Opérateur CALC_FERRAILLAGE

1 But

Calculer les densités de ferraillage dans des éléments coques et plaques en fonction des sollicitations : les efforts généralisés, préalablement obtenus par l'option EFGE_ELNO.

La commande enrichit la structure de données de type résultat, fournie sous le mot-clé RESULTAT, d'un champ de grandeur ferraillage, dont les composantes sont décrites dans ce document.

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

2 Syntaxe

```
resu [*] = CALC_FERRAILLAGE    (

        ♦ reuse         =  resu
        ♦ RESULTAT      =  resu            [evol_elas,evol_noli,dyna_trans]
        ♦ CARA_ELEM     =  carac,                          [cara_elem]
        ♦ TYPE_COMB     =  /  'ELS',
                           /  'ELU',
                           /  'ELS_ QP ',
        ◊ CODIFICATION  =  /  'EC2',                                  [DEFAUT]
                           /  ' BAEL91 ',
        ◊ METHODE_2D    =  /  'Capra-Maury',                          [DEFAUT]
                           /  'Sandwich',
          ◊     PAS_THETA    =  /   5.0 ,                           [DEFAUT]
                           /   thiter ,                              [R]
          ◊     PAS_EPAI       =   /  0.01,                         [DEFAUT]
                           /   epiter ,                              [R]
          ◊     PAS_SIGM       =   / 0                              [DEFAUT]
                           /   aphiter ,                             [R]
          ◊     COND_109    =  /  'OUI',                            [DEFAUT]
                           /  'NON' ,
        ♦ UNITE _ CONTRAINTE =   /  ' MPa ',
                               /  ' Pa ',
        ♦ UNITE _ DIMENSION = /  ' m ',
                            / ' mm ',

#       Sélection des numéro d'ordre :
       /  TOUT_ORDRE    =      'OUI',
       /  NUME_ORDRE    =      l_nuor ,                              [l_I]
       /  LIST_ORDRE    =      l_nuor ,                              [listis]
       /  ♦  /  INST    =      l_inst ,                              [l_R]
             /  LIST_INST     =  / l_inst,                          [listr8]
          ◊  |  PRECISION     =  / prec,                            [R]
                               / 1.0E-6,                           [DEFAUT]
             |  CRITERE       =  / 'RELATIF',                       [DEFAUT]
                               / 'ABSOLU' ,

#      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]

                          si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '
                          ♦ C_SUP          = enrobs,                [R]
                          ♦ C_INF          = enrobi,                [R]
                          si TYPE_STRUCTURE = ' 1D '
```


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

```
♦ C_SUP_Y        = enrobys,                [R]
♦ C_INF_Y        = enrobyi,                [R]
♦ C_SUP_Z        = enrobzs,                [R]
♦ C _ INF_ Z       = enrob zi ,              [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]
 ◊ TYPE_DIAGRAMME    = / ' B1 ',
                    / ' B2 ',                [DEFAUT]
◊ GAMMA_S        = gs,                   [R]
 ◊ GAMMA_C          = 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]
```


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

```
                                ◊ 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'
                                          / '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]

                         si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '
                           ♦ C_SUP          = enrobs,               [R]
                           ♦ C_INF          = enrobi,               [R]
                          si TYPE_STRUCTURE = ' 1D '
                           ♦ C_SUP_Y        = enrobys,                 [R]
                           ♦ C_INF_Y        = enrobyi,                 [R]
                           ♦ C_SUP_Z        = enrobzs,                 [R]
                           ♦ C _ INF_ Z        = enrob zi ,               [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        = gs,                   [R]
                            ◊ GAMMA_C          = 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]
```


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

```
                        ◊ 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]
                           ),
        );
```


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

3 Opérandes

3.1 Opérandes RESULTAT et CARA_ELEM

♦ RESULTAT = resu
Nom d'un concept résultat de type résultat. Il est nécessairement réentrant.

♦ 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 TYPE_COMB

♦ / 'ELU'
Le ferraillage est dimensionné à l'État Limite Ultime, vis-à-vis du critère de limitation des déformations du béton et de l'acier.

/ 'ELS'
Le ferraillage est dimensionné à l'État Limite de Service Caractéristique, vis-à-vis du critère de limitation des contraintes dans le béton et l'acier.

/ 'ELS_QP'
Le ferraillage est dimensionné à l'État Limite de Service Quasi Permanent, vis-à-vis du critère de limitation des ouvertures des fissures dans le béton tendu.

Remarque 1:
Pour les combinaisons d'efforts, les pondérations sont à effectuer avant l'appel au module CALC_FERRAILLAGE. Pour ce faire, il faut extraire le champ des efforts généralisés, préalablement obtenus par l'option EFGE_ELNO, en utilisant la fonction CREA_CHAMP (opération EXTR) décrite dans le document [U4.72.04].

```
MECA1=CALC_CHAMP(reuse =MECA1,
                 RESULTAT=MECA1,
                 CONTRAINTE='EFGE_ELNO',);
EFFORTS1=CREA_CHAMP(TYPE_CHAM='ELNO_SIEF_R',
                    OPERATION='EXTR',
                    RESULTAT=MECA1,
                    NOM_CHAM='EFGE_ELNO',);
```

Puis, en réutilisant la fonction CREA_CHAMP (opération ASSE), on peut additionner les champs extraits en les pondérant par le coefficient souhaité.

```
PONDERE1=CREA_CHAMP(TYPE_CHAM='ELNO_SIEF_R',
                    OPERATION='ASSE',
                    MODELE=MODELE,
                    ASSE=_F(GROUP_MA='BALCON',
                            CHAM_GD=EFFORTS1,
                            CUMUL='OUI',
                            COEF_R=1.35,),);
```

