Opérateur CALC_COUPURE

Résumé :
On présente ici la commande qui permet de réaliser des coupures sur des éléments de plaque, à partir des points d'extrémité donnés. Sont fournies les efforts sur cette ligne de coupe, dans le repère locale de la coupe ainsi que les résultantes/moments résultants.

Pour résultats modaux, la commande fournit aussi les combinaisons modales (CQC signée et Newmark) selon la méthode spectrale.

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
4Composantes et résultantes en sortie....6
5Traitement des résultats modaux....7
5.1Calcul de la réponse d'oscillateur....7
5.1.1Rappels de calcul transitoire sur base modale....7
5.1.2Rappels de la méthode spectrale....8
5.1.3Combinaison des modes pour une direction....8
5.1.4Combinaison des directions....9
6Opérandes....10
6.1Opérande RESULTAT....10
6.2Opérande OPERATION....10
6.3Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / NUME_MODE / LIST_ORDRE / INST / LIST_INST / FREQ / LIST_FREQ / PRECISION / CRITERE / NOM_CAS....10
6.4Opérande UNITE_MAILLAGE....10
6.5Mot clé LIGN_COUPE....10
6.5.1Opérandes INTITULE / NB_POINTS / COOR_ORIG / COOR_EXTR / GROUP_MA / DISTANCE_MAX / DISTANCE_ALARME....11
6.1Mot clé COMB_MODE....11
6.1.1Opérande NOM_CAS....11
6.1.2Opérande TYPE....11
6.1.3Opérandes SPEC_OSCI / ECHELLE / AMOR_REDUIT / LIST_AMOR....11
6.1.4Opérande MODE_SIGNE....11
6.2Structure de la table en sortie....12

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

1 But

Le but de la comman d e est de réaliser une coupe rectiligne sur un élément de structure 2D de type plaque (DKT ou DST). Les informations fournies à l'utilisateur sont, selon l'option choisie:

- les efforts généralis és sur la ligne de coupe en fonction de l'abscisse curviligne
- les résultantes ou moments résultants des efforts généralisé s sur la ligne de coupe.

Dans tous les cas, les résultats fournis (efforts ou résultantes) sont calculés dans le repère local défini par la coupure elle-même. Les types d'efforts considérés sont de type `EFGE_NOEU` (efforts généralisés aux nœuds).

Si en entrée on fournit un résultat de type `mode_meca`, la commande peut fournir en sortie aussi les combinaisons modales des efforts selon la méthode spectrale.

La sortie de la commande est une table.

Pour plus d'information sur la méthode spectrale se référer aussi aux documents [U4.84.01] et [R4.05.03]).

