4.2Combinaison quadratique....8
6Opérandes....9
6.1Opérande RESULTAT....9
6.2Opérande FORCE....9
6.3Opérande MODAL_SPECTRAL....9
6.4Opérandes AMOR_REDUIT / MODE_CORR / SPEC_OSCI / ECHELLE / MODE_SIGNE / COMB_DIRECTION....9
6.5Opérande AMOR_REDUIT....9
6.6Opérande MODE_CORR....9
6.7Opérandes SPEC_OSCI et ECHELLE....10
6.8Opérande MODE_SIGNE....10
6.9Opérande COMB_DIRECTION....10
6.10Mot clé-facteur COUPURE....10
6.10.1Opérande NOM....10
6.10.2Opérande GROUP_MA et TOUT....11
6.10.3Opérande GROUP_ NO....11
6.10.4Opérande POINT....11
6.10.5Opérandes AXE_X, AXE_Y, AXE_Z et VERI_ORTHO....11

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

1 But

Le but de la commande est de calculer le torseur d'efforts résultants de l'action d'un groupe de mailles donné sur un groupe de nœuds en un point donné.

L es torseurs d'efforts sont calculés en effectuant le calcul (CALC_CHAMP) des réactions nodales (REAC_NODA ou FORC_NODA) sur les mailles renseignées par l'utilisateur puis en extrayant les réactions nodales sur le groupe de nœuds donné et intégrant ces efforts (POST_RELEVE_T). Le torseur d'effort est ensuite calculé en point dont les coordonnées sont précisées par l'utilisateur, dans un repère que l'utilisateur peut définir.

Dans le cadre d'une analyse modale-spectrale, lorsque le résultat est de type mode_meca, l'utilisateur peut choisir de calculer la contribution de chaque mode et de combiner ces contributions via la méthode CQC. Dans ce cas, l'utilisateur renseigne des informations comme les spectres en accélération à utiliser, les amortissements à retenir et le type de combinaisons à effectuer. Pour plus d'information sur la méthode spectrale se référer aussi aux documents [U4.84.01] et [R4.05.03]).

Le résultat est une table contenant les torseurs d'efforts pour chaque instant (INST), cas de charge (NOM_CAS), numéro d'ordre (NUME_ORDRE) ou numéro de mode (NUME_MODE), selon la structure de données du résultat en entrée de la commande.

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

2 Syntaxe

```
Tab [table] = CALC_COUPURE (
      ♦ RESULTAT              = resu                [evol_elas,evol_noli,
                                                     mult_elas,mode_meca]
      ◊ FORCE   =   / 'REAC_NODA'                   [DEFAUT]
                    / 'FORC_NODA'
      ◊ MODAL_SPECTRAL    =   / 'NON'               [DEFAUT]
                              / 'OUI'

      Si MODAL_SPECTRAL = 'OUI' {
      ♦  AMOR_REDUIT = amor                         [l_R]
      ◊  MODE_CORR = mode_corr                      [mode_meca]
      ♦  SPEC_OSCI= (spe1,spe2,spe3)                [l_fonction]
      ◊  ECHELLE =  / (1, 1, 1)                     [DEFAUT]
                    /(ech 1, ech 2, ech 3)          [l_R]
      ◊ MODE_SIGNE     =   / 'NON'                  [DEFAUT]
                           / 'OUI'
      ◊ COMB_DIRECTION =   / 'QUAD'                 [DEFAUT]
                           / 'NEWMARK'
        }
      ♦  COUPURE = _F(
         ♦ NOM = nom,                               [Kn]
         ♦   / TOUT = 'OUI'                         [Kn]
             / GROUP_MA = gma                       [group_ma]
         ♦ GROUP_NO = gno ,                         [group_no]
         ♦ POINT = (x1, y1, z1),                    [l_R]
         ◊ AXE_X = / (1, 0, 0),                     [DEFAUT]
                   / (x1, y1, z1),                  [l_R]
         ◊ AXE_Y = / (0, 1, 0),                     [DEFAUT]
                   / (x1, y1, z1),                  [l_R]
         ◊ AXE_Z = / (0, 0, 1),                     [DEFAUT]
                   / (x1, y1, z1),                  [l_R]
         ◊ VERI_ORTHO  = / 'NON',                   [DEFAUT]
                         / 'OUI',
         ),
)
```


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

3 Principes de fonctionnement de la commande

La commande prend en entrée un groupe de mailles et un groupe de nœuds et calcule et intègre la réaction des nœuds issue des efforts provenant des mailles.

