# Opérateur CALC_BT

**Résumé :**

La commande CALC_BT permet de créer de manière automatique et d'optimiser une structure Bielles-Tirants à partir des résultats du type evol_elas ou evol_noli issus d'une modélisation 2D en contrainte ou déformation plane (C_PLAN, D_PLAN) . Le but est le calcul du ferraillage d'une structure en béton.

Pour plus de détails sur la méthode on peut consulter la documentation [R7.04.06] « Méthode automatisée des bielles-tirants pour le calcul du ferraillage.



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

# Table des Matières

1 Syntaxe....3
2 Opérandes....5
2.1 Opérande RESULTAT....5
2.2 Opérande INST....5
2.3 Opérandes BETON et ACIER....5
2.4 Opérande GROUP_MA_EXT....5
2.5 Opérande GROUP_MA_EXT....5
2.6 Opérande SCHEMA....5
2.7 Opérandes SIGMA_C et SIGMA_Y....6
2.8 Opérandes PAS_X et PAS_Y....6
2.9 Opérande TOLE_BASE....6
2.10 Opérande TOLE_BT....6
2.11 Opérande MAX_ITER....6
2.12 Opérandes RESI_RELA_TOPO et RESI_RELA_SECTION....6
2.13 Opérande CRIT_SECTION....7
2.14 Opérande SECTION_MINI....7
2.15 Opérande CRIT_ELIM....7
2.16 Opérande LONGUEUR_MAX....7
2.17 Opérande INIT_ALEA....7
2.18 Mot-clé facteur DDL_IMPO....7
2.18.1 Opérande GROUP_NO....8
2.18.2 Opérandes DX et DY....8
2.19 Mot-clé facteur FORCE_NODALE....8
2.19.1 Opérande GROUP_NO....8
2.19.2 Opérandes FX et FY....8
3 Exemple d'utilisation....9
3.1 Avant d'utiliser la macro-commande....9
3.1.1 Maillage et modèle....9
3.1.2 Matériaux....9
3.1.3 Conditions aux limites....9
3.1.4 Calcul préliminaire....10
3.2 Utilisation de la macro-commande....10



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

# 1 Syntaxe

```
CALC_BT(

    # Résultats du calcul de base et géométrie
    ♦ RESULTAT    =  RESULTAT,                    [evol_elas, evol_noli]
    ♦ INST        = inst,                                          [R]

    # Contour intérieur et extérieur
    ♦  GROUP_MA_EXT = gr_ma_ext                                    [TXM]
    ◊  GROUP_MA_INT = gr_ma_int                                    [l_TXM]

    # Conditions aux limites
    ♦  DDL_IMPO = _F(   ♦  GROUP_NO = gr_nod,                      [TXM]
                        ♦    |  DX = dx,                           [R]
                             |  DY = dy,                           [R]
                   ),

    ♦  FORCE_NODALE = _F(♦  GROUP_NO = gr_nof,                     [TXM]
                         ♦  | FX = fx,                            [R]
                            | FY = fy,                            [R]
                       ),

    # Matériaux
    ♦ BETON = BETON                                          [mater_sdaster]

    ♦ ACIER = ACIER                                          [mater_sdaster]

    # Paramètres de l'optimisation
    ◊  SCHEMA = /'SECTION',                                        [DEFAUT]
              /'TOPO',
    ♦  SIGMA_C =     fc,                                           [R]

    ♦  SIGMA_Y =     fy,                                           [R]

    ◊  PAS_X = pas_x,                                              [R]

    ◊  PAS_Y = pas_y,                                              [R]

    ◊  TOLE_BASE = / 0.01,                                         [DEFAUT]
                   / tole_1,                                       [R]

    ◊  TOLE_BT = / 0.01,                                           [DEFAUT]
                 / tole_2,                                         [R]

    ◊  NMAX_ITER = / 150,                                          [DEFAUT]
                   / maxiter,                                      [R]

    ◊  RESI_RELA_SECTION= / 1E-5,                                  [DEFAUT]
                          / conv_1,                                [R]

    ◊  RESI_RELA_TOPO= / 1E-6,                                     [DEFAUT]
                       / conv_2,                                   [R]

    ◊  CRIT_SECTION = / 0.5,                                       [DEFAUT]
                      / sevol,                                     [R]

    ◊  CRIT_ELIM = / 0.1,                                          [DEFAUT]
```



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

```
                    / melim,                                    [R]


  ♦  SECTION_MINI = minsec,                                     [R]

  ♦  LONGUEUR_MAX = maxlon,                                     [R]
  ◊ INIT_ALEA = seed                                            [I]
                      ),
)
```



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

# 2 Opérandes

## 2.1 Opérande RESULTAT

♦ RESULTAT = RESULTAT

Nom du champ evol_elas ou evol_noli issu du calcul de base (sur la géométrie pour laquelle on veut calculer l'armature).