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]
      ◊  UNITE_MAILLAGE      =  /25,             [DEFAUT]
                                / unit            [I]
      ♦  OPTION              =  /'EXTRACTION',
                                /'RESULTANTE',
      ◊  / TOUT_ORDRE = 'OUI',                   [DEFAUT]
         / NUME_ORDRE = lordre,                  [l_I]
         / LIST_ORDRE = lordre                   [listis]
         / NUME_MODE = l_mode                    [l_I]
         / LIST_MODE = l_mode                    [listis]
         / INST = linst,                         [l_R]
         / LIST_INST = lreel,                    [listr8]
         / FREQ = lfreq,                         [l_R]
         / LIST_FREQ = lreel                     [listr8]
         / NOM_CAS = nomcas                      [K24]
          Si LIST_FREQ {
            ◊ PRECISION  =  / 1.D-3              [DEFAUT]
                            / prec               [R]
            ◊ CRITERE    =  / 'RELATIF'          [DEFAUT]
                            / 'ABSOLU'
          }
      ♦  LIGN_COUPE = _F(
         ♦ INTITULE = txt,                       [Kn]
         ♦ NB_POINTS = nbpt,                     [I]
         ♦ COOR_ORIG = (x1,y1,[z1]),             [l_R]
         ♦ COOR_EXTR = (x2,y2,[z2]),             [l_R]
         ♦ GROUP_MA = gma ,                      [group_ma]
         ◊ DISTANCE_MAX = distmax,               [R]
         ◊ DISTANCE_ALARME = distala,            [R]
                    ),
      ◊ COMB_MODE = _F(
         ♦ NOM_C AS = txt,                       [Kn]
         ♦ SPEC_OSCI= (spe1,spe2,spe3)           [l_fonction]
         ◊ ECHELLE = ( ech 1, ech 2, ech 3)      [l_R]
         ♦ MODE_SIGNE = ( num 1, num 2, num 3)   [l_I]
         ♦ TYPE =  'CQC_SIGNE'                   [DEFAUT]
         ♦  / AMOR_REDUIT = amor                 [l_R]
            / LIST_AMOR = lamor                  [listr8]
                          ),
)
```


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 deux points A et B définissant la coupe rectiligne souhaitée sur la plaque.

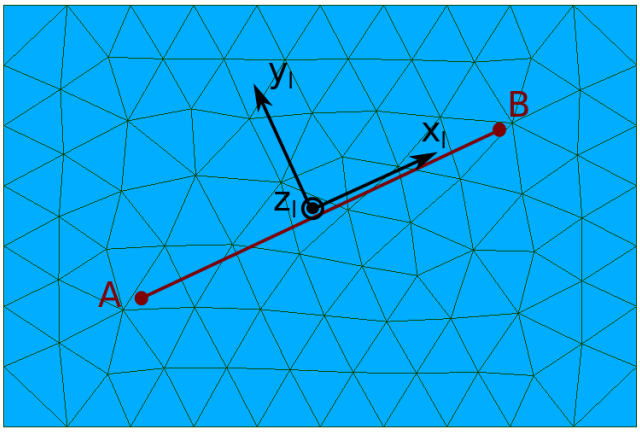


Figure 3-a: Plaque avec coupure AB et repère local.

On réalise les opérations suivantes :

1) Calcul du repère local de la coupe (Figure 3-a) :
   - la direction locale x_l correspond à la direction $\overrightarrow{AB}$
   - la direction locale z_l correspond la normale à la plaque (sortant du papier dans la Figure 3-a)
   - la direction locale y_l se trouve pour former un repère orthogonal
   - l'origine du repère est dans le plan de la plaque au milieu entre les points A et B
2) On calcule le champ `EFGE_NOEU` (si il n'existe pas déjà dans le concept résultat en entrée de la commande) dans le repère local x_l, y_l, z_l .
3) On projette le champ sur la ligne de coupe AB et on récupère le champ. Si demandé par l'utilisateur, on calcule également les efforts et les moments résultants sur la ligne de coupe.
4) Les opérations précédentes sont réalisées pour chaque résultat ou cas statique ou modal en entrée. Si le résultat est de type modal, les opérations suivantes sont envisagées :
   a) Calcul de la contribution modale de la composante ou de la résultante
   b) Si la combinaison modale est demandée :
      i. Combinaison des modes pour avoir la réponse maximale la plus probable par direction (CQC signée)
      ii. Combinaison des réponses directionnelles pour avoir la réponse maximale totale la plus probable (Newmark).

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

4 Composantes et résultantes en sortie

Les composantes des efforts de coque généralisés sont fournis dans le repère local de la coupe x_l, y_l, z_l comme défini dans la Figure 6.5-a :