On réalise les opérations suivantes :

1. Calcul du champ des efforts nodaux sur un sous-domaine via la commande *CALC_CHAMP* et l'option *FORC_NODA* ou *REAC_NODA*. Comme indiqué dans [U4.81.04], on obtient ainsi la réaction d'un sous-ensemble sur le reste du modèle.
2. On extrait les réactions nodales issues du calcul précédent et l'on intègre ces réactions nodales pour les réduire à un torseur en un point donné via la commande *POST_RELEVE_T* et l'option *EXTRACTION* . Les efforts sont obtenus dans le repère global.
3. On effectue un changement de repère afin de placer le torseur d'effort dans le repère local renseigné par l'utilisateur via les mots-clés *AXE_X* , *AXE_Y* et *AXE_Z* . Par défaut, le repère global est utilisé.
4. S i l'utilisateur souhaite réaliser un calcul modal-spectral, les contributions des torseurs modaux sont alors calculés et combinés via la méthode CQC puis les contributions dans les 3 directions sont également combinées. La méthode repose largement sur les opérations décrites dans [U4.84.01] et [R4.05.03]

L'utilisateur doit porter une attention particulière aux groupes de mailles et de nœuds utilisés. En effet :

- Pour avoir une réaction non nulle, les nœuds doivent être sur la frontière du domaine défini par les mailles renseignées,
- Si un nœud est « au milieu » du domaine, les efforts internes s'annulent et la réaction calculée sera nulle.
- Si un nœud est sur un bord libre du modèle (pas de conditions aux limites et pas d'effort externes appliqués sur ce nœud), la réaction calculée en ce nœud sera nulle.
- Le torseur calculé avec un groupe de mailles renseigné comprenant des mailles qui ne sont pas au contact des nœuds donnés sera le même que le torseur calculé avec le groupe de mailles se limitant strictement aux mailles du groupe en contact avec les nœuds donné car les efforts internes dans le groupe se compensent. En terme de performance, il est cependant préférable de limiter la taille du groupe de mailles.

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

4 Format du tableau de sortie

La commande renvoie un tableau. Les colonnes du tableau sont :

- *NOM* : Le nom renseigné par l'utilisateur permettant d'identifier chaque coupure.
- *NUME_ORDRE*, *NOM_CAS*, *INST*, *NUME_MODE* : Selon le type de résultat en entrée, permet d'identifier l'instant, le mode ou le numéro d'ordre concerné par la coupure. L'opérateur traite tous les numéros d'ordre présent dans le concept en entrée.
- *R1*, *R2*, *R3*, *M1*, *M2*, *M3* : Les composantes du torseur calculé dans le repère local. « 1 » correspondant à l'axe X local, « 2 » à l'axe Y local et « 3 » à l'axe Z local.

5 Traitement des résultats modaux

Dans ce cas, la commande prend en entrée les modes dynamiques de la structure (concept mode_meca). Les opérations réalisées sont les suivantes :

1) Calcul des torseurs modaux.
2) Calcul des réponses mode par mode à partir des modes et des spectres.
3) Combinaison des réponses modales par la méthode CQC (signée ou non) : cela fournit la réponse maximale probable pour chaque direction de séisme X , Y , Z (dans le système global).
4) Si demandé, combinaison des réponses direction par direction (Newmark ou combinaison quadratique)

L'opération 1) est réalisée comme décrit dans la section 4, et ça mode par mode.

Les opérations 2-4 sont détaillées dans la suite.

On considère des spectres en mono-appui : les appuis voient tous le même déplacement imposé.

5.1 Calcul de la réponse d'oscillateur

5.1.1 Rappels de calcul transitoire sur base modale

La structure étudiée est représentée par son spectre de modes propres réels à basse fréquence ϕ en base encastrée, solution de $\left(\boldsymbol{K}-\boldsymbol{M}\,\omega^2\right)\phi=0$.