## 2.2 Opérande INST

♦ INST = inst

Réel précisant l'instant sur lequel s'opère la restitution.

## 2.3 Opérandes BETON et ACIER

♦ BETON = BETON

Structure de données du type mater_sdaster définissant les propriétés élastiques du matériau béton (Module de Young, $E$ , et coefficient de Poisson, $\nu$ ), telles que défini par DEFI_MATERIAU/ELAS.

♦ ACIER = ACIER

Structure de données du type mater_sdaster définissant les caractéristiques du matériau acier (Module de Young, $E$ , et coefficient de Poisson, $\nu$ ), telles que défini par DEFI_MATERIAU/ELAS.

## 2.4 Opérande GROUP_MA_EXT

♦ GROUP_MA_EXT = / gr_ma_ext

Nom du groupe de mailles de type seg2 définissant le contour extérieur de la géométrie. La connectivité de ces groupes doit définir des géométries fermées.

## 2.5 Opérande GROUP_MA_EXT

◊ GROUP_MA_INT = / gr_ma_int

Liste de groupes de mailles de type seg2 définissant les contours internes de la géométrie. La connectivité de ces groupes doit définir des géométries fermées.

## 2.6 Opérande SCHEMA

♦ SCHEMA = /'SECTION',
/'TOPO',

Un des deux possibles schémas d'optimisation doit être sélectionné par l'utilisateur. En l'absence de l'opérande, le schéma d'optimisation 'SECTION' sera choisi par défaut.



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

## 2.7 Opérandes SIGMA_C et SIGMA_Y

♦ SIGMA_C = fc,

♦ SIGMA_Y = fy,

Valeurs limites de résistance considérées dans l'optimisation. SIGMA_C, représente la résistance à la compression du béton et SIGMA_Y la résistance de l'acier en traction.

## 2.8 Opérandes PAS_X et PAS_Y

◊ PAS_X = pas_x,

◊ PAS_Y = pas_y,

L'utilisateur peut définir le pas de la maille utilisée pour l'interpolation des valeurs dans les champs de contraintes. Deux valeurs sont nécessaires : une valeur pour le pas selon la direction X et une pour le pas selon la direction Y.

## 2.9 Opérande TOLE_BASE

◊ TOLE_BASE = / 0.1,
/ tole_1,

La valeur de tolérance TOLE_BASE permet de définir la distance de fusion entre les pics de contrainte lors de l'interpolation du champs de contraintes, sur le modèle de base, c'est-à-dire sur le résultat en entrée de la macro (géométrie pour laquelle on veut calculer les armatures). La valeur fournie représente un pourcentage de la distance la plus longue en x, y ou z entre les nœuds du maillage de base.

## 2.10 Opérande TOLE_BT

◊ TOLE_BT = / 0.1,
/ tole_2,

La valeur de tolérance TOLE_BT permet de définir la distance de fusion entre deux ou plusieurs nœuds du modèle treillis. La valeur fournie représente un pourcentage de la distance la plus longue en x,y ou z entre les nœuds du maillage de base.

## 2.11 Opérande MAX_ITER

◊ NMAX_ITER = / 150,
/ maxiter,

Ce mot clé permet à l'utilisateur de définir le nombre maximal d'itérations effectuées par le schéma d'optimisation choisi.

## 2.12 Opérandes RESI_RELA_TOPO et RESI_RELA_SECTION

◊ RESI_RELA_SECTION = / 1E-6,
/ conv_1,

◊ RESI_RELA_TOPO = / 1E-5,
/ conv_2,

Le précision de convergence de la procédure d'optimisation peut-être définies par l'utilisateur. La valeur de convergence RESI_RELA_SECTION contrôle l'arrêt de la procédure d'optimisation, que ce



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

soit de type SECTION ou TOPO. La valeur RESI_RELA_TOPO déclenche la procédure d'optimisation topologique et n'est utilisée que pour le schéma TOPO.