- NXX , NYY : efforts de traction
- NXY : effort de cisaillement membranaire
- QX , QY : efforts de cisaillement hors-plan
- MXX , MYY : moments hors-plan
- MXY : torsion

Les résultantes suivantes sont calculées si demandé. On choisit par souci de simplicité les noms qu'on aurait si la coupe était la section droite d'une coupe:

- Effort normal $N = \int_A^B N_{YY}\, dx$
- Cisaillement membranaire ou cisaillement dans le plan $V_{PL} = \int_A^B N_{XY}\, dx$
- Cisaillement hors-plan $V_{HP} = \int_A^B Q_Y\, dx$
- Moment dans le plan $M_{PL} = \int_A^B N_{YY} \cdot x\, dx$
- Moment hors-plan $M_{HP} = \int_A^B M_{YY}\, dx$

R emarque *: les efforts sont calculés à partir d u champ nodal des efforts généralisés* $EFGE_{NOEU}$ *. Cette hypothèse de facto exclut l'utilisation de la commande au voisin a ge de zone de discontinuité des efforts, comme pour un changement de matériau ou d'épaisseur.*

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

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) Extraction des efforts ou calcul des résultantes mode par mode (comme).
2) Calcul des réponses mode par mode à partir des modes et des spectres
3) Si demandé, combinaison des réponses modales par la méthode CQC signée : 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)

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 :

$$p_i=\frac{\phi_i^T\boldsymbol{M}\boldsymbol{O}}{\phi_i^T\boldsymbol{M}\phi_i}=\frac{\phi_i^T\boldsymbol{M}\boldsymbol{O}}{\mu_i} \tag{3}$$

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 :

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

$$p_{iX}=\frac{\boldsymbol{\phi}_i^T \boldsymbol{M O}}{\boldsymbol{\phi}_i^T \boldsymbol{M}\,\boldsymbol{\phi}_i}=\frac{\boldsymbol{\phi}_i{}^T \boldsymbol{M O}_X}{\mu_i} \tag{4}$$

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 :

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

On rappelle qu'on posé $\boldsymbol{x}=\boldsymbol{\phi}\,\boldsymbol{q}$ donc $\boldsymbol{x}_i=q_i\boldsymbol{\phi}_i$ 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 $\boldsymbol{\phi}_i$ dans l'espace physique :

$$\boldsymbol{x}_{iXmax}=\boldsymbol{\phi}_i q_{iXmax}=\boldsymbol{\phi}_i p_{iX}\frac{a_{iX}}{\omega_i^2} \tag{6}$$

Supposons d'avoir r_i , une quantité (champ ou variable scalaire) dérivée par une application linéaire des modes $\boldsymbol{\phi}_i$, 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 :

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

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 4

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.

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} :

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

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

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

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 change ensuite le rôle des directions ce qui conduit, par permutation circulaire, à 24 valeurs et à :

$$R_m=\max\left(R_l\right) \tag{12}$$

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 OPERATION

Nature de l'opération a effectuer :

- S i OPERATION='EXTRACTION' les valeurs du champ d'efforts généralisé aux nœud s EFGE_NOEU sont sont simplement restituées en sortie, dans le repère local de la coupure.
- Si OPERATION='RESULTANTE' on calcule les résultante s et l es moment s sur la ligne de coupe.

Le repère local est calculé automatiquement :

- axe X : direction de la ligne de coupe
- axe Z : direction normale à l'élément coque
- axe Y : choisi pour crée r une base orthonormée (donc dans le plan de l'élément coque, normale à la ligne de coupe)
