Opérateur COMBINAISON_FERRAILLAGE

1 But

Le but de cet opérateur est de calculer les densités de ferraillage dans des éléments surfaciques (2D) et linéiques (1D) en fonction des sollicitations pour plusieurs combinaisons de chargement.

En entrée, cette macro-commande prend un résultat multiple de type mult_elas. Chacun des résultats de mult_elas contient les efforts généralisés, préalablement obtenus par l'option EFGE_ELNO.

La commande enrichit chaque résultat de mult_elas d'un champ de grandeur ferraillage, en appelant plusieurs fois la commande CALC_FERRAILLAGE.

Aussi, la commande ajoute des résultats à la structure de donnée mult_elas.

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

2 Syntaxe

```
resu = COMBINAISON_FERRAILLAGE (

   ♦  reuse        =  resu
   ♦  RESULTAT     =  resu                                  [multi_elas]
   ♦ CARA_ELEM     =  carac,                              [cara_elem]
   ♦  CODIFICATION =  /  'EC2',                             [DEFAUT]
                      /  'BAEL91',

# Choisir au moins un type de vérification pour un liste de nom_cas
   ♦  COMBINAISON = _F (
         ♦ TYPE =  /  'ELS_QUASIPERMANENT',
                   /  'ELS_CARACTERISTIQUE',
                   /  'ELU_FONDAMENTAL',
                   /  'ELU_ACCIDENTEL',

         ♦  /  NOM_CAS   = l_nomcas                         [l_K]
            /  NUME_ORDRE  = l_numeordre,                   [l_I]
   )

# SI CODIFICATION = 'BAEL91'
 ♦ AFFE   =  _F (  ♦ /TOUT      = / 'OUI'
                                  / 'NON'
                     /GROUP_MA  = l_grma,                  [l_gr_maille]
                   ♦ TYPE_STRUCTURE = /   ' 1D ',
                                      /   ' 2D ',

                   ◊ FERR_SYME      = / 'OUI',
                                      / ' NON ',              [DEFAUT]
                   ◊ SEUIL_SYME     = slsyme,                [R]
                    ◊ FERR_COMP      = / ' OUI ',
                                       / ' NON ',            [DEFAUT]
                    ◊ EPURE _C ISA   = / ' OUI ',
                                       / ' NON ',            [DEFAUT]
                   ♦ UNITE _ CONTRAINTE = /   ' MPa ',
                                        /   ' Pa ',
                   ♦ UNITE _ DIMENSION = /' m ',
                                       /   ' mm ',

                  si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '
                     ♦ C_SUP          = enrobs,             [R]
                     ♦ C_INF          = enrobs,             [R]
                    si TYPE_STRUCTURE = ' 1D '
                     ♦ C_SUP_Y        = enrobs,             [R]
                     ♦ C_INF_Y        = enrobs,             [R]
                     ♦ C_SUP_Z        = enrobs,             [R]
                     ♦ C _ INF_ Z       = enrob s ,             [R]

                      ◊ FERR_MIN       = / ' NON ',          [DEFAUT]
                                         / ' OUI ',
                                         / ' CODE ',
                     ◊ RHO_LONGI_MIN  = rholmin,            [R]
                     ◊ RHO_TRNSV_MIN  = rhotmin,            [R]
                     ◊ N              = cequi,              [R]
                     ◊ FCJ            = fbeton,             [R]
                     ◊ FE             = facier,             [R]
                      ◊ EYS             = eys ,                 [R]
```