Pour une optimisation effectuée exclusivement avec l'option SCHEMA = 'SECTION', le paramètre RESI_RELA_TOPO est ignoré.

## 2.13 Opérande CRIT_SECTION

```
◊  CRIT_SECTION = / 0.5,
                  / sevol
```

L'opérande CRIT_SECTION permet de définir l'évolution maximale des sections des éléments lors de l'algorithme d'optimisation. Une valeur de 0.5, équivalente à une évolution maximale admissible de ±50%, est imposée par default.

## 2.14 Opérande SECTION_MINI

```
♦  SECTION_MINI = /minsec,
```

L'opérande SECTION_MINI permet à l'utilisateur de définir la section minimale pour les éléments dont la force axiale tend vers zéro. Ce paramètre est utilisé à la fois pour le schéma SECTION et TOPO.

## 2.15 Opérande CRIT_ELIM

```
◊  CRIT_ELIM = / 0.1,
               / melim,
```

L'opérande CRIT_ELIM permet de définir le taux maximal d'élimination des éléments. Cette valeur représente un pourcentage de la totalité des éléments dans le système initial. Ce paramètre est utilisé seulement pour le schéma TOPO et est ignoré si le schéma SECTION est choisi.

## 2.16 Opérande LONGUEUR_MAX

```
♦  LONGUEUR_MAX = maxlon,
```

La valeur LONGUEUR_MAX permet de limiter la génération d'éléments dans le modèle BT. Les éléments, bielles ou tirants, ont comme longueur maximale la valeur donnée.

## 2.17 Opérande INIT_ALEA

```
◊  INIT_ALEA = seed,
```

Le mot-clé INIT_ALEA initialise le germe des suites aléatoires utilisées pour un tirage aléatoire. Si cet opérande est renseigné, deux calculs d'armature avec la même initialisation produisent alors le même résultat.

## 2.18 Mot-clé facteur DDL_IMPO

```
♦  DDL_IMPO = _F(♦  GROUP_NO = gr_nod,
                 ♦    |  DX = dx,
                      |  DY = dy,
                  )
```



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

Ce mot-clé facteur permet d'appliquer des déplacements imposés sur un groupe de nœuds. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de renseigner les mêmes conditions aux limites utilisées pour le calcul sur la géométrie de départ (calcul de base). La syntaxe est la même que pour l'opérateur AFFE_CHAR_MECA [U4.44.01].

### 2.18.1 Opérande GROUP_NO

♦ GROUP_NO = gr_no

Groupe de nœuds associé aux conditions aux limites.

### 2.18.2 Opérandes DX et DY

```
♦   |  DX = dx,
    |  DY = dy,
```

Valeurs des déplacements nodaux imposés définies dans le repère global de définition du maillage.

## 2.19 Mot-clé facteur FORCE_NODALE

```
♦  FORCE_NODALE = _F(♦  GROUP_NO = gr_nof,
                     ♦   |    FX = fx,
                         |    FY = fy,
                    )
```

Mot-clé facteur utilisable pour appliquer, à des groupes de nœuds, des forces nodales, définies composante par composante dans le repère global. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de renseigner les mêmes conditions aux limites utilisé pour le calcul sur la géométrie de départ (calcul de base). La syntaxe est la même que pour l'opérateur AFFE_CHAR_MECA [U4.44.01].

### 2.19.1 Opérande GROUP_NO

```
♦  GROUP_NO = gr_no
```

Groupe de nœuds associés aux conditions aux chargements nodaux.

### 2.19.2 Opérandes FX et FY

```
♦   |  FX = fx,
    |  FY = fy,
```

Valeurs des forces nodales imposées définies dans le repère global de définition du maillage.



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

# 3 Exemple d'utilisation

Cette section fournit la description des principales étapes d'un calcul de ferraillage, pour la modélisation en contrainte plane.

Pour d'autres exemples, voir les cas-tests ssnp105 [V6.03.105] et ssnp106 [V6.03.105].

## 3.1 Avant d'utiliser la macro-commande

Il est nécessaire de réaliser un calcul élastique linéaire avec une modélisation plane (D_PLAN, C_PLAN).

La totalité des éléments est associée au matériau béton.