Dans l'équation dynamique du système on peut introduire une nouvelle transformation $\boldsymbol{x}=\phi\,\boldsymbol{q}$, le système s'écrit alors, en utilisant la matrice de facteurs de participation modaux $\boldsymbol{P}$:

$$\ddot{\boldsymbol{q}}+\frac{\phi^T\boldsymbol{C}\phi}{\phi^T\boldsymbol{M}\phi}\dot{\boldsymbol{q}}+\omega^2\boldsymbol{q}=-\frac{\phi^T\boldsymbol{M}\boldsymbol{O}}{\phi^T\boldsymbol{M}\phi}\ddot{\boldsymbol{s}}=-\boldsymbol{P}\ddot{\boldsymbol{s}} \tag{1}$$

où $\mathbf{O}$ sont les modes de corps rigide.

On suppose aussi que pour des études industrielles relevant de l'analyse sismique par méthode spectrale, on se limite au cas de l'amortissement proportionnel, dit de Rayleigh, pour lequel on peut diagonaliser le terme $\frac{\phi^T\boldsymbol{C}\phi}{\phi^T\boldsymbol{M}\phi}=2\,\xi\,\omega$. L'amortissement est alors représenté par un amortissement modal ξ_i éventuellement différent pour chaque mode propre.

Avec ces hypothèses, le système d'équations (2) est composé d'équations indépendantes, chacune relative à un mode propre de pulsation ω_i . Chaque équation décrit le comportement d'un oscillateur simple de paramètres $\left(\omega_i,\xi_i\right)$ dont le comportement est représenté en mono-appui par :

$$\ddot{q}_i+2\,\xi_i\,\omega_i\,\dot{q}_i+\omega^2 q_i=-p_i\ddot{s} \tag{2}$$

où $\ddot{s}$ est l'accélération d'entraînement et p_i le facteur de participation modal du mode i :

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

$$p_i = \frac{\phi_i^T \boldsymbol{M} \boldsymbol{O}}{\phi_i^T \boldsymbol{M} \phi_i} = \frac{\phi_i^T \boldsymbol{M} \boldsymbol{O}}{\mu_i} \quad (3)$$

où μ_i est la masse modale généralisée, qui dépend de la normalisation du mode propre.

Supposons que le séisme agit seulement dans une des trois directions du repère global X, Y, Z : si par exemple on le prend dans la direction X, le vecteur O aura des 1 pour les degrés de liberté DX et et 0 pour les autres. Toujours par exemple dans la direction X on aura alors :

$$p_{iX} = \frac{\phi_i^T \boldsymbol{M} \boldsymbol{O}}{\phi_i^T \boldsymbol{M} \phi_i} = \frac{\phi_i^T \boldsymbol{M} \boldsymbol{O}_X}{\mu_i} \quad (4)$$

p_{iX} étant appelé facteur de participation modal en direction X. Pour plus de détails sur l'analyse transitoire sur base modale voir la documentation R4.05.01.

5.1.2 Rappels de la méthode spectrale

La réponse maximale en déplacement relatif de l'oscillateur de paramètres (ω_i, ξ_i) pour une direction X est déterminée en lisant sur un spectre d'oscillateur de pseudo-accélération absolue $SRO(\ddot{x}_X(\xi_i, \omega_i))$ la valeur a_{iX} qui correspond aux coupes (ω_i, ξ_i) et en divisant par ω_i^2, d'où :

$$q_{iXmax} = p_{iX} \frac{SRO(\ddot{x}_X(\xi_i, \omega_i))}{\omega_i^2} = p_{iX} \frac{a_{iX}}{\omega_i^2} \quad (5)$$

On rappelle qu'on posé $\boldsymbol{x} = \phi \boldsymbol{q}$ donc $\boldsymbol{x}_i = q_i \phi_i$ si on considère un seul mode. La contribution $\boldsymbol{x}_{iXmax}$ de cet oscillateur au déplacement relatif de la structure pour un séisme en direction X dépend du facteur de participation et de la déformée modale ϕ_i dans l'espace physique :

$$\boldsymbol{x}_{iXmax} = \phi_i q_{iXmax} = \phi_i p_{iX} \frac{a_{iX}}{\omega_i^2} \quad (6)$$