Enfin, pour pouvoir utiliser le champ d'efforts pondérés créé dans CALC_FERRAILLAGE, il faut le transformer en un concept résultat de type résultat grâce à la fonction CREA_RESU décrite dans le document [U4.44.12].

```
PONDER=CREA_RESU(OPERATION='AFFE',
                 TYPE_RESU='EVOL_ELAS',
                 NOM_CHAM='EFGE_ELNO',
                 AFFE=(_F(CHAM_GD=PONDERE1,
                          MODELE=MODELE,
                          CHAM_MATER=MATE,
```


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

```
                                CARA_ELEM=CARA,
                                INST=1.0,),),)
```

Remarque 2:

Pour le calcul à l'ELS QP (vis-à-vis du critère de limitation des ouvertures des fissures), le dimensionnement proposé repose exclusivement sur la méthode détaillée élaborée dans l'Eurocode 2 (EC2). Ainsi, le calcul au BAEL sera similaire à celui régi par l'EC2.

3.3 Opérande CODIFICATION

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

Le mot-clé CODIFICATION permet de choisir la réglementation utilisée pour le calcul de ferraillage. Actuellement les réglementations disponibles sont le BAEL91 et l'Eurocode 2.

3.4 Opérande METHODE_2D

```
◊ METHODE_2D   =  /  'Capra-Maury',  [DEFAUT]
                  /  'Sandwich'
```

Le mot-clé METHODE_2D permet de choisir l'algorithme à retenir pour le calcul du ferraillage des éléments de type 'plaques' ('2D') [valide uniquement dans le cas où TYPE_COMB='ELU']. Actuellement, les méthodes proposées sont celle dite de 'Capra-Maury', ainsi que la méthode 'Sandwich' ; pour plus d'explication sur leurs principes, se référer à la documentation [R7.04.05].

3.5 Opérande PAS_THETA

```
◊  PAS_THETA  =  /  5.0  ,  [DEFAUT]
                 /  thiter ,  [R]
```

Le mot-clé PAS_THETA permet de choisir, dans le cas d'un calcul '2D' , la valeur du pas d'itération sur l'angle θ pour les algorithmes de calcul '2D' : dans le cas de la méthode 'Capra-Maury', θ correspond à l'orientation des plans des facettes fictives '1D' ; dans le cas de la méthode 'Sandwich', il s'agira de l'inclinaison des bielles de compression dans les couches périphériques, dans le cadre de la recherche du modèle *' Sandwich'* optimisé .

3.6 Opérande PAS_EPAI

```
◊  P AS_EPAI  =  /  0.01  ,  [DEFAUT]
                 /  epiter ,  [R]
```

Le mot-clé P AS_EPAI permet de choisir, dans le cas d'un calcul '2D' avec la méthode 'Sandwich' , la valeur du pas d'itération sur les épaisseurs des couches périphériques, dans le cadre de la recherche du modèle *' Sandwich'* optimisé ; le pas d'itération sera égal à epiter* h_t , où h_t désigne l'épaisseur totale de l'élément plaque '2D'.

Dans le cas d'un calcul '2D' avec la méthode de 'Capra-Maury' et dans le cas d'un calcul '1D' , il s'agit du pas d'itération sur la recherche de la profondeur optimale de l'axe neutre (dans le cas où l'équilibre n'est pas déterministe).

3.7 Opérande PAS_SIGM

```
◊  P AS_SIGM  =  /  0.1 ,  [DEFAUT]
                 /  aphiter ,  [R]
```


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

L e mot-clé P AS_SIGM permet de choisir, dans le cas d'un calcul '2D' avec la méthode 'Sandwich' , la valeur du pas d'itération sur l e s ratios (0 à 1) des contraintes principales de compression d ans les couches périphériques, dans le cadre de la recherche du modèle *' Sandwich'* optimisé .

3.8 Opérande COND_109

```
◊ COND_109 = / 'OUI' , [DEFAUT]
              / 'NON' ,
```

L e mot-clé COND_109 permet de choisir, dans le cas d'un calcul '2D' avec la méthode 'Sandwich' , la prise en compte ou pas des spécifications du §6.109- **Éléments de membrane** de l'EN-1992-2 pour le calcul des résistances des bielles de compression dans les couches périphériques du modèle *'Sandwich'* à déterminer. Si COND_109='NON' , la résistance de calcul sera égale à celle retenue pour le calcul '1D', à savoir $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$.

3.9 Opérande UNITE_CONTRAINTE

```
♦ UNITE_CONTRAINTE = / ' MPa ',
                     / 'Pa'
```

Unité de contraintes utilisée pour la saisie des mots-clés de l'opérateur

Remarque :

Il est très important de veiller à ce que l'unité retenue dans ce mot-clé soit la meme que l'unité des contraintes du problème découlant du calcul aux éléments finis.

3.10 Opérande UNITE_DIMENSION

```
♦ UNITE_ DIMENSION = / ' m ',
                     / 'mm'
```

Unité de dimensions utilisée pour la saisie des mots-clés de l'opérateur

Remarque :

Il est très important de veiller à ce que l'unité retenue dans ce mot-clé soit la meme que l'unité des dimensions du problème et de sa géométrie découlant du calcul aux éléments finis.

3.11 Sélection des numéros d'ordre

L'emploi des mots-clés TOUT_ORDRE, NUME_ORDRE, INST est décrit dans le document [U4.71.00].