### 3.1.1 Maillage et modèle

```
MAIL = LIRE_MAILLAGE(FORMAT = 'ASTER',
                     INFO = 2,
                     UNITE = 20)

MAIL = DEFI_GROUP(reuse = MAIL,
                  CREA_GROUP_MA = _F(NOM = 'tout',
                                     TOUT='OUI'),
                  MAILLAGE=MAIL)

MODEL = AFFE_MODELE(AFFE = _F(GROUP_MA = 'tout',
                              MODELISATION = ('C_PLAN', ),
                              PHENOMENE = 'MECANIQUE'),
                    MAILLAGE = MAIL)
```

### 3.1.2 Matériaux

La commande CALC_BT trouve un treillis composé de bielles en béton et de tirants en acier (les armatures). Les deux matériaux sont définis ici. Cependant, pour le calcul de base on utilise seulement le matériau béton, la structure à ferrailler étant considérée homogène.

```
BETON = DEFI_MATERIAU(ELAS = _F(E = 30E9,
                                NU = 0.2))

ACIER = DEFI_MATERIAU(ELAS = _F(
                                E = 210E9,
                                NU = 0.3))

materi = AFFE_MATERIAU(AFFE = _F(MATER = (BETON, ),
                                 TOUT = 'OUI'),
                       MODELE = MODEL)
```

### 3.1.3 Conditions aux limites

Des conditions aux limites statiques sont définies dans la structure aux nœuds.

Ces mêmes conditions aux limites seront ensuite utilisées dans le calcul des bielles et tirants.

```
bc = AFFE_CHAR_MECA(DDL_IMPO = (_F( GROUP_NO = ('SUP_1', ),
                                    LIAISON = 'ENCASTRE'),
                                _F(DY = 0.0,
                                   GROUP_NO = ('SUP_2', ))),
                    FORCE_NODALE = (_F(FY = -300000.0,
                                       GROUP_NO = 'LOAD_1'),
                                    ),
```



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

```
                                MODELE=MODEL)
```

### 3.1.4 Calcul préliminaire

Il s'agit ici de réaliser le calcul mécanique qui fournira l'état de départ pour l'optimisation BT, à partir des chargements et blocages définis auparavant.

Pour le moment, les seules conditions aux limites qu'il est possible d'appliquer sont des forces nodales et des degrés de liberté imposés.

```
RESU = MECA_STATIQUE( CHAM_MATER = materi,
                          EXCIT = _F(CHARGE = bc,
                                     TYPE_CHARGE = 'FIXE_CSTE'),
                          MODELE = MODEL,
                          TITRE = 'SYSTEM')
```

## 3.2 Utilisation de la macro-commande

Comme déjà mentionné, dans les mots clés DDL_IMPO et FORCE_NODALE, les groupes de nœuds et les forces / les déplacements doivent être exactement les mêmes que ceux utilisés pour le calcul de base.

Le matériau BETON doit être le même utilisé pour le calcul de base. Le matériau ACIER est utilisé uniquement dans le corps de la macro-commande.

```
STM_TOPO = CALC_BT(RESULTAT = RESU,
                   RESU_BT = CO('RES_TOPO'),
                   INST = 1.,
                   DDL_IMPO=(_F(GROUP_NO = 'SUP_1',
                                DX = 0,
                                DY = 0),
                             _F(GROUP_NO= 'SUP_2',
                                DY = 0)
                         ),
                   FORCE_NODALE=_F(
                              GROUP_NO = 'LOAD_1',
                              FY=-3000000.0
                               ),
                   BETON = 'BETON',
                   ACIER = 'ACIER',
                   GROUP_MA_EXT = 'SKIN1',
                   GROUP_MA_INT = 'SKIN2',
                   SCHEMA = 'TOPO',
                   SIGMA_C = 35000000,
                   SIGMA_Y = 500000000,
                   PAS_X = 0.05 ,
                   PAS_Y = 0.05,
                   TOLE_BASE = 0.026,
                   NMAX_ITER = 200,
                   RESI_RELA_TOPO = 0.00001,
                   RESI_RELA_SECTION = 0.000001,
                   CRIT_SECTION = 0.5,
                   CRIT_ELIM = 0.5,
                   SECTION_MINI = 1e-6,
                   LONGUEUR_MAX = 7,
                   INIT_ALEA = 0,
                   )
```



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