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

```
                    ◊ TYPE_DIAGRAMME    = / ' B1 ',
                                          / ' B2 ',                [DEFAUT]
                    ◊ GAMMA_S_FOND   = gs,                       [R]
                     ◊ GAMMA_S_ ACCI    = gs ,                    [R]
                    ◊ GAMMA_C_FOND   = gc,                       [R]
                     ◊ GAMMA_ C _ ACCI  = g c ,                     [R]
                    ◊ ALPHA_CC       = / 1.0                     [DEFAUT]
                                       / alphacc,                [R]
                    ◊ SIGS_ELS       = sigs,                     [R]

                  si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '
                    ◊ SIGC _INF_ ELS   = sigci                     [R]
                    ◊ SIGC _ SUP _ ELS   = sigcs                     [R]
                    ◊ WMAX_INF       = wmaxi                     [R]
                     ◊ WMAX_SUP       = wmaxs                     [R]
                  si TYPE_STRUCTURE = ' 1 D '
                    ◊ SIGC _INF_ Y_ELS   = sigcyi                    [R]
                    ◊ SIGC _ SUP _ Y_ELS   = sigcys                    [R]
                    ◊ SIGC _INF_ Z_ELS   = sigczi                    [R]
                    ◊ SIGC _ SUP _ Z_ELS   = sigczs                    [R]
                    ◊ WMAX_ Y_ INF       = wmax y i                [R]
                     ◊ WMAX_ Y_ SUP       = wmax y s                [R]
                    ◊ WMAX_ Z_ INF       = wmax z i                [R]
                     ◊ WMAX_ Z_ SUP       = wmax z s                [R]

                     ◊ SIGC_ELS_QP    = sigelsqp                  [R]
                     ◊ KT             = kt                        [R]
                     ◊ PHI_X_INF      = phixi                     [R]
                     ◊ PHI_X_SUP      = phixs                     [R]
                     ◊ PHI_Y_INF      = phiyi                     [R]
                     ◊ PHI_Y_SUP      = phiys                     [R]
                     ◊ PHI_ Z _INF      = phixi                     [R]
                     ◊ PHI_ Z _SUP      = phixs                     [R]

                    ◊ UTIL_COMPR     =  'NON',                   [DEFAUT]
                                       / ' OUI ',
                    ◊ CLASSE_ACIER   = / 'A',
                                       / 'B',                    [DEFAUT]
                                       / 'C',

                    ◊ RHO_ACIER      = / - 1,                     [DEFAUT]
                                       / rhoaciert,               [R]
#                    si RHO_ACIER > = 0,
                           ◊ ALPHA_REINF   = / 1.                    [DEFAUT]
                                             / areinf,           [ R ]
                           ◊ ALPHA_SHEAR      = / 1.                    [DEFAUT]
                                             / a shear,          [R]
                           ◊ ALPHA_STIRRUPS   = / 1.                    [DEFAUT]
                                             / a stirr,          [R]
                           ◊ RHO_CRIT       = / 1 50 .               [DEFAUT]
                                             / rhocrit,          [R]
                           ◊ DNSTRA_CRIT       = / 0,006             [DEFAUT]
                                             / datcrit,          [R]
                           ◊ L_CRIT         = / 1.                   [DEFAUT]
                                             / lcrit,               [R]
                      ),

#      si CODIFICATION = 'EC2'
         ♦ AFFE   =  _F (   ♦ /TOUT      = / 'OUI'
```