3.12 Opérande AFFE

3.12.1 Sélection des mailles concernées par le calcul

Les mots clés TOUT et GROUP_MA permettent à l'utilisateur de choisir les mailles sur lesquelles il souhaite faire ses calculs élémentaires de post-traitement.

/ TOUT = 'OUI'
Toutes les mailles (porteuses d'éléments finis) seront traitées. C'est la valeur par défaut.

/ GROUP_MA = l_grma
Seules les mailles incluses dans l_grma seront traitées.

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

Remarque : Si le modèle n'est pas uniquement formé d'éléments de coque (3D, poutres, …), il ne faut pas utiliser le mot clé TOUT='OUI'. Il faut indiquer les éléments de coque à l'aide du mot-clé GROUP_MA.

3.12.2 Mot-clé spécifique à l'option CODIFICATION = 'BAEL91'

3.12.2.1 Opérande TYPE_STRUCTURE

♦ TYPE_STRUCTURE = / ' 1D ',
/ '2D'

Type de la structure à ferrailler : 1D (Poutres/Poteaux) ou 2D (Dalles/Voiles)

3.12.2.2 Opérande FERR_SYME

◊ FERR_SYME = / ' OUI ',
/ 'NON' [DEFAUT]

Ferraillage symétrique à considérer? Si activé, ce mot-clé permet de déterminer un état d'équilibre avec des sections de ferraillage supérieure et inférieure similaires, à une constante près à spécifier au niveau du mot clé **SEUIL_SYME = s** à suivre (c'est-à-dire tel que $|A_{s,sup} - A_{s,inf}| \leqslant s$)

3.12.2.3 Opérande SEUIL_SYME

◊ SEUIL_SYME = slsyme, [R]

Seuil de tolérance pour le calcul d'un ferraillage symétrique .
A renseigner si **FERR_SYME = 'OUI'**

3.12.2.4 Opérande FERR_COMP

◊ FERR_ COMP = / ' OUI ',
/ 'NON' [DEFAUT]

Ferraillage de compression possible? Si activé, le calcul de ferraillage pourra tenir compte d'un besoin de ferraillage de compression, vis-à-vis de certains d'états d'équilibres en Pivots B et C.

Remarque :

Dans le cas ou **FERR_COMP = 'NON'**, si l'équilibre aboutit à un besoin de ferraillage de compression, la densité de ferraillage sera fixée alors à -1 pour l'élément.

3.12.2.5 Opérande EPURE_CISA

◊ EPURE_CISA = / ' OUI ',
/ 'NON' [DEFAUT]

Prise en compte de l'effort de traction supplémentaire induit par l'effort tranchant et le moment de torsion, dans le cadre de la modélisation en treillis de Ritter-Mosche.

Remarque :

Dans le cas ou **EPURE_CISA = 'OUI'**, le calcul de la section supplémentaire d'acier tendu est effectué conformément à l'équation ci-dessous:

$A_{sl} = (V_{Ed} + T_{Ed} \times u_k / 2a_k) \times \cot(\theta_b) / \sigma_s$

T els que V_{Ed} et T_{Ed} représentent respectivement l'effort tranchant et le moment de torsion de calcul ; dans le cadre des éléments '2D', il s'agit des efforts déduits de l'équilibre de coin par facette conformément à la méthode de Capra Maury, actuellement retenue.
D'autre part, θ_b représente l'angle d'inclinaison des bielles de compression de béton, tel que déduit du calcul de dimensionnement du ferraillage transversal, et a_k et u_k représentent respectivement l'aire intérieure au feuillet moyen des parois de la section et le périmètre du feuillet, tels que définis au niveau du §6.3.2 de l'EC2 (et applicable également au BAEL91).

3.12.2.6 Opérande FERR_MIN

◊ FERR_MIN = / 'NON', [defaut]
/ ' OUI '
/ ' CODE '

Prise en compte d'un ferraillage minimal?
L'attribut peut prendre comme valeur :

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

- 'NON' : pas de ferraillage minimum pris en compte
- 'OUI' : un ratio minimal de ferraillage sera pris en compte et dont la valeur est à renseigner par l'utilisateur
- 'CODE' : un ratio minimal de ferraillage sera pris en compte et dont la valeur sera calculée implicitement par le logiciel, conformément aux spécifications des normes de calcul

3.12.2.7 Opérande RHO_LONGI_MIN

◊ RHO_LONGI_MIN = rholmin , [R]

Ratio de ferraillage minimal en %, vis-à-vis du ferraillage longitudinale de flexion (à renseigner dans le cas où FERR_MIN = 'OUI')

Remarque :

Dans le cas ou **FERR_MIN = 'CODE'**, le calcul de RHO_LONGI_MIN se fait implicitement par le code comme suit :

$\rho_{l,min} = 0,26 \times f_{ctm} / f_{yk} \geqslant 0,0013$

3.12.2.8 Opérande RHO_TRNSV_MIN

◊ RHO_TRNSV_MIN = rho t min , [R]

Ratio de ferraillage minimal en %, vis-à-vis du ferraillage transversal de cisaillement (à renseigner dans le cas où FERR_MIN = 'OUI')

Remarque :

Dans le cas ou **FERR_MIN = 'CODE'**, le calcul de RHO_LONGI_MIN se fait implicitement par le code comme suit :

$\rho_{t,min} = 0,08 \times \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$, si TYPE_STRUCTURE = '1D'

$\rho_{t,min} = 0$, si TYPE_STRUCTURE = '2D'

3.12.2.9 Opérande C_SUP

♦ C_SUP = enrobs, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure de la coque (TYPE_STRUCTURE = '2D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1h$ avec h l'épaisseur de la section.