-

6.3 Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / NUME_MODE / LIST_ORDRE / INST / LIST_INST / FREQ / LIST_FREQ / PRECISION / CRITERE / NOM_CAS

Voir documentation [U4.71.00]

6.4 Opérande UNITE_MAILLAGE

Précise le numéro d'unité logique dans laquelle est créé le maillage linéique de chaque ligne de coupe. Voir documentation [U4.81.13].

6.5 Mot clé LIGN_COUPE

Mot clé répétable permettant de définir une ou plusieurs lignes de coupe.

Une ligne de coupe est composée d'une ligne droite définie par ses deux points d'extrémités et un nombre d'intervalles réguliers la découpant.

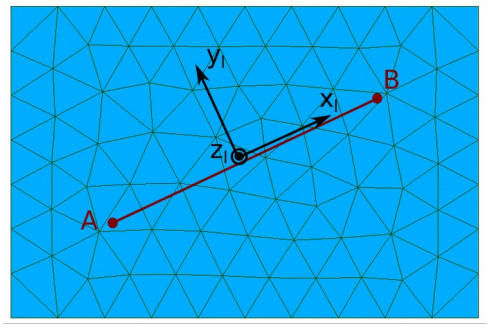


Figure 6.5-a: Ligne de coupe AB sur une plaque et repère local.

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

6.5.1 Opérandes INTITULE / NB_POINTS / COOR_ORIG / COOR_EXTR / GROUP_MA / DISTANCE_MAX / DISTANCE_ALARME

Voir documentation [U4.81.13]

6.1 Mot clé COMB_MODE

On fournit sous ce mot-clé les entrées nécessaires au calcul spectral et à la combinaison des modes.

6.1.1 Opérande NOM_CAS

Étiquette à affecter à la combinaison dans la table en sortie.

6.1.2 Opérande TYPE

Permet de définir le type de combinaison, actuellement la méthode CQC signée est disponible.

6.1.3 Opérandes SPEC_OSCI / ECHELLE / AMOR_REDUIT / LIST_AMOR

Voir documentation [U4.81. 01]

6.1.4 Opérande MODE_SIGNE

Numéro d'ordre d'un mode (typiquement le mode principal de la structure dans la direction) pour chaque direction, utilisé pour attribuer le signe aux efforts (méthode CQC signée).

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

6.2 Structure de la table en sortie

L'exécution de la commande produit une table qui contient les colonnes décrites ci-dessous :

Colonne	Description
'INTITULE'	Identifie les valeurs d'une ligne de coupe, voir opérande 'INTITULE' du mot clé LIGN_COUPE
'COMB'	Identifie les valeurs d'une combinaison modale, voir opérande 'NOM_CAS' du mot clé COMB_MODE
'TYPE'	- 'EXTRACTION' : valeurs des composantes du champ EFGE_NOEU sur la ligne de coupe dans le repère local - 'RESULTANTE' : résultantes et moments résultant sur la ligne de coupe dans le repère local - 'RIX', 'RIY', 'RIZ' : contribution modale R_{iX} dans une direction donnée X pour chaque résultante, moment ou composante d'effort dans le point considéré ($a_{iX}=SRO(\ddot{x}(\omega_i,\xi_i))$, p_{iX} facteur de participation modal dans la direction X). $R_{iX}=r_i\,p_{iX}\dfrac{a_{iX}}{\omega_i^2}$ - 'CQCX', 'CQCY', 'CQCZ' : combinaison quadratique complète signée des modes en monoappui dans une direction donnée (cf. [U4.84.01]) - 'NEWMARK-X-0.4Y-0.4Z', ... : combinaison des directions selon le critère de Newmark (cf. [U4.84.01]) - 'NEWMARK_MAXABS' : maximum en valeur absolue entre les combinaisons
'NOM_CHAM'	'EFGE_NOEU', le champ utilisé
'NUME_ORDRE'	Numéro d'ordre qui identifie les valeurs traitées
'NXX', … , 'QX', 'QY'	Composantes du champ 'EFGE_NOEU' extraites (voir la colonne 'TYPE=EXTRACTION', cf. aussi [U2.02.01]) dans le repère local calculé
'N'	Effort normal : intégrale de la composante NYY dans le repère local sur la ligne de coupe
'VPL'	Cisaillement membranaire ou cisaillement dans le plan : intégrale de la composante NXY dans le repère local sur la ligne de coupe
'MHP'	Moment hors-plan : intégrale de la composante MYY dans le repère local sur la ligne de coupe
'VHP'	Cisaillement hors-plan : intégrale de la composante QY dans le repère local sur la ligne de coupe
'MPL'	Moment dans le plan : moment de la composante NYY (dans le repère local) sur la ligne de coupe, par rapport au point de milieu de la ligne de coupe.

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