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

```
                    / 'NON'
    /GROUP_MA   = l_grma,                    [l_gr_maille]
  ♦ TYPE_STRUCTURE = /    ' 1D ',
                     /    ' 2D ',

  ◊ FERR_SYME       = / 'OUI',
                      / ' NON ',                 [DEFAUT]
  ◊ SEUIL_SYME      = slsyme,                   [R]
    ◊ FERR_COMP      = / ' OUI ',
                       / ' NON ',                [DEFAUT]
    ◊ EPURE _C ISA   = / ' OUI ',
                       / ' NON ',                [DEFAUT]
  ♦ UNITE _ CONTRAINTE = /   ' MPa ',
                       /    ' Pa ',
  ♦ UNITE _ DIMENSION = /' m ',
                       /    ' mm ',

si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '
  ♦ C_SUP           = enrobs,                 [R]
  ♦ C_INF           = enrobs,                 [R]
  si TYPE_STRUCTURE = ' 1D '
  ♦ C_SUP_Y         = enrobs,                 [R]
  ♦ C_INF_Y         = enrobs,                 [R]
  ♦ C_SUP_Z         = enrobs,                 [R]
  ♦ C _ INF_ Z        = enrob s ,                   [R]

    ◊ FERR_MIN       = / ' NON ',                 [DEFAUT]
                       / ' OUI ',
                       / ' CODE ',
  ◊ RHO_LONGI_MIN   = rholmin,                  [R]
  ◊ RHO_TRNSV_MIN   = rhotmin,                  [R]
  ◊ ALPHA_E         = cequi,                    [R]
  ◊ FCK             = fbeton,                   [R]
  ◊ FYK             = facier,                   [R]
    ◊ EYS             = eys ,                       [R]
    ◊ TYPE_DIAGRAMME    = / ' B1 ',
                      / ' B2 ',                  [DEFAUT]
  ◊ GAMMA_S_FOND    = gs,                       [R]
    ◊ GAMMA_S_ ACCI    = gs ,                   [R]
  ◊ GAMMA_C_FOND    = gc,                       [R]
    ◊ GAMMA_ C _ ACCI  = g c ,                    [R]
  ◊ ALPHA_CC        = / 1.0                     [DEFAUT]
                      / alphacc,                [R]
  ◊ SIGS_ELS        = sigs,                     [R]
si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '
  ◊ SIGC _INF_ ELS    = sigci                     [R]
  ◊ SIGC _ SUP _ ELS    = sigcs                   [R]
  ◊ WMAX_INF        = wmaxi                     [R]
    ◊ WMAX_SUP        = wmaxs                   [R]
si TYPE_STRUCTURE = ' 1 D '
  ◊ SIGC _INF_ Y_ELS    = sigcyi                    [R]
  ◊ SIGC _ SUP _ Y_ELS    = sigcys                  [R]
  ◊ SIGC _INF_ Z_ELS    = sigczi                    [R]
  ◊ SIGC _ SUP _ Z_ELS    = sigczs                  [R]
  ◊ WMAX_ Y_ INF        = wmax y i                  [R]
    ◊ WMAX_ Y_ SUP        = wmax y s                [R]
  ◊ WMAX_ Z_ INF        = wmax z i                  [R]
    ◊ WMAX_ Z_ SUP        = wmax z s                [R]
```


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

```
                        ◊ SIGC_ELS_QP    = sigelsqp            [R]
                         ◊ KT             = kt                  [R]
                        ◊ PHI_X_INF      = phixi               [R]
                        ◊ PHI_X_SUP      = phixs               [R]
                        ◊ PHI_Y_INF      = phiyi               [R]
                        ◊ PHI_Y_SUP      = phiys               [R]
                        ◊ PHI_ Z _INF      = phixi               [R]
                        ◊ PHI_ Z _SUP      = phixs               [R]

                       ◊ UTIL_COMPR     =  'NON',             [DEFAUT]
                                         / ' OUI ',
                       ◊ CLASSE_ACIER   = / 'A',
                                         / 'B',              [DEFAUT]
                                         / 'C',

                       ◊ RHO_ACIER      = / - 1,              [DEFAUT]
                                         / rhoaciert,          [R]
#                       si RHO_ACIER > = 0,
                              ◊ ALPHA_REINF   = / 1.             [DEFAUT]
                                               / areinf,      [ R ]
                              ◊ ALPHA_SHEAR      = / 1.             [DEFAUT]
                                               / a shear,     [R]
                              ◊ ALPHA_STIRRUPS   = / 1.             [DEFAUT]
                                               / a stirr,     [R]
                              ◊ RHO_CRIT       = / 1 50 .        [DEFAUT]
                                               / rhocrit,     [R]
                              ◊ DNSTRA_CRIT       = / 0,006         [DEFAUT]
                                               / datcrit,     [R]
                              ◊ L_CRIT         = / 1.            [DEFAUT]
                                               / lcrit,       [R]
                          ),
        );
```


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

3 Opérandes

3.1 Opérande RESULTAT et CARA_ELEM

♦ RESULTAT = resu

Nom d'un concept résultat de type mult_elas. Il est nécessairement ré-entrant.