3.12.2.10 Opérande C_INF

♦ C_INF = enrobi, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure de la coque (TYPE_STRUCTURE = '2D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1h$ avec h l'épaisseur de la section.

3.12.2.11 Opérande C_SUP_Y

♦ C_SUP = enrobys, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Y de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1H_Y$ avec H_Y la dimension de la section suivant l'axe inertiel Y.

3.12.2.12 Opérande C_INF_Y

♦ C_INF_Y = enrobyi, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Y de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1H_Y$ avec H_Y la dimension de la section suivant l'axe inertiel Y.

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

3.12.2.13Opérande C_SUP_Z

♦ C_SUP_Z = enrobzs, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Z de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1\,H_Z$ avec H_Z la dimension de la section suivant l'axe inertiel Z.

3.12.2.14Opérande C_INF_Z

♦ C_INF_Z = enrobzi, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Z de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1\,H_Z$ avec H_Z la dimension de la section suivant l'axe inertiel Z.

3.12.2.15Opérande N

◊ N = cequi, [R]

Coefficient d'équivalence acier/béton (rapport des modules d'Young)
Il est obligatoire de renseigner sa valeur pour le calcul aux États Limites de Service Caractéristique (ELS) et Quasi Permanent (ELS_QP).

Remarque :

La valeur couramment utilisée est $\alpha_e = 15$.

3.12.2.16Opérande RHO_ACIER

◊ RHO_ACIER = rhoacier, [R]

Valeur de la densité volumique des aciers.

3.12.2.17Opérandes FE/FCJ

◊ FE = facier, [R]

L a limite d'élasticité de l'acier (contrainte)

◊ FCJ = fbeton, [R]

La résistance caractéristique du béton à la compression (contrainte).

3.12.2.18Opérande EYS

◊ EYS = eys, [R]

La valeur du module d'Young de l'acier pour le calcul du ferraillage.

Remarque :

La valeur couramment utilisée est $E_{ys} = 210\,000\,MPa$.

3.12.2.19Opérande TYPE_DIAGRAMME

◊ TYPE_DIAGRAMME = / 'B1',
/ ' B2 ', [defaut]

Le choix de la forme du diagramme Contrainte-Déformation [B1 – palier plastique incliné et limité (ou) B2 – palier plastique horizontal et illimité] de l'acier pour le calcul à l'ELU.

3.12.2.20Opérandes GAMMA_S / GAMMA_C

◊ GAMMA_S = gammas , [R]

Coefficient de sécurité sur la résistance de l'acier à l'ELU .
En général, $\gamma_s = 1.5$ pour des combinaisons accidentelles sinon $\gamma_s = 1.15$.

◊ GAMMA_C = gammac, [R]

Coefficient de sécurité sur la résistance du béton à l'ELU.
En général, $\gamma_c = 1.2$ pour des combinaisons accidentelles sinon $\gamma_c = 1.5$

3.12.2.21Opérande ALPHA_CC

◊ ALPHA_CC = alphacc, [R]

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

Coefficient affectant la résistance ultime du béton (à l' ELU). Il vaut 1 par défaut dans l'EC2, et 0,85 par défaut au BAEL

3.12.2.22 Opérande SIGS_ELS

◊ SIGS_ELS = sigs [R]

Contrainte admissible dans l'acier (obligatoire pour le calcul à l'État Limite de Service).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2 , d'utiliser $\mathrm{SIGS_ELS}=0.8\,f_{yk}$, avec f_{yk} la limite d'élasticité de l'acier.

3.12.2.23 Opérandes SIGC_INF_ELS / SIGC_SUP_ELS

◊ SIGC_INF_ELS = sigci [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service).

◊ SIGC_SUP_ELS = sigcs [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{SIGC_ELS_INF/SUP}=0.6\,f_{ck}$ avec f_{ck} la résistance caractéristique du béton à la compression.

3.12.2.24 Opérandes SIGC_INF_Y_ELS / SIGC_SUP_Y_ELS / SIGC_INF_Z_ELS / SIGC_SUP_Z_ELS

◊ SIGC_INF_Y_ELS = sigcyi [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service).

◊ SIGC_SUP_Y_ELS = sigcys [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service) .

◊ SIGC_INF_Z_ELS = sigczi [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Z' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service) .

◊ SIGC_SUP_Z_ELS = sigczs [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Z' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{SIGC_ELS_Y/Z_INF/SUP}=0.6\,f_{ck}$ avec f_{ck} la résistance caractéristique du béton à la compression.

3.12.2.25 Opérandes WMAX_INF / WMAX_SUP

◊ WMAX_INF = wmaxi [R]

Ouverture maximale de fissuration autorisée en face inférieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ WMAX_SUP = wmaxs [R]

Ouverture maximale de fissuration autorisée en face supérieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent) .

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{WMAX_INF/SUP}=0.3-0.4\,mm$

3.12.2.26 Opérandes WMAX_INF_Y / WMAX_SUP_Y / WMAX_INF_Z / WMAX_SUP_Z

◊ WMAX_INF_Y = wmaxyi [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP).

◊ WMAX_SUP_Y = wmaxys [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP) .

◊ WMAX_INF_Z = wmaxzi [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Z' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP).

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

◊ WMAX_SUP_Z = wmaxzs [R]
Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie ' Z ' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP) .