Supposons d'avoir r_i, une quantité (champ ou variable scalaire) dérivée par une application linéaire des modes ϕ_i, par exemple une composante d'efforts sur un nœud. La contribution r_{iXmax} où R_{iX} de cet oscillateur à la réponse de la structure pour un séisme s'écrit également :

$$R_{iX} = r_{iXmax} = r_i q_{iXmax} = r_i p_{iX} \frac{a_{iX}}{\omega_i^2} \quad (7)$$

Dans le cas de la commande CALC_COUPURE, les composantes r_i sont :

- les composantes d'effort de coque NXX, NYY, NXY, etc. sur un point de la ligne de coupe AB
- les résultantes / moments résultants sur la ligne de coupe AB, détaillées dans la section Error: Reference source not found

Pour plus de détails voir la documentation R4.05.03.

5.1.3 Combinaison des modes pour une direction

La première combinaison modale réalisée produit la réponse maximale probable dans les directions X, Y, Z pour lesquelles on aura fourni les spectres en entrée de la commande.

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

La méthode utilisée est la Combinaison Quadratique Complète signée (ou CQC signée), en mono-appui. Les efforts R_{iX} (composante scalaire sur un nœud ou sur une résultante) se combinent donc de la manière suivante pour donner la réponse R_{mX} :

$$R_{mX}=\frac{R_{kX}}{|R_{kX}|}\sqrt{\sum_j \sum_j \rho_{ij} R_{iX} R_{jX}} \tag{8}$$

Les sommes se réalisent sur les N modes considérés. On définit le coefficient de corrélation entre modes ρ_{ij} :

$$\rho_{ij}=\frac{8\sqrt{\xi_i \xi_j \omega_i \omega_j}\left(\xi_i \omega_i+\xi_j \omega_j\right)\omega_i \omega_j}{\left(\omega_i^2-\omega_j^2\right)^2+4\,\xi_i \xi_j \omega_i \omega_j\left(\omega_i^2+\omega_j^2\right)+4\left(\xi_i^2+\xi_j^2\right)\omega_i^2 \omega_j^2} \tag{9}$$

ou, en introduisant le rapport de pulsation ou de fréquences entre deux modes $\eta=\omega_j/\omega_i$:

$$\rho_{ij}=\frac{8\,\eta\sqrt{\xi_i \xi_j \eta}\left(\xi_i+\xi_j \eta\right)}{\left(1-\eta^2\right)^2+4\,\eta\xi_i \xi_j\left(1+\eta^2\right)+4\,\eta^2\left(\xi_i^2+\xi_j^2\right)} \tag{10}$$

Pour plus de détails voir la documentation R4.05.03.

5.1.4 Combinaison des directions

5.1.4.1 Combinaisons de Newmark

Pour chacune des directions X, Y, Z , on choisit une direction principale et on calcule les huit valeurs suivantes. Par exemple, pour la X :

$$R_l=\pm R_{mX}\pm 0{,}4\,R_{mY}\pm 0{,}4\,R_{mZ} \tag{11}$$

On obtient alors 24 combinaisons. Ces combinaisons sont identifiées dans le tableau en sortie de la commande.

5.1.4.2 Combinaison quadratique

On calcule la combinaison quadratique des contributions de chaque direction :

$$R=\sqrt{R_{mX}^2+R_{mY}^2+R_{mZ}^2} \tag{12}$$

Le tableau en sortie contient 4 numéro d'ordre : 1, 2 et 3 correspondant aux contributions du séisme dans les direction X, Y et Z, respectivement. Le numéro d'ordre 4 correspond quant à lui à la combinaison quadratique des contributions des 3 directions.

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

6 Opérandes

6.1 Opérande RESULTAT

♦ RESULTAT = resu

Nom d'un concept résultat de type [evol_elas, evol_noli, mult_elas, mode_meca].