♦ CARA_ELEM = carac

I l est nécessaire de renseigner les caractéristiques élémentaires par le mot-clef CARA_ELEM pour tous les résultats statiques & dynamique s . Ce changement est induit par l'intégration de POST_COMBINAISON (U4.81.45) qui génère un résultat ELAS_MULT sans associé de CARA_ELEM .

3.2 Opérande CODIFICATION

```
♦ CODIFICATION = /'EC2',                [DEFAUT]
                 / 'BAEL91',
```

C'est la codification à utiliser pour les vérifications. : Eurocode 2 (EC2) ou BAEL91.

3.3 Opérande COMBINAISON

```
♦ COMBINAISON = _F( ♦ TYPE = / 'ELS_QUASIPERMANENT',
                             / 'ELS_CARACTERISTIQUE',
                            /'ELU_FONDAMENTAL',
                             /'ELU_ACCIDENTEL',
                    ♦ / NOM_CAS    = l_nomcas
                      /NUME_ORDRE = l_numeordre,)
```

Avec cette opérateur répétable on fournit à la commande la liste des cas (résultats de la mult_elas) sur lesquels réaliser le dimensionnement qui correspondent aux vérifications d'état limite de service (la combinaison caractéristique est la seule disponible pour le moment) et ultimes (fondamentaux, accidentelles).

Le choix entre ELU_FONDAMENTAL et ELU_ACCIDENTEL permet de choisir la valeur des coefficients de sécurité GAMMA (voir opérande AFFE , § 3.4).

3.3.1 Mot-clé TYPE

```
♦ TYPE = / 'ELS_QUASIPERMANENT',
         / 'ELS_CARACTERISTIQUE',
        /'ELU_FONDAMENTAL',
         /'ELU_ACCIDENTEL',
```

Avec ce mot-clé, on choisit le type de vérification à associer à la liste de cas. Pour l'instant les options disponibles sont les états limites ultimes fondamentaux ou accidentels et les états limites de service caractéristiques et quasi-permanents tels que définis par les Eurocodes.

3.3.2 Mot-clés NUME_ORDRE et NOM_CAS

Ici est fournie la liste des cas associée à la vérification renseignée dans TYPE, soit comme liste des numéro d'ordre des cas soit comme liste des noms des cas (étiquette associée à chaque résultat de la mult_elas).

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

Remarque

Ici le numéro d'ordre n'indique pas un instant de calcul ou une fréquence comme pour le structures de données résultat mais un numéro de cas (un des résultats contenus par la multi_elas).

3.4 Opérande AFFE

Une grande partie des mot-clés renseignées ici sont les mêmes que pour la commande CALC_FERRAILLAGE. Une différence avec les mot-clés de CALC_FERRAILLAGE consiste dans le choix des coefficients de sécurité :

◊ GAMMA_S_FOND = gs , [R]
◊ GAMMA_S_ACCI = gs , [R]
◊ GAMMA_C_FOND = gc, [R]
◊ GAMMA_C_ACCI = gc, [R]

On choisira les valeurs renseignées sous GAMMA_S_FOND et GAMMA_C_FOND pour alimenter CALC_FERRAILLAGE si l'utilisateur a choisi l'option ELU_FONDAMENTAL de l'opérande COMBINAISON (§3.3) pour un certain cas de charge. Pour ELU_ACCIDENTEL, les valeurs de GAMMA_S_ACCI et GAMMA_C_ACCI seront sélectionnées.

