
Opérateur CALC_FERRAILLAGE

1 But

Calculer les densités de ferrailage 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 ferrailage, dont les composantes sont décrites au chapitre 4.

2 Syntaxe

```
resu [*] = CALC_FERRAILLAGE (
    ♦ reuse      = resu
    ♦ RESULTAT  = resu          [evol_elas,evol_noli,dyna_trans]

    ♦ TYPE_COMB = / 'ELS',
                  / 'ELU',

    ♦ # 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]
        / FREQ      = / l_inst,        [listr8]
        / LIST_FREQ = / l_freq,        [listr8]
      ◊ | PRECISION = / prec,
        / 1.0E-6,                      [DEFAULT]
        | CRITERE = / 'RELATIF',       [DEFAULT]
        / 'ABSOLU' ,

    ♦ AFFE      = _F ( ♦ / TOUT = / 'OUI'
                      / 'NON'
                      / GROUP_MA = l_grma,          [l_gr_maille]
                      / MAILLE = l_maille,          [l_maille]

                      ♦ ENROBG      = enrobg,          [R]
                      ◊ CEQUI       = cequi,          [R]
                      ♦ SIGM_ACIER = sigaci ,          [R]
                      ♦ SIGM_BETON = sigbet,          [R]
                      ◊ PIVA        = piva,          [R]
                      ◊ PIVB        = pivb,          [R]
                      ◊ ES          = es,          [R]

                      )
)
```

3 Opérandes

3.1 Opérande RESULTAT

◆ RESULTAT = resu

Nom d'un concept résultat de type résultat. Il est nécessairement réentrant.

3.2 Opérande TYPE_COMB

◆ / 'ELS'

Le ferrailage est paramétré pour un calcul en État Limite de Service.

/ 'ELU'

Le ferrailage est paramétré pour un calcul en État Limite Ultime.

Remarque :

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

3.3 Sélection des numéros d'ordre

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

3.4 Opérande AFFE

3.4.1 Sélection des mailles concernées par le calcul

Les mots clés TOUT, GROUP_MA et MAILLE 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  
| MAILLE = l_maille
```

Seules les mailles incluses dans l_grma et/ou l_maille seront traitées.

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 des mots clés GROUP_MA et MAILLE.

3.4.2 Opérande ENROBG

◆ ENROBG = enrobg, [R]

Distance entre la surface de béton et l'axe des armatures de ferrailage

Remarque :

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

3.4.3 Opérande CEQUI

◇ CEQUI = cequi, [R]

Coefficient d'équivalence acier / béton (calcul à l'État Limite de Service, ELS)

Remarque :

|La valeur couramment utilisée est $CEQUI=15$.

3.4.4 Opérande SIGM_ACIER

◆ SIGM_ACIER = sigaci

Contrainte admissible dans l'acier ('ELS') ou la limite d'élasticité de calcul de l'acier ('ELU')

Remarque :

|Pour l'ELS, on utilise réglementairement :

$$SIGM_ACIER = 0.8 f_e$$

Avec f_e la limite d'élasticité de l'acier

|Pour l'ELU, on utilise réglementairement :

$$SIGM_ACIER = \frac{f_e}{\gamma_s} \text{ avec } \gamma_s = 1.15 \text{ pour des combinaisons accidentelles sinon } \gamma_s = 1$$

3.4.5 Opérande SIGM_BETON

◆ SIGM_BETON = sigbet

Contrainte admissible de compression dans le béton ('ELS') ou la résistance en compression de calcul du béton ('ELU')

Remarque :

|Pour l'ELS, on utilise réglementairement :

$$\text{SIGM_BETON} = 0.6 f_{cj}$$

Avec f_{cj} la résistance caractéristique du béton à la compression.

Pour l'ELU, on utilise réglementairement :

$$\text{SIGM_BETON} = \frac{0.85 f_{cj}}{\theta \gamma_b}$$

avec $\gamma_b = 1.15$ pour des combinaisons accidentelles sinon $\gamma_b = 1.5$

et $\theta = 1$ si la durée de chargement est supérieure à 24h, $\theta = 0.9$ si la durée de chargement est comprise entre 1h et 24h, sinon $\theta = 0.85$

3.4.6 Opérandes PIVA / PIVB

$$\diamond \text{ PIVA} = \text{piva}, \quad [\text{R}]$$

Valeur du pivot A (calcul à l'État Limite Ultime)

$$\diamond \text{ PIVB} = \text{pivb}, \quad [\text{R}]$$

Valeur du pivot B (calcul à l'État Limite Ultime)

3.4.7 Opérandes ES

$$\diamond \text{ ES} = \text{es}, \quad [\text{R}]$$

Valeur du module d'Young de l'acier (calcul à l'État Limite Ultime)

4 Composition du champ produit

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

- une densité de ferrailage 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 ferrailage 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 ferrailage transversal ($DNST$) ;
- la contrainte dans le béton $SIGMBE$;
- la déformation dans le béton $EPSIBE$.

Les densités de ferrailage sont calculées d'après la méthode de CAPRA et MAURY [R7.04.05]. Ces densités sont exprimées en unité en 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 .

Le champ de ferrailage 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',  
                    )
```

5 Exemples d'utilisation

Voir les cas tests `ssls134a`, `ssls135a` et `sslx100d`.