6.2 Opérande FORCE

◊ FORCE = / 'REAC_NODA' [DEFAUT]
/ 'FORC_NODA'

Nom du champ à post-traiter pour extraire les réactions nodales. Voir documentation [U4.81.04].

6.3 Opérande MODAL_SPECTRAL

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

Permet d'activer le calcul modal-spectral.

6.4 Opérandes AMOR_REDUIT / MODE_CORR / SPEC_OSCI / ECHELLE / MODE_SIGNE / COMB_DIRECTION

Ces opérandes ne sont utilisés que dans le cas d'un calcul modal-spectral, c'est-à-dire quand MODAL_SPECTRAL = 'OUI'.

6.5 Opérande AMOR_REDUIT

♦ AMOR_REDUIT = amor [l_R]

Cet opérande permet de fournir la liste des amortissements réduits sous forme d'une liste de réels (l_R). Si l'utilisateur ne fournir qu'une seule valeur, celle-ci est retenue pour l'ensemble des modes.

6.6 Opérande MODE_CORR

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

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

◊ MODE_CORR = mode_corr [mode_meca]

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].
L'accélération du pseudo-mode retenue correspond à l'accélération lue sur le spectre à la fréquence du dernier mode de la base modale au plus petit amortissement modal.

6.7 Opérandes SPEC_OSCI et ECHELLE

♦ SPEC_OSCI = (spe1, spe2, spe3) [l_fonction]

L'opérande SPEC_OSCI attend trois nappes de spectres d'oscillateurs (spectres d'oscillateur dépendant de la valeur de l'amortissement réduit) où (spe1, spe2, spe3) est la liste des nappes à utiliser dans es trois directions X , Y , Z .

◊ ECHELLE = (ech1, ech2, ech3) [l_R]

L'opérande ECHELLE permet de définir trois facteurs d'échelle (ech1, ech2, ech3) à appliquer indépendamment à tous les points de chacun des spectres .

6.8 Opérande MODE_SIGNE

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

Cette opérande permet de définir si les torseurs CQC doivent être signés. Si c'est le cas, on récupère le signe des torseurs obtenus sous accélération unitaire (issue du concept renseigné dans *MODE_CORR*) et l'on applique ces signes aux composantes du torseur CQC.

6.9 Opérande COMB_DIRECTION

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

Cette opérande permet de définir la manière de combiner les contributions des 3 directions. Deux choix sont possibles, définis au paragraphe 5.1.4,

6.10 Mot clé-facteur COUPURE

Mot clé répétable permettant de définir une ou plusieurs coupures.

6.10.1 Opérande NOM

♦ NOM = nom , [Kn]

Cette opérande permet de définir un nom pour la coupure pour permettre de la repérer dans le tableau en sortie.

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

6.10.2 Opérande GROUP_MA et TOUT

♦ / TOUT = 'OUI' [Kn]

/ GROUP_MA = gma [group_ma]

Cette opérande permet de définir la partie du modèle dont on cherche à évaluer la réaction sur le groupe de nœuds.

6.10.3 Opérande GROUP_NO

♦ GROUP_NO = gno , [group_no]

Cette opérande permet de définir le groupe de nœuds où l'on souhaite extraire la réaction.

6.10.4 Opérande POINT

♦ POINT = (x1, y1, z1), [l_R]

Cette opérande permet de définir la position géométrique du point où le torseur sera calculé. Cette opérande influe notamment sur les valeurs des moments calculés (les réactions étant invariantes).

6.10.5 Opérandes AXE_X, AXE_Y, AXE_Z et VERI_ORTHO

◊ AXE_X = / (1, 0, 0), [DEFAUT]

/ (x1, y1, z1), [l_R]

◊ AXE_Y = / (0, 1, 0), [DEFAUT]

/ (x1, y1, z1), [l_R]

◊ AXE_Z = / (0, 0, 1), [DEFAUT]

/ (x1, y1, z1), [l_R]

Ces opérandes permettent de définir le repère local dans lequel sera exprimé le torseur.
L'opérande VERI_ORTHO permet d'activer ou non la vérification de l'orthogonalité du système d'axes renseigné.

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