3.5 Composition du champ produit

Le résultat de chaque cas de nom NOM_CAS est enrichi par un nouveau champ (nommé 'FERRAILLAGE' dans la structure de données) dont les composantes sont :

Si **TYPE_STRUCTURE = '2D'** :

- une densité de ferraillage longitudinal dans le sens X de l'élément pour la face inférieure de l'élément ($DNSXI$) ;
- l'équivalent pour la face supérieure ($DNSXS$) ;
- une densité de ferraillage longitudinal dans le sens Y de l'élément pour la face inférieure de l'élément ($DNSYI$) ;
- l'équivalent pour la face supérieure ($DNSYS$) ;
- la densité de ferraillage transversal dans le sens X de l'élément ($DNSXT$) ;
- l'équivalent dans le sens Y de l'élément ($DNSYT$) ;
- la densité volumique totale d'acier ($DNSVOL$) ;
- un indicateur de complexité de mise en œuvre du ferraillage ($CONSTRUC$).

Si **TYPE_STRUCTURE = '1D'** :

- une densité de ferraillage longitudinal suivant l'axe Y de la section, et selon le sens positif de l'axe (face supérieure suivant la hauteur h) (AYS) ;
- une densité de ferraillage longitudinal suivant l'axe Y de la section, et selon le sens négatif de l'axe (face inférieure suivant la hauteur h) (AYI) ;
- une densité de ferraillage longitudinal suivant l'axe X de la section, et selon le sens positif de l'axe (face supérieure suivant la largeur b) (AZS) ;
- une densité de ferraillage longitudinal suivant l'axe Z de l a section, et selon le sens négatif de l'axe (face inférieure suivant la largeur b) (AZI) ;
- une densité de ferraillage transversal (AST) ;
- une densité de ferraillage longitudinal total ($ATOT$) ;
- la densité volumique totale d'acier ($DNSVOL$) ;
- un indicateur de complexité de mise en œuvre du ferraillage ($CONSTRUC$).

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

Le champ de ferraillage est calculé pour le seul instant existant pour chaque cas. Un des buts principaux de la commande COMBINAISON_FERRAILLAGE est de calculer, pour chaque type d'armature (longitudinale, transversale…), la combinaison dimensionnante, c'est à dire celle qui maximise le type d'armature considérée.

Ainsi, l'algorithme de la commande COMBINAISON_FERRAILLAGE appelle la commande CALC_FERRAILLAGE pour chaque cas (numéro d'ordre de mult_elas) en choisissant le type de vérification renseignée par TYPE_COMB. Ensuite, les densités d'armature (pour chaque type d'armature) sont comparées entre elles, celle qui donne lieu à l'armature la plus importante est la combinaison dimensionnante. Cette comparaison est faite à chaque appel de la COMBINAISON_FERRAILLAGE, donc sur chaque nœud des groupes de mailles sélectionnés.

Il y aura donc autant de combinaisons dimensionnantes que de types d'armatures.

On crée dans la structure donnée multi_elas deux nouveaux cas :

- COMB_DIME_ACIER → Sous ce nom de cas sont renseignés les armatures maximales pour chaque élément fini et type d'armature
- COMB_DIME_ORDRE → Sous ce nom de cas sont renseignés les numéro d'ordre des cas qui fournissent les armatures maximales (cas dimensionnants) pour chaque élément fini et type d'armature.