Remarque :
Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{WMAX_INF/SUP_Y/Z}=0.3-0.4\,mm$

3.12.2.27 Opérande SIGC_ELS_QP

◊ SIGC_ELS_QP = sigelsqp [R]
Contrainte admissible dans le béton pour la maîtrise du fluage non linéaire (obligatoire pour le calcul à l'État Limite de Service QP).

Remarque :
Il est recommandé dans l'EC2 , d'utiliser $\mathrm{SIGC_ELS_QP}=0.45\,f_{ck}$, avec f_{ck} la résistance caractéristique du béton à la compression.

3.12.2.28 Opérande KT

◊ KT = kt [R]
Coefficient de durée de chargement pour le calcul de l'ouverture des fissures (obligatoire pour le calcul à l'État Limite de Service QP).

Remarque :
Il est recommandé dans l'EC2 , d'utiliser $\mathrm{KT}=0.6$ pour un chargement de courte durée et $\mathrm{KT}=0.4$ pour un chargement de longue durée.

3.12.2.29 Opérandes PHI_INF_X / PHI_SUP_X / PHI_INF_Y / PHI_SUP_Y / PHI_INF_Z / PHI_SUP_Z

◊ PHI_INF_X = phixi, [R]
Diamètre approximatif des armatures inférieures suivant « x » (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_SUP_X = phixs, [R]
Diamètre approximatif des armatures supérieures suivant « x » (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_INF_Y = phiyi, [R]
Diamètre approximatif des armatures inférieures suivant « y » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' et '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent ELS_QP).

◊ PHI_SUP_Y = phiys, [R]
Diamètre approximatif des armatures supérieures suivant « y » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' et '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_INF_Z = phizi, [R]
Diamètre approximatif des armatures inférieures suivant « z » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_SUP_Z = phizs, [R]
Diamètre approximatif des armatures supérieures suivant « z » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

Remarque :
Il est recommandé de considérer une valeur de 25 mm dans le cas général.

3.12.2.30 Opérandes CLASSE_ACIER

◊ CLASSE_ACIER = classe , [R]
Classe d'acier. Doit être une des trois valeurs : 'A' à ductilité normale, 'B' à haute ductilité ou 'C' à très haute ductilité. Elle permet de définir la valeur du pivot A $PIV_A=2{,}5\%$, $PIV_A=5\%$ ou $PIV_A=7{,}5\%$. La classe d'acier par défaut est la classe B.

3.12.2.31 Opérandes ALPHA_REINF, ALPHA_SHEAR, ALPHA_STIRRUPS, RHO_CRIT, DNSTRA_CRIT et L_CRIT

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

Les mots-clé suivants sont à définir uniquement si RHO_ACIER est supérieur à 0. Ils servent à calculer un indicateur de complexité visant à traduire la difficulté de mise en œuvre du ferraillage sur le terrain.

$$I_{c,i}=\frac{\alpha_{reinf}\cdot\frac{\rho_i}{\rho_{critic}}+\alpha_{shear}\cdot\frac{A_{sw,i}}{A_{sw,critic}}+\alpha_{stirrups}\cdot\frac{A_{sw,i}}{A_{sw,critic}}\cdot\frac{h_{eff,i}}{l_{crit}}}{\alpha_{reinf}+\alpha_{shear}+\alpha_{stirrups}}$$

où : ρ_i est la densité volumique totale d'acier pour l'élément i ;
$A_{sw,i}$ est la densité d'acier d'effort tranchant pour l'élément i ;
$h_{eff,i}=h-c-c'$ est la hauteur efficace considérée pour l'élément i ;

◊ ALPHA_REINF = / 1, [DEFAUT]
/ areinf , [R]

Coefficient de pondération du ration de densité d'acier par mètre cube de béton.

◊ ALPHA_SHEAR = / 1, [DEFAUT]
/ a shear , [R]

Coefficient de pondération du ration de densité d'acier d'effort tranchant.

◊ ALPHA_STIRRUPS = / 1, [DEFAUT]
/ a stirr , [R]

Coefficient de pondération du ration de longueur des épingles d'acier d'effort tranchant.

◊ RHO_CRIT =/ 150, [DEFAUT]
/ rhocrit , [R]

Densité volumique d'armature critique.

◊ DNSTRA_CRIT = / 0.006, [DEFAUT]
/ rhocrit , [R]

Densité de ferraillage d'effort tranchant critique.

◊ L_CRIT = / 1, [DEFAUT]
/ rhocrit , [R]

Longueur critique des épingles d'aciers d'effort tranchant.

3.12.3 Mot-clé spécifique à l'option CODIFICATION = 'EC2'

3.12.3.1 Opérande TYPE_STRUCTURE

♦ TYPE_STRUCTURE = / ' 1D ',
/ '2D'

Type de la structure à ferrailler : 1D (Poutres/Poteaux) ou 2D (Dalles/Voiles)

3.12.3.2 Opérande FERR_SYME

◊ FERR_SYME = / ' OUI ',
/ 'NON' [DEFAUT]

Ferraillage symétrique à considérer? Si activé, ce mot-clé permet de déterminer un état d'équilibre avec des sections de ferraillage supérieure et inférieure similaires, à une constante près à spécifier au niveau du mot clé **SEUIL_SYME = s** à suivre (c'est-à-dire tel que $|A_{s,sup}-A_{s,inf}|\leqslant s$)

3.12.3.3 Opérande SEUIL_SYME

◊ SEUIL_SYME = slsyme, [R]

Seuil de tolérance pour le calcul d'un ferraillage symétrique .
A renseigner si **FERR_S YME = 'OUI'**

3.12.3.4 Opérande FERR_COMP

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

◊ FERR_ COMP = / ' OUI ',
/ 'NON' [DEFAUT]

Ferraillage de compression possible? Si activé, le calcul de ferraillage pourra tenir compte d'un besoin de ferraillage de compression, vis-à-vis de certains d'états d'équilibres en Pivots B et C.

Remarque :

Dans le cas ou **FERR_COMP = 'NON'**, si l'équilibre aboutit à un besoin de ferraillage de compression, la densité de ferraillage sera fixée alors à -1 pour l'élément

3.12.3.5 Opérande EPURE_CISA

◊ EPURE_CISA = / ' OUI ',
/ 'NON' [DEFAUT]

Prise en compte de l'effort de traction supplémentaire induit par l'effort tranchant et le moment de torsion, dans le cadre de la modélisation en treillis de Ritter-Mosche.

Remarque :

Dans le cas ou **EPURE_CISA = 'OUI'**, le calcul de la section supplémentaire d'acier tendu est effectué conformément à l'équation ci-dessous:

$$A_{sl}=\left(V_{Ed}+T_{Ed}\times u_k/2a_k\right)\times\cot\left(\theta_b\right)/\sigma_s$$

T els que V_{Ed} et T_{Ed} représentent respectivement l'effort tranchant et le moment de torsion de calcul ; dans le cadre des éléments '2D', il s'agit des efforts déduits de l'équilibre de coin par facette conformément à la méthode de Capra Maury, actuellement retenue.

D'autre part, θ_b représente l'angle d'inclinaison des bielles de compression de béton, tel que déduit du calcul de dimensionnement du ferraillage transversal, et a_k et u_k représentent respectivement l'aire intérieure au feuillet moyen des parois de la section et le périmètre du feuillet, tels que définis au niveau du §6.3.2 de l'EC2 (et applicable également au BAEL91).

3.12.3.6 Opérande FERR_MIN

◊ FERR_MIN = / 'NON', [defaut]
/ ' OUI '
/ ' CODE '

Prise en compte d'un ferraillage minimal?

L'attribut peut prendre comme valeur :

- 'NON' : pas de ferraillage minimum pris en compte
- 'OUI' : un ratio minimal de ferraillage sera pris en compte et dont la valeur est à renseigner par l'utilisateur
- ' CODE ' : un ratio minimal de ferraillage sera pris en compte et dont la valeur sera calculée implicitement par le logiciel, conformément aux spécifications des normes de calcul

3.12.3.7 Opérande RHO_LONGI_MIN

◊ RHO_LONGI_ MIN = rholmin , [R]

Ratio de ferraillage minimal en %, vis-à-vis du ferraillage longitudinale de flexion (à renseigner dans le cas o ù FERR_MIN = ' OUI ')

Remarque :

Dans le cas ou **FERR_MIN = 'CODE'**, le calcul de RHO_LONGI_MIN se fait implicitement par le code comme suit :

$$\rho_{l,min}=0{,}26\times f_{ctm}/f_{yk} \geqslant 0{,}0013$$

3.12.3.8 Opérande RHO_TRNSV_MIN

◊ RHO_ TRNSV _ MIN = rho t min , [R]

Ratio de ferraillage minimal en %, vis-à-vis du ferraillage transversal de cisaillement (à renseigner dans le cas o ù FERR_MIN = ' OUI ')

Remarque :

Dans le cas ou **FERR_MIN = 'CODE'**, le calcul de RHO_LONGI_MIN se fait implicitement par le code comme suit :

$\rho_{t,min}=0{,}08\times\sqrt{f_{ck}}/f_{yk}$, si TYPE_STRUCTURE = ' 1D '

$\rho_{t,min}=0$, si TYPE_STRUCTURE = ' 2D '

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

3.12.3.9 Opérande C_SUP

♦ C_SUP = enrobs, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure de la coque (TYPE_STRUCTURE = '2D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1h$ avec h l'épaisseur de la section.

3.12.3.10 Opérande C_INF

♦ C_INF = enrobi, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure de la coque (TYPE_STRUCTURE = '2D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1h$ avec h l'épaisseur de la section.

3.12.3.11 Opérande C_SUP_Y

♦ C_SUP = enrobys, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Y de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1h$ avec h la hauteur de la section.

3.12.3.12 Opérande C_INF_Y

♦ C_INF_Y = enrobyi, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Y de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1h$ avec h la hauteur de la section.

3.12.3.13 Opérande C_SUP_Z

♦ C_SUP_Z = enrobzs, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Z de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1b$ avec b la largeur de la section.

3.12.3.14 Opérande C_INF_Z

♦ C_INF_Z = enrobzi, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferraillage pour la face supérieure suivant l'axe Z de la poutre/poteau (TYPE_STRUCTURE = '1D')

Remarque :

La valeur de l'enrobage peut être approximée à $0.1b$ avec b l a hauteur de la section.

3.12.3.15 Opérande ALPHA_E

◊ ALPHA_E = cequi, [R]

Coefficient d'équivalence acier/béton (rapport des modules d'Young)

Il est obligatoire de renseigner sa valeur pour le calcul aux États Limites de Service Caractéristique (ELS) et Quasi Permanent (ELS_QP).

Remarque :

La valeur couramment utilisée est $\alpha_e = 15$.

3.12.3.16 Opérande RHO_ACIER

◊ RHO_ACIER = rhoacier, [R]

Valeur de la densité volumique des aciers.

3.12.3.17 Opérandes FYK/FCK

◊ FYK = facier, [R]

L a limite d'élasticité de l'acier (contrainte)

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

◊ FCK = fbeton, [R]
La résistance caractéristique du béton à la compression (contrainte).

3.12.3.18 Opérande EYS
◊ EYS = eys, [R]
La valeur du module d'Young de l'acier pour le calcul du ferraillage.

Remarque :
La valeur couramment utilisée est $E_{ys}=210\,000\,MPa$.

3.12.3.19 Opérande TYPE_DIAGRAMME
◊ TYPE_DIAGRAMME = / 'B1',
/ ' B2 ', [defaut]
Le choix de la forme du diagramme Contrainte-Déformation [B1 – palier plastique incliné et limité (ou) B2 – palier plastique horizontal et illimité] de l'acier pour le calcul à l'ELU.

3.12.3.20 Opérandes GAMMA_S / GAMMA_C
◊ GAMMA_S = gammas , [R]
Coefficient de sécurité sur la résistance de l'acier à l'ELU .
En général, $\gamma_s=1.5$ pour des combinaisons accidentelles sinon $\gamma_s=1.15$.
◊ GAMMA_C = gammac, [R]
Coefficient de sécurité sur la résistance du béton à l'ELU.
En général, $\gamma_c=1.2$ pour des combinaisons accidentelles sinon $\gamma_c=1.5$

3.12.3.21 Opérande ALPHA_CC
◊ ALPHA_CC = alphacc, [R]
Coefficient affectant la résistance ultime du béton (à l' ELU). Il vaut 1 par défaut dans l'EC2, et 0,85 par défaut au BAEL

3.12.3.22 Opérande SIGS_ELS
◊ SIGS_ELS = sigs [R]
Contrainte admissible dans l'acier (obligatoire pour le calcul à l'État Limite de Service) .

Remarque :
Il est recommandé dans l'EC2 , d'utiliser $\mathrm{SIGS_ELS}=0.8\,f_{yk}$, avec f_{yk} la limite d'élasticité de l'acier.

3.12.3.23 Opérandes SIGC_INF_ELS / SIGC_SUP_ELS
◊ SIGC_INF_ELS = sigci [R]
Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service) .
◊ SIGC_SUP_ELS = sigcs [R]
Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service) .

Remarque :
Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{SIGC_ELS_INF/SUP}=0.6\,f_{ck}$ avec f_{ck} la résistance caractéristique du béton à la compression.

3.12.3.24 Opérandes SIGC_INF_Y_ELS / SIGC_SUP_Y_ELS / SIGC_INF_Z_ELS / SIGC_SUP_Z_ELS
◊ SIGC_INF_Y_ELS = sigcyi [R]
Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service) .
◊ SIGC_SUP_Y_ELS = sigcys [R]
Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service) .
◊ SIGC_INF_Z_ELS = sigczi [R]
Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Z' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service) .
◊ SIGC_SUP_Z_ELS = sigczs [R]

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

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Z' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{SIGC_ELS_Y/Z_INF/SUP}=0.6\,f_{ck}$ avec f_{ck} la résistance caractéristique du béton à la compression.

3.12.3.25 Opérandes WMAX_INF / WMAX_SUP

◊ WMAX_INF = wmaxi [R]

Ouverture maximale de fissuration autorisée en face inférieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ WMAX_SUP = wmaxs [R]

Ouverture maximale de fissuration autorisée en face supérieure de la coque (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{WMAX_INF/SUP}=0.3-0.4\,mm$

3.12.3.26 Opérandes WMAX_INF_Y / WMAX_SUP_Y / WMAX_INF_Z / WMAX_SUP_Z

◊ WMAX_INF_Y = wmaxyi [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP).

◊ WMAX_SUP_Y = wmaxys [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Y' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP).

◊ WMAX_INF_Z = wmaxzi [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face inférieure de la poutre suivant l'axe d'inertie 'Z' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP).

◊ WMAX_SUP_Z = wmaxzs [R]

Contrainte admissible de compression dans le béton en face supérieure de la poutre suivant l'axe d'inertie ' Z ' (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service QP).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2, d'utiliser $\mathrm{WMAX_INF/SUP_Y/Z}=0.3-0.4\,mm$

3.12.3.27 Opérande SIGC_ELS_QP

◊ SIGC_ELS_QP = sigelsqp [R]

Contrainte admissible dans le béton pour la maîtrise du fluage non linéaire (obligatoire pour le calcul à l'État Limite de Service QP).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2 , d'utiliser $\mathrm{SIGC_ELS_QP}=0.45\,f_{ck}$, avec f_{ck} la résistance caractéristique du béton à la compression.

3.12.3.28 Opérande KT

◊ KT = kt [R]

Coefficient de durée de chargement pour le calcul de l'ouverture des fissures (obligatoire pour le calcul à l'État Limite de Service QP).

Remarque :

Il est recommandé dans l'EC2 , d'utiliser $\mathrm{KT}=0.6$ pour un chargement de courte durée et $\mathrm{KT}=0.4$ pour un chargement de longue durée.

3.12.3.29 Opérandes PHI_INF_X / PHI_SUP_X / PHI_INF_Y / PHI_SUP_Y / PHI_INF_Z / PHI_SUP_Z

◊ PHI_INF_X = phixi, [R]

Diamètre approximatif des armatures inférieures suivant « x » (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_SUP_X = phixs, [R]

Diamètre approximatif des armatures supérieures suivant « x » (obligatoire pour le calcul des éléments '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_INF_Y = phiyi, [R]

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

Diamètre approximatif des armatures inférieures suivant « y » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' et '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent ELS_QP).

◊ PHI_SUP_Y = phiys, [R]

Diamètre approximatif des armatures supérieures suivant « y » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' et '2D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_INF_Z = phizi, [R]

Diamètre approximatif des armatures inférieures suivant « z » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

◊ PHI_SUP_Z = phizs, [R]

Diamètre approximatif des armatures supérieures suivant « z » (obligatoire pour le calcul des éléments '1D' à l'État Limite de Service Quasi Permanent).

Remarque :

Il est recommandé de considérer une valeur de 25 mm dans le cas général.

3.12.3.30 Opérande UTIL_COMPR

◊ UTIL_COMPR = / 'NON', [DEFAUT]
/ 'OUI',

Prise en compte de la compression dans le calcul des aciers d'effort tranchant à l'ELS.

3.12.3.31 Opérandes CLASSE_ACIER

◊ CLASSE_ACIER = classe , [R]

Classe d'acier. Doit être une des trois valeurs : 'A' à ductilité normale, 'B' à haute ductilité ou 'C' à très haute ductilité. Elle permet de définir la valeur du pivot A $PIV_A = 2{,}5\%$, $PIV_A = 5\%$ ou $PIV_A = 7{,}5\%$. La classe d'acier par défaut est la classe B.

3.12.3.32 Opérandes ALPHA_REINF, ALPHA_SHEAR, ALPHA_STIRRUPS, RHO_CRIT, DNSTRA_CRIT et L_CRIT

Les mots-clé suivants sont à définir uniquement si RHO_ACIER est supérieur à 0. Ils servent à calculer un indicateur de complexité visant à traduire la difficulté de mise en œuvre du ferraillage sur le terrain.

$$I_{c,i} = \frac{\alpha_{reinf} \cdot \frac{\rho_i}{\rho_{critic}} + \alpha_{shear} \cdot \frac{A_{sw,i}}{A_{sw,critic}} + \alpha_{stirrups} \cdot \frac{A_{sw,i}}{A_{sw,critic}} \cdot \frac{h_{eff,i}}{l_{crit}}}{\alpha_{reinf} + \alpha_{shear} + \alpha_{stirrups}}$$

où : ρ_i est la densité volumique totale d'acier pour l'élément i ;
$A_{sw,i}$ est la densité d'acier d'effort tranchant pour l'élément i ;
$h_{eff,i} = h - c - c'$ est la hauteur efficace considérée pour l'élément i ;

◊ ALPHA_REINF = / 1, [DEFAUT]
/ areinf , [R]

Coefficient de pondération du ration de densité d'acier par mètre cube de béton.

◊ ALPHA_SHEAR = / 1, [DEFAUT]
/ a shear , [R]

Coefficient de pondération du ration de densité d'acier d'effort tranchant.

◊ ALPHA_STIRRUPS = / 1, [DEFAUT]
/ a stirr , [R]

Coefficient de pondération du ration de longueur des épingles d'acier d'effort tranchant.

◊ RHO_CRIT = / 150, [DEFAUT]
/ rhocrit , [R]

Densité volumique d'armature critique.

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

◊ DNSTRA_CRIT = / 0.006, [DEFAUT]
/ rhocrit , [R]

Densité de ferraillage d'effort tranchant critique.

◊ L_CRIT = / 1, [DEFAUT]
/ rhocrit , [R]

Longueur critique des épingles d'aciers d'effort tranchant.

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

4 Composition du champ produit

Le résultat 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 Z 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 ($CONSTRUC$).

Actuellement, pour les éléments '2D', les densités de ferraillage sont calculées d'après la méthode de CAPRA et MAURY [R7.04.05]. Ces densités sont exprimées en unité de surface par longueur linéaire de coque. Par exemple, si le maillage est en mètres (avec des données de caractéristiques élémentaires et de matériau en cohérence), les densités seront exprimées en m^2/m pour les aciers de flexion et en m^2/m^2 pour les aciers d'effort tranchant.

Pour les éléments '1D', les densités sont exprimées en unité de surface. Par exemple, si le maillage est en mètres (avec des données de caractéristiques élémentaires et de matériau en cohérence), les densités seront exprimées en m^2 pour les aciers de flexion et en m^2/m pour les aciers d'effort tranchant.

Le champ de ferraillage est calculé pour tous les instants spécifiés par l'utilisateur (par défaut : tous). Si l'on veut calculer le champ contenant les valeurs « max » au cours du transitoire, on peut exécuter la commande :

```
FERMAX=CREA_CHAMP(  OPERATION='EXTR', TYPE_CHAM='ELEM_FER2_R',
                    NOM_CHAM='FERRAILLAGE', RESULTAT=Solution,
                    TYPE_MAXI='MAXI_ABS', TYPE_RESU='VALE',
                       )
```


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

5 Erreurs et alarmes

5.1 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 CALC_FERRAILLAGE. Le calcul peut être stoppé par une erreur fatale dans les cas suivants :

- dans le cas BAEL91 à l'ELU : si les mots-clé GAMMA_S, GAMMA_C, 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 : si les mots-clé GAMMA_S, GAMMA_C 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.

5.2 Alarmes émises lors du calcul des aciers de flexion

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

5.3 Alarmes émises lors du calcul des aciers transversaux

Le calcul à l'ELU des aciers transversaux peut émettre une ou plusieurs alarmes dans les cas suivants :

- si le béton est trop cisaillé : dans ce cas la densité de ferraillage des aciers transversaux est fixée à -1.

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

6 Exemples d'utilisation

Voir les cas tests :

- ssls 126c, sslx100c
- ssls134a , ssls134 b, ssls134c
- s sll13a, ssll13b, ssll13c

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