3.6 Erreurs et alarmes

3.6.1 Erreurs causées par une incohérence des paramètres d'entrée

Une vérification de la cohérence des paramètres d'entrée est réalisée au début de l'exécution de la commande COMBINAISON_FERRAILLAGE . Le calcul peut être stoppé par une erreur fatale dans les cas suivants :

- si aucune occurrence de l'opérande COMBINAISON ou AFFE n'est renseignée.
- dans le cas BAEL91 à l'ELU FONDAMENTAL : si les mots-clé GAMMA_S_ FOND , GAMMA_C_ FOND , FE ou FCJ , ne sont pas renseignés ;
- dans le cas BAEL91 à l'ELU ACCIDENTEL : si les mots-clé GAMMA_S_ ACCI , GAMMA_C_ ACCI , FE ou FCJ , ne sont pas renseignés ;
- dans le cas BAEL91 à l'ELS : si les mots-clé N , SIGS_ELS ou SIGC_ELS ne sont pas renseignés ;
- dans le cas BAEL à l'ELS_QP : si les mots-clé ALPHA_ E , FYK , FCK, SIGC_ELS_ QP, WMAX_INF/SUP (_Y/Z) , KT, PHI_X/ Y/Z _INF/SUP ne sont pas renseignés ;
- dans le cas EC2 à l'ELU FONDAMENTAL : si les mots-clé GAMMA_S_ FOND , GAMMA_C_ FOND, FYK ou FCK , ne sont pas renseignés ;
- dans le cas EC2 à l'ELU ACCIDENTEL : si les mots-clé GAMMA_S_ ACCI , GAMMA_C_ ACCI, FYK ou FCK , ne sont pas renseignés ;
- dans le cas EC2 à l'ELS : si les mots-clé ALPHA_ E , SIGS_ELS, SIGC_ INF/SUP(_Y/Z)_ ELS ou FCK ne sont pas renseignés ;
- dans le cas EC2 à l'ELS_QP : si les mots-clé ALPHA_ E , FYK , FCK, SIGC_ELS_ QP, WMAX_INF/SUP (_Y/Z) , KT, PHI_X/ Y/Z _INF/SUP ne sont pas renseignés ;
- pour tous les cas : si la valeur de l'enrobage est supérieure à l'épaisseur/hauteur/largeur de l'élément de structure.

Ainsi que les cas particuliers suivants :

- si **FERR_MIN = 'OUI'** et que les mots-clé RHO_LONGI_MIN et RHO_TRSNV_MIN ne sont pas renseignés.
- si **FERR_SYME = 'OUI'** et que le mot-clé SEUIL_SYME n'est pas renseigné.

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

3.6.2 Alarmes émises lors du calcul des aciers

Le calcul des aciers de flexion peut émettre une ou plusieurs alarmes dans les cas suivants :

- si l'élément '1D' ou au moins une facette de l'élément '2D' est en pivot B trop comprimé, avec **FERR_COMP = 'NON'** : dans ce cas la densité de ferraillage est fixée à -1 pour l'élément (et le calcul sur les autres facettes de l'élément '2D' est ignoré)
- si l'élément '1D' ou au moins une facette de l'élément '2D' est en pivot C trop comprimé avec **FERR_COMP = 'NON'** : dans ce cas la densité de ferraillage est fixée à -1 pour l'élément (et le calcul sur les autres facettes de l'élément '2D' est ignoré)
- si **FERR_SYME = 'OUI'** et que l'algorithme ne réussit pas à déterminer un ferraillage symétrique pour l'élément '1D' (ou pour au moins une facette de l'élément '2D') qui respecte le seuil de tolérance rensigné au niveau du mot-clé **SEUIL_SYME** : dans ce cas la densité de ferraillage est fixée à -1 pour l'élément
- si l'élément **'1D'** est soumis à une flexion déviée, et que l'algorithme itératif de dimensionnement par vérification de l'inéquation de Bresler ne parvient pas à converger : dans ce cas la densité de ferraillage est fixée à -1 pour l'élément
- si **TYPE_COMB = 'ELS_QP'** et que l'algorithme itératif de dimensionnement basé sur la vérification de l'inéquation de l'ouverture des fissures ne parvient pas à converger : dans ce cas la densité de ferraillage est fixée à -1 pour l'élément

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

4 Exemples d'utilisation

Pour des exemples d'utilisation on peut se référer aux cas-tests *SSLS145 et SSLS